FOUNDATIONS™

El recurso práctico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material

martin®

Cuarta edición

FOUNDATIONS™

El recurso práctico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material

Cuarta edición

FOUNDATIONS™

El recurso práctico
para mayor limpieza, seguridad y productividad
en el control de polvo y material

Cuarta edición

por

R. Todd Swinderman, P.E.
Andrew D. Marti
Larry J. Goldbeck
Daniel Marshall
y
Mark G. Strebel

Martin Engineering Company
Neponset, Illinois
EE,UU,

La aplicación de la información y los principios de este libro debe ser evaluada cuidadosamente para determinar su idoneidad para un proyecto específico.

Para obtener ayuda con la aplicación de la información y principios presentados aquí sobre transportadores específicos, consulte a Martin Engineering o a otros ingenieros expertos.

Exención de responsabilidad

1. Martin Engineering publica este libro como un servicio a la industria del manejo de materiales a granel. Este libro se ofrece con objeto de información general únicamente y no pretende ofrecer conocimiento integral sobre el control de materiales fugitivos en las operaciones de manejo de material a granel. Las opiniones aquí expresadas son las de los autores y representan un consenso de los autores con respecto a los temas discutidos.
2. Las fotografías, gráficas, tablas y diagramas contenidos en este libro se usan para transmitir puntos específicos y por lo tanto pueden no ser técnicamente correctos o completos en cada detalle. Los nombres y datos ficticios proporcionados en este libro tienen la intención de transmitir conceptos y cualquier semejanza con cualquier nombre de entidades o datos es coincidental y no intencional.
3. Este libro se ofrece sin promesa ni garantía de la exactitud o integridad del contenido del libro. Sin limitar la generalidad de lo anterior, las secciones de "Cuestiones de seguridad" de este libro pretenden resaltar problemas de seguridad específicos y no deben considerarse incluyentes de todas las cuestiones de seguridad relacionadas con las operaciones del manejo de material a granel.
4. En la medida máxima permitida por la legislación aplicable, BAJO NINGUNA CIRCUNSTANCIA SERÁN MARTIN ENGINEERING NI LOS AUTORES RESPONSABLES POR LESIONES PERSONALES O POR NINGÚN DAÑO INDIRECTO, ESPECIAL O DERIVADO DE NINGÚN TIPO QUE SURJA O ESTÉ RELACIONADO DE ALGUNA MANERA CON ESTE LIBRO, INCLUYENDO, SIN LIMITACIÓN, CUALQUIER DAÑO QUE SURJA DE LA APLICACIÓN DE LA INFORMACIÓN, PRINCIPIOS U OTRO CONTENIDO DEL LIBRO. En todos los casos, en la medida máxima permitida por la ley, la responsabilidad conjunta de Martin Engineering y los autores por reclamos relacionados con el libro se limitará al costo de reemplazo de este libro.
5. La información presentada en este volumen está sujeta a modificación sin previo aviso. Martin Engineering se reserva el derecho de hacer correcciones, eliminaciones o adiciones al libro sin previo aviso u obligación de reemplazar las versiones anteriormente publicadas. Si encuentra un error o desea hacer comentarios para futuras ediciones, póngase en contacto con el Gerente de Mercadotecnia de Martin Engineering al correo electrónico info@martin-eng.com, por teléfono: 309-594-2384, o por fax: 309-594-2432.

Mediciones métricas / imperiales

Las mediciones métricas, con sus conversiones imperiales comunes, se usan en todo el libro, excepto donde la fuente de información original está especificada en unidades imperiales. En ese caso, las unidades imperiales se usan con conversiones métricas aproximadas.

FOUNDATIONS™

ISBN 978-0-9717121-1-9

Número de control de la Biblioteca del Congreso 2007942747

Copyright © 2009 Martin Engineering

Número de parte L3271-4

Fotografía de la portada © Lester Lefkowitz/Corbis Corporation

Todos los derechos reservados. Esta publicación no debe reproducirse en ninguna forma sin la autorización de Martin Engineering, Neponset, Illinois. Algún contenido de este libro se ha reproducido de otras fuentes con derechos reservados con autorización.

Martin Engineering Company
One Martin Place
Neponset, Illinois 61345-9766
EE.UU.
Teléfono: 309-852-2384
Fax: 309-594-2432
info@martin-eng.com
www.martin-eng.com

Contenido v
Prefacio vi
Prólogo viii
Dedicatoria x

Sección Uno
FUNDAMENTOS DEL MANEJO SEGURO DE LOS MATERIALES A GRANEL
1 Control total del material 2
2 Seguridad 14
3 Introducción a los transportadores - Componentes del transportador 28
4 Introducción a los transportadores - La banda 36
5 Introducción a los transportadores - Empalme de la banda . . . 60

Sección Dos
CARGAR LA BANDA
6 Antes de la zona de carga 76
7 Control del aire 90
8 Chutes de transferencia convencionales 100
9 Promotores de flujo 116
10 Soporte de la banda 130
11 Chutes laterales 152
12 Revestimientos de desgaste 170
13 Sistemas de faldón del borde 180

Sección Tres
TRAYECTO DE RETORNO DE LA BANDA
14 Limpieza de la banda 196
15 Arados para protección de las poleas 244
16 Alineación de la banda 252

Sección Cuatro
MANEJO DEL POLVO
17 Generalidades del manejo del polvo 280
18 Control pasivo del polvo 296
19 Supresión del polvo 304
20 Colección del polvo 322

Sección Cinco
CONCEPTOS DE VANGUARDIA
21 Transportadores limpios, seguros y productivos por diseño . 340
22 Chutes de flujo diseñados 348
23 Transportadores soportados por aire 364
24 Sistemas de lavado de la banda 376
25 Ciencia del material 398

Sección Seis
MANTENIMIENTO DEL TRANSPORTADOR
26 Accesibilidad del transportador 414
27 Inspección del sistema del transportador 424
28 Mantenimiento 434
29 El factor humano 444

Sección Siete
VISIÓN GLOBAL DEL MANEJO DE MATERIALES A GRANEL
30 Gestión total del proyecto 454
31 Medidas de desempeño 464
32 Consideraciones para industrias específicas 484
33 Consideraciones para los transportadores de especialidad . . . 504

Investigación, desarrollo de personal, servicios y productos

Centro para la Innovación del Manejo de Materiales a Granel 516
Programas Educativos Foundations™ 518
Servicios 520
Productos 521

Apéndices

Apéndice A:Referencias 526
Apéndice B:Glosario 532
Abreviaciones de las mediciones 542
Apéndice C:Etiquetas de seguridad . . . 544
Apéndice D:Índice de ecuaciones 552
Índice de tablas 553
Índice de temas 554
Apéndice E:Reconocimientos y autores 560

Trabajando en el taller de nuestro sótano en 1944, mi padre, Edwin F. Peterson, inventó una respuesta a los problemas en el manejo de los materiales a granel: el vibrador industrial tipo bola. Bajo el nombre comercial de Vibrolator®, su invento sentó las bases para el éxito de Martin Engineering. Desde entonces, hemos crecido por todo el mundo: tenemos y operamos unidades de negocios en Michigan, Brasil, China, Alemania, Indonesia, México y Sudáfrica, con licenciatarios en Australia, Canadá, Chile e India. En Europa, contamos con sucursales en Francia, Turquía y el Reino Unido. Tenemos casi 800 empleados en todo el mundo; gracias a nuestro dedicado equipo logramos ventas de más de $135 millones de dólares estadounidenses en el 2011.

"El control de polvo y derrames no es sólo una ciencia, sino un arte; Martin ha dominado los dos".

Siguiendo el ejemplo de mi padre, Martin continúa siendo una empresa innovadora en la resolución de los problemas en el manejo de materiales a granel. Nuestra búsqueda para que el ambiente de manejo de material industrial sea más limpio, seguro y productivo es intrínseca a los valores de Martin. Durante casi 65 años, hemos trabajado para mejorar nuestro entorno global controlando el polvo y los derrames en el manejo de materiales a granel, siendo ecologistas antes de que serlo se hiciera popular. El control de polvo y derrames no es sólo una ciencia, sino un arte; Martin ha dominado los dos.

Martin, pionero y líder mundial en el desarrollo de sistemas diseñados de limpieza y sellado de bandas, continúa innovando con las capacidades para satisfacer las necesidades de la industria alrededor del mundo. Nuestro Centro para la Innovación del Manejo de Materiales a Granel, inaugurado en junio de 2008, demuestra nuestro compromiso hacia la mejora de la industria. Ubicado en nuestras oficinas centrales en Neponset, Illinois, EE.UU., el Centro para la Innovación (CFI) es en parte un laboratorio de investigación de ciencia pura y en parte un centro de desarrollo de productos industriales. Se enfoca en ayudar a nuestros clientes a comprender y resolver sus problemas de manejo de materiales a granel. El control del polvo y los derrames es una meta que se hace realidad cada día para nuestros clientes con nuestra *Garantía Absoluta Sin Excusas*.

Es con gran placer que ofrezco la cuarta edición de *Foundations™: El recurso práctico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material* para todos aquellos que manejan materiales a granel.

Edwin H. Peterson
Presidente del Consejo Directivo
Martin Engineering

Desde sus inicios en la década de 1940, Martin Engineering se ha comprometido con la seguridad, excelencia e innovación en el manejo de materiales a granel. Desde nuestros primeros vibradores hasta los actuales conceptos de transportadores de vanguardia, nuestro enfoque estratégico en la mejora continua representa el crecimiento y evolución de las prácticas para el control del movimiento de material y la mejora de las operaciones de las bandas transportadoras. Muchas de nuestras mejoras se basan en nuestra convicción fundamental de que para poder tener un manejo de materiales a granel más limpio, seguro y productivo, las compañías deben asegurar el control total del material en sus bandas transportadoras.

Con la apertura del Centro para la Innovación en el Manejo de Materiales a Granel en nuestras oficinas centrales de Neponset, Illinois, EE.UU., Martin ha hecho un compromiso significativo y una afirmación importante para la mejora continua en la industria del manejo de materiales a granel. Nuestra intención es compartir el conocimiento obtenido en este centro de ciencia básica e investigación práctica aplicada con universidades, asociaciones y clientes. Con estos recursos y compromiso, Martin continuará siendo líder en información y desarrollo de tecnologías para controlar polvo, derrames y materiales fugitivos.

En base a nuestra experiencia y desarrollo, tenemos la intención de ofrecer un amplio programa educativo que incluirá capacitación interactiva en línea, talleres, seminarios, programas de certificación, cursos acreditados por universidades y presentaciones técnicas en conferencias de la asociación. Trabajaremos de cerca con las universidades participantes para traer a la industria del manejo de materiales a granel la investigación más reciente, los datos técnicos más confiables y las mejores prácticas. Martin continuará presentando información alrededor del mundo a través de nuestros libros y talleres, todos enfocados en ayudar a las industrias que manejan materiales a granel a PENSAR LIMPIO (Think Clean®) a la vez que mejoran la eficacia, productividad y seguridad.

Como todos sabemos, trabajamos en una industria global peligrosa, y no nos alcanza la voz para expresar nuestra preocupación. Hay demasiadas lesiones y fatalidades en nuestro negocio que podrían evitarse. Debemos convertir en prioridad la seguridad en las operaciones de transportadores. Al inicio de la revisión de *Foundations*³ para esta cuarta edición, los autores tomaron la decisión de trasladar nuestro énfasis en la seguridad a la sección inicial del libro. Además del material del capítulo sobre Seguridad, el lector encontrará información adicional y leyendas sobre seguridad en todo el libro. La mayoría de los capítulos incluyen una sección especial titulada "Cuestiones de seguridad" como información que el lector puede tomar en cuenta. Simplemente debemos hacer un mejor trabajo para proteger la vida de quienes trabajan en nuestra industria.

Al leer esta edición de *Foundations*™, *El recurso práctico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material*, usted aprenderá más sobre la experiencia y filosofía de Martin. Esperamos que sea de utilidad para que sus operaciones de transportadores sean más limpias, seguras y productivas.

Scott E. Hutter
Presidente y Director Ejecutivo
Martin Engineering

La pregunta que más a menudo hacen los ingenieros que conozco en mis viajes por el mundo es, "¿Qué cambios han visto en la industria del manejo de materiales a granel en los últimos 50 años?”

¿Qué ha cambiado?

A. Computadoras: Lo primero y más importante es la computadora: rastrea, registra y protege todo lo que hacemos. Hace cincuenta años, las prioridades de diseño de los transportadores estaban contenidas en libros; ahora están en bases de datos informáticas. Por consiguiente, los ingenieros mecánicos se gradúan haciendo dibujos y cálculos sólo con la ayuda de las computadoras.

“¿Qué cambios ha visto en la industria del manejo de materiales a granel en los últimos 50 años?”

La programación avanzada de computadoras permite a los ingenieros ver "imágenes virtuales" y a los diseñadores ver representaciones visuales de las características de flujo de un material. Estos programas permiten múltiples posibilidades de diseño para que los ingenieros puedan obtener los resultados más deseables en cada punto de transferencia del transportador.

Sin embargo, es importante recordar que el modelo generado por computadora es válido únicamente cuando un ingeniero o técnico que tenga experiencia práctica con el material a granel en cuestión lo haya revisado. Además, el ingeniero o técnico con experiencia debe aprobar los componentes del transportador, teniendo en mente que eventualmente requerirán servicio, por lo que deben diseñarse para ser accesibles y de servicio seguro.

B. Experiencia práctica: En la actualidad, la mayoría de las plantas operan 7 días a la semana, 24 horas al día. La gerencia puede esperar que una planta duplique la producción con la mitad del personal. Estas plantas deberán arreglar los problemas de transportadores a medida que ocurran, pero los operadores no pueden detener la producción por la necesidad de cumplir con un nivel determinado.

Antes, cuando los nuevos ingenieros trabajaban con colegas más experimentados en programas de aprendices, se les exponía a situaciones reales. Adquirían experiencia para analizar y arreglar descomposturas rápidamente para permitir que la planta reanudara la producción.

A raíz de las técnicas modernas de ingeniería, los sistemas de manejo de materiales a granel están siendo diseñados por detalladores con poca o nula experiencia práctica. Aunque las plantas y minas intentan que el equipo mecánico continúe trabajando y produciendo, los operadores se ven forzados a aceptar un diseño con pocas disposiciones para dar servicio al sistema. Cuando veo plantas modernas con los mismos diseños de ingeniería que se usaron hace 30 años, me pregunto quién podrá dar mantenimiento, diariamente, a los componentes que son propensos a fallar o desgastarse, especialmente cuando el diseño no tiene disposiciones para permitir que esas reparaciones necesarias se hagan fácil y rápidamente.

Las personas más indicadas para realizar mejoras al diseño son quienes tienen experiencia práctica con los transportadores. Los operadores experimentados tienen el conocimiento para guiar a un equipo de diseño a prever fallas en el equipo y ofrecer los medios para arreglar los problemas con el menor tiempo de parada posible. Se les debe permitir y alentar a contribuir con el diseño.

C. Reglamentaciones ambientales y de seguridad: Otras diferencias son el aumento en las reglas y reglamentaciones ambientales y de seguridad que deben incorporarse ahora en las prioridades del diseño. Estas reglamentaciones se han vuelto tan importantes como los requerimientos de producción del transportador. Ha sido obvio para mí, desde la década de 1950, que la tierra y el polvo eran un problema de seguridad, salud y pérdida de utilidades que debía abordarse durante el diseño inicial, en lugar de esperar hasta que los reguladores amenazaran con multas o cierre de las operaciones para eliminar el riesgo de la tierra y el polvo.

¿Qué viene en el futuro?

A. Transportadores limpios: Veo cielos despejados; veo manejo limpio de material en bandas transportadoras que se lavan y se

secan. Estos sistemas súper limpios serán diseñados por la fraternidad actual de ingenieros dedicados que trabajarán con técnicos de seguridad, ambientales y de proceso para desarrollar diseños que sean benignos no sólo con las personas que trabajan con ellos, sino también con el medio ambiente. El objetivo es diseñar sistemas que cumplan con todas las reglamentaciones gubernamentales para una operación segura y limpia.

B. Capacidad de servicio del transportador: El diseño del transportador se basará en un servicio rápido, fácil, seguro e intuitivo. Las reglamentaciones de seguridad emergentes en el futuro pueden permitir a los técnicos certificados en transportadores (CCT) dar servicio a las bandas transportadoras durante la operación. De manera semejante a las reglamentaciones de seguridad actuales que permiten a los electricistas certificados inspeccionar una caja de distribución eléctrica sin cortar la electricidad, los CCT podrán dar servicio a los transportadores en operación, teniendo como resultado menos accidentes, mayor producción y mayores utilidades. Además, con una mejor capacidad de servicio que controle mejor los problemas de tierra y polvo (la causa real de la mayoría de los accidentes relacionados con transportadores), los CCT aumentarán significativamente la disponibilidad de producción.

C. Limpieza, seguridad y medio ambiente: Habrá una mayor exigencia de las personas, las comunidades y las agencias gubernamentales para que las operaciones de transportador sean limpias, seguras y ecológicas. Veo que los operadores que decidan ignorar esas exigencias cerrarán sus puertas o pagarán cuantiosas multas gubernamentales.

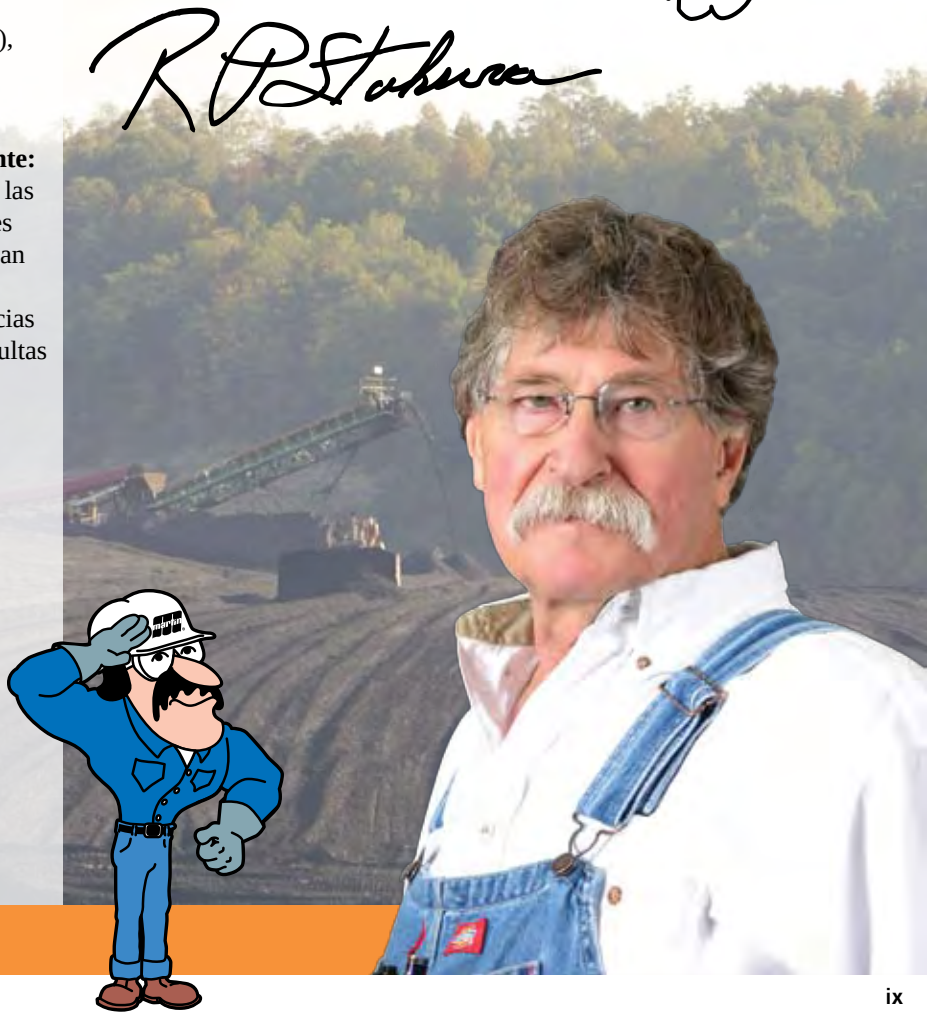
Los últimos 50 años y los próximos 50

Ha habido muchos cambios en los últimos 50 años que han hecho que el manejo de materiales a granel sea más limpio, seguro y productivo: el uso de computadoras para hacer los diseños ideales para cada punto de transferencia, equipos de diseño que utilizan los conocimientos de los operadores para optimizar el diseño y las reglamentaciones para hacer que el manejo de materiales a granel sea más limpio y seguro para los trabajadores y el medio ambiente.

Aún hay mucha oportunidad de efectuar cambios positivos en los próximos 50 años para hacer que la industria sea aún más limpia, con mayor capacidad de servicio, más productiva y segura. Continuarán haciéndose mejoras que revolucionarán el manejo de materiales a granel. Esperamos que la siguiente edición de *Foundations*™ describa aún más de estos avances.

"¡Piense limpio!"

Dick Stahura
Consultor de Aplicación de Productos



DEDICATORIA

Es un honor para nosotros dedicar la cuarta edición de *Foundations™: El recurso práctico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material* a las siguientes personas:

Los empleados de las industrias que manejan materiales a granel: Se dio gran consideración al capítulo sobre seguridad y la sección de seguridad de cada capítulo. Por lo tanto, dedicamos este libro a los empleados de todo el mundo que lamentablemente han sufrido lesiones por trabajar cerca de bandas transportadoras. Dedicamos este libro especialmene a los empleados que han perdido la vida, y a sus familias. Aunque trágicas, estas desgracias aumentan la concientización sobre los peligros asociados con las bandas transportadoras y la importancia de la seguridad.

R. Todd Swinderman, P.E.: Todd es la fuerza impulsora que está detrás de muchas de las actuales innovaciones de la industria. Ha contribuido positivamente al desarrollo consistente de estándares para la industria a través de la Asociación de Fabricantes de Equipo de Transportadores (CEMA). En su rol como uno de los directores de la asociación y como anterior Presidente y Director Ejecutivo de Martin Engineering, la orientación, influencia y experiencia profesional en ingeniería de Todd han tocado cada faceta de las operaciones de transportadores en todo el mundo.

La familia Peterson y los empleados de Martin Engineering (anteriores, presentes y futuros): Durante más de 65 años, los miembros de la familia Peterson han dedicado su vida a la mejora de las industrias que manejan materiales a granel, haciendo que el ambiente de trabajo sea más limpio, seguro y productivo. Los empleados de Martin siempre han tenido presentes los intereses de los clientes, la industria y la empresa. Han trabajado incontables horas para lograr hacer realidad la visión del fundador de la empresa. A través de su dedicación y tenacidad, los empleados ayudaron a continuar con la tradición de Martin de dirigir al mundo en la investigación e innovación en transportadores.

Andrew D. Marti

Larry J. Goldbeck

Daniel Marshall

Mark G. Strebel

17

SECCIÓN 1

FUNDAMENTOS DEL MANEJO SEGURO DE LOS MATERIALES A GRANEL

• Capítulo 1 2
CONTROL TOTAL DEL MATERIAL

• Capítulo 2 14
SEGURIDAD

• Capítulo 3 28
INTRODUCCIÓN A LOS TRANSPORTADORES—COMPONENTES DEL TRANSPORTADOR

• Capítulo 4 36
INTRODUCCIÓN A LOS TRANSPORTADORES—LA BANDA

• Capítulo 5 60
INTRODUCCIÓN A LOS TRANSPORTADORES—EMPALME DE LA BANDA

1

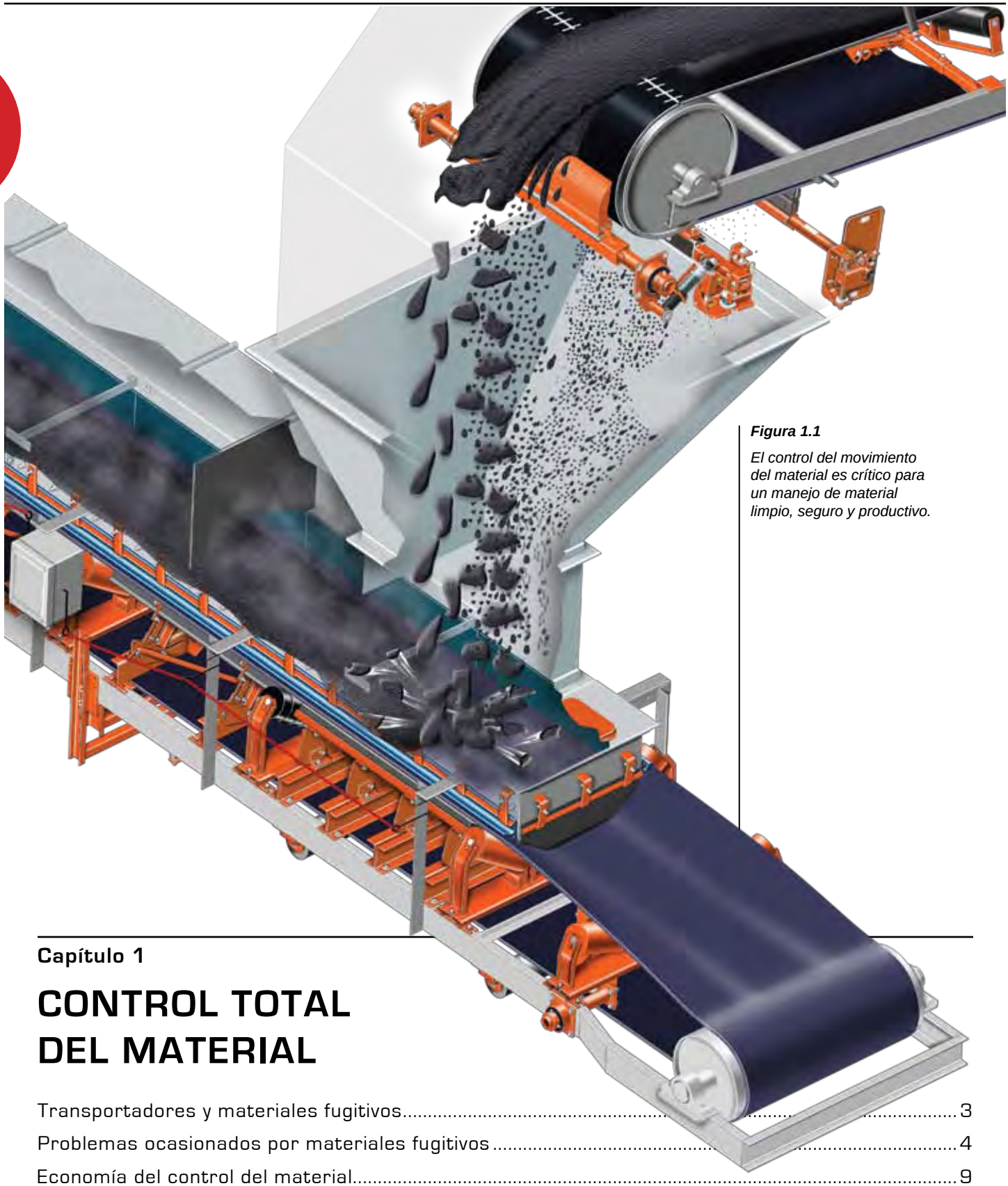


Figura 1.1

El control del movimiento del material es crítico para un manejo de material limpio, seguro y productivo.

Capítulo 1

CONTROL TOTAL DEL MATERIAL

Transportadores y materiales fugitivos 3
Problemas ocasionados por materiales fugitivos 4
Economía del control del material 9
Registro del control total del material 11
Temas avanzados 12
La oportunidad de un control total del material 12

En este capítulo...

En este capítulo describimos algunos de los problemas que se pueden presentar como resultado de los materiales fugitivos: reducción en la eficacia operativa, seguridad de la planta, calidad del producto y estado de ánimo de los empleados junto con un aumento en los costos de mantenimiento y escrutinio de agencias externas. Además identificamos los costos por esta pérdida. Como una manera de abordar estos problemas, discutimos la necesidad de un control total del material, lo cual forma la base de este libro **(Figura 1.1)**.

Una operación de manejo de materiales a granel está diseñada para aceptar la entrada de cierta cantidad de materia prima y llevar confiablemente esa misma cantidad de material a una velocidad predeterminada hasta uno o más puntos en el otro extremo del proceso.

Desafortunadamente, esto ocurre muy pocas veces. Pérdida de material, derrames, emisiones, restricciones del flujo y bloqueos pueden presentarse en el proceso de manejo, lo que resulta en pérdida de producción y crea otros problemas asociados. Estos problemas costarán miles de millones de dólares anualmente a todas las industrias que manejan materiales a granel mundialmente.

Este libro busca identificar muchas de las causas de los problemas del manejo de materiales y sugiere estrategias prácticas, acciones y equipo que pueden aplicarse para ayudar a aumentar la eficacia del manejo de materiales. Esto es un concepto llamado Control total del material® (Total Material Control, en inglés).

Total Material Control y TMC son marcas registradas de Engineering Services & Supplies PTY Limited (ESS), un concesionario de Martin Engineering, ubicado en Currumbin, Australia *(Referencia 1.1)*.

TRANSPORTADORES Y MATERIALES FUGITIVOS

El escape de materiales desde los transportadores es un suceso cotidiano en muchas plantas. Se presenta en forma de derrame y fuga desde los puntos de transferencia o material adherido a la banda después del punto de descarga y se desprende a lo largo del retorno del transportador. También ocurre en la forma de polvo en el ambiente que es levantado de la carga por corrientes de aire y las fuerzas de la carga para después asentarse en la estructura, el equipo y el suelo. Algunas veces la naturaleza de los problemas de un transportador dado pueden determinarse a partir de la ubicación de la pila de material perdido **(Figura 1.2)**. El material adherido cae debajo del transportador, el derrame cae hacia los lados y el polvo cae en todas partes, incluyendo los sistemas y estructuras que están por encima del transportador. No obstante, muchos transportadores presentan todos estos síntomas, lo que hace más difícil especificar un tipo de problema **(Figura 1.3)**.

Otro problema de las operaciones de manejo de materiales son las restricciones al flujo. Una planta de manejo de materiales está diseñada para operar a una cierta tasa de rendimiento. Aunque se ha puesto mucha atención al costo de los derrames, no puede ignorarse el costo de un rendimiento restringido y una producción retrasada.

Los bloqueos en los chutes o receptáculos pueden paralizar un proceso de producción provocando retrasos que cuestan miles de dólares por hora en paros en producción y en oportunidades perdidas. Los bloqueos del chute a menudo provocan un rebosamiento

Figura 1.2

La fuente del material fugitivo algunas veces puede determinarse por la ubicación de la pila de material perdido.

Figura 1.3

Muchas bandas transportadoras de manejo de materiales a granel muestran todos los síntomas del derrame, material adherido y polvo en el ambiente, lo que hace más difícil identificar la fuente o aplicar un remedio.

de material, pues éste se desborda del chute. Un atasco en el chute o contenedor a menudo puede provocar una sobrecarga de material, donde ciertas cantidades de material pueden caer repentinamente al recipiente y a la banda receptora. El rebosamiento y las sobrecargas son los principales contribuyentes a un derrame. El material que se encuentra debajo del extremo de la cabeza de un transportador a menudo se identifica de manera errónea como material adherido, cuando en realidad es el resultado de sobrecargas y rebosamientos. El material adherido generalmente será material fino, de manera que la presencia de protuberancias mayores a 10 milímetros (0.39 pulgadas) a menudo señala exactamente la causa del material fugitivo como una sobrecarga o un rebosamiento.

PROBLEMAS OCASIONADOS POR MATERIALES FUGITIVOS

Resultados de los materiales fugitivos

Los materiales fugitivos han estado presentes en las plantas desde que los transportadores empezaron a operar por primera vez; por lo tanto, su presencia a menudo se acepta como parte de la industria. De hecho, los empleados de mantenimiento y producción a quienes se les asignan con regularidad los deberes de limpieza pueden ver este trabajo como una forma de "seguridad laboral".

Como resultado, el problema del escape de materiales en los sistemas de manejo de materiales a granel a menudo se observa con resignación. Aunque se reconoce como un desorden y un peligro, se cree que ningún sistema eficaz, práctico y real se ha desarrollado para controlarlo. Por lo tanto, los derrames y el polvo de los puntos de transferencia con fugas y otras fuentes dentro de las plantas se aceptan como eventos rutinarios e inalterables. Los materiales fugitivos se convierten en una señal de que la planta está operando: "estamos generando dinero; por lo tanto, existe material fugitivo".

En algún momento la contaminación, ya sea de las chimeneas o de los puntos de transferencia del transportador, fue vista como una señal de fuerza industrial. Ahora estos problemas se conocen como un indicador de una posible mala administración y desperdicio. Esta contaminación y el desperdicio ofrecen una oportunidad para mejorar tanto en eficacia como en resultados finales.

Si no se revisan, los materiales fugitivos representan un resumidero siempre creciente de la productividad y rentabilidad de un transportador y por lo tanto de una planta. Los materiales perdidos en el sistema de un transportador cuestan a la planta de diferentes maneras, entre otras:

A. Reducción en la eficacia de la operación
B. Aumento en costos de mantenimiento de un transportador
C. Disminución de la seguridad de la planta
D. Bajo estado de ánimo de los empleados
E. Disminución de la calidad del producto
F. Aumenta el escrutinio de agencias externas y otros grupos

Estos costos se cubrirán a más detalle en las próximas secciones.

Reducción en la eficacia de la operación

Puede decirse que el material más costoso en cualquier operación es el material que se derrama de la banda. En una planta limpia, "todo" el material se carga a una banda transportadora en un extremo para después descargar "todo" en el otro extremo. El material se maneja sólo una vez: cuando se coloca en la banda. Por supuesto, esto corresponde a una alta eficacia: la planta ha manejado el material lo menos posible. Por otro lado, el material que se ha derramado o que de otra manera se volvió fugitivo, es material que se ha recibido, procesado (hasta cierto grado) y después se ha perdido. Se pagó por ese material, mas no generará rentabilidad financiera.

De hecho, el material fugitivo puede terminar siendo un resumidero continuo: degrada el equipo con el tiempo, como los rodillos del transportador, y puede requerir mano de obra adicional para reprocesarlo antes de poder regresarlo al sistema, en caso de que pueda regresarse al proceso. No obstante, una vez fugitivo, el material puede contaminarse y no ser idóneo para regresar al sistema. Si el material fugitivo no puede regresarse, la eficacia disminuye drásticamente. En muchos lugares, aun los materiales básicos como la caliza o la arena que caen de la banda se clasifican como residuos peligrosos y deben ser desechados a un costo significativo.

Los materiales fugitivos también terminan siendo un resumidero de eficacia puesto que requieren de mano de obra adicional para limpiarlos. Los materiales de producción pueden manejarse con maquinaria grande en lotes grandes de cantidades significativas, en cubetas enormes y en carga a un vagón de tren, a menudo automáticamente o con controles remotos. Por el contrario, los materiales fugitivos generalmente son recolectados por una minicargadora, una pala cargadora trasera o un camión aspirador, o de la forma antigua por un trabajador con una pala.

Aumento en costos de mantenimiento de un transportador

El escape de materiales de los transportadores conlleva todo tipo de problemas en el mismo sistema de un transportador. Estos problemas aumentan los gastos de mantenimiento.

El primer gasto agregado más visible es el costo de la limpieza. Esto incluye el costo del personal que recoge el material con una pala o aspirador y lo regresa a la banda **(Figura 1.4)**. En algunas plantas, la limpieza significa un hombre con una pala; en otras, el costo aumenta puesto que incluye horas de equipo en cargadoras con ruedas, camiones "aspiradores" u otro equipo pesado que se usa para mover grandes pilas de material. Un factor que es más difícil de medir, pero que debe incluirse, es el valor del otro trabajo que deja de hacerse debido a que el personal ha desviado su atención a las actividades de limpieza. Este retraso en las actividades de mantenimiento puede resultar en fallas catastróficas y hasta en gastos adicionales.

A medida que escapa el material, éste se acumula en diferentes componentes de un transportador y en otro equipo cercano. Los rodillos fallan cuando se atascan o quedan sepultados por material **(Figura 1.5)**. No importa lo bien que esté construido el rodillo, a la larga las partículas finas emigran a través del sello hasta el cojinete. Una vez que los cojinetes se atascan, el movimiento constante de la banda sobre el rodillo puede desgastar el cuerpo de éste con increíble rapidez, dejando un borde filoso en el rodillo atascado, lo cual es una amenaza para la vida útil de la banda **(Figura 1.6)**. Los rodillos y las poleas "congeladas" aumentan la fricción contra la banda, consumiendo energía adicional en el motor de impulso de un transportador.

Los rodillos atascados crean otros riesgos aún mayores, incluyendo la posibilidad de incendios en el sistema. Una planta de exportación de carbón en Australia sufrió daños por un incendio en un transportador de carga principal. El incendio fue provocado por un rodillo atascado y alimentado por un derrame acumulado. El incendio destruyó la mayoría del extremo de la cabeza del transportador, provocando la falla en la banda de 1600 milímetros (60 pulgadas) y quemando los cables eléctricos y controles. Las reparaciones tardaron cuatro días para restaurar la operación, pero el costo total del incendio se estimó en $12 millones de dólares.

Otro riesgo es que la acumulación de material en la cara de las poleas y rodillos puede provocar que la banda se descentralice **(Figura 1.7)**. Una acumulación de materiales en los componentes giratorios puede llevar a

Figura 1.4

En algunas plantas, el costo de la limpieza incluye el costo de la operación de camiones aspiradores y otro equipo pesado.

Figura 1.5

El material fugitivo puede sepultar la zona de carga, resultando en fallas en los rodillos, incendio de bandas y desalineación de la banda.

Figura 1.6

Los rodillos fallan cuando se atascan o sepultan con material. El movimiento de la banda por los rodillos "congelados" desgastará los rodillos hasta que sus bordes sean tan filosos como navajas.

problemas significativos con la alineación de la banda, lo cual resulta en daños a la banda y otro equipo, así como riesgos de lesiones al personal.

Una banda descentralizada puede moverse hacia la estructura de un transportador y empezar a raspar la banda con la estructura. Si esta condición no se advierte de inmediato, pueden destruirse grandes tramos de banda valiosa y el mismo acero estructural puede destruirse. La desalineación de la banda crea interrupciones en la producción, pues la banda debe detenerse, repararse y realinearse antes de reanudar las operaciones.

Una situación especialmente desagradable es cuando los materiales fugitivos crean un problema y después ocultan la evidencia. Por ejemplo, las acumulaciones de materiales húmedos alrededor de las estructuras de transportadores de acero pueden acelerar la corrosión y al mismo tiempo hacer difícil que el personal de la planta observe el problema **(Figura 1.8)**. En el peor de los casos, esto puede llevar a un daño catastrófico.

Lo que es especialmente preocupante sobre estos problemas es que se convierten en un ciclo: un derrame conlleva a acumulaciones en los rodillos, lo cual lleva a la desalineación de la banda, que a su vez conlleva a más derrames. Los materiales fugitivos verdaderamente crean ciclos viciosos de actividades, lo cual aumenta los costos de mantenimiento.

Figura 1.7

La acumulación de material en la cara de las poleas y los rodillos puede provocar que la banda se descentralice, lo que provoca daños a la banda y otro equipo.

Figura 1.8

Las acumulaciones de material húmedo alrededor de las estructuras de los transportadores de acero pueden acelerar la corrosión y al mismo tiempo hacer difícil que el personal de la planta detecte el problema.

Disminución de la seguridad de la planta

Los accidentes industriales son costosos, en términos de salud del personal y el volumen y la eficacia de la producción. En el 2005, el Consejo de Seguridad Nacional en Estados Unidos señaló en una lista que el costo de una muerte relacionada con el trabajo era de $1,190,000 dólares, el costo de una lesión incapacitante se valoró en $38,000 dólares, lo que incluye salario y pérdidas de productividad, gastos médicos y gastos administrativos. Estas cifras no incluyen ninguna estimación de daños a la propiedad y no deben usarse para estimar la pérdida económica total a la comunidad.

Las estadísticas de la Administración de Salud y Seguridad en Minas (MSHA) en Estados Unidos indican que casi la mitad de los accidentes ocurridos alrededor de bandas transportadoras en minas se atribuyen a la falta de limpieza y reparaciones debido a derrames y acumulación. Si los materiales fugitivos pudieran eliminarse, la frecuencia con que el personal estaría expuesto a estos peligros se reduciría significativamente. El derrame excesivo también puede crear otros, aunque menos obvios, peligros de seguridad.

En Australia, un seminario sobre seguridad del Departamento de Industrias Primarias advirtió que en el período de seis años de 1999 a 2005, se reportaron un total de 85 incendios en bandas transportadoras de minas de carbón subterráneas en el estado de Nueva Gales del Sur. De estos, 22 se identificaron debido a un derrame de carbón y 38 debido a la alineación del transportador. Incluidas entre las doce recomendaciones del reporte estaban: "mejorar la alineación de la banda" y "detener los transportadores en caso de un derrame".

En el 2006, en Estados Unidos, un incendio en la banda transportadora en una mina de carbón subterránea provocó dos muertes. La causa de este incendio se atribuyó al calor por fricción de una banda descentralizada que encendió acumulaciones de polvo, partículas finas y derrame de carbón junto con grasa y aceite.

Muchos países ahora implementan procedimientos de seguridad regulatorios en las compañías. Se incluye el requerimiento de realizar análisis de peligros en todos los trabajos. Los códigos de prácticas en el diseño y la operación en la planta requieren que una vez identificado el peligro, éste debe resolverse. La jerarquía de controles para peligros normalmente recomendará que la acción más apropiada será "eliminar el peligro mediante el diseño". El control dependerá de la gravedad del peligro y la distribución del equipo existente.

Bajo estado de ánimo de los empleados

Aunque los detalles específicos del trabajo de un individuo tienen mucha influencia sobre la cantidad de gratificación que se recibe en el trabajo, el ambiente físico también es una influencia significativa en la percepción que un trabajador tiene hacia su lugar de empleo.

Una planta limpia proporciona un lugar más seguro para trabajar y promueve una sensación de orgullo por el lugar de trabajo. Como resultado, los empleados tienen un mejor estado de ánimo. Los trabajadores con un mejor estado de ánimo tienen mayores probabilidades de llegar a tiempo al trabajo y desempeñar mejor sus deberes. La gente tiende a sentirse orgullosa si su lugar de trabajo es un lugar de gran interés y trabajarán para mantenerlo en esa condición. Es difícil sentirse orgulloso de trabajar en una planta que se percibe como sucia e ineficaz por los vecinos, amigos y especialmente por los mismos trabajadores.

Se reconoce que los trabajos que involucran deberes repetitivos e insatisfactorios como, por ejemplo, la limpieza de un derrame en un transportador, tienen los mayores niveles de ausentismo de empleados y lesiones en el lugar de trabajo. Es un ejercicio muy aburrido limpiar con una pala una pila de derrame hoy, sabiendo que esa acumulación regresará mañana.

Disminución de la calidad del producto

Los materiales fugitivos pueden contaminar la planta, el proceso y el producto terminado. Los materiales pueden depositarse sobre equipo sensible e influir de manera adversa en las lecturas de los sensores o corromper las fórmulas estrictamente controladas.

Los materiales fugitivos dan una imagen negativa a la calidad del producto de la planta, así como un mal ejemplo a los esfuerzos de los empleados en general. La creencia más básica y universal de muchos de los programas corporativos de "Calidad Total" u otros programas populares de mejora de calidad en años recientes es que cada porción de todo trabajo debe cumplir con el estándar de calidad. El esfuerzo de cada empleado debe contribuir y reflejarse en todo el esfuerzo de calidad. Si los empleados ven que una porción de la operación. como por ejemplo una banda transportadora, no está operando eficazmente, crea un desorden y contamina el resto de la planta con material fugitivo, se acostumbrarán a aceptar menos que un desempeño perfecto. Puede provocar una actitud negativa y relajada o un desempeño descuidado. Los materiales fugitivos proporcionan un ejemplo visible de las prácticas descuidadas que los programas de calidad corporativos buscan eliminar.

Aumenta el escrutinio de agencias externas y otros grupos

Los materiales fugitivos actúan como un pararrayos: presentan un blanco fácil. Una gran nube de polvo atrae la mirada y la atención de espectadores interesados, incluyendo las agencias regulatorias y los grupos de la comunidad. Las acumulaciones de materiales debajo de los transportadores o en caminos, edificios y equipo cercanos envía un mismo mensaje a las agencias gubernamentales y a las compañías aseguradoras: que esta planta es descuidada en sus operaciones y amerita inspecciones adicionales o mayor atención.

Si una planta es citada como sucia o insegura, algunas agencias regulatorias pueden obligar a cerrar la operación hasta que se resuelvan los problemas. Los grupos de la comunidad pueden generar una exposición desagradable con los medios y crear confrontaciones en diferentes audiencias para obtener permisos y otras reuniones públicas.

Una operación limpia recibe menos atención indeseada de las agencias regulatorias, además de que no se convierte en el blanco de grupos de acción ambiental. Los ahorros en costos pueden resultar en menos multas de agencias, menos seguros, una reducción en los honorarios de abogados y menor necesidad de programas de relación con la comunidad.

El problema agregado del polvo en el ambiente

Surgen cuestiones serias cuando el polvo se

encuentra en el ambiente y se escapa de los sistemas de un transportador. El polvo es un problema aun mayor que un derrame: mientras que un derrame se contiene en el terreno de la planta, las partículas de polvo en el ambiente son transportadas fácilmente fuera de las instalaciones **(Figura 1.9)**.

En la serie *Mejores Prácticas de Administración Ambiental en Minería*, Australia Ambiental (el equivalente del gobierno australiano del Departamento del Ambiente de Estados Unidos) publicó un reporte sobre el control del polvo en 1998 *(Referencia 1.2)*. El reporte analizó las fuentes de polvo en el ambiente en diferentes plantas procesadoras de minerales. El reporte indicó que las fuentes principales de polvo eran las siguientes:

Trituración.....1 a 15 por ciento

Cerniduras.....5 a 10 por ciento

Pila de almacenamiento.....10 a 30 por ciento

Excavación.....1 a 10 por ciento

Sistema de banda transportadora.....30 a 60 por ciento

Con la Ley de Aire Limpio, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos requiere por ley reducir el nivel de partículas en el ambiente. La mayoría de las instalaciones de manejo de materiales a granel deben mantener niveles de polvo respirables en áreas cerradas por abajo de dos miligramos por metro cúbico (2.0 mg/m^3) durante un período de ocho horas. Las operaciones en minas subterráneas pronto deberán cumplir con niveles de 1.0 mg/m^3. No cumplir con los estándares de calidad del aire puede resultar en multas costosas de agencias regulatorias locales, estatales y federales.

La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) en Estados Unidos ha determinado que el polvo en el ambiente dentro y alrededor del equipo puede resultar en condiciones de trabajo peligrosas. Cuando los inspectores de OSHA o MSHA reciben una queja o una muestra del aire que demuestra una violación de salud, puede presentarse una litigación.

El polvo respirable, partículas menores de 10 micrones en diámetro, no son filtradas por las defensas naturales del sistema respiratorio humano y por lo tanto penetran profundamente en los pulmones donde pueden quedar atrapadas y causar serios problemas de salud. Estos problemas de salud pueden observarse en la mano de obra y hasta pueden presentarse en los residentes vecinos.

Una posibilidad alarmante que puede surgir del polvo en el ambiente es el riesgo de explosiones por polvo. El polvo puede concentrarse a niveles explosivos dentro de un espacio reducido. Un incidente de esta naturaleza, aunque conlleva altísimos costos de reparación, reemplazo, multas regulatorias y pérdida de productividad, puede resultar en el mayor costo de todos: el costo de la vida de una persona.

Figura 1.9

El polvo en el ambiente es una preocupación seria, puesto que se escapa de los transportadores y transferencias.

ISO 14000 y el medio ambiente

La globalización continua del comercio promete estándares más unificados. Al igual que ISO 9000, desarrollado por la Organización Internacional para la Estandarización, se ha convertido en un estándar mundial para codificar los procedimientos de calidad, el desarrollo de ISO 14000 establecerá una agenda internacional para el impacto de una operación sobre el ambiente. ISO 14000 fija lineamientos voluntarios y especificaciones para la administración ambiental. El programa requiere:

A. Identificación de las actividades de una compañía que tienen un impacto significativo en el medio ambiente

B. Capacitación de todo el personal cuyo trabajo puede impactar significativamente el medio ambiente

C. El desarrollo de un sistema de auditoría para garantizar que el programa se implemente y mantenga de manera adecuada

Límites regulatorios

Aunque ninguna agencia regulatoria ha

establecido límites específicos sobre la cantidad de materiales fugitivos permitidos, la altura de la cantidad de material a un lado del transportador o la cantidad de material adherido abajo de un rodillo, sí se han especificado límites para las cantidades de polvo en el ambiente. OSHA ha determinado Límites de Exposición Permisibles (PEL) y Valores de Límite Umbral (VLU) para alrededor de 600 sustancias reguladas.

Estas regulaciones especifican la cantidad de polvo permitido, expresado como partes por millón de partes de aire (ppm) para gases y en miligramos por metro cúbico (mg/m³) para partículas como polvo, humo y niebla. Es responsabilidad de la compañía cumplir con estos estándares o enfrentar multas como citaciones regulatorias, acción legal, aumento a la tasa de seguros y hasta condenas penales.

Estos procedimientos de OSHA indican que los inspectores deben estar conscientes de las acumulaciones de polvo en el techo, paredes, piso y otras superficies. La presencia de materiales fugitivos sirve como una alarma a los inspectores e impulsa la necesidad de tomar una muestra del aire para enfrentar la posibilidad de tener cantidades elevadas de polvo en el ambiente.

Aunque ISO y otras agencias/grupos continúan presionando para tener límites regulatorios, estos límites continuarán difiriendo de país en país. Parece seguro decir que las regulaciones ambientales, incluyendo el control de polvo, continuarán volviéndose más restrictivas en todo el mundo. Estos lineamientos con certeza se extenderán para incluir los materiales fugitivos que liberan los transportadores.

ECONOMÍA DEL CONTROL DEL MATERIAL

Un poco de material puede cnvertirse en un gran problema

Los materiales fugitivos que se escapan de los transportadores presentan una amenaza seria al bienestar financiero de una operación. La pregunta obvia es: "¿cómo puede costar tanto?" Un punto de transferencia derrama sólo una muy pequeña fracción del material que pasa por él. En el caso de un punto de transferencia en un transportador que corre continuamente, un poco de material puede acumularse rápidamente hasta tener una cantidad considerable. Cantidades relativamente pequeñas de materiales fugitivos pueden acumularse hasta tener cantidades grandes con el tiempo **(Tabla 1.1)**.

En la vida real, los materiales fugitivos se escapan de los puntos de transferencia en cantidades mucho mayores que cuatro gramos por minuto. Estudios realizados en Suecia y el Reino Unido examinaron las pérdidas reales de materiales fugitivos y el costo de esas pérdidas.

Investigación sobre el costo de los materiales fugitivos

En un reporte titulado *El costo a la industria*

Tabla 1.1

Acumulación de material fugitivo con el tiempo

Material fugitivo liberado	Acumulación				
	Hora (60 minutos)	Día (24 horas)	Semana (7 días)	Mes (30 días)	Año (360 días)
"paquete de azúcar" (4 gr.) por hora	4 gr (0.1 onzas)	96 gr. (3.4 onzas)	672 gr. (1.5 lbs.$_m$)	2.9 kg. (6.3 lbs.$_m$)	34.6 kg. (75.6 lbs.$_m$)
"paquete de azúcar" (4 gr.) por minuto	240 gr. (8.5 onzas)	6.2 kg. (13.8 lbs.$_m$)	43.7 kg. (96.3 lbs.$_m$)	187.2 kg. (412.7 lbs.$_m$)	2.2 t (2.5 tc)
“palada” 9 kg. (20 lbs.$_m$) por hora	9 kg. (20 lbs.$_m$)	216 kg. (480 lbs.$_m$)	1.5 t (1.7 tc)	6.5 t (7.2 tc)	77.8 t (86.4 tc)
“cangilón” 20 kg. (44 lbs.$_m$) por hora	20 kg. (44 lbs.$_m$)	480 kg. (1056 lbs.$_m$)	3.4 t (3.7 tc)	134.4 t (15.8 tc)	172.8 t (190 tc)
“palada” 9 kg. (20 lbs.$_m$) por minuto	540 kg. (1200 lbs.$_m$)	13 t (14.4 tc)	90.7 t (100.8 tc)	388.8 t (432 tc)	4665.6 t (5184 tc)

del Reino Unido por polvo, desorden y derrame en las plantas de manejo de materiales a granel, se examinaron ocho plantas en el Reino Unido que manejaban materiales como alúmina, coque, caliza, cemento y caolín. Los costos se han ajustado para reflejar un aumento anual por inflación. Este estudio, recopilado para la Institución de Ingenieros Mecánicos, estableció que los materiales fugitivos industriales agregan costos que equivalen a uno por ciento de pérdida de materiales y 40 centavos ($0.70 dólares) por tonelada de rendimiento. En resumen, por cada tonelada transportada en el transportador, hay una pérdida de 10 kilogramos (o 20 libras perdidas por cada tonelada corta de material) así como también costos indirectos adicionales significativos.

Este costo indirecto fue determinado sumando cuatro componentes. Estos componentes incluyen lo siguiente:

A. El valor del material perdido (calculado a uno por ciento del material)
B. El costo de la mano de obra dedicada a limpiar el derrame, el cual se promedió en 12.8 centavos ($0.22 dólares) por tonelada de producción.
C. El costo de las partes y mano de obra para mantenimiento adicional que surge por un derrame, el cual se promedió en 8.6 centavos ($0.15 dólares) por tonelada de producción.
D. Costos especiales característicos de industrias particulares como, por ejemplo, los costos de reprocesar el derrame y el costo de las revisiones médicas requeridas para el personal debido a ambientes con polvo, que representan 19.7 centavos ($0.33 dólares) por tonelada de producción.

Nota: esta pérdida incluye los materiales fugitivos que surgen de problemas como, por ejemplo, un derrame y material adherido a una banda transportadora junto con materiales fugitivos transportados por el aire desde las pilas de almacenamiento.

Un estudio similar de 40 plantas, realizado por el Instituto Real de Tecnología en Suecia, estimó que las pérdidas de material representarían dos décimas de 1 por ciento del material manejado y el costo agregado indirecto alcanzaría casi 13 coronas suecas ($2.02 dólares) por tonelada.

Es interesante que en ambos estudios fue la pérdida de material real y no las partes ni la mano de obra para la limpieza y mantenimiento la que agregó el mayor costo por tonelada transportada. Sin embargo, los costos indirectos de usar mano de obra para deberes de limpieza que toman mucho tiempo en vez de en la producción no se incluyeron en el estudio. Estas cifras serían difíciles de calcular.

Es más fácil calcular el costo real de interrumpir el sistema de un transportador que, por ejemplo, disminuye la cantidad de material procesado en un día. Si una banda funciona 24 horas al día, la pérdida de producción por cada hora debido a una pausa en la banda puede calcularse como la cantidad y el valor en el mercado del material no enviado de la capacidad total del sistema. Esto afecta los ingresos y ganancias de la planta.

La economía del control del material

El costo de los sistemas para controlar materiales fugitivos generalmente es considerado tres veces durante la vida útil de un transportador. La primera es durante el diseño del sistema, la segunda es en el arranque del sistema y la tercera es durante las operaciones en curso, cuando se descubre que los sistemas iniciales no previenen los materiales fugitivos.

A menudo es muy difícil, con instalaciones nuevas, predecir los requerimientos exactos para un control de material. En la mayoría de los casos, sólo puede hacerse una conjetura en base a la experiencia con materiales similares en transportadores similares, catalogando con juicios de ingeniería instintivos. Una premisa que vale recordar es: "una decisión que cuesta $1 para tomarse durante la etapa de planeación generalmente cuesta $10 para cambiarse en la etapa de diseño o $100 para corregirse en la planta". La lección: es mejor planear para los peores casos que forzar la instalación de equipo adicional después de descubrir que el sistema inicial fue mal diseñado.

Los detalles de los puntos de transferencia del transportador como, por ejemplo, el diseño final y la colocación de los deflectores de chutes, algunas veces se dejan a cargo del ingeniero de arranque. Puede ser ventajoso permitir a los proveedores de sistemas especializados ser los responsables de la ingeniería, instalación y arranque final (en la planta) de su propio equipo. Esto puede agregar costos de arranque adicionales, pero generalmente es la manera

más eficaz de tener una instalación correcta y una responsabilidad atribuible a una sola fuente por el desempeño del equipo.

Las plantas a menudo se construyen a una tasa de costo por tonelada de acero fabricado. Aun si los mejores controles que manejan materiales no se colocan en su lugar en el momento del diseño, cuesta un poco más asegurar que se instalen estructuras y chutes que permitan la instalación de sistemas superiores en una fecha en el futuro. Las consecuencias de las decisiones tomadas para ahorrar dinero en el diseño inicial son los problemas que acarrea esta decisión: materiales fugitivos y obstrucción del chute, combinado con el gasto adicional de hacerlo de nuevo.

REGISTRO DEL CONTROL TOTAL DEL MATERIAL

Mucha atención se pone a la ingeniería de los componentes clave de las bandas transportadoras. Muy a menudo se ignoran otros factores que afectan la confiabilidad y eficacia de estos costosos sistemas. El costo de los materiales fugitivos es uno de estos factores.

Llevar un registro del tema de materiales fugitivos no es parte de un reporte estándar realizado por el personal de operaciones o mantenimiento. La cantidad de un derrame, la frecuencia de la ocurrencia, los materiales de mantenimiento consumidos y los costos de mano de obra raramente se suman para llegar a un costo verdadero de materiales fugitivos. Los factores como las horas de mano de obra y frecuencia para la limpieza, el desgaste en el faldeo del transportador y la banda del transportador, el costo de reemplazar los rodillos, incluyendo el precio de compra, la mano de obra y los paros en producción, hasta la energía adicional consumida para sobreponer los cojinetes resistentes que se atascaron debido a acumulaciones de material deben calcularse para determinar el costo verdadero de los materiales fugitivos. Los componentes cuya vida útil puede acortarse por materiales fugitivos como, por ejemplo, rodillos, recubrimiento de una polea y la misma banda, deben examinarse para determinar su vida útil y ciclo de reemplazo.

Los programas de mantenimiento computarizados pueden fácilmente incluir un campo para la causa de la falla de cualquier pieza de repuesto. Los avisos desplegables en estos programas deben incluir las causas como derrame, entrada de polvo, entrada de agua y desgaste por abrasión del material (en caso de los rodillos). Esto permitiría un reporte generado por computadora de los costos en comparación con la causa de las fallas de los componentes. El programa debe incluir datos sobre los dispositivos de limpieza de banda y sellado de banda, para que puedan determinarse costos exactos del sistema instalado.

Algunos servicios de mantenimiento por contrato mantienen bases de datos de transportadores sobre los transportadores del cliente, registro de las especificaciones del sistema, detalles del estado del equipo y los procedimientos del servicio desempeñado. Esta información es útil para la programación de las actividades de mantenimiento preventivo y para determinar cuándo deben utilizarse recursos externos. Esta información puede usarse para mejorar el manejo del equipo y el presupuesto de una operación.

La medición de los materiales fugitivos en los puntos de transferencia es difícil. En un área cerrada, es posible usar dispositivos medidores de opacidad para juzgar la densidad relativa de polvo en el ambiente. Para los puntos de transferencia al aire libre, la medición del polvo es más desafiante aunque no imposible.

Una técnica básica es limpiar un área definida y ponderar o estimar el peso o volumen del material limpiado y el tiempo empleado en la limpieza. El seguimiento se realiza con limpiezas repetidas después de intervalos de tiempo regulares. Si este intervalo debe realizarse semanalmente, diariamente o cada hora dependerá de las condiciones de la planta.

Lo que será más difícil determinar es el punto de origen de los materiales perdidos. Los materiales fugitivos pueden originarse como material adherido al transportador, derrame debido a la desalineación de la banda, fuga en el sello del faldeo, derrame debido a una sobrecarga o carga descentralizada, fugas por orificios en el chute provocados por corrosión o pernos ausentes, o hasta de los pisos superiores.

El individuo que realiza un estudio de material fugitivo debe tener en cuenta el número de variables que pueden influir en los resultados. Esto requiere que el estudio se realice durante un tiempo razonable e incluir la mayoría de

las condiciones de operación comunes, que incluyen: condiciones ambientales, programa operativo, contenido de humedad en el material y otros factores que crean o complican los problemas con los materiales fugitivos.

Llevar un registro de la cantidad del derrame —y los costos de mano de obra, partes y paros de producción asociados con él— debe ser una parte clave del sistema de información administrativa para la operación de bandas transportadoras. Sólo cuando se tienen dichos registros que cubren un período de operación parecerá razonable un estudio de ingeniería sobre materiales fugitivos y recomendaciones para el control total del material.

Para muchos sistemas de un transportador, los costos asociados con materiales perdidos fácilmente justificarán las medidas correctivas. En la mayoría de los casos donde se han mantenido registros adecuados, se ha demostrado que una mejora modesta en el control del material pagará rápidamente los costos de instalar sistemas mejorados. Tan solo el ahorro en mano de obra a menudo compensa el costo en menos de un año de cualquier instalación de equipo modificado.

TEMAS AVANZADOS

El manejo de riesgos y el riesgo de manejar

Muchos países están empezando a considerar a la gerencia como responsable del fracaso en la mitigación de condiciones como derrames y polvo ocasionados por transportadores mal diseñados, operados o mantenidos. En Australia, por ejemplo, la pena máxima por no aplicar una acción correctiva a un problema conocido que provoca la muerte o una lesión corporal grave es una multa de $60,000 (dólares australianos) y dos años de prisión para el gerente, así como también una multa de $300,000 (dólares australianos) para la compañía. No hay duda de que un número significativo de accidentes alrededor de los transportadores se relacionan directamente con la limpieza de derrames y material adherido, y también se sabe que hay métodos y productos para controlar estos problemas. Por lo tanto, cualquier gerente que decide ignorar estos problemas y, como resultado, arriesga la salud de los trabajadores corre el riesgo de estas multas.

El uso de un formato de "Análisis de Peligros" industrial estándar —para determinar la probabilidad y consecuencia del nivel de "peligros" experimentados en la limpieza de derrames y material adherido debajo y alrededor de los transportadores— proporciona una determinación del riesgo de los empleados y gerentes **(Tabla 1.2)**.

La mayoría de los operadores y el personal de mantenimiento evaluaría la "Probabilidad" de un incidente de seguridad al limpiar un derrame y material adherido abajo y alrededor de las bandas transportadoras como "B: Ha ocurrido o casi ha ocurrido" o "C: Pudo ocurrir o he escuchado que ocurrió", con la "Consecuencia a las personas" clasificada como "2: Lesión grave". Al mover estos valores de "Probabilidad" y "Consecuencia a las personas" hasta el "Nivel del calculador de riesgo", una clasificación de Nivel 5 o Nivel 8 coloca a las actividades de limpieza en la categoría de "Riesgo extremo" de sufrir una lesión grave **(Tabla 1.2)**.

Estas clasificaciones demuestran una situación en donde el manejo de riesgos del gerente de operaciones significa que debe ejercerse una diligencia adecuada al implementar sistemas para eliminar o minimizar estos peligros.

Así pues, los gerentes deben hacer todo lo posible para eliminar las ocasiones (como la limpieza del transportador) que pueden lesionar a los empleados, tanto por el bienestar de sus empleados como para reducir sus propios riesgos personales.

LA OPORTUNIDAD DE UN CONTROL TOTAL DEL MATERIAL

En resumen...

Al comprender los costos derivados de materiales fugitivos, es obvio que controlar los materiales de los transportadores y puntos de transferencia puede proporcionar mayores beneficios a las bandas transportadoras y a las operaciones que dependen de estos transportadores. Este control ha sido difícil de lograr y más difícil aún de retener.

Se requiere un método planeado y mantenido para ayudar en el control total del material. Ésta es una oportunidad para reducir costos y aumentar la eficacia y rentabilidad de muchas operaciones.

El control total del material significa que los

materiales se mantienen en la banda y dentro del sistema. Los materiales se transportan —a donde se necesitan, en la condición que se necesitan, a la tasa de flujo que se necesita— sin pérdida o exceso de consumo de energía y sin fallas prematuras en el equipo o costos de mantenimiento excesivos. El control total del material mejora la eficacia de la planta y reduce el costo de propiedad.

Este libro presenta muchos conceptos que pueden usarse en un programa para lograr un control total del material en las bandas transportadoras.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre el Control total del material, el primer capítulo en la sección de Fundamentos del manejo seguro de los materiales a granel, presentó la necesidad y beneficios de reducir los derrames y el polvo. El siguiente capítulo, Seguridad, explica la importancia de las prácticas seguras alrededor del equipo de manejo de materiales a granel así como también maneras en que el control total del material aumentará la seguridad en la planta.

Referencias

1.1 Engineering Services & Supplies PTY Limited. Australian Registration #908273, Total Material Control and Registration #716561, TMC.

1.2 Environment Australia. (1998). *Best Practice Environmental Management in Mining: Dust Control*, (ISBN 0 642 54570 7).

Tabla 1.2

Sistema de matriz de riesgos

Paso 1: Probabilidad		Paso 2: Consecuencia a las personas		Paso 2: Consecuencia a la planta, propiedad, productividad y ambiente
A	Diario: ocurrencia común o frecuente	1	Fatalidad, discapacidad permanente	Peligro extremo, reorganización extrema del negocio. Daño ambiental importante.
B	Semanal: ha ocurrido o casi ha ocurrido	2	Lesión o enfermedad grave (tiempo perdido)	Daño de alto nivel, reorganización significativa del negocio. Daño ambiental serio.
C	Mensualmente: pudiera ocurrir o he escuchado que ocurrió	3	Discapacidad o lesión a corto plazo (tiempo perdido)	Daño de nivel medio, interrupción seria de la producción. Daño ambiental reversible.
D	Anualmente: no es probable que ocurra	4	Lesión con tratamiento médico	Daño de nivel bajo, interrupción leve de la producción. Daño ambiental menor.
E	Una vez cada 5 años: prácticamente imposible	5	Primeros auxilios o sin lesión	Daño por negligencia, interrupción mínima de la producción. Sin daño ambiental.

Paso 3: Nivel del "calculador" de riesgo—calcular el riesgo

	A	B	C	D	E
1	1 EXTREMO	2 EXTREMO	4 EXTREMO	7 EXTREMO	11 SIGNIFICATIVO
2	3 EXTREMO	5 EXTREMO	8 EXTREMO	12 SIGNIFICATIVO	16 MODERADO
3	6 EXTREMO	9 SIGNIFICATIVO	13 SIGNIFICATIVO	17 MODERADO	20 MODERADO
4	10 SIGNIFICATIVO	14 SIGNIFICATIVO	18 MODERADO	21 BAJO	23 BAJO
5	15 SIGNIFICATIVO	19 MODERADO	22 BAJO	24 BAJO	25 BAJO

Ejemplo típico de un sistema de matriz de riesgos como se usa en Australia, origen desconocido.

2

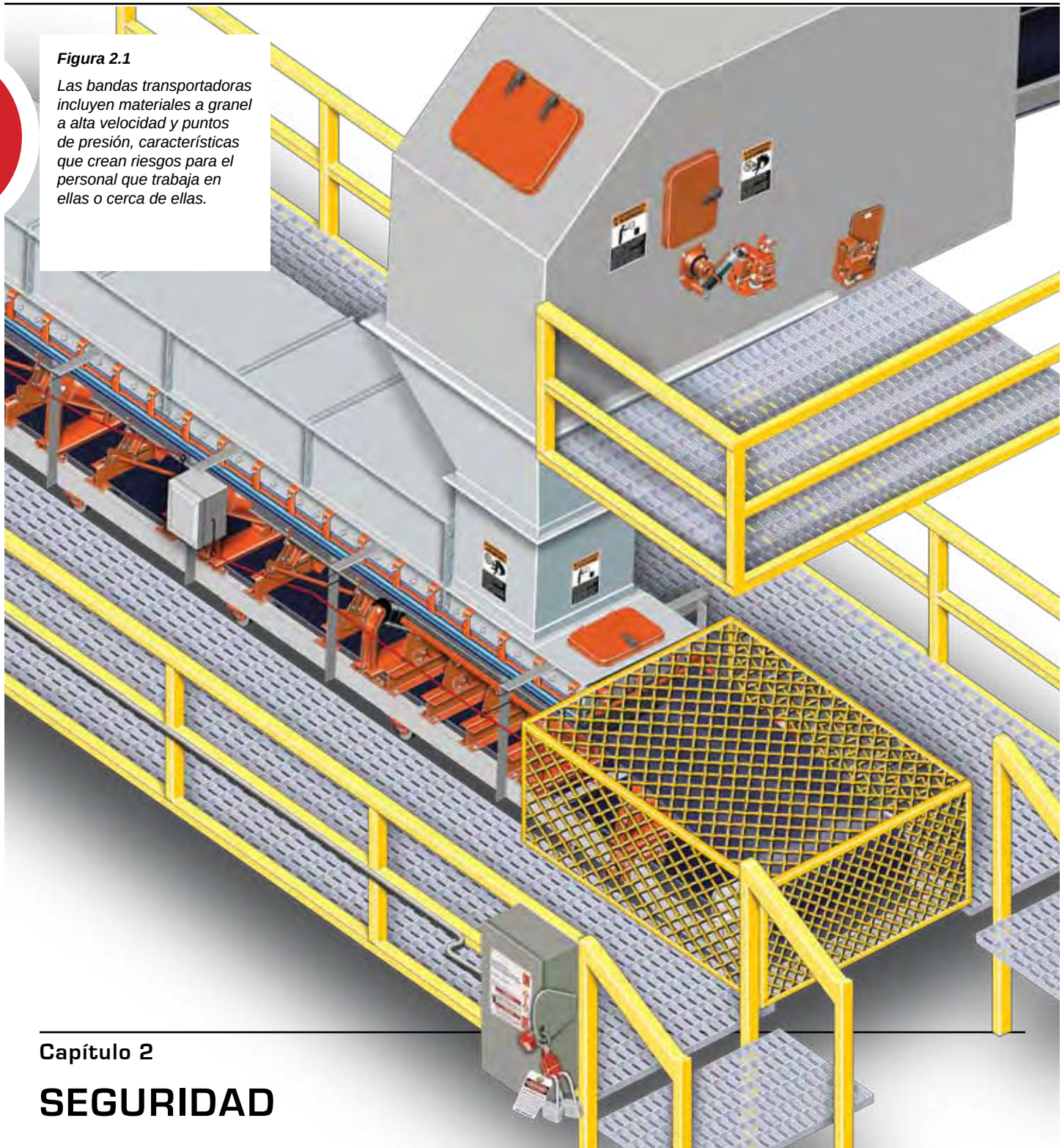


Figura 2.1

Las bandas transportadoras incluyen materiales a granel a alta velocidad y puntos de presión, características que crean riesgos para el personal que trabaja en ellas o cerca de ellas.

Capítulo 2

SEGURIDAD

El registro y los problemas 15
Prácticas de seguridad de un transportador 18
Capacitación sobre seguridad 23
La importancia de la responsabilidad del personal 24
Temas avanzados 25
Beneficio doble de la seguridad de un transportador 25

En este capítulo...

En este capítulo, nos concentramos en la importancia de las prácticas de seguridad y la capacitación de quienes trabajan con transportadores o alrededor de estos. Se examinan las causas potenciales de los accidentes, así como sus costos, tanto directos como indirectos. Se describen los procedimientos generales de seguridad, así como prácticas de seguridad específicas. También se discutirá la importancia de una capacitación adecuada para empleados nuevos y veteranos, y el contenido apropiado de dicha capacitación. El capítulo concluye con una revisión de la responsabilidad del personal requerida para evitar accidentes en los transportadores y alrededor de estos.

Los transportadores aplican grandes cantidades de energía mecánica a lo que básicamente es una banda de caucho gigante, estirada fuertemente y enroscada a través de un laberinto de componentes **(Figura 2.1)**. La banda es agobiada con una carga pesada y después jalada a alta velocidad. Las fuerzas aplicadas son considerables y potencialmente peligrosas. Por su misma naturaleza, las bandas transportadoras incluyen materiales a granel a alta velocidad y puntos de presión. Estas características pueden crear riesgos al personal que trabaja en las bandas transportadoras o cerca de ellas. Cualquier persona que debe estar cerca de una banda transportadora siempre debe estar consciente de la potencia de ese sistema y mantener un respeto saludable por su potencial para lesionar o quitarle la vida a un individuo desprevenido o sin capacitación.

El sistema de un transportador puede tener un impulso de 450 kilowatts de potencia (600 hp) así como toda la inercia y energía potencial de su carga de toneladas de material. Es fácil ver cómo una banda transportadora en movimiento fácilmente podría jalar a un trabajador, ocasionándole una lesión grave o la muerte.

Todas las formas de transporte a granel, desde camiones de carga en minas hasta trenes y barcos, tienen su propios peligros y aspectos de seguridad. Aunque también presentan algunos riesgos, los transportadores adecuadamente diseñados, operados y mantenidos pueden proporcionar un método seguro y eficaz para el movimiento del material.

Los accidentes ocurren, pero también pueden prevenirse. La seguridad de un transportador empieza con diseños que eviten peligros predecibles. La gerencia debe especificar equipo que sea seguro y fácil de mantener, y los trabajadores deben seguir las reglas. El establecimiento y mantenimiento de prácticas de seguridad en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los transportadores y sus puntos de transferencia ayudará en gran medida a la prevención de accidentes. Una capacitación apropiada es la clave para promover la seguridad en trabajadores cuyo trabajo requiere que estén próximos a los sistemas de bandas transportadoras.

EL REGISTRO Y LOS PROBLEMAS

La relación entre la seguridad del transportador y el polvo y los derrames

El material fugitivo de las bandas transportadoras aumenta los riesgos de seguridad en muchas formas **(Figura 2.2)**. El material fugitivo crea la necesidad de que el personal limpie y dé mantenimiento a los transportadores o alrededor de estos. Colocar personal cerca de la banda en movimiento crea la oportunidad de que un contacto accidental se convierta en una lesión grave o la muerte **(Figura 2.3)**.

Figura 2.2

El material fugitivo aumenta los riesgos de seguridad del personal que trabaja en los transportadores o alrededor de estos.

Figura 2.3

El personal que trabaja cerca de una banda en movimiento crea la oportunidad de un contacto accidental que puede terminar en una lesión grave o la muerte.

Los transportadores y la seguridad: una mirada a la historia

Debido al tamaño de su carga de material, la velocidad de su operación y la cantidad de energía que consumen y contienen, los transportadores representan un conjunto único de peligros. Como resultado, los transportadores han demostrado ser una causa principal de accidentes industriales, incluyendo lesiones graves y muertes.

Un reporte de la Administración de Salud y Seguridad en Minas (MSHA) en Estados Unidos analizó los accidentes por transportadores en minas de metal/no metal registrados durante un período de cuatro años de 1996 al 2000. El reporte de MSHA *(Referencia 2.1)* incluyó las siguientes actividades laborales relacionadas con estos accidentes:

A. Trabajar debajo o a un lado de un equipo con guardas mal colocadas
B. Uso de manos o herramienta para quitar material de los rodillos en movimiento
C. Intentar liberar los rodillos atascados mientras el transportador está en movimiento
D. Intentar quitar o instalar guardas en un transportador en operación
E. Intentar quitar material de la polea de cola o de cabeza mientras la banda está en operación
F. Usar prendas sueltas alrededor de bandas transportadoras en movimiento
G. No bloquear la banda transportadora atascada antes de desconectar (las bandas planas e inclinadas) puesto que se almacena energía en una banda transportadora atascada
H. Extender la mano atrás de la guarda para jalar la banda en V y así iniciar la banda transportadora

Un análisis del documento *(Referencia 2.1)* que cubre un total de 459 accidentes de los cuales 22 fueron discapacitantes y 13 fueron letales, muestra que 192 (42 por ciento) de las lesiones reportadas (incluyendo 10 fatalidades) ocurrieron mientras el trabajador lesionado daba mantenimiento, aplicaba lubricante o revisaba el transportador. Otras 179 (39 por ciento) de las lesiones reportadas (incluyendo 3 fatalidades) ocurrieron mientras el sujeto estaba limpiando o usando una pala cerca de las bandas transportadoras **(Tabla 2.1)**.

El reporte de la MSHA no encontró una diferencia en la probabilidad de accidentes en base a la edad, experiencia o puesto de la víctima del accidente.

Un estudio preliminar de 233 accidentes letales en minas en Estados Unidos durante los años 2001 a 2008 reveló que hubo 48 fatalidades en 47 incidentes relacionados con transportadores *(Referencia 2.2)*. Los datos fueron compilados de reportes de la Administración de Salud y Seguridad en Minas del Departamento de Trabajo de Estados Unidos.

Las principales actividades mencionadas con más frecuencia que conllevan a fatalidades relacionadas con transportadores en primer lugar son el mantenimiento, por ejemplo, reemplazar rodillos o instalar la banda o desatascar bloqueos, con 35 por ciento (o 17 muertes), y en segundo lugar la limpieza, por ejemplo, limpiar con pala, enjuagar derrames o despejar acumulaciones de un rodillo, con 27 por ciento (13 muertes). Muchas de estas fatalidades son el resultado de una víctima que se atoró en la banda en movimiento al acercarse demasiado a un punto de atrapamiento sin guarda o al trabajar en un transportador en movimiento.

En Sudáfrica, el reporte del Comité del Consejo de Investigación sobre la Seguridad en Minas de los Sistemas de Bandas Transportadoras examinó más de

Tabla 2.1 **Datos de accidentes por transportadores de la MSHA de 1996 a 2000**

Causa de la lesión	Letal	No letal	Total
Atrapado en una banda en movimiento	10	280	290
Mantenimiento, lubricación o inspección	10	182	192
Limpieza y paleado	3	176	179
Total*	**13**	**446**	**459**

**Nota: la cifra total en cada columna no es la suma de esa columna puesto que puede haber varios casos citados por cualquier accidente específico (Referencia 2.1).*

LOS TRANSPORTADORES PUEDEN SER MORTALES

A medida que él recorría la longitud de la banda transportadora larga de 45 metros (150 pies) que corría desde la quebradora hasta el contenedor de almacenamiento, notó que la polea de ajuste estaba endurecida con suciedad. Había trabajado en el molino durante 10 años y en todo ese tiempo el raspador en la polea de cabeza que debe mantener limpia la banda necesitaba ajustarse constantemente. Bueno. Lo arreglaría después. Primero debía limpiar la polea de ajuste.

El operador de la quebradora no estaba en su puesto y tanto la quebradora como el transportador estaban apagados. Él regresó a la caja de control, encendió el transportador, luego consiguió un cargador frontal y lo condujo hacia la polea de ajuste. Elevó el cangilón del cargador a la altura suficiente para alcanzar la polea. Tomó una herramienta, un azadón ordinario con una agarradera cortada a 40 centímetros (16 pulgadas), subió al cangilón y empezó a raspar la suciedad para quitarla de la polea. Lo había hecho de esta manera varias veces anteriormente y era mucho más fácil cuando la polea estaba girando. Y la banda se movía a sólo 2.3 metros por segundo (450 pies/min.), sólo 8 kilómetros por hora (5 mph) aproximadamente.

Antes de que se diera cuenta, algo pareció agarrar primero la herramienta y luego su brazo y lo sacó de un tirón del cangilón. El dolor de su brazo al ser aplastado duró sólo hasta que su hombro y cuello llegaron a la estructura del transportador. Murió instantáneamente. Tenía 37 años.

Esta historia no es ficción. Tampoco es la única que se puede elegir. Hay numerosos casos de este tipo disponibles. Los transportadores matan con mucha frecuencia o amputan, cortan o aplastan.

Puesto que los transportadores son muy comunes, es fácil confiarse y bajar la guardia. Y aproximadamente a 8 kilómetros por hora (5 mph) no parecen moverse muy rápidamente. Es fácil creer que la víctima de esta historia pudo simplemente haber soltado la herramienta cuando ésta se atoró. No es así.

Ocho kilómetros por hora (5 mph) corresponden aproximadamente a 2.2 metros por segundo (7.3 pies/s). A esa velocidad, si su tiempo de reacción es tres cuartos de un segundo, su mano recorrería 1.6 metros (5.5 pies) antes de poder soltar la herramienta. Aun si su tiempo de reacción fuera muy rápido, tres décimas de un segundo, su mano recorrería 660 milímetros (26 pulgadas). Es suficiente distancia para quedar atrapado si está usando una herramienta corta. Y si se enreda una prenda holgada, entonces no importa cuál sea su tiempo de reacción. Será demasiado tarde.

Reimpreso con el permiso del boletín "Recordatorio de Seguridad", publicado por la Asociación de Seguridad de Recursos Naturales de Ontario (Referencia 2.4). (La conversión de las medidas fue agregada por Martin Engineering).

3000 accidentes (incluyendo 161 fatalidades provocadas por bandas transportadoras) entre 1988 y 1999 *(Referencia 2.3)*. Los hallazgos fueron los mismos encontrados en el reporte de la MSHA mencionado anteriormente, además el documento observó que las "personas que trabajaban en transportadores en movimiento, con guardas inadecuadas y bloqueos ineficaces sobresalían como las causas principales de los accidentes por transportador". Según el reporte, las lesiones resultan con más frecuencia en personas que trabajan en la polea de cola, polea de cabeza, rodillos y chute de carga.

El costo de los accidentes por transportadores

Algunos de los costos directos que surgen de los accidentes, como el tratamiento médico, salarios perdidos y reducción de productividad, pueden identificarse. Los gastos menos evidentes asociados con los accidentes se conocen como costos "indirectos" u "ocultos"

y pueden ser varias veces mayores que el valor de los costos directos. Estos costos ocultos incluyen:

A. Gasto y tiempo en encontrar un reemplazo temporal para el trabajador lesionado
B. Tiempo dedicado por otros empleados a ayudar al trabajador lesionado
C. Tiempo dedicado por la supervisión para investigar el accidente, preparar reportes de accidentes y hacer los ajustes a los programas de trabajo
D. Daño a las herramientas, materiales y equipo
E. Retrasos en la realización de las tareas

En el 2005, el Consejo de Seguridad Nacional en Estados Unidos señaló que el costo de una muerte relacionada con el trabajo era de $1,190,000 dólares y el costo de una lesión discapacitante se evaluó en $38,000 dólares. Su contabilidad incluye las pérdidas de salario y productividad, gastos médicos y gastos administrativos. Las cifras no incluyen ninguna estimación de los daños a la propiedad.

Es fácil ver que hasta una pequeña reducción en el número de accidentes relacionados con un transportador puede ahorrar una cantidad significativa de dinero en una operación.

PRÁCTICAS DE SEGURIDAD DE UN TRANSPORTADOR

Prácticas generales de seguridad de un transportador

Existen ciertas prácticas de seguridad que deben seguirse sin importar el diseño del transportador o las circunstancias de su operación. Como:

A. Procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación

Los procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación deben establecerse en todas las fuentes de energía de la banda transportadora, así como de los accesorios del transportador y equipo del proceso asociado. Los materiales a granel en la banda pueden representar un peligro por terrones que caen o energía potencial que puede provocar que el transportador se mueva aun cuando se ha desactivado el sistema. El bloqueo y etiquetado solos no son suficientes para garantizar la seguridad de un trabajador; por lo tanto, es importante que después de bloquear y etiquetar, el trabajador suprima el transportador (suspensión) y haga una prueba para asegurarse de que éste no pueda moverse (comprobación). Estos procedimientos deben seguirse antes de empezar cualquier trabajo, ya sea de construcción, instalación, mantenimiento o inspección en el área.

B. Programa de inspección/mantenimiento

Un programa formal de inspección y mantenimiento debe desarrollarse y seguirse en un sistema de manejo de material. Este programa debe incluir interruptores, luces, bocinas, cableado y etiquetas de advertencia así como las partes móviles del transportador y los componentes de los accesorios.

C. Observación de la velocidad y capacidad operativa

La velocidad y capacidad operativa diseñada para los transportadores, chutes y otro equipo que maneja material no deben excederse.

D. "Recorrido" de seguridad

Todas las herramientas y materiales de trabajo deben retirarse de la banda y chute antes de reiniciar un transportador. Se recomienda realizar un recorrido de seguridad antes de reanudar la operación de un transportador.

E. Controles de emergencia

Todos los controles de emergencia deben estar cerca del sistema, tener un acceso fácil y estar libres de basura y obstrucciones.

F. Equipo de protección personal (EPP) y atuendo

El equipo de protección personal y atuendo adecuado, en conformidad con los requerimientos locales (a menudo incluyen casco, lentes de seguridad y zapatos con punta de acero) deben usarse en el área del transportador. Las prendas sueltas o abultadas están prohibidas, así como el uso de cabello largo suelto y joyería.

G. Prácticas seguras mientras el sistema está en operación

Es importante nunca pinchar, picar o introducir la mano en un transportador o cualquier otro sistema de manejo de material o intentar limpiar o ajustar los rodillos u

otros componentes mientras el sistema está operando.

H. No debe haber personal en el transportador

Nunca se debe permitir al personal sentarse, cruzar o montar un transportador en operación que maneja material. (En algunas partes del mundo, las bandas transportadoras de personal son un método aceptable para que los trabajadores lleguen a sus áreas asignadas; en otras regiones, esto está estrictamente prohibido. Para simplificar las cosas, este volumen considerará los transportadores de personal como un tema independiente de la discusión de bandas transportadoras para materiales a granel).

Estándares de seguridad para el diseño y operación de los transportadores

Las prácticas anteriores no pretenden reemplazar los lineamientos de seguridad más detallados publicados por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) en el Estándar B20.1-2006 de ASME *Estándar de seguridad para transportadores y equipo relacionado* y B15.1 *Estándar de seguridad para aparatos de transmisión de energía mecánica* en Estados Unidos por agencias regulatorias y de seguridad apropiadas en todo el mundo o las reglas de una planta específica. Consulte esas referencias así como las instrucciones de seguridad proporcionadas por los fabricantes de sistemas específicos.

En Australia, la especificación AS1755-2000 *Equipo de seguridad de un transportador* del Estándar de Australia (AS) aplica al diseño, construcción, instalación y protección de los transportadores y sistemas relacionados para el transporte de materiales.

Estas referencias y/o sus equivalentes nacionales o internacionales deben consultarse como una guía para el diseño y construcción de cualquier sistema de banda transportadora.

Sistemas eléctricos y seguridad de un transportador

Los sistemas eléctricos de los transportadores a menudo incluyen altos voltajes y controles complejos así como sistemas de comunicación. El oficio del electricista es casi siempre considerado como un grupo aparte dentro del departamento de mantenimiento de la planta. Sólo los trabajadores que están especialmente capacitados y certificados deben trabajar en el suministro eléctrico del transportador y los sistemas de control.

Evaluación de seguridad antes del trabajo

Antes de comenzar cualquier trabajo en las bandas transportadoras, se recomienda realizar una evaluación de seguridad. Esta evaluación debe incluir todo el equipo que puede entrelazarse con la pieza real del equipo a la que se dará mantenimiento. Esta evaluación previa al trabajo debe garantizar que toda el área sea segura para los trabajadores y el equipo necesario esté disponible para realizar el trabajo de manera segura. Además, la inspección de seguridad previa al trabajo debe incluir una inspección minuciosa del área de trabajo circundante para buscar peligros de incendio, peligros de tropiezo u objetos en caída.

Un elemento a menudo ignorado en la inspección de seguridad previa al trabajo es la coordinación de todas las actividades de los empleados en la banda transportadora. Por ejemplo, los trabajadores en el chute de cabeza que cambian las hojas del limpiador de banda pueden lesionarse si los trabajadores que cambian la banda la mueven.

Procedimientos de bloqueo/etiquetado

Una parte crucial de un programa de seguridad del transportador es el procedimiento de bloqueo/etiquetado. En Estados Unidos, el bloqueo/etiquetado es un requerimiento de la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA); la MSHA adoptó una versión similar de esta regla. Para lograr tener una seguridad completa en caso de una posible energía almacenada en la tensión de la banda o

Figura 2.4

Las reglas de bloqueo/etiquetado requieren que la persona que realizará el trabajo en el sistema desconecte la energía eléctrica del sistema de un transportador (y cualquier equipo de accesorio), bloquee y etiquete el sistema.

materiales a granel elevados, se recomiendan los componentes adicionales de suspensión y comprobación.

Las reglas de bloqueo/etiquetado requieren que la persona que realizará el trabajo en el sistema desconecte la energía eléctrica de un transportador (y cualquier equipo accesorio), bloquee y etiquete el sistema **(Figura 2.4)**. Sólo la persona que bloqueó el sistema puede desbloquearlo. Esto impide que alguien arranque la banda transportadora accidentalmente mientras alguien más está trabajando en ella.

Los típicos procedimientos de bloqueo/etiquetado son los siguientes:

A. Candado propio

Cada trabajador debe colocar un candado personal en el interruptor o interruptores de desactivación. Esto puede requerir una barra de seguridad o varias barras de seguridad **(Figura 2.5)**.

B. Llave propia

Sólo el empleado que coloca cada candado tiene la llave para éste y sólo ese empleado puede quitar el candado.

Figura 2.5

Colocar un candado en el sistema de energía del transportador evitará que alguien inicie la banda transportadora accidentalmente mientras alguien está trabajando en ella.

Figura 2.6

El dispositivo para sujetar la banda debe asegurarse a un miembro estructural del transportador capaz de restringir las fuerzas esperadas y no a un rodillo.

C. Varios candados

Si varios empleados están trabajando en un área, cada uno debe colocar un candado en la fuente de poder. Algunos equipos tendrán varias ubicaciones que requieren bloquearse.

D. Etiqueta propia

Cada empleado que coloca un candado debe además colocar una etiqueta que incluya el nombre del empleado y la información de contacto.

Procedimientos de suspensión

Aun cuando una banda transportadora se ha bloqueado y etiquetado apropiadamente, puede haber una cantidad significativa de tensión o energía potencial presente en el sistema. Un caso fácil de entender es si una banda inclinada tuvo un paro de emergencia con material cargado en la banda. El peso del material ocasionará que la banda avance hacia atrás. Tanto el movimiento de la banda como la cascada potencial de material cuesta abajo hacia el extremo del transportador son un riesgo de lesión para un empleado desafortunado o desprevenido.

Levantar el contrapeso del ajuste de gravedad puede no liberar estas tensiones: no debe confiarse demasiado en este método. Los frenos y topes de retención adecuadamente instalados pueden evitar que la banda avance hacia atrás. Sin embargo, una planta no debe depender de estos topes o frenos para evitar que una banda se mueva sola. Ha habido casos en los que la banda se movió debido a las tensiones internas de estiramiento de la banda.

Los chutes bloqueados, el material atrapado en las zonas de carga, el material debajo de la banda u otros cojinetes defectuosos pueden detener la banda lo suficiente para crear tensiones considerables en ella. La banda puede moverse en cualquier dirección en base a las condiciones presentes en el momento del trabajo, estas condiciones pueden cambiar a medida que avanza el trabajo, y de hecho lo hacen.

Si se requiere que los empleados estén en la banda o cerca de puntos de atrapamiento en el transportador, ésta debe restringirse físicamente para evitar que se mueva por sí sola. A esto se le llama "suspender" la banda transportadora o suspensión. Las abrazaderas de la banda, cadenas y trinquete a polea pueden usarse

para frenar la banda físicamente asegurando el dispositivo de bloqueo a un miembro estructural del transportador capaz de restringir las fuerzas esperadas **(Figura 2.6)**.

Se recomienda que se compre el equipo de ingeniería que se sujetará de manera segura a la banda para impedir el movimiento.

Procedimientos de comprobación

Un procedimiento de comprobación proporciona una revisión final para garantizar que el sistema esté seguro y desactivado antes de continuar con el trabajo. Es una buena práctica intentar iniciar la banda transportadora o el equipo interbloqueado después de colocar un candado de bloqueo. Esto debe incluir las estaciones locales de inicio/paro y los controles remotos del sistema. Esto asegura que los interruptores correctos se hayan desactivado.

Guardas del equipo

Es importante que los puntos de atrapamiento, en el equipo giratorio como las poleas de cabeza y el equipo que permite movimientos repentinos, como los ajustes de gravedad, sean equipados con guardas para evitar una invasión accidental o imprudente de los empleados **(Figura 2.7)**.

Se está volviendo más común que los transportadores sean totalmente cerrados en las barreras de guardas a lo largo de los pasillos para proteger al personal que requiere usarlos **(Figura 2.8)**. Estas guardas son fabricadas con malla o rejilla de metal que permite observar las partes móviles y los puntos de atrapamiento impidiendo que el personal se acerque demasiado, ya que esto representa un riesgo de lesión **(Figura 2.9)**.

Aunque cada nación tiene requerimientos que deben cumplirse en cuanto a la colocación adecuada de guardas en el equipo, los requerimientos locales e industriales también deben ser investigados a fondo e implementados.

Al mismo tiempo, debe recordarse que debe proporcionar acceso para mantenimiento a las diferentes piezas del equipo. Las barreras físicas instaladas para proteger este equipo deben diseñarse cuidadosamente o interferirán con la eficacia del mantenimiento. Para retirar las guardas debe usarse una herramienta especial para así evitar que individuos sin capacitación

Figura 2.7

Los puntos de atrapamiento en el equipo giratorio, como las poleas de cabeza, y el equipo que permite movimientos repentinos, como los ajustes de gravedad, deben ser equipados con guardas para evitar una invasión accidental o imprudente de los empleados.

Figura 2.8

Se está volviendo más común que los transportadores sean totalmente confinados con barreras de guardas a lo largo de los pasillos para proteger al personal que requiere usarlos.

Figura 2.9

Las guardas son fabricadas con malla o rejilla de metal que permite al personal observar las partes móviles del transportador y puntos de atrapamiento sin acercarse demasiado, evitando riesgos de lesión.

Figura 2.10

Para proteger al personal que trabaja cerca de la banda, el transportador debe equiparse con interruptores de paro de emergencia con "cuerda de emergencia".

entren al sistema. Las guardas deben ser suficientes para impedir que un empleado introduzca la mano por las guardas para acceder al punto de atrapamiento.

Después de terminar los procedimientos de mantenimiento, es importante que las guardas se regresen a la posición que tenían antes de reiniciar un transportador.

Interruptores de paro de emergencia

Para proteger al personal que trabaja cerca de la banda, el transportador debe equiparse con interruptores de paro de emergencia con "cuerda de emergencia". Estos interruptores de seguridad deben montarse de manera cómoda a lo largo de los pasillos del transportador y derechos de paso **(Figura 2.10)**. El sistema debe cubrir la extensión total de ambos lados del transportador si hay un acceso o un pasillo en ambos lados de la banda. Los interruptores deben conectarse al sistema de energía de la banda de manera que en caso de una emergencia, al jalar la cuerda se interrumpa la energía al transportador y se detenga la banda.

En 1995, la MSHA de Estados Unidos alertó a los operadores de minas sobre posibles fallas en los sistemas de cordón de emergencia para el paro de emergencia a lo largo de los transportadores. Después de probar más de 1100 sistemas, MSHA notó una tasa de falla del dos por ciento. MSHA atribuyó estos problemas a varios factores:

A. Derrame alrededor del interruptor que impide la desactivación del transportador
B. Cuerdas de emergencia rotas o demasiada holgura en las cuerdas
C. Cojinetes giratorios inmóviles donde el eje del interruptor entra al compartimiento
D. Falla de los interruptores eléctricos dentro del compartimiento
E. Cableado incorrecto del interruptor o circuitos de control

La solución a este problema es una atención adecuada al mantenimiento y simulacros de prueba similares a los simulacros de incendio en una escuela, cuando la operación del equipo de seguridad se pueda revisar. Estas pruebas deben realizarse mensualmente.

Señalización de seguridad

Deben colocarse calcomanías de seguridad y etiquetas de advertencia en los puntos de atrapamiento, puertas de acceso para mantenimiento y otras áreas peligrosas en el equipo de un transportador **(Figura 2.11)**. Es responsabilidad del fabricante suministrar, y cuando sea posible aplicar, advertencias de seguridad al equipo. Estos avisos deben estar limpios y legibles, y deben reaplicarse apropiadamente para adecuarse a los cambios en el equipo o procedimientos. Es responsabilidad de la gerencia de operaciones reemplazar las advertencias de seguridad desgastadas, dañadas o ilegibles. Es responsabilidad del empleado obedecer los avisos de seguridad.

Los avisos que advierten que el equipo puede iniciarse de manera remota deben colocarse de manera perceptible a lo largo del transportador. Muchas veces las bandas transportadoras arrancan automáticamente o cuando son activadas por un operador en un cuarto de control remoto que no está cerca del transportador.

Los chutes que tienen dispositivos promotores de flujo como cañones de aire, que pueden lesionar gravemente a los empleados cuando se descargan, deben marcarse claramente. Esta situación también requiere que el chute se marque con avisos prohibiendo la entrada. Los promotores de flujo deben desactivarse y bloquearse / etiquetarse / suprimirse / comprobarse apropiadamente y los chutes deben limpiarse antes de entrar a estos.

Las calcomanías y los avisos de seguridad están disponibles a través de prestigiosos fabricantes de transportadores y equipo relacionado así como también proveedores industriales de seguridad. En Estados Unidos, la Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas Transportadoras (CEMA) tiene una variedad de etiquetas de seguridad y precaución disponibles para transportadores de material a granel y varios accesorios comunes. Estas

Figura 2.11

Deben colocarse calcomanías de seguridad y etiquetas de advertencia en los puntos de atrapamiento, puertas de acceso para mantenimiento y otras áreas peligrosas en el equipo de un transportador.

etiquetas pueden verse y ordenarse en el sitio web de la organización en http://www.cemanet.org.

Los avisos que incorporan pictogramas pueden ser requeridos para proteger a todos los trabajadores de las plantas donde se hablan varios idiomas **(Figura 2.12)**. Si se requiere, la traducción de los mensajes en los avisos de seguridad debe realizarse de manera local para asegurar el significado exacto. (La Organización Internacional de Estandarización tiene la meta de eliminar palabras que necesitan traducción y usar avisos que incorporen únicamente dibujos).

Consideraciones de seguridad en el arranque de un transportador nuevo

El tiempo de arranque de transportadores nuevos puede ser uno de los momentos más peligrosos, puesto que el sistema no puede comportarse como se esperaba y el equipo de seguridad como las sirenas de arranque y los avisos, pueden no funcionar adecuadamente. Se recomienda que varios observadores se posicionen a lo largo del trayecto del transportador antes de iniciar la banda. Deben tener comunicación por radio con el cuarto de control o la persona que arranca la banda transportadora.

Los ajustes que se requieran para que la banda corra sin problemas deben realizarse sólo mientras el transportador esté apropiadamente bloqueado / etiquetado / suprimido / comprobado. Realizar incluso un simple ajuste mientras la banda esté corriendo puede resultar en un accidente.

Ideas peligrosas

Muchas operaciones prohíben que se trabaje en el sistema del transportador cuando está funcionando. No obstante, las mismas operaciones requieren que se trabaje alrededor del transportador mientras esté operando. Los trabajadores llegan a los transportadores para realizar los procedimientos de inspección y mantenimiento así como la limpieza del material fugitivo.

Como observa Richard J. Wilson *(Referencia 2.5)*, de Bureau of Mines Twin Cities Research Center:

> Para la mayoría de los procedimientos es necesario bloquear el interruptor de corriente principal en la polea de cabeza o en el cuarto de control. Puesto que este puede estar alejado del lugar de trabajo, cumplir con esto requeriría tiempo y esfuerzo considerable. No es difícil imaginar al personal de mantenimiento pensando que es aceptable realizar rápidamente algún trabajo de reparación rutinaria sin bloquear la banda cuando implementar el procedimiento de bloqueo tomaría mucho más tiempo que el trabajo en sí.

Este "atajo" da lugar a la oportunidad de accidentes y lesiones.

CAPACITACIÓN SOBRE SEGURIDAD

El reporte de Sudáfrica *(Referencia 2.3)* observó: "La mayoría de los accidentes pueden atribuirse a la falta de comprensión de los riesgos inherentes a los sistemas de transportadores y el uso seguro de dichos sistemas".

El mejor método para la prevención de accidentes es un programa de seguridad bien diseñado combinado con una capacitación eficaz y repetida.

Figura 2.12

Los avisos que incorporan pictogramas pueden requerirse para proteger a todos los trabajadores en las plantas donde se hablan varios idiomas.

Capacitación sobre transportadores para empleados nuevos

La seguridad de la banda transportadora debe iniciar con los empleados más nuevos. La tendencia es mandar al "chico nuevo", la persona recién contratada y con menos experiencia, a hacer "el trabajo que a nadie le gusta": limpiar alrededor de las bandas transportadoras en movimiento. Antes de asignar a un nuevo empleado la tarea de trabajar alrededor de una banda transportadora, el empleado debe asistir a un mínimo de cuatro horas de clase en aula sobre bandas transportadoras específicamente.

El curso de capacitación sobre transportadores

Cada planta debe implementar un programa de capacitación para individuos cuyos puestos requieren que trabajen en transportadores o cerca de ellos **(Figura 2.13)**. Este programa discutirá los riesgos, procedimientos de seguridad al trabajar en los alrededores de bandas transportadoras. La capacitación debe incluir una comprensión a fondo de la variedad de condiciones de la banda que pueden influir en las operaciones de esta, el material fugitivo y la seguridad del personal. Al entender las diferentes condiciones de la banda, se pueden reducir los accidentes.

Esta capacitación integral debe incluir como mínimo lo siguiente:

A. Prácticas de seguridad generales alrededor de las bandas transportadoras
B. Equipo de protección personal (EPP)
C. Arreglo personal e indumentaria apropiada
D. Técnicas de paleado correctas
E. Inspección de seguridad y prácticas de mantenimiento
F. Condiciones del transportador que causan problemas (conllevan problemas de mantenimiento y seguridad)
G. Selección de la banda que corresponda a la estructura y condiciones
H. Identificación de las fuentes de material fugitivo
I. Eliminación del material fugitivo (polvo y derrames)
J. Procedimientos para la alineación de la banda

Figura 2.13

Cada planta debe implementar un programa de capacitación para individuos cuyos puestos requieren que trabajen en los transportadores o cerca de estos.

Capacitación de actualización y refuerzo

Además de los empleados nuevos, también los empleados veteranos necesitan capacitación. Los empleados con antigüedad probablemente han tenido capacitación mínima o nula sobre bandas transportadoras o sobre la seguridad de las bandas transportadoras. Los seminarios como el Taller Foundations™ de Martin Engineering han demostrado ser eficaces al proporcionar una capacitación enfocada a transportadores a personal que va desde operadores y trabajadores de mantenimiento hasta ingenieros y gerentes de plantas. El Programa de Certificación Foundations™ correspondiente proporciona una experiencia de aprendizaje autoguiada sobre transportadores.

Los refuerzos periódicos entre la capacitación regular y las sesiones de recapacitación también son ventajosos. Las agencias como la MSHA de EE.UU. son una fuente de casos sobre accidentes por bandas transportadoras que pueden proporcionar material para una capacitación de actualización eficaz.

LA IMPORTANCIA DE LA RESPONSABILIDAD DEL PERSONAL

En muchos sentidos, la seguridad de la planta es como la limpieza de la planta: ambas son cuestiones de actitud. La gerencia de la planta puede establecer el tono para la operación general; sin embargo, es la respuesta de cada trabajador individual la que tiene el mayor impacto en el historial de seguridad de una planta.

La seguridad no es sólo responsabilidad del departamento de seguridad de la planta o de una agencia gubernamental. Más bien, es responsabilidad de cada trabajador asegurar su propia seguridad y la de sus compañeros.

La responsabilidad personal incluye:

A. Uso del equipo de seguridad personal,

incluyendo las máscaras de polvo y respiradores, protección auditiva, cascos y zapatos con punta de acero

B. Atención a las prácticas de seguridad

C. Buenos estándares de limpieza para proporcionar un área de trabajo limpia y segura

D. Una revisión profunda de los manuales del equipo para aprender operaciones seguras y procedimientos de mantenimiento

E. Voluntad para detener las acciones inseguras de otros trabajadores e instruir a otros sobre los procedimientos de seguridad correctos

TEMAS AVANZADOS

Sistemas de guardas de "nueva generación" y tiempo de paro de transportadores

Existe el cuestionamiento en cuanto a si las tecnologías de guardas de "nueva generación" pueden reaccionar con la rapidez suficiente para evitar una lesión cuando se comparan con las guardas de barrera convencionales. Los factores determinantes son el rango de detección del equipo, la velocidad de respuesta del dispositivo de guarda, la distancia del dispositivo de protección a la parte móvil más cercana, el tiempo de paro de la banda transportadora y la velocidad de movimiento de la persona.

Casi todos los programas de diseño de transportadores calculan el tiempo de paro del transportador en base al control de la tensión de la banda para optimizar los componentes de impulso. El paro instantáneo, arranque o inversión de la banda puede provocar serios problemas dinámicos con el transportador y los accesorios. Aun en transportadores cortos, donde no se considera la dinámica, es común que una banda tarde 5 segundos en detenerse por completo. En sistemas extensos, donde las cuestiones de dinámica son una preocupación, es común que el transportador tarde 30 segundos en detenerse por completo. El tiempo de reacción simple para una persona generalmente se define como el tiempo que un observador necesita para detectar la presencia de un estímulo. Puesto que el tiempo de reacción de una persona promedio es aproximadamente 0.2 segundos y que la banda transportadora tardará un tiempo en detenerse, hay tiempo suficiente para atrapar a una persona en el transportador.

Por lo tanto, es muy probable que si un trabajador ha violado las reglas o sistemas de seguridad y queda atrapado, el transportador no podrá detenerse a tiempo para evitar una lesión grave o la muerte.

BENEFICIO DOBLE DE LA SEGURIDAD DE UN TRANSPORTADOR

En resumen...

¿Es posible eliminar los accidentes por transportadores? Probablemente no. Sin embargo, podemos trabajar para lograr tener cero accidentes con un método de dos puntas:

A. Capacitar a las personas recién contratadas y a empleados veteranos sobre cómo trabajar de manera segura en los transportadores y alrededor de ellos

B. Eliminar muchos de los problemas que requieren que el empleado trabaje cerca de las bandas transportadoras

Tenga en cuenta que el costo de un accidente fácilmente puede exceder el costo de implementar un programa de capacitación en la organización o incluso el salario anual de un instructor a tiempo completo.

Proporcionar capacitación sobre las operaciones y el mantenimiento del transportador para mejorar la seguridad de este también tiene el potencial de mejorar los resultados de la operación. De hecho, dar capacitación sobre las operaciones seguras de un transportador proporciona lo mejor de ambos mundos: presenta una oportunidad de proporcionar seguridad al trabajador y al mismo tiempo mejora la eficacia operativa de la planta.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Seguridad, el segundo capítulo en la sección sobre Fundamentos del manejo seguro de los materiales a granel, sigue el control total del material y explica la manera en que los accidentes pueden ser provocados por una falta de control total del material. Los siguientes tres capítulos se enfocan en la Introducción a los transportadores, empezando con los Componentes del transportador seguido de La banda y por último el Empalme de la banda.

REFERENCIAS

2.1 Padgett, Harvey L. (2001). *Powered Haulage Conveyor Belt Injuries in Surface Areas of Metal/Nonmetal Mines, 1996–2000*. Denver, Colorado: MSHA Office of Injury and Employment Information.

2.2 Maki, D. Michele, PhD. 2009. Conveyor-Related Mining Fatalities 2001-2008: Preliminary Data. Reporte no publicado para Martin Engineering.

2.3 Dreyer, E., and Nel, P.J. (July 2001). *Best Practice: Conveyor Belt Systems*. Project Number GEN-701. Braamfontein, South Africa: Safety in Mines Research Advisory Committee (sic) (SIMRAC), Mine Health and Safety Council.

2.4 Ontario Natural Resources Safety Association. *Safety Reminder*, newsletter. P.O. Box 2040, 690 McKeown Avenue, North Bay, Ontario, Canadá, B1B 9PI Teléfono: (705) 474-SAFE.

2.5 Wilson, Richard J. (August, 1982). *Conveyor Safety Research*. Bureau of Mines Twin Cities Research Center.

2.6 Giraud, Laurent; Schreiber, Luc; Massé, Serge; Turcot, André; and Dubé, Julie. (2007). *A User's Guide to Conveyor Belt Safety: Protection from Danger Zones*. Guide RG-490, 75 pages. Montréal, Quebec, Canada: IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail), CSST. Disponible en inglés y francés como PDF de descarga gratuita: http://www.irsst.qc.ca/files/documents/PubIRSST/RG-490.pdf.

3

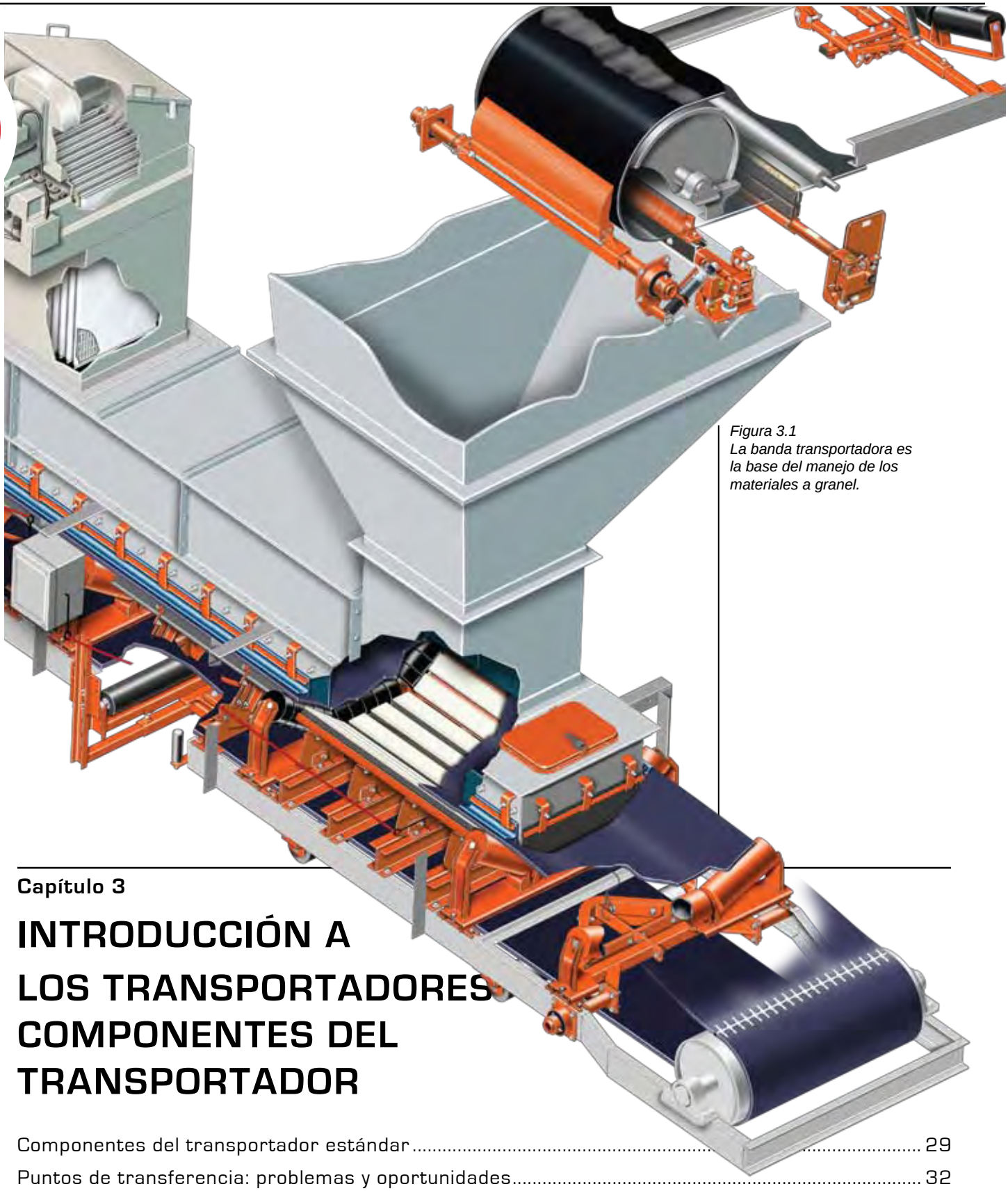


Figura 3.1
La banda transportadora es la base del manejo de los materiales a granel.

Capítulo 3

INTRODUCCIÓN A LOS TRANSPORTADORES COMPONENTES DEL TRANSPORTADOR

Componentes del transportador estándar 29
Puntos de transferencia: problemas y oportunidades 32
Ingeniería de los sistemas 34
Cuestiones de seguridad 35
Bandas transportadoras: simples y complejas 35

En este capítulo

En este capítulo describimos los componentes más comunes de las bandas transportadoras que se usan para manejar materiales a granel y proporcionamos una ecuación para calcular la energía necesaria para operar la banda transportadora. Se explican tres métodos del diseño de puntos de transferencia junto con los beneficios de usar un método de ingeniería de sistemas para ayudar a controlar el material.

Las bandas transportadoras se han usado por décadas para transportar grandes cantidades de material a lo largo de distancias extensas. Los transportadores han demostrado una y otra vez que son un método confiable y rentable para mover material. Las bandas transportadoras pueden transportar materiales por pendientes inclinadas, alrededor de esquinas, por colinas y valles, por cuerpos de agua, por encima o abajo de la tierra. Las bandas transportadoras se integran bien con otros procesos como quebradoras, cribas, vagones de tren y equipo de carga y descarga de un barco, así como operaciones en pila de almacenamiento y excavación.

Las bandas transportadoras han demostrado tener la capacidad de transportar materiales que varían de terrones grandes, pesados y filosos a partículas finas; de polvo húmedo, pegajoso y líquido a polvo seco; de mineral sin cribar a arena de fundición; de troncos del largo de un árbol a astillas de madera y hasta papas fritas.

De todos los sistemas de manejo de materiales, las bandas transportadoras típicamente operan con el menor costo de transporte por tonelada,el menor costo de mantenimiento por tonelada, el menor costo de energía por tonelada y el menor costo de mano de obra por tonelada. Estas ventajas no pueden materializarse si no se hace una consideración cuidadosa del material a granel que se manejará y del proceso general cuando se especifica el sistema de un transportador.

Hay muchos diseños de sistemas de transportador disponibles. Muchos son desarrollados para resolver problemas únicos y difíciles específicos a una industria o material a granel en particular. Con cualquier elección, ciertos principios de diseño pueden determinar el éxito o el fracaso al controlar derrames o eliminar el polvo del material fugitivo.

Este capítulo describirá los componentes más comunes usados en el manejo de materiales a granel.

COMPONENTES DEL TRANSPORTADOR ESTÁNDAR

Lo fundamental

Para muchas plantas, la banda transportadora es la base del manejo de materiales a granel **(Figura 3.1)**. En esencia, una banda transportadora es una banda larga de caucho reforzado extendida alrededor de dos o más poleas, que avanza a una velocidad definida cargando una cantidad especificada de material. Las complicaciones surgen a medida que la línea del recorrido se inclina o curvea cuando el transportador debe sumarse a un proceso o planta sofisticada, o cuando necesita cumplir con requerimientos de tasa de alimentación de material u otras restricciones operativas.

Una banda transportadora es un equipo relativamente simple **(Figura 3.2)**. Su diseño básico es tan robusto que transportará material bajo las condiciones más adversas, ya sea sobrecargada, inundada de agua, sepultada en material fugitivo, o maltratada de varias otras maneras. No obstante, la diferencia entre una banda transportadora que se diseña, opera y mantiene correctamente y un sistema disfuncional a menudo se vuelve aparente rápidamente en los costos de operación y mantenimiento de un sistema.

Las bandas transportadoras comunes para materiales a granel varían en ancho de 300 milímetros (12 pulgadas) a 3000 milímetros (120 pulgadas) con bandas de 5000 milímetros (200 pulgadas) de ancho vistas en aplicaciones como plantas de gránulos de mineral de hierro. Los transportadores pueden ser de cualquier longitud. La capacidad de la carga es limitada por el ancho y la velocidad de la banda transportadora con transportadores que

Figura 3.2

Una banda transportadora es un equipo relativamente simple.

a menudo mueven varios miles de toneladas de material por hora, día tras día.

Cada banda transportadora que maneja material a granel está compuesta de seis elementos principales:

A. La banda

Forma la superficie móvil sobre la cual se transporta el material

B. Las poleas

Soportan y mueven la banda y controlan la tensión de ésta

C. La propulsión

Imparte la energía a una o más poleas para mover la banda

D. La estructura

Soporta y alinea los componentes giratorios

E. Los sistemas de soporte para bandas

Soportan los tramos de carga y retorno de la banda

F. Los sistemas de transferencia

Cargan o descargan el cargamento de un transportador

Otra parte de todo transportador es el equipo auxiliar instalado para mejorar la operación del sistema. Esto incluiría componentes como ajustes, limpiadores de banda, detectores de metales, chutes laterales y sellos, sistemas de soporte para bandas, arados, interruptores de seguridad, sistemas de supresión del polvo o colección del polvo y sistemas de protección ambiental.

Componentes de una banda transportadora estándar

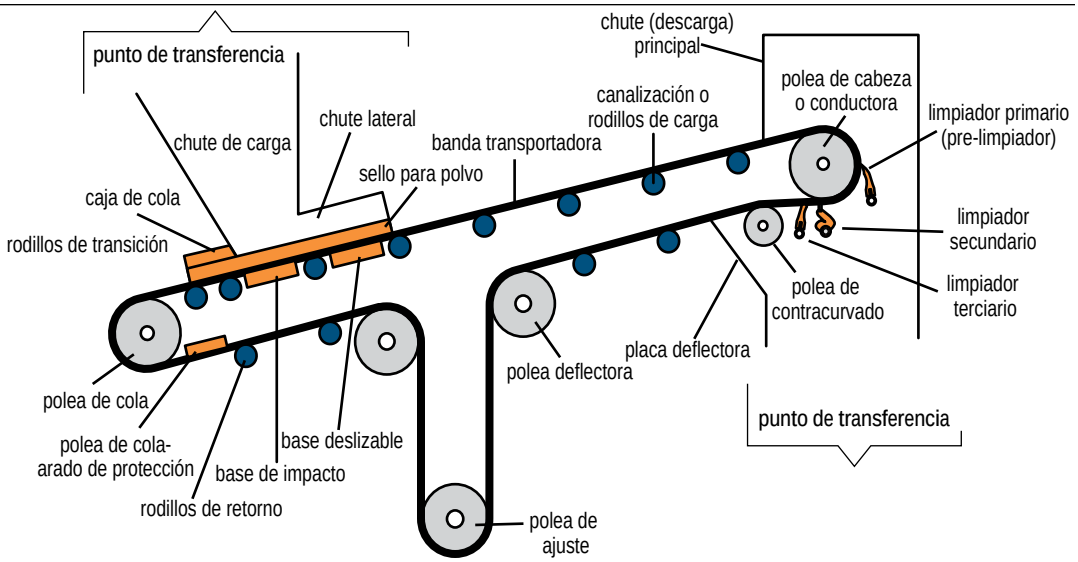
Aunque las bandas transportadoras varían un poco entre sí, tienen muchos componentes en común **(Figura 3.3)**. Un transportador consiste de una banda de caucho continua extendida entre poleas finales. Un extremo es la cola. Aquí es donde generalmente se lleva a cabo la carga del material, pero la carga puede llevarse a cabo en cualquier parte a lo largo del transportador, y los transportadores con varias zonas de carga son relativamente comunes. Al otro extremo del transportador se le llama la cabeza. La carga generalmente se descarga en la cabeza pero con el uso de arados o descargadores móviles, la carga puede descargarse en cualquier parte a lo largo del transportador.

La banda está soportada a lo largo del lado superior (de carga) con rodillos de canalización o rodillos planos. Los rodillos de canalización dan a la banda una forma en U que aumenta la capacidad de carga de un transportador. En el lado inferior (de retorno) del transportador, donde la banda regresa al punto de carga, la banda es soportada con rodillos de retorno. Los componentes giratorios se montan en bastidores y se soportan con una estructura de acero llamada largueros. En algunas aplicaciones, como en los transportadores subterráneos o terrestres, los componentes giratorios de un transportador se montan en cuerdas metálicas suspendidas.

Generalmente motorizados con electricidad, los motores de impulsión de un transportador a menudo se ubican para hacer girar la polea de cabeza del transportador. El motor puede ubicarse en cualquier punto a lo largo de un

Figura 3.3

Aunque las bandas transportadoras varían un poco entre sí, todos los transportadores tienen muchos componentes en común.



transportador. A menudo se usan varios motores en transportadores largos o de carga pesada.

Un dispositivo tensionador, llamado ajuste, se usa para asegurar que la banda se mantenga tensa contra la polea motriz para conservar la tensión requerida en la banda de modo que ésta y la carga se muevan. El más común es un dispositivo tensionador automático llamado ajuste de gravedad, el cual usa un contrapeso para crear tensión en la banda. El ajuste de gravedad a menudo se instala cerca de la polea motriz en el lado de retorno de la banda. Las poleas deflectoras se usan para dirigir la banda hacia la polea de ajuste que está sujetada al contrapeso del ajuste de gravedad.

Otro tipo de polea, llamada polea de contracurvado, a menudo se coloca inmediatamente después de la polea de cabeza en el lado de retorno de la banda para aumentar el contacto de la banda con esta polea, lo que permite a una polea motriz más pequeña transmitir la tensión requerida a la banda.

La carga generalmente se carga cerca del extremo de la cola en un área llamada zona de carga. Los componentes de la zona de carga muy probablemente consistirán de un chute de carga, una polea de cola, rodillos, sistemas de soporte para bandas, chutes laterales, revestimientos de desgaste, sellos para polvo, sellos de entrada y sellos de salida.

El extremo de la cabeza de un transportador, o la descarga, generalmente consistirá de la polea de cabeza, un chute de descarga junto con un sistema de limpieza para bandas, una placa deflectora y otro equipo para monitorear y mantener el flujo.

Un punto de transferencia es donde el material a granel pasa de un equipo a otro. Un punto de transferencia puede ser una zona de carga o descarga, o en el caso donde un transportador alimenta a otro, un punto de transferencia puede contener una zona de carga y una de descarga. Sin embargo, un punto de transferencia también puede estar donde una banda alimenta otro sistema de procesamiento o manejo de materiales a granel o donde la banda recibe carga de otro sistema de procesamiento o manejo de materiales a granel. Estos sistemas pueden ser contenedores de almacenamiento de cualquier tipo, transportadores de carga como camiones, vagones de tren, barcazas o barcos u otros equipos del proceso.

Dependiendo del material transportado, una variedad de otro equipo auxiliar también puede instalarse a lo largo del trayecto de un transportador o en el punto de transferencia de cualquier extremo.

Potencia de propulsión del transportador

Como se mencionó anteriormente, los transportadores son impulsados por un motor fijado a la polea motriz. Determinar el requerimiento de potencia de un transportador (es decir, especificar el tamaño del motor requerido) es cuestión de la tensión para impulsar la banda y la velocidad de la banda.

La sexta edición de *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS (BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL)* de la Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas Transportadoras (CEMA) proporciona una ecuación que originalmente fue desarrollada por el Deutsches Institut für Normung (DIN), para determinar el requerimiento de potencia de un "Transportador Básico".

Los factores con mayor influencia en los requerimientos de potencia de un transportador son el peso de la carga y la elevación a la cual debe subirse la carga. La fricción de los diferentes componentes del transportador normalmente es una parte pequeña del requerimiento de potencia. Cuando la banda es horizontal, esta fricción se vuelve la consideración más importante. La tensión se usa para buscar la potencia requerida para operar la banda transportadora **(Ecuación 3.1)**. El valor ΔT es la suma de todas las tensiones positivas y negativas en el sistema que la polea motriz debe transferir a la banda para superar la resistencia de los componentes y transportar la carga. Cada uno de los cálculos de la tensión de componentes puede encontrarse en este libro o en la sexta edición de *BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL* de la CEMA. La tensión agregada para elevar el material real y la banda transportadora se calcula en *BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL* de la CEMA.

Una vez que se encuentre la tensión de cada componente, pueden sumarse para tener un total de requerimiento de potencia. Un factor de seguridad razonable debe sumarse a los

3

Ecuación 3.1

Cálculo para la potencia requerida

$$P = \Delta T \cdot V \cdot k$$

Puesto que: *5400 newtons (1200 lbs.$_f$) de tensión se suman a una banda que viaja a 3 metros por segundo (600 pies/min.).* ***Se encuentra:*** *la potencia requerida para operar la banda transportadora.*

	Variables	Unidades métricas	Unidades imperiales
P	Potencia requerida	kilowatts	caballos de fuerza
ΔT	Tensión neta agregada a la banda	5400 N	1200 lbs.$_f$
V	Velocidad de la banda	3 m/s	600 pies/min.
k	Factor de conversión	1/1000	1/33000

Métrica: $P = \dfrac{5400 \cdot 3}{1000} = 16$

Imperial: $P = \dfrac{1200 \cdot 600}{33000} = 22$

P	Potencia requerida	16 kW	22 hp

requerimientos de potencia para asegurar que la banda transportadora no opere cerca o en una condición de sobrecarga. Este valor debe usarse como un MÍNIMO al seleccionar los componentes de impulso.

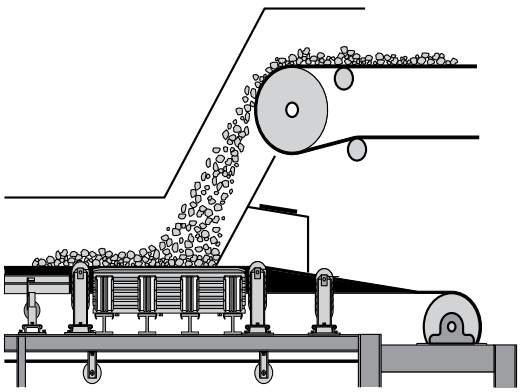
El valor del transportador convencional

Existe una variedad de sistemas de transportador avanzados que proporcionan alternativas para manejar material. *(Vea el Capítulo 33: Consideraciones para los transportadores de especialidad).* Para propósitos generales, la banda transportadora con rodillos canalizados convencional es el estándar de desempeño y el líder de valor contra el que deben evaluarse estos otros sistemas. Las bandas transportadoras con rodillos canalizados tienen una larga historia de desempeño satisfactorio en condiciones desafiantes.

El éxito general de un sistema de banda transportadora depende en gran medida del éxito de sus puntos de transferencia. Si el material se carga mal, el transportador dañará la banda, sus componentes giratorios y/o su estructura, disminuyendo su eficacia operativa. Si se permite que escape material, este material fugitivo provocará numerosos problemas de mantenimiento que de nuevo conllevará a una eficiencia de producción reducida y aumentará los costos de mantenimiento y operación.

Figura 3.4

Un punto de transferencia típico está compuesto de chutes que guían el flujo del material hacia la banda receptora, contenedor u otros sistemas de proceso.



PUNTOS DE TRANSFERENCIA: PROBLEMAS Y OPORTUNIDADES

El reto del punto de transferencia

Un punto de transferencia típico está formado de chutes de metal que guían el flujo del material **(Figura 3.4)**. También puede incluir sistemas para regular el flujo y colocarlo de manera adecuada dentro de la estructura receptora (ya sea una banda, contenedor u otro equipo) y así evitar que se libere material fugitivo.

Los puntos de transferencia se instalan normalmente en transportadores por cualquiera de las siguientes razones:

A. Para mover el material hacia o desde el almacenamiento o equipo de proceso
B. Para cambiar la dirección horizontal del movimiento del material
C. Para desviar el flujo hacia un almacenamiento intermedio
D. Para permitir una potencia de propulsión eficaz en una distancia que es demasiado extensa para un solo transportador

El método y el equipo para cargar la banda contribuyen mucho para prolongar la vida útil de la banda, reducir los derrames y mantener la banda en la trayectoria apropiada. El diseño de los chutes y otro equipo de carga es influenciado por condiciones como la capacidad, las

características del material manejado, la velocidad e inclinación de la banda y el número de zonas de carga en el transportador.

Para minimizar la degradación del material y el desgaste de los componentes, un punto de transferencia ideal colocaría la cantidad especificada de material en la banda receptora cargando:

A. En el centro de la banda
B. A una tasa uniforme
C. En la dirección en que viaja la banda
D. A la misma velocidad que se mueve la banda
E. Después de que la banda esté totalmente canalizada
F. Con una mínima fuerza de impacto

Al mismo tiempo, proporcionaría espacio y/o sistemas adecuados para:

A. Sellado del borde y sellado posterior
B. Eliminación de material adherido
C. Manejo de material fugitivo
D. Inspección y servicio

Pero en la vida real...

Lograr todas estas metas de diseño en un solo diseño de punto de transferencia es difícil. Las adaptaciones requeridas por las circunstancias reales probablemente conllevan a crear arreglos. El punto de carga de cualquier transportador es casi siempre el factor más crítico en la vida útil de la banda. Es aquí donde la banda transportadora recibe la mayor parte de la abrasión y prácticamente todo su impacto. Es en las transferencias del transportador donde las fuerzas que conllevan a un derrame o creación de polvo actúan sobre el material y la banda. Un punto de transferencia óptimo es esencial para el rendimiento del transportador y el control del material fugitivo **(Figura 3.5)**.

El problema es que los puntos de transferencia son el centro de la interacción de muchos requerimientos, a menudo en conflicto, algunos debido a los materiales que atraviesan por ahí y otros a las bandas que entran y salen de las zonas de carga. Las características del material, los movimientos de aire y los niveles de impacto agregan fuerzas que deben ser abordadas por cualquier sistema diseñado para impedir el escape de material fugitivo. Además, muchos requerimientos impuestos por el proceso general de la planta someterán a los puntos de transferencia a fuerzas y limitaciones adicionales.

El diseño de puntos de transferencia

Existen tres métodos básicos para el diseño de puntos de transferencia. El primero y más común es el método convencional de hacer el diseño preliminar de una solución usando "normas generales" para ajustarse a la distribución maestra de los transportadores. Esta sería la solución preliminar **(Figura 3.6)**. El segundo método es especificar los componentes críticos del punto de transferencia y diseñar la distribución general de los transportadores para minimizar los problemas del punto de transferencia. Esta sería la solución especificada **(Figura 3.7)**.

Figura 3.5

Un punto de transferencia apropiado es esencial para controlar el material del transportador.

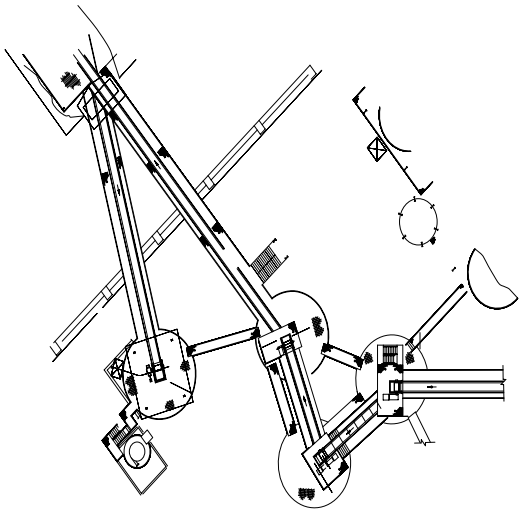


Figura 3.6

El primer método y el más común para diseñar un punto de transferencia es el método convencional de hacer el borrador de una solución usando "normas generales" para ajustarse a la distribución maestra de los transportadores.

El tercer método es una solución diseñada. Este método se usa para analizar las características del material a granel y producir chutes de diseño personalizado, lo cual minimiza la alteración a la trayectoria del material a granel y coloca el material en la siguiente banda en la dirección apropiada y a la velocidad de la banda receptora. Esta tercera clase de puntos de transferencia se caracteriza por especificaciones que requieren una prueba de las propiedades de flujo del material a granel. La transferencia del material de una banda a otra se diseña usando la mecánica de los fluidos para minimizar el polvo, los derrames y el desgaste. Esta ingeniería puede realizarse en una nueva construcción o puede hacerse como reingeniería para puntos de transferencia existentes **(Figura 3.8)**.

Las especificaciones para un punto de transferencia diseñado deben incluir:

A. Características de los materiales y tasas de flujo

B. Requerimientos de desempeño mínimo en términos de horas de trabajo de limpieza y/o cantidad del derrame por horas de operación

C. Requerimientos de presupuesto máximo para mantenimiento anual y rehabilitación periódica a los intervalos especificados por el proveedor

D. Requerimientos ergonómicos de acceso para limpieza y mantenimiento

E. Dibujos y especificaciones de ingeniería para partes desgastadas así como manuales de mantenimiento completos

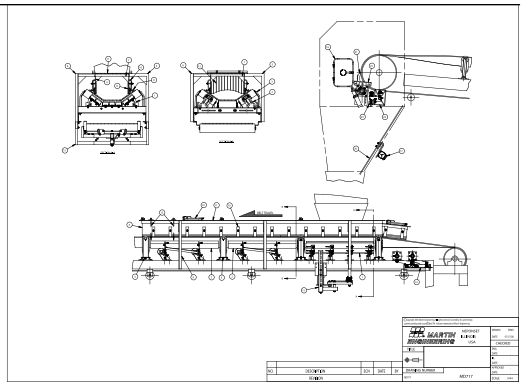


Figura 3.7

El segundo método es identificar los componentes críticos del punto de transferencia, los cuales serían la solución especificada.

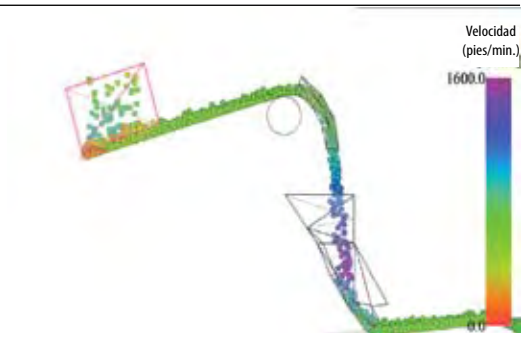


Figura 3.8

Una solución del punto de transferencia diseñado es un método utilizado para analizar las características de los materiales a granel para producir chutes personalizados que cumplan con los requerimientos de una operación específica.

INGENIERÍA DE LOS SISTEMAS

Un paso adelante, un paso atrás...

Desafortunadamente, mejorar la operación de sistemas complejos como los puntos de transferencia de transportadores no es una cuestión de resolver un problema poco definido. Mas bien, el intento de resolver un problema en estos sistemas operativos sofisticados típicamente revela o crea otro problema. El segundo problema puede resultar tan difícil de resolver como el original o más que este.

Nunca es fácil lograr un control total del material, puesto que los problemas de materiales fugitivos a menudo combinan causas múltiples y efectos múltiples. Por ejemplo, un nuevo sistema de faldón del borde puede ofrecer una mejora inmediata en la prevención de derrames de material en un punto de transferencia. Sin embargo, si no hay revestimiento de desgaste presente dentro del chute, la fuerza y/o el peso del material en el faldeo crearán presión lateral que maltrata los sellos nuevos y conlleva a la abrasión y falla prematura. Eventualmente, la cantidad de derrame regresa a su anterior nivel inaceptable. El derrame continuará cobrando un alto precio en la eficacia del transportador y la operación en general.

El método de sistemas

La clave de cualquier mejora de ingeniería es una solución detallada que abarque todos los componentes del problema. Los costos de emprender tal método de sistemas serán mayores que los de modernizar cualquier componente individual. No obstante, el retorno sobre la inversión justificará el gasto.

Hablar de "ingeniería de sistemas" es fácil, es la aplicación de este método lo que resulta difícil. El desarrollo de un método integral requiere conocer el material, comprender el proceso, comprometerse con los recursos para diseñar apropiadamente, instalar y operar un sistema y dar mantenimiento consistente para mantener ese sistema operando con alta eficacia y lograr un control total del material.

CUESTIONES DE SEGURIDAD

El diseño de cualquier sistema de manejo de materiales a granel debe empezar con una preocupación de seguridad. Deben tomarse todas las consideraciones para la seguridad del personal que tiene la tarea de operar y mantener el sistema diariamente. Las cuerdas de emergencia, los interruptores de velocidad, las guardas de los componentes giratorios, los pasillos con barandales y las guardas son sólo algunos de los elementos de seguridad básicos que deben incluirse en los sistemas de transportadores. Los procedimientos apropiados de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación son un requerimiento para cualquier trabajo que se realice en el sistema de un transportador o alrededor de éste.

Un diseño apropiado de puntos de carga y descarga ayudará con la operación segura y el mantenimiento de los sistemas de transportadores. La contención total del material transferido impide que el material fugitivo bloquee los pasillos y escaleras, creando riesgos. Eliminar el polvo en el ambiente reducirá los riesgos de salud a los empleados y los costos de mantenimiento/ reparación del equipo de un transportador.

BANDAS TRANSPORTADORAS: SIMPLES Y COMPLEJAS

En resumen...

Las bandas transportadoras que manejan materiales a granel son máquinas simples gobernadas por las leyes universales de física. Sin embargo, también son complejas, puesto que son vulnerables a una gama de incertidumbres que surgen de las grandes cantidades de material libre que se mueven por ellas y la energía que imparten a ese material. Si no se contiene, este material en movimiento puede dispersarse por toda una planta como derrame, material adherido y polvo, reduciendo así la eficacia, acortando la vida útil del equipo y elevando los costos. Comprender lo básico de las propiedades del material y el desempeño del equipo, así como aplicar los remedios mencionados en este libro pueden proporcionar mejoras significativas en la eficacia y rentabilidad del manejo de materiales.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre los Componentes de los transportadores, el tercer capítulo en la sección de Fundamentos del manejo seguro de los materiales a granel, es el primero de tres capítulos relativos a la introducción a los transportadores. Los capítulos 4 y 5 continúan esta sección sobre los fundamentos de las bandas transportadoras y el control del material para reducir el polvo y los derrames, describiendo la banda y el empalme de la banda.

REFERENCIAS

3.1 Cualquier fabricante y la mayoría de los distribuidores de bandas puede proporcionar materiales sobre la construcción y el uso de productos específicos, así como los transportadores en general.

3.2 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*. Naples, Florida.

3.3 El sitio web http://www.conveyorbeltguide.com es un valioso recurso no comercial que abarca múltiples aspectos de las bandas transportadoras.

4

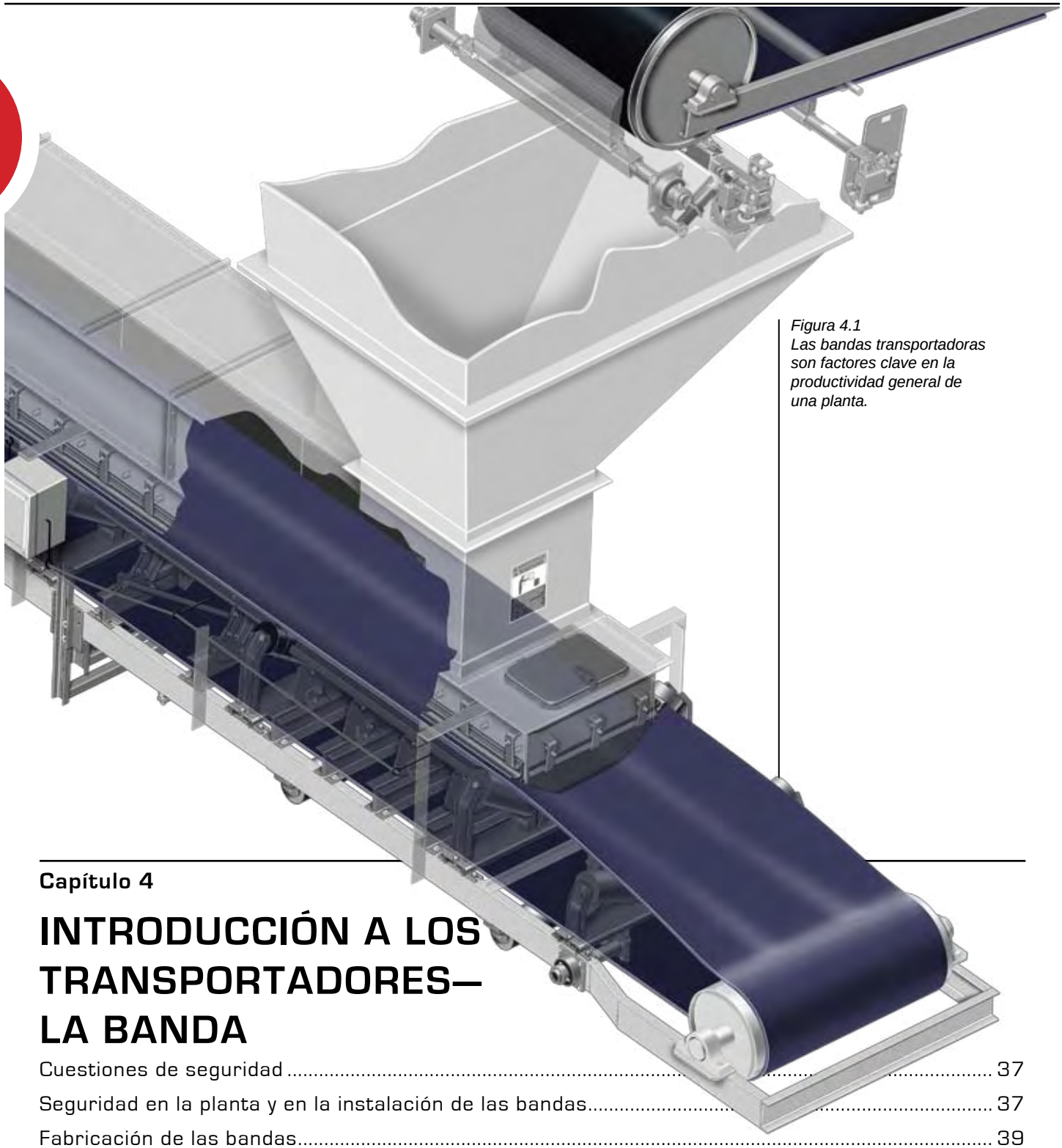


Figura 4.1
Las bandas transportadoras son factores clave en la productividad general de una planta.

Capítulo 4

INTRODUCCIÓN A LOS TRANSPORTADORES—LA BANDA

Cuestiones de seguridad 37
Seguridad en la planta y en la instalación de las bandas 37
Fabricación de las bandas 39
Selección de las bandas 44
Almacenamiento y manejo de las bandas 48
Deterioro de las bandas 50
Reparación de las bandas 56
Cómo preservar la vida de las bandas 58
Instalación de las bandas 59

En este capítulo...

Este capítulo continúa con la discusión de los Fundamentos del manejo seguro de los materiales a granel y los fundamentos de los transportadores enfocándose en la fabricación y uso adecuado de las bandas. Se incluyen las consideraciones para la selección de bandas, así como la importancia de un adecuado almacenamiento y manejo. Además, se discuten varios tipos de deterioro de las bandas, así como los métodos para reparar y preservar la vida de las bandas.

Un sistema de banda transportadora consta de muchos componentes; sin embargo, ninguno es más importante que la banda **(Figura 4.1)**. Las bandas representan una parte considerable del costo del transportador, y su operación exitosa puede ser el factor clave en la productividad general de toda la planta en la que se localiza el transportador. Por lo tanto, las bandas deben seleccionarse con cuidado, y se deben tomar todas las medidas posibles para proteger su utilidad.

Este capítulo se enfoca en las bandas de trabajo pesado que se usan típicamente en el manejo de materiales a granel. Los tipos más comunes de bandas para el manejo de materiales a granel están hechas con recubrimientos de caucho o cloruro de polivinilo (PVC) y un armazón interno tensionador de tela sintética o cables de acero.

SEGURIDAD EN LA PLANTA Y EN LA INSTALACIÓN DE LAS BANDAS

Resistencia al fuego de las bandas transportadoras

Un incendio en una banda transportadora es un riesgo importante, ya que la banda se puede quemar. Sin embargo, es la longitud y el movimiento de la banda lo que representa el riesgo de que una banda pueda esparcir el fuego en una gran distancia con facilidad en muy poco tiempo.

Los incendios en las bandas transportadoras se originan más comúnmente por el calor generado por la fricción inducida por una polea que gira contra una banda atascada o resbaladiza o por la banda que se mueve sobre un rodillo atascado. Otros incendios en los transportadores han ocurrido cuando se carga por descuido material caliente o en llamas en la banda. Las mejores prácticas para minimizar el riesgo de un incendio en cualquier banda transportadora incluyen:

A. Realizar inspecciones regulares de las bandas
B. Remover toda la acumulación de materiales combustibles que están a lo largo de la banda transportadora
C. Corregir las fuentes potenciales de incendio, como rodillos atascados, cojinetes sobrecalentados o desalineación de la banda

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Como con cualquier tipo de maquinaria en movimiento, la banda transportadora debe ser tratada con respeto y con el conocimiento de que causa lesiones. Existe una gran cantidad de riesgos de lesión personal de la banda transportadora que pueden causar la muerte o lesiones graves. La mayoría de estas inquietudes surgen del movimiento de la banda por los sistemas del transportador, como quemaduras por contacto y el riesgo de atrapamiento por contacto con la banda en movimiento. Se debe tener cuidado especial cuando se observa una banda en movimiento para buscar áreas dañadas o revisar su alineación.

Los rodillos de las bandas son grandes y difíciles de manejar y deben ser tratados cuidadosamente. Cuando se transportan, deben sujetarse para que no se suelten y deben maniobrarse con el equipo y los medios de protección adecuados.

La reparación a una banda expone a los trabajadores a levantamientos pesados, herramientas afiladas y químicos industriales. Se deben seguir los procedimientos adecuados de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación antes de empezar cualquier trabajo en el transportador o cerca del mismo.

Se debe usar equipo de protección personal adecuado y se deben seguir los procedimientos de los fabricantes para manejar sustancias químicas.

Con este riesgo de incendio, complicado por gases tóxicos, humo denso y emanaciones nocivas que pueden resultar por un incendio en un transportador, se reglamenta el uso de bandas en aquellas aplicaciones en donde estas condiciones son más peligrosas: minas subterráneas y particularmente minas subterráneas de carbón. Muchos países reemplazaron el anterior requerimiento para bandas resistentes al fuego, bandas que pasan una prueba de mechero de Bunsen, haciendo obligatorio el uso de bandas auto extinguibles en aplicaciones subterráneas.

Debe observarse que TODAS las bandas transportadoras se quemarán si hay suficiente calor y flujo de aire. Sin embargo, las pruebas de laboratorio estandarizadas han sido aceptadas por los organismos gubernamentales reguladores para medir y categorizar las características de quemadura de las diferentes bandas transportadoras. En términos muy generales, se considera "auto extinguible" a una banda que no propague un incendio en un entorno de laboratorio una vez que la fuente de la ignición haya sido eliminada.

Las bandas auto extinguibles son más costosas que las bandas resistentes al fuego. Este costo adicional es generalmente del 10 al 50 por ciento, pero variará dependiendo de la construcción del armazón y el espesor de los recubrimientos.

Con la excepción de Estados Unidos, los estándares de protección contra incendios en las bandas transportadoras son semejantes en los países más grandes que tienen minas de carbón, incluyendo Australia, Canadá, China, Alemania, India, Indonesia, Polonia, Rusia y Sudáfrica. Por ejemplo, en Alemania, se implementaron estrictos requerimientos hace más de 30 años.

Existen muchas organizaciones internacionales reguladoras y asesoras y agencias gubernamentales que dan orientación y dirección, que incluyen, entre otras: British Standards Institution (BSI), Conveyor Manufacturers Equipment Association (CEMA), Deutsches Institu für Normung (DIN), European Standards (EN) e International Organization for Standardization (ISO).

Las pruebas en estos y en la mayoría de los otros países incluyen:

A. Prueba de fricción del tambor (DIN 22100 et. al)

   La prueba de fricción del tambor mide si la temperatura de la superficie permanece bajo un máximo requerido después de un tiempo específico y bajo una tensión específica. El procedimiento de la prueba simula una banda deslizándose sobre una polea atascada o una polea girando bajo una banda transportadora estacionaria. Para pasar esta prueba, la temperatura de la superficie o de la banda debe permanecer por debajo de 325 grados Celsius (617° F) sin flama ni brillo visible.

B. Prueba de resistencia de la superficie (ISO 284/EN 20284/DIN 20284)

   Se puede acumular una carga electrostática en la superficie de la banda transportadora y encender una mezcla de gases y aire inflamables. Al mantener baja la resistencia de la superficie de la banda (haciendo el recubrimiento de la banda más conductivo), la banda transportadora permite que la carga fluya libremente, eliminando el riesgo de chispas.

C. Prueba de quemador de propano de alta energía (EN 12881)

   Para determinar si una banda transportadora propagará fuego, se enciende con un quemador de propano una muestra de banda de 2 a 2.5 metros de longitud por 1200 milímetros de ancho (80 a 100 pulgadas por 48 pulgadas). Después de que se ha eliminado la fuente de la ignición, las flamas deben auto extinguirse dentro de un cierto período de tiempo, dejando un área definida de la banda sin dañar.

D. Prueba de conducción de escala de laboratorio (DIN 22100 y 22118)

   Se coloca una muestra de banda de 1200 milímetros de longitud por 120 milímetros de ancho (48 pulg. por 4.8 pulg.) sobre un quemador de propano. Después de que se elimina la fuente de la ignición, las llamas deben auto extinguirse y debe permanecer un tiempo definido sin causar daños.

En Estados Unidos, los estándares de inflamabilidad de las bandas transportadoras pueden considerarse menos estrictos que aquellos usados en otros países, porque se adopta un método de sistema total para la supresión de incendios. Las reglamentaciones de EE.UU incluyen no sólo las bandas transportadoras sino también dispositivos

de monitoreo de aire y de detección de deslizamiento de motores.

El requerimiento actual de resistencia al fuego en Estados Unidos para todo tipo de aplicaciones excepto minas subterráneas de carbón, según fue publicado en el Código de Reglamentaciones Federales (CFR por sus siglas en inglés), es muy simple:

> Prueba de mechero de Bunsen. (CFR Parte 30 Sección 18.65)

Se sostiene un pedazo de banda (de aproximadamente 150 por 12 milímetros) (6 por ½ pulgada) sobre un mechero de Bunsen durante un minuto, después del cual se retira de la flama y se aplica flujo de aire durante tres minutos. Después de un período de tiempo establecido, se registra la duración de las flamas. El promedio de cuatro muestras no debe arder durante más de un minuto ni exhibir incandescencia por más de tres minutos.

Esta prueba, que fue implementada por la Ley Federal de Salud y Seguridad en Minas de Carbón en 1969, es semejante a un estándar para bandas transportadoras que estuvo vigente en Europa hasta mediados de la década de 1970. Sin embargo, con la aparición de reglamentaciones más estrictas, se ha permitido que se usen bandas resistentes al fuego en Europa únicamente en aplicaciones sobre la superficie; se exige que se usen bandas auto extinguibles bajo tierra.

Estados Unidos tiene ahora un estándar más estricto para las bandas resistentes al fuego en minas de carbón subterráneas. En diciembre de 1992, el Departamento de Trabajo y Administración de Seguridad y Salubridad Minera (MSHA por sus siglas en inglés), propuso una nueva regla en los requerimientos para las pruebas de bandas transportadoras (Registro Federal, Vol. 57, No. 248) que igualaría los estándares de seguridad al nivel internacional. Casi diez años después, en julio de 2002, esta regla propuesta fue eliminada. Las razones citadas para la eliminación fueron que el número de incendios en bandas transportadoras ha disminuido significativamente y que se implementaron mejoras al monitoreo de las bandas.

Las recomendaciones de la Ley de Mejoras Mineras y Nueva Respuesta a Emergencias (MINER por sus siglas en inglés) de 2006 derivaron en una nueva regla para las minas subterráneas de carbón (CFR Parte 30 Sección 14.20) vigente desde diciembre de 2008 que incluye la Prueba de Laboratorio de Evaluación de la Banda (BELT por sus siglas en inglés), una prueba a nivel laboratorio de resistencia al fuego basada en el trabajo hecho para la regla propuesta en 1992. Para poder pasar el método BELT, debe tener una capacidad mejorada de resistencia al fuego, lo cual limita enormemente la propagación de las flamas.

La prueba requiere que se pongan tres muestras de banda, de aproximadamente 152 por 23 centímetros (60 por 9 pulg.), en una cámara de pruebas de 168 centímetros (66 pulg.) de longitud por 456 centímetros (18 pulg.) cuadrados. Después de aplicar la flama del mechero sobre el borde frontal de la muestra durante 5 minutos y de que la flama se extinga, cada muestra debe exhibir una porción no dañada a lo largo de su ancho total.

Hasta el momento de este escrito, la regla final publicada por MSHA requiere que las bandas transportadoras en uso en las minas subterráneas de carbón sean más resistentes al fuego que las requeridas anteriormente hasta el 31 de diciembre de 2009. La regla también requiere que las bandas actuales se reemplacen en diez años. Se puede poner en contacto con MSHA o un proveedor de bandas respetable para recibir información adicional y actualizada.

Otras cuestiones de seguridad de las bandas

Otros estándares a veces están vigentes. Otros países tienen requerimientos aun más estrictos con respecto, por ejemplo, a la toxicidad, higiene o aspereza del recubrimiento. Las especificaciones exactas se encuentran en los estándares de una región geográfica o industria determinada. Los procedimientos y estándares se ofrecen bajo DIN, EN, ISO, BSI, CEMA y otros estándares. Por supuesto, es de gran importancia que la banda sea compatible con los materiales que se van a transportar en ella.

FABRICACIÓN DE LAS BANDAS

El armazón de la banda

La banda de un transportador está compuesta de dos partes: el armazón interno y los recubrimientos exteriores. El armazón es la sección estructural más importante de la banda, ya que contiene el componente tensil para

manejar la carga que se lleva en el transportador. El objetivo principal del armazón es transmitir la tensión necesaria para elevar y mover la banda cargada y absorber la energía de impacto desencadenada por el material a medida que se carga en la banda. Sin importar el sistema de soporte para bandas que se emplee, si el armazón de la banda no puede manejar la energía de impacto inicial, la banda fallará prematuramente. El armazón debe ser adecuado para permitir las técnicas correctas de empalme y lo suficientemente fuerte para manejar las fuerzas que ocurren en el arranque, movimiento y paro de la banda con carga. El armazón también proporciona la estabilidad necesaria para un soporte adecuado entre rodillos y para mantener la alineación.

La mayoría de los armazones están hechos de una o más capas de tela tejida, aunque las bandas de trabajo pesado pueden incorporar cables de acero paralelos para reemplazar una parte o la totalidad de la tela. La tela del armazón normalmente está hecha de hilos tejidos en un patrón específico. A los hilos que corren a lo largo, paralelos al transportador, se les conoce como hilos longitudinales y son los componentes que llevan la tensión. Las fibras transversales se llaman hilos horizontales y están diseñados principalmente para la resistencia al impacto, asimiento de los alineadores mecánicos, soporte de la carga y estabilidad general de la tela.

Hace años, las bandas transportadoras típicamente usaban hilos de algodón como refuerzo textil. Para una mejor adherencia del recubrimiento y resistencia al mal uso, a menudo se colocaba una tela de refuerzo entre el recubrimiento y el armazón. En las décadas de 1960 y 1970, los refuerzos del armazón sufrieron un cambio. Hoy, la mayoría de los armazones de las bandas están hechos de fibras artificiales como nailon, poliéster o una combinación de los dos. Estas telas son superiores a las fibras naturales anteriores en casi todos los aspectos, incluyendo fuerza, adhesión, resistencia al uso rudo, asimiento de los alineadores y vida flexible. Actualmente, las telas que incorporan fibras de aramida se usan para algunas aplicaciones en las bandas transportadoras. Las telas de aramida ofrecen gran fuerza, poco estiramiento y resistencia al calor. Las telas de refuerzo se usan raramente con estas telas sintéticas, porque la mejora es mínima o nula.

Tipos de armazones

Existen cuatro tipos de armazones de bandas:

A. Bandas de capas múltiples

Las bandas de capas múltiples usualmente se componen de dos o más capas de algodón, rayón o una combinación de estas telas tejidas, unidas por un compuesto de elastómero. Las características de la fuerza de la banda y soporte de carga varían según el número de capas y la tela utilizada. La banda transportadora de capas múltiples fue la más usada a mediados de la década de 1960, pero ahora se ha sustituido por bandas de capas reducidas.

B. Bandas de capas reducidas

Las bandas de capas reducidas consisten en armazones ya sea con menos capas que las bandas de capas múltiples o con tejidos especiales. En la mayoría de los casos, la banda de capas reducidas depende del uso de fibras textiles concentradas en un armazón o de menos capas para proporcionar una mayor fuerza unitaria que en la comparable banda de capas múltiples. Los datos técnicos disponibles de los fabricantes de bandas transportadoras generalmente indican que las bandas de capas reducidas se pueden usar para la gama completa de aplicaciones especificadas para las bandas de múltiples capas.

C. Bandas de cable de acero

Las bandas transportadoras de cable de acero están hechas de una sola capa de cables de acero paralelos completamente integrados al caucho como el elemento de tensión. El armazón de las bandas de cable de acero está disponible en dos tipos de fabricación. La fabricación de caucho usa únicamente los cables de acero y el caucho; la fabricación reforzada con tela tiene una o más capas de tela arriba y/o abajo de los cables pero separadas de los cables por el caucho del cable. Ambos tipos tienen recubrimientos superiores e inferiores adecuados. Las bandas de cable de acero se producen usando una gran variedad de diámetros y espaciamiento de cables, dependiendo principalmente de la resistencia deseada en la banda. Las bandas de cable de acero a menudo se usan en aplicaciones que requieren tensiones de operación que van más allá del rango de las bandas de tela. Otra aplicación es en los transportadores donde,

debido a limitaciones en la distancia en que el sistema de ajuste puede transportarse, no se permite a las bandas estirarse considerablemente.

D. Bandas de tejido sólido

Este tipo de banda consiste en una sola capa de tela de tejido sólido, usualmente impregnada y cubierta con PVC con recubrimientos superiores e inferiores relativamente delgados. La superficie de las bandas de PVC a menudo es intencionalmente áspera a fin de ayudar a la transportación en pendientes, pero la superficie áspera hace que la banda sea más difícil de limpiar. La resistencia a la abrasión del PVC es más baja que la del caucho, por lo que algunas bandas de tejido sólido se hacen con una combinación de un núcleo de PVC y recubrimientos de caucho.

Recubrimientos superiores e inferiores

Los recubrimientos protegen el armazón de la banda de la abrasión de la carga y de cualquier otra condición que pudiera contribuir al deterioro de la banda. Los recubrimientos superior e inferior de la banda transportadora proporcionan muy poca o ninguna fuerza estructural a la banda. El objeto del recubrimiento superior es proteger al armazón del daño y desgaste por el impacto. El recubrimiento inferior proporciona una superficie de fricción para propulsar y alinear la banda. Normalmente, el recubrimiento superior es más grueso que el inferior y es más durable para la abrasión, el daño de impacto y uso, debido a su mayor potencial para el deterioro. La abrasión y el corte pueden ser tan severos que se requiere un recubrimiento superior tan grueso como 18 milímetros (0.75 pulg.) o más. En todo caso, el objetivo de la selección del recubrimiento es proporcionar el suficiente grosor para proteger al armazón hasta el límite práctico de vida del armazón.

Los recubrimientos pueden estar hechos de una cantidad de elastómeros, incluyendo cauchos naturales y sintéticos, PVC y materiales especialmente formulados para cumplir con los requerimientos de aplicaciones especiales como resistencia al aceite, fuego o abrasión.

Los usuarios pueden verse tentados a voltear una banda cuando el lado de carga se desgasta. En general, es mejor evitar voltear la banda después de un fuerte desgaste en la parte superior. Al voltear la banda se le presenta una superficie irregular a la polea, resultando en una mala distribución lateral de la tensión que puede descentralizar la banda. Otro problema es que puede haber partículas finas de la carga incrustadas a lo que anteriormente era la superficie de carga; cuando se voltea la banda, este material ahora se pone en contacto abrasivo con las poleas con recubrimiento térmico, rodillos y otros sistemas de soporte para bandas. Además, después de años de canalizarse en una dirección, la banda tiende a tener una "fijación" (una predisposición a una dirección) y se resistirá a la inversión necesaria del canal que se requiere para invertir la banda. A veces esto puede requerir semanas para resolverse y puede generar problemas de alineación de las bandas.

Se debe hacer mención específica de la práctica de algunos fabricantes de bandas de estampar su logotipo en la superficie de carga de la banda **(Figura 4.2)**. Aun cuando esté cerca de la orilla, esta área de bajo relieve se convierte en una trampa de material transportado, y la aspereza del área puede afectar la limpieza de la banda y de los sistemas de sellado bajo los cuales pasa la banda. Se recomienda que los usuarios especifiquen que los logotipos del proveedor se coloquen en el retorno, el lado que no lleva la carga de la banda.

Relación de aspecto

Mientras que algunas bandas tienen el mismo grosor en el recubrimiento de ambos lados, la mayoría de las bandas se fabrican con el recubrimiento del lado de las poleas un poco más delgado (de calibre más ligero) que el lado de carga de la banda, por la diferencia necesaria de resistencia al desgaste. Se refiere como relación de aspecto a la diferencia en el grosor entre los recubrimientos superiores e inferiores. Sin embargo, la diferencia en grosor entre los dos recubrimientos no puede ser demasiado alta, o la banda podría ahuecarse.

Figura 4.2

Es una mala práctica del fabricante de la banda estampar en relieve en el lado de carga de la banda, porque el material adherido puede quedarse atorado en el logotipo.

El problema con las bandas que tienen relaciones de aspecto mal diseñadas es que la masa más grande de caucho se encogerá más que la más pequeña. Por consiguiente, si una banda tiene una relación desproporcionada del recubrimiento en la parte superior e inferior, y la parte superior se encoge por la edad, la exposición a los rayos ultravioleta u otros factores, la banda se ahuecará, reduciendo el área del recubrimiento inferior que está en contacto con los rodillos. Esto dificultará que la banda permanezca alineada. Es más probable que el problema ocurra cuando, en el interés de tener un recubrimiento superior grueso para extender la vida de servicio, una planta ordene una banda con un recubrimiento superior que sea demasiado grueso para el recubrimiento inferior. Para dar un encogimiento y una alineación consistentes, se recomienda una relación de aspecto de 1.5 a 1 para bandas de hasta 900 milímetros (36 pulg.), y una relación de aspecto de 2 a 1 para bandas de 1000 a 1600 milímetros (42 a 60 pulg.). Para bandas de más de 1600 milímetros (60 pulg.) se recomienda una relación de aspecto de 3 a 1. Las bandas con una relación de aspecto de 3 a 1 son adecuadas para muchos propósitos y es la relación más comúnmente surtida por los distribuidores de bandas.

Separadores, rebordes, chevrones y lengüetas

A veces se usan elementos elevados en la superficie de una banda para ayudar en el transporte de material **(Figura 4.3)**. Estos separadores, rebordes, chevrones y lengüetas se usan generalmente para permitir que un transportador lleve material a un ángulo de inclinación más alto de lo que generalmente sería posible con una banda plana. Esto es particularmente útil con terrones o piedras que podrían rodar hacia abajo fácilmente en una pendiente sin obstrucciones.

Figura 4.3

Los separadores, rebordes, chevrones y lengüetas son elementos elevados en la superficie de una banda que le permiten transportar material en un ángulo mayor de inclinación.

Los separadores o rebordes se pueden ver como muros o repisas instalados perpendicularmente a las líneas formadas por las orillas de la banda. Los chevrones están en una disposición en forma de V. Las lengüetas son "islas" o pilares individuales en la superficie de la banda. Todos están disponibles en una gran variedad de patrones y estilos, con alturas determinadas por la aplicación. Se pueden moldear integralmente en la superficie durante la fabricación original de la banda, o se atornillan o vulcanizan a la superficie de la banda.

Tenga en cuenta que mientras más altos sean los separadores, rebordes, chevrones o lengüetas más vulnerables serán a sufrir un daño y la banda será más difícil de limpiar y sellar.

Una manera de aumentar la tracción entre la banda y el material transportado es usar un recubrimiento superior que tenga chevrones invertidos. En lugar de extenderse sobre el recubrimiento de la banda, los chevrones se empotran en el recubrimiento superior, como el relieve en una llanta. Los zurcos se cortan en el recubrimiento de la banda con una cuchilla. Los zurcos pueden estar en ángulo de chevron o a través de la banda a 90 grados de la orilla. El diseño permite un mayor éxito en la limpieza y sellado de la banda con los sistemas tradicionales, aunque es posible llenar los separadores empotrados con material.

Grados de bandas

Varios organismos nacionales e internacionales han establecido sistemas de clasificaciones para las bandas usadas en el manejo general de materiales a granel. Diseñadas para proporcionar una referencia a los usuarios finales sobre qué grados usar en las distintas aplicaciones, las clasificaciones especifican diferentes criterios de pruebas de laboratorio sin dar ninguna garantía de desempeño en una aplicación específica.

En Estados Unidos, la Asociación de Fabricantes de Caucho (RMA por sus siglas en inglés) ha establecido dos grados estándar de recubrimientos de bandas. El Grado I de bandas de la RMA cumple con los requerimientos más altos de tensión y estiramiento, típicamente indicando una mejora en la resistencia a cortes y perforaciones sobre el desempeño de los recubrimientos de Grado II. Debe observarse que la clasificación de grados no necesariamente

indica una resistencia general a la abrasión.

La Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés) ha establecido de manera semejante un sistema de clasificación bajo ISO 10247. Este estándar incluye la Categoría H (Servicio para cortes y perforaciones severas), Categoría D (Servicio para abrasión severa) y Categoría L (Servicio moderado). La Categoría H es apenas comparable con el Grado I de la RMA; las Categorías D y L se aproximan a las bandas de Grado II de la RMA.

Además, hay tipos de bandas fabricadas para cumplir requerimientos específicos de aplicaciones estresantes, como servicio con materiales calientes, en minas subterráneas o con exposición a aceite o químicos. Al igual que con la mayoría de las cosas, es mejor entender las condiciones de operación y después consultar con proveedores respetables antes de seleccionar las categorías de las bandas.

Resistencia a la abrasión en las bandas

Existen dos tipos de abrasión en las bandas transportadoras. Una es causada por el roce de material contra el recubrimiento de la banda. Como un carpintero que lija un objeto, este desgaste es relativamente parejo aun bajo la influencia del material que presiona contra la superficie. El porcentaje real de abrasión dependerá de la naturaleza del material, según sea modificado por la densidad de la carga del material y la velocidad de la banda. A esto se le llama daño por contacto.

Una forma más agresiva de abrasión es el daño causado a la superficie por materiales con bordes filosos que cortan o perforan la banda. A esto generalmente se le llama daño por impacto.

Existen dos tipos de pruebas usadas para medir el desgaste del recubrimiento de la banda. Una es la Metodología de prueba de abrasión de Tipo A y B ISO 4649 (anteriormente DIN 53516). Esta prueba usa una muestra del recubrimiento de caucho y la sostiene contra un tambor abrasivo giratorio durante un intervalo fijo. La muestra de recubrimiento se pesa antes y después para calcular la pérdida de volumen. Mientras más bajo sea el número (menor la pérdida de material), mayor es la resistencia a la abrasión.

Un segundo método de prueba es la Prueba de abrasión pico, al que la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés) llama Método de prueba ASTM D2228. En esta prueba, se usan cuchillas de carburo de tungsteno para raspar una pequeña muestra del recubrimiento de la banda. Al igual que en el caso anterior, la muestra se pesa antes y después del procedimento, y se calcula la pérdida de peso. Los resultados se dan como una relación. Por lo tanto, mientras más alto el número, mejor es la resistencia a la abrasión.

La mayoría de las referencias advierten que ninguna de las pruebas debe verse como una predicción precisa del desempeño real en las aplicaciones de campo.

Nuevos avances en bandas

Una innovación reciente es el desarrollo de recubrimientos de bandas energéticamente eficientes. Llamados Recubrimientos Resistentes al Bajo Rodamiento (LRR por sus siglas en inglés), estos recubrimientos inferiores reducen la tensión requerida para operar la banda, por que hay menos resistencia a los surcos del rodillo a medida que la banda avanza sobre los rodillos. Según los fabricantes, estas bandas pueden producir ahorros de consumo de energía del 10 por ciento o más. Los ahorros ocurren cuando las bandas de caucho se juntan con los rodillos del sistema de transportador. Este recubrimiento energéticamente eficaz tiene menor resistencia al rodamiento, porque el recubrimiento inferior regresa a una configuración plana más rápidamente que las bandas convencionales, que se deforman a medida que pasan por los componentes de rodamiento del transportador.

Los fabricantes observan que los beneficios de este recubrimiento energéticamente eficiente pueden obtenerse mejor en transportadores largos horizontales utilizando bandas anchas totalmente cargadas que transportan material de alta densidad, donde la fricción del sistema está dominada por resistencias relacionadas con los rodillos. El compuesto LRR tiene un costo adicional que los demás compuestos para los recubrimientos. Sin embargo, en aquellas instalaciones en las que puede obtenerse el total de los beneficios, el compuesto compensa su costo adicional por medio de la reducción en los costos de energía y, en los nuevos sistemas, permitiendo que el transportador esté equipado con motores, poleas, cajas de cambios, ejes, cojinetes, rodillos y estructuras de acero más pequeños.

Los usuarios no deben asumir que el recubrimiento LRR va a reducir los gastos de operación ni solamente especificar LRR, ya que cada banda transportadora está compuesta para una aplicación específica. La relación entre el consumo de energía con una banda LRR y las condiciones de temperatura no es lineal, y típicamente hay un pequeño margen de aplicación. Un recubrimiento inferior LRR específicamente diseñado para ahorrar energía a 20 grados puede costar más si se opera a 0 ó 30 grados; por lo tanto, cada banda debe estar diseñada para las condiciones climáticas de cada aplicación.

Otro nuevo avance en la fabricación de bandas es el uso de recubrimientos de bandas antiadherentes, para prevenir el material adherido que se transporta en las bandas. Estas bandas se crean aplicando una capa antiadherente a la banda para prevenir la acumulación de material adherido en la banda. Esta capa debe reducir la necesidad de limpieza de las bandas; por consiguiente, extendiendo la vida de la banda al reducir el desgaste del recubrimiento. Esta capa también es resistente al aceite y la grasa y no se afecta por el desgaste y envejecimiento. Debe observarse que los limpiadores de bandas convencionales (raspadores) deben retirarse si se usan bandas antiadherentes, ya que el "borde limpiador" o hasta los pre-limpiadores de uretano "suaves" pueden eliminar la capa.

Los transportadores están diseñados como un sistema, y cualquier cambio a las especificaciones originales de la banda puede afectar negativamente la operación de un transportador. Se debe consultar a los fabricantes de las bandas para determinar qué tipo de banda es la más adecuada para cualquier tipo de aplicación.

Borde recortado o borde moldeado

Hay dos métodos para crear los bordes de una banda transportadora: bordes moldeados o bordes recortados.

Una banda de borde moldeado se fabrica a la anchura exacta especificada para la banda, y los bordes de la banda están envueltos en caucho. Como resultado, las telas del armazón no están expuestas a los elementos. Como una banda de borde moldeado está hecha para un pedido específico, probablemente requerirá un tiempo de acción más largo y es generalmente más costosa que una banda de borde recortado.

Una banda de borde recortado se fabrica y se corta o se recorta a la anchura especificada requerida para abastecer el pedido. Usando este método, el fabricante puede abastecer dos o tres pedidos de clientes de una sola pieza de banda fabricada. Como resultado, esto hace que las bandas de bordes recortados sean más rentables (por lo tanto, económicas) para fabricarse, por lo que este tipo de banda se ha vuelto más común. El corte al ancho específico puede ocurrir en el momento de la fabricación, o puede hacerse cuando una banda se corta de un rollo más largo en una operación secundaria, ya sea con el fabricante o con un distribuidor de bandas.

Se puede cortar una banda de borde recortado de cualquier anchura más grande de banda. Esto hace que esté disponible más fácilmente. Sin embargo existen algunas desventajas. En los bordes recortados de la banda queda expuesto el armazón de la banda; por lo tanto, el armazón es más vulnerable a los problemas que surjan de malas condiciones ambientales en el almacenamiento, manejo y uso. Además, el proceso de cortado es vulnerable a problemas. Las cuchillas para cortar desafiladas pueden causar problemas como combaduras en la banda: curvas en el borde de la banda. Además, hay aspectos desconocidos al comprar o volver a cortar una banda, incluyendo su edad, exposición ambiental e historial de aplicación.

Las bandas de cables de acero se fabrican a una anchura determinada; por lo tanto, tienen bordes moldeados. Hay disponibles bandas de capas de tela con borde moldeado o recortado.

SELECCIÓN DE LAS BANDAS

Especificar una banda

Es mejor dejar la selección y diseño de la banda adecuada a un experto, quien puede estar trabajando para un fabricante de bandas o ser distribuidor o un asesor independiente. Una banda adecuadamente especificada dará un rendimiento y vida óptima al menor costo. Una selección o sustitución inadecuada puede tener una consecuencia catastrófica.

Existe una gran cantidad de parámetros de operación y condiciones materiales que deben detallarse cuando se especifica una banda transportadora. Las condiciones materiales que se deben detallar incluyen:

A. Grosor

Limite las variaciones en el grosor a una escala fluctuante de +/– 20 por ciento para los recubrimientos delgados como de 2.4 milímetros (0.094 pulg.), y +/– 5 por ciento para los calibres de recubrimiento mayores a 19 milímetros (0.75 pulg.).

B. Combadura o arco

Limite la combadura o arco a un cuarto del uno por ciento (0.0025). Esto permite una dimensión de combadura o arco de +/– 25 milímetros en 10 metros (0.75 pulg. en 25 pies). La combadura es el borde convexo de la banda; el arco es el borde cóncavo de la banda. RMA define el arco (y la combadura) como la proporción de la distancia intermedia entre dos puntos a lo largo del borde de la banda que tienen de 15 a 30 metros (50 a 100 pies) de separación, entre el borde real de la banda y una cinta adhesiva o hilo estirado encima de los dos puntos. Para expresar esto en porcentaje, calcule la proporción en centésimos y multiplíquela por 100. Por ejemplo, si 30 metros de banda estuvo fuera de lugar por 450 milímetros (por 0.45 metros), esto sería igual a una combadura del 1.5 por ciento. En medidas imperiales, una distancia de 18 pulgadas (1.5 pies) en más de una longitud de 100 pies de banda tendría una combadura del 1.5 por ciento.

C. Superficie de la banda

Especifique la superficie de la banda transportadora si quiere que sea lisa, plana y uniforme +/– 5 puntos de dureza. La dureza se mide en Estados Unidos con un Shore A. Las lecturas van desde 30 a 95 puntos, mientras más alto el número del shore, más duro el compuesto. La escala de los Grados Internacionales de Dureza del Caucho (IRDH por sus siglas en inglés) tiene un rango de 0 a 100, correspondientes a los módulos elásticos de 0 (0) e infinito (100) respectivamente.

D. Marca del fabricante

Pida que la marca del fabricante sea eliminada o que sea moldeada en la parte inferior en lugar del recubrimiento superior, donde no interfiera con los sistemas de limpieza y sellado de la banda transportadora.

Los parámetros de operación que se deben detallar al especificar una banda transportadora incluyen:

A. Horas de operación de carga y descarga
B. Detalles del punto de transferencia, incluyendo el ángulo del canal y la distancia de transición, así como información de la trayectoria del material, altura de la caída y velocidad
C. Descripción del material que se va a manejar tan completa como sea posible, incluyendo tamaños de los terrones y rango de temperatura del material
D. Descripción del sistema de limpieza de banda que se va a usar
E. Descripción de los tratamientos químicos (por ejemplo, de agentes descongelantes o supresores de polvo) que se van a aplicar
F. Descripción de los contaminantes atmosféricos (de procesos cercanos u otras fuentes)
G. Especificación de las temperaturas extremas locales que la banda debe soportar

Conozca su estructura, conozca su banda

Poner cualquier banda en una estructura de transportador sin entender las características de la banda perjudicará el desempeño del sistema y reducirá el desempeño de la banda. Puede haber problemas como desalineamiento, vida corta de la banda, empalmes dañados, paros en producción no programados y gastos extra de mantenimiento.

Se requiere un análisis detallado de la estructura del transportador y componentes de rodamiento para asegurar que la banda que se usa en el sistema sea la adecuada. Se recomienda que todos los parámetros sean comprendidos completamente antes de seleccionar e instalar una banda en una estructura existente. Siempre es prudente considerar el consejo de los proveedores de bandas.

Compatibilidad con la estructura y componentes de rodamiento

Comprar bandas es como comprar ropa. Para que quede mejor, debe ajustarse a la construcción existente. Las bandas transportadoras están diseñadas para diferentes capacidades, longitudes, anchos, ángulos de canal y tensiones. Una banda debe ser

compatible con la estructura del transportador, y hay más elementos en la compatibilidad que el ancho de la banda.

Desafortunadamente, esto no se comprende comúnmente en el nivel de operaciones de una planta. Muy a menudo, existe una filosofía de "las bandas son bandas". Esto se origina de una comprensión incompleta de la complejidad de la ecuación de las bandas. Esta filosofía se convierte en práctica en momentos en los que existe la necesidad de economizar o de proporcionar un regreso al servicio más rápido. La respuesta típica en estos casos es usar bandas que están en existencia, ya sea una pieza sobrante o una banda de repuesto que se encuentre en almacenes de mantenimiento, o usar bandas que están fácilmente disponibles en una fuente externa, como un distribuidor de bandas transportadoras o un comerciante de equipo usado.

Es un ahorro falso usar una banda "en oferta" que no sea completamente compatible con el sistema de transportador. La incompatibilidad de la banda con una estructura es un problema común que lleva a un mal desempeño de la banda y a un bajo rendimiento en las inversiones. Esta incompatibilidad podría ser la causa más común de los problemas de alineación vistos en los transportadores en los que se ha instalado una banda de repuesto o se han añadido piezas a la banda existente. Comprender los fundamentos de compatibilidad es esencial para asegurar un buen desempeño de la banda y del transportador.

Especificar una banda transportadora es una tarea importante. Es por el bien de la operación permitir a un experto que se encargue de esta parte del proceso del transportador. Este experto estará familiarizado con las capacidades de las bandas proporcionadas por los fabricantes y sabe qué preguntas hacer.

Calificación de la tensión de la banda

Cada banda se clasifica según su fuerza, la cantidad de fuerza de tracción que soportará. La fuerza de una banda (o más precisamente, la tensión que puede soportar) se calcula en Estados Unidos en libras por pulgada de ancho, abreviado comúnmente como PIW (por sus sigas en inglés). En otras partes del mundo, la banda se calcula en resistencia a la ruptura en unidades métricas de newtons por milímetro (N/mm) o kilonewtons por metro (kN/m).

La calificación de la fuerza es una función del refuerzo incluido en el armazón de la banda y el número y tipo de material en las capas de la tela, o, si es una banda de cables de acero, el tamaño de los cables. Como se observó anteriormente, los recubrimientos superior e inferior de una banda proporcionan muy poca de la fuerza o tensión de una banda.

La fuerza de la banda, ya sea la calificación de tensión del armazón o la resistencia a la ruptura, representa la cantidad de fuerza que se puede aplicar a la banda. Exigir demasiado en cuanto a carga de material, peso de ajuste y gravedad de inclinación contra esta banda causaría graves problemas, incluyendo la posibilidad de romper la banda. Mientras más alta sea la calificación de la tensión de la banda, más crítica se vuelve la compatibilidad de la banda con la estructura y los componentes de rodamiento.

Cada estructura de transportador requerirá una banda con una calificación específica de tensión. Los factores que afectan esta decisión son:

A. La longitud de la estructura
B. El ángulo de inclinación del transportador
C. La capacidad deseada
D. El ancho de la banda
E. El arrastre y la inercia de los componentes de rodamiento

Radio mínimo de curvatura

Las bandas están diseñadas con un tamaño de polea mínimo especificado por el fabricante. Flexionar una banda sobre un radio que es muy pequeño puede dañarla. Esto puede resultar en la separación de las capas, falla de las capas o resquebrajamiento en el recubrimiento superior de la banda. Un tamaño inadecuado de la polea también puede causar la extracción de los empalmes mecánicos. El diámetro mínimo de la polea está determinado por el número y material de las capas, sin importar si son de acero o tela reforzada, la calificación de la tensión de la banda y el grosor del recubrimiento superior e inferior.

Cuando un sistema de transportadores es diseñado originalmente, el deseo de usar una banda más gruesa en un sistema de transportador (para extender la vida de la banda contra los altos niveles de impacto en la zona de carga, por ejemplo) puede requerir la instalación de poleas de mayor diámetro.

Un error común ocurre cuando en una operación se observa algún tipo de daño a la superficie de la banda del lado que lleva la carga. La reacción inmediata es instalar una banda aún más gruesa en el transportador con la esperanza de tener una vida de servicio más larga. Si la banda más gruesa tiene un tamaño de polea mínimo que sea mayor que las poleas de la estructura, la banda puede tener una vida más corta, empeorando el problema que se quiso resolver seleccionando el recubrimiento más grueso.

Ángulo del canal

Las bandas son acanaladas para permitir que el transportador cargue más material. A medida que aumenta el ángulo del canal, puede cargar más material. Todas las bandas planas de caucho o PVC pueden tomar forma de canal por medio de rodillos. El tipo de armazón de la banda, el grosor de la banda, el ancho de la banda y la calificación de tensión de la banda determinan el ángulo máximo del canal. En las hojas de datos técnicos de los fabricantes de bandas, la curvatura se muestra típicamente como el ancho mínimo de la banda permitido para los diversos ángulos de canal.

Exceder el ángulo de canal máximo de una banda en particular puede causar que la banda se deforme permanentemente en una posición hueca. La concavidad puede hacer que una banda sea difícil de sellar, difícil de limpiar y casi imposible de centrar. A medida que aumente la concavidad, se reduce el contacto de superficie entre los componentes de rodamiento del transportador y la banda, disminuyendo la capacidad del componente de rodamiento para guiar a la banda adecuadamente.

Si se excede la curvatura de la banda, puede que ésta no forme el ángulo correctamente, creando problemas de sellado y alineación. Si la banda está muy rígida y no se le hacen los ángulos adecuadamente, no guiará (arrastrará) adecuadamente el material en el sistema. Esto rápidamente se convertirá en derrame por los lados del transportador y en daño a los bordes de la banda **(Figura 4.4)**.

Otro problema que puede ocurrir si la capacidad de canalización de la banda se excede, es dañar los recubrimientos superior e inferior y el armazón en el área de acoplamiento de los rodillos.

Además, si la curvatura de la banda no es compatible con los rodillos de canalización, se puede requerir de más potencia para operar el transportador de la que estaba originalmente diseñada.

Distancia de transición

La banda se mueve a través de la polea de cola en una posición plana. A medida que la banda deja la polea de cola y se mueve a la zona de carga, los bordes de la banda se elevan,

Figura 4.4

El exceso de la capacidad de canalización puede causar daño a la banda.

Figura 4.5

Los rodillos de transición se usan para elevar los bordes de la banda del canal que lleva la carga.

Figura 4.6

La falla en la conexión de empalmes es causada por una distancia de transición inadecuada (del centro de la polea terminal hasta el primer rodillo de canalización completo).

formando el canal en el que se lleva el material **(Figura 4.5)**. Este canal está formado por rodillos de transición, rodillos puestos en ángulo entre la zona plana y el ángulo del canal final del transportador.

Existe un área de transición semejante, pero inversa, en la polea de cabeza del transportador, donde éste se lleva de un perfil curvo a uno plano justo antes de que llegue al punto de descarga.

A medida que la banda transportadora se forma en un canal, los bordes exteriores de la banda se estiran más que el centro. Si la transición se hace en una distancia muy corta, se pueden dañar las áreas de acoplamiento de los rodillos, los puntos sobre la intersección entre el rodillo central plano y el rodillo de ala de ángulo **(Figura 4.6)**.

Es común ver un transportador que tenga un área de transición menor de lo requerido. Existe una gran cantidad de razones: mal diseño o la incapacidad para comprender la importancia de la transición, falta de espacio o deseo de reducir los costos. Por lo tanto, es aún más crítico no aumentar el problema colocando una banda de repuesto que requiera una distancia de transición más larga.

Puede ser posible aumentar el área de transición de un transportador. Existen dos formas de hacer esto. Una es moviendo la polea de cola hacia atrás para extender la distancia que está antes de la zona de carga. El segundo método es adaptar un área de transición de dos etapas, donde la banda está parcialmente acanalada antes de entrar a la zona de carga y después completa su transición al último ángulo de canal después de que se haya cargado el material. *(Vea el Capítulo 6: Antes de la zona de carga).*

Sin embargo, más comúnmente algunas circunstancias como falta de espacio y límites en el presupuesto, impiden alargar el área de transición de un transportador. La solución más común es asegurarse de que la banda sea adecuada para la distancia de transición existente. Puede no ser la solución más económica cuando se incluyen todos los costos, como problemas de carga, aumento de tensión en los bordes y daño a la banda. Un área de transición mal diseñada aumentará los costos y disminuirá la vida de la banda.

Figura 4.7

Las bandas deben enrollarse en el extremo de carga externo con una abertura cuadrada.

Figura 4.8

Almacenar las bandas del transportador en el suelo es una mala práctica que puede causar daño.

ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE LAS BANDAS

La banda transportadora ha sido por mucho tiempo la manera más económica y eficiente para el manejo de materiales a granel para muchas industrias. Sin embargo, si esta parte importante de la planta ha de desempeñarse como se espera, debe almacenarse y manejarse con cuidado desde su fabricación hasta su instalación en el sistema del transportador. Las técnicas inadecuadas de almacenamiento pueden causar una banda dañada que tendrá un mal desempeño cuando se instale en la estructura del transportador. A medida que aumente el tiempo de almacenamiento y el tamaño del rollo de la banda, igualmente debe aumentar la importancia de seguir los procedimientos correctos. Los costos por manejar, enviar y almacenar la banda transportadora son menores comparados con el precio de compra de la banda; por lo tanto, se deben seguir los procedimientos adecuados para proteger la inversión.

Las siguientes son las directrices clave para manejo y almacenamiento:

A. Enrollada en un centro

Cuando la banda salga de la fábrica o del proveedor, ésta debe ser enrollada llevando el extremo de carga externo en un centro que tenga una abertura cuadrada **(Figura 4.7)**. El centro da a la banda protección contra ser enrollada en un diámetro que sea muy pequeño y protección cuando la banda se levanta por el centro. También propociona el medio para desenrollar la banda en el transportador. El tamaño del centro lo determina el fabricante, basándose en el tipo, ancho y longitud del rollo de banda. El tamaño del centro puede ser más pequeño que el diámetro de polea mínimo de la banda, ya que la banda enrollada no está en un estado tensionado. La barra de elevación debe ser cuadrada para igualar tanto como sea posible la abertura cuadrada del centro.

B. Con el soporte adecuado

La banda transportadora nunca debe ser almacenada en el suelo **(Figura 4.8)**. El almacenamiento en el suelo concentra el peso del rollo en la superficie inferior. El armazón de la banda se comprime en esta pequeña área y no se comprime igualmente de lado a lado. El armazón puede estirarse más hacia un lado u otro. Esta es una causa probable de combadura de la banda, una curvatura de la banda en forma de plátano, que corre a lo largo de la banda.

Bajo ninguna circunstancia se debe almacenar un rollo de banda sobre su costado **(Figura 4.9)**. El peso del rollo puede causar que el lado de la banda se expanda, creando problemas de combadura. La humedad puede entrar en el armazón a través del borde recortado de la banda, creando problemas con el armazón o combadura de la banda.

La banda debe sostenerse en una posición erguida en un pedestal, sobre el suelo **(Figura 4.10)**. Esto aplica la presión de la mitad del peso del rollo al centro, liberando la carga en la parte inferior. Este pedestal de soporte se puede utilizar durante el envío para distribuir mejor el peso de la banda. El pedestal de soporte entonces se puede utilizar en la planta para su almacenamiento, o la banda se puede transferir a un sistema de almacenamiento de la planta que soporte adecuadamente al rollo. Es importante que el rollo tenga el soporte adecuado desde su fabricación hasta su instalación.

Figura 4.9

El almacenaje de un rollo de banda sobre su costado puede causar problemas de combadura.

Figura 4.10

Sostener el rollo de banda en una cama o pedestal evitará presión desigual, mientras que almacenarlo en el suelo es una mala práctica.

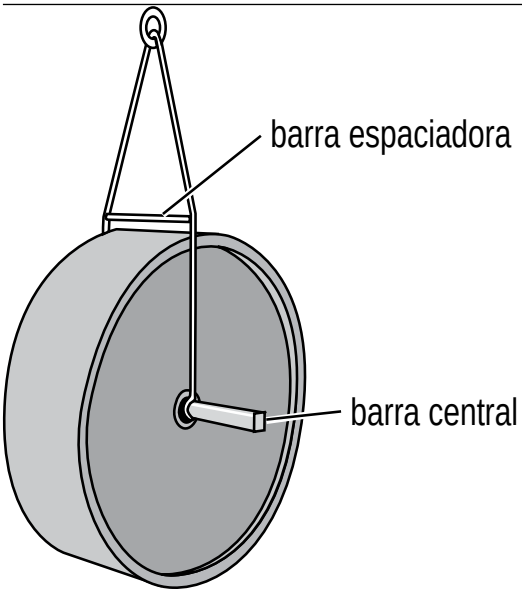


Figura 4.11

El uso de una barra espaciadora al levantar un rollo de banda evita daños a los bordes de la banda.

C. Girada en su pedestal

Si el pedestal de soporte está diseñado correctamente, el rollo de la banda puede girarse aleatoriamente cada 90 días. Esto distribuirá la carga más uniformemente en el armazón. El riel de la banda debe haberse marcado en la fábrica con una flecha para indicar la dirección del giro. Girar la banda en la dirección opuesta causará que el rollo se suelte y se pliegue.

D. Protegida adecuadamente

Durante el envío y almacenamiento, el rollo de la banda debe cubrirse con una lona impermeable o envolverse con un material opaco resistente al agua. Cubrir el rollo de la banda lo protege de la lluvia, luz solar u ozono. El recubrimiento debe permanecer en su lugar durante el proceso completo de almacenamiento.

El rollo de banda debe almacenarse dentro de una edificación para protegerlo del medio ambiente. El área de almacenamiento no debe contener transformadores grandes ni líneas de alto voltaje que puedan crear ozono y afectar a la banda. No es necesario que la edificación tenga calefacción, pero debe ser relativamente hermética al clima.

Figura 4.12

El daño por impacto es causado por material grande y afilado que golpea la banda, resultando en muescas, raspones o perforaciones en la parte superior del recubrimiento.

Figura 4.13

El daño por atrapamiento se ve normalmente como dos surcos, uno a cada lado de la banda, cerca del borde donde la banda corre debajo del chute lateral del transportador de acero.

E. Levantada correctamente

Al levantar un rollo de banda, se debe colocar a través del centro una barra cuadrada del tamaño correcto. Se deben usar eslingas o cadenas del tamaño correcto para el peso del rollo. Se debe usar una barra espaciadora para evitar que las cadenas o eslingas dañen los bordes de la banda transportadora **(Figura 4.11)**.

Se dan directrices adicionales en ISO 5285; los fabricantes de bandas transportadoras pueden dar asesoramiento para sus productos específicos.

DETERIORO DE LAS BANDAS

Prolongar la vida de la banda

Como se mencionó anteriormente, el costo de la banda sobrepasará fácilmente el costo de otros componentes de la banda y puede llegar al punto en el que se acerque al costo de la estructura de acero del transportador. La clave para dar un rendimiento razonable a la inversión de las bandas es evitar los daños y prolongar su vida de servicio. Obviamente, todos los sistemas que están instalados alrededor del transportador, ya sea para alimentarlo, recibir material de él o ayudarlo en su función de transporte de material, deben estar diseñados para representar riesgos mínimos para la banda.

El daño a la banda puede ser una pérdida importante en la rentabilidad de las operaciones que usan transportadores. Este gasto, que regularmente representa miles de dólares para las plantas de todo el mundo, a menudo puede evitarse. Desafortunadamente, se hace muy poco esfuerzo para el análisis de la vida de la banda y las razones por las que la banda no llega a su vida óptima, por la dificultad de identificar y medir todas las variables que afectan la vida de la banda.

Los tipos de daño de las bandas pueden dividirse en dos grupos: desgaste normal y daño evitable. El desgaste debido a la operación normal del transportador puede manejarse y minimizarse para prolongar la vida de la banda, pero una cierta cantidad de desgaste se considera aceptable. Quizá el daño evitable no pueda prevenirse totalmente, pero se puede minimizar a través de un diseño de equipo adecuado y gestión de mantenimiento.

El primer paso para prevenir el daño a la

banda es identificar las causas o fuentes del daño. Casi siempre un análisis paso por paso puede llevar al "culpable".

Tipos de daño de las bandas

El siguiente es un breve repaso de los tipos principales de daño a las bandas transportadoras:

A. Daño por impacto

El daño por impacto es causado en su mayoría por material transportado que golpea la parte superior del recubrimiento de la banda. El resultado de este impacto son muescas, raspones o perforaciones esporádicas en la parte superior del recubrimiento **(Figura 4.12)**. Un terrón grande de carbón congelado puede causar este tipo de daño. Si el impacto es muy severo, la banda se puede desgarrar completamente. Este tipo de daño se ve normalmente debajo de las quebradoras o en las minas en transportadores que manejan material de producción en bruto (ROM por sus siglas en inglés).

También pueden causar daño por impacto las caídas altas de material sin algún método que ayude a la banda a absorber la energía. *(Vea el Capítulo 8: Chutes de transferencia convencionales y el Capítulo 10: Soporte de la banda).*

B. Daño por atrapamiento

El daño por atrapamiento se ve normalmente como dos zurcos, uno a cada lado de la banda, cerca del borde donde la banda corre debajo del chute lateral del transportador de acero **(Figura 4.13)**. Muchas veces este daño se atribuye a la presión de un sistema de faldón de chute lateral. Sin embargo, estudios exhaustivos han demostrado que este tipo de daño es más probablemente causado por el atrapamiento de material transportado entre el sistema de faldón y la banda transportadora.

Este atrapamiento de material ocurre cuando se deja que la banda se hunda debajo de la línea normal de la banda y lejos del sistema de faldón. El material se queda encajado en este "punto de atrapamiento" formando una cabeza de flecha que perfora o desgasta la superficie de la banda a medida que se mueve **(Figura 4.14)**. Esto causa cualquiera de varios eventos negativos:

a. Rugosidad

El material atrapado formará un área de alta presión, causando un desgaste excesivo en el sistema de faldón (visto como rugosidad en el sello en cada rodillo).

b. Zurcos

Se formarán zurcos a lo largo de toda la banda debajo del chute lateral **(Figura 4.15)**.

c. Derrame de material

El material se saldrá de los lados de la banda, causando cantidades de derrame de material debajo de la zona de carga.

Figura 4.14

El material se queda encajado en este "punto de atrapamiento" formando una cabeza de flecha que perfora o desgasta la superficie de la banda a medida que se mueve.

Figura 4.15

El material atrapado puede marcar surcos en la longitud total de la banda debajo del sello de chute lateral.

Figura 4.16

El daño al borde de la banda es una señal del desalineamiento de la banda en la estructura del transportador.

El atrapamiento del material también puede ser causado cuando el faldeo se coloca dentro de la pared del chute en la trayectoria del flujo de material. Esta disposición no sólo causa atrapamiento de material y daño a la banda, también reduce el área de sección transversal de la pared del chute, reduciendo, a su vez, la capacidad del transportador. Se puede ver este mismo daño cuando se instalan bandas usadas o sobrantes como sello para polvo, ya que el armazón es más abrasivo que el recubrimiento de la banda y esto desgastará el recubrimiento. Los revestimientos de desgaste mal instalados también pueden crear puntos de atrapamiento, creando este tipo de desgaste.

Una manera de prevenir el hundimiento es usar sistemas de soporte de barras para dar soporte a la banda y estabilizar el trayecto en toda el área de faldeo. *(Vea el Capítulo 10: Soporte de la banda).*

C. Daño a los bordes de la banda

El daño a los bordes de la banda se ve normalmente como bordes raídos en uno o ambos lados de la banda **(Figura 4.16)**. Si el daño a los bordes no se identifica ni se corrige, puede ser lo suficientemente grave como para reducir el ancho de la banda hasta un punto en el que ya no podrá cargar la máxima capacidad del transportador.

El desalineamiento de la banda es probablemente la causa principal de daño a los bordes de la banda. Existen varias razones por las que una banda se puede descentralizar. Estas causas van desde estructuras de transportador que no están alineadas, cargas ladeadas en la banda, acumulaciones de material en los componentes de rodamiento, o hasta el efecto del sol en un lado de la banda.

Existen muchas técnicas y tecnologías que se pueden usar para guiar la banda. Éstas incluirían una inspección de la estructura con láser, el ajuste de los rodillos para contrarrestar la tendencia de la banda a descentralizarse y la instalación de rodillos de soporte de alineación de la banda auto ajustables que usan la fuerza de movimiento de la banda para dirigir la trayectoria de la banda.

La clave para una buena alineación de la banda es encontrar la causa del desalineamiento y después remediar esa causa, en lugar de gastar tiempo y dinero girando un rodillo en una dirección y otro rodillo en una dirección diferente para lograr una mejor alineación. *(Vea el Capítulo 16: Alineación de la banda).*

D. Delaminación de la banda

Otra forma de daño visto en los bordes de la banda es la delaminación, en la que las capas del armazón se separan, o los recubrimientos se desprenden del armazón **(Figura 4.17)**. Esto puede ser causado por bandas que se envuelven en poleas que son muy pequeñas. La entrada de humedad, químicos u otros materiales extraños en el borde de la banda pueden contribuir a este problema.

Figura 4.17

Otra forma de daño visto en los bordes de la banda es la delaminación, en la que las capas del armazón se separan, o los recubrimientos se desprenden del armazón.

E. Recubrimiento superior desgastado

Este daño se ve cuando el recubrimiento superior de la banda está desgastado en el área de carga de la banda o incluso en todo el recubrimiento superior **(Figura 4.18)**. Varios factores pueden contribuir a que el recubrimiento de la parte superior se desgaste.

Una causa puede ser la abrasión de la carga de material. Existe una acción abrasiva o trituradora en el recubrimiento de la banda

Figura 4.18

La abrasión de la carga de material se verá como un desgaste en la parte superior del recubrimiento en el área de carga de la banda.

creada por el material que cae en la banda en movimiento.

Otra causa puede ser el material adherido. Este es material que se adhiere a la banda transportadora después de la descarga y se cae en el retorno del transportador. Si no se controla, este material fugitivo puede acumularse en el suelo, en espacios confinados y en los componentes de rodamiento. Estas acumulaciones pueden llegar rápidamente a un punto en el que la banda corre sobre una pila de material fugitivo que desgasta el recubrimiento superior. Este daño ocurrirá más rápidamente cuando los materiales tienen partículas de bordes afilados y niveles de abrasión más altos.

Una mala selección del limpiador de banda y un montaje de limpiador inadecuado también pueden dañar el recubrimiento superior. Los limpiadores de banda deben montarse adecuadamente para evitar la vibración. La vibración del limpiador de banda puede remover rápidamente el recubrimiento superior si no se corrige de inmediato.

Las investigaciones han demostrado que aun los sistemas de limpieza de bandas instalados adecuadamente pueden causar desgaste en el recubrimiento de la banda. Esto calificaría como una parte del "desgaste normal" de la banda. Con dispositivos de limpieza tensionados adecuadamente, este desgaste es menor y se ha demostrado que es todavía menor que la abrasión que causa un rodillo atascado debido a la acumulación de material.

Las bandas de movimiento lento de alimentación que transportan materiales de conductos bajo "cargas frontales" altas también pueden sufrir daño en el recubrimiento superior. Si se reduce esta presión descendiente de la carga del material en la banda se reducirá el potencial de daño.

F. Rasgaduras y surcos hechos por objetos ajenos

El daño en forma de rasgaduras y surcos es causado por piezas de metal suelto, que van desde las correas de las cajas de madera de embalaje hasta los dientes de los cangilones de carga **(Figura 4.19)**.

Estas piezas de metal pueden encajarse en la estructura del transportador, formando una cuchilla que perfora o rasga la banda. Este daño puede ser el tipo más difícil de controlar, porque ocurre muy rápidamente y a menudo con efectos catastróficos. Existe una gran cantidad de maneras de minimizar, pero no de eliminar totalmente, la cantidad de "metales" en el flujo de material. Estos métodos incluyen las cribas de barrotes, detectores de metal y monitores de video. Sin importar la eficacia de las precauciones, la banda sigue siendo vulnerable.

G. Daño al limpiador de banda

Las bandas transportadoras a menudo tienen una relación paradójica con los limpiadores de banda. Los sistemas de limpieza son

Figura 4.19

El hierro atrapado, que va desde las correas de las cajas de madera de embalaje hasta los dientes de los cangilones de carga, se pueden encajar en la estructura del transportador y dañar la banda.

Figura 4.20

Los impactos por la "vibración" de la hoja del limpiador de banda pueden hacer muescas en el recubrimiento de la banda.

Figura 4.21

Curvar la banda alrededor de una polea muy pequeña puede causar resquebrajamientos en la parte superior del recubrimiento perpendiculares a la trayectoria de la banda.

requeridos para remover el material adherido, lo cual reduce el material fugitivo a lo largo del transportador y así preserva la vida de la banda; sin embargo, los limpiadores de banda también pueden tener efectos negativos. Al igual que con cualquier objeto ajeno, los limpiadores pueden dañar una banda, particularmente cuando el sistema de limpieza está mal aplicado o se le da un mal mantenimiento. El daño puede ser causado por demasiada presión o instalación fuera de la alineación. Las hojas limpiadoras de vibración pueden remover material de la superficie de la banda **(Figura 4.20)**.

Cualquier daño hecho a la superficie de la banda o el borde limpiador de banda puede crear vibración adicional, ampliando el movimiento y perpetuando el ciclo.

H. Resquebrajamiento del recubrimiento superior

Los resquebrajamientos cortos esporádicos en el recubrimiento superior de la banda perpendiculares a la dirección de la trayectoria de la banda pueden ser causados por una diferencia entre la banda y los diámetros de las poleas **(Figura 4.21)**.

Figura 4.22

El transporte de material caliente puede llevar a resquebrajamientos en la parte superior del recubrimiento de la banda.

Figura 4.23

En las primeras etapas la falla en la conexión de los empalmes se puede ver como una figura de "W" o "M" en la banda cuando pasa por un rodillo de retorno.

Cada banda, dependiendo del fabricante, número de capas, materiales de refuerzo y grosor, requerirá un distinto radio mínimo de curvatura. Este tipo de daño ocurre si la banda no coincide con todos los diámetros de polea de la estructura. Si se curva una banda sobre un radio muy pequeño causará estrés en el recubrimiento superior. Este estrés indebido en el recubrimiento superior causará que el caucho se resquebraje, exponiendo los materiales de refuerzo de la banda, lo que puede causar un daño al armazón interno de la banda.

Cualquier cambio en las especificaciones originales de la banda también se debe hacer en conjunto con una repetición del programa de especificación de la banda que incluye un estudio de los diámetros de la polea del transportador y la tensión requerida para propulsar la banda.

Si se instala una banda más gruesa en un sistema existente para mejorar la vida de la banda para evitar otros tipos de daños a la banda, como el impacto, esto puede reducir dramáticamente la vida de la nueva banda si los diámetros de las poleas del transportador son más pequeñas de lo recomendado por el fabricante. Siempre es importante verificar con el fabricante de la banda para asegurar que se respeten los parámetros de diseño.

I. Daño por calor

El transporte de materiales calientes también puede causar que el recubrimiento superior se resquebraje o que las capas se separen. Los resquebrajamientos del daño por calor pueden ser paralelos o perpendiculares (o ambos) a la dirección de la trayectoria de la banda **(Figura 4.22)**. Si el material transportado es más caliente de lo que puede aguantar la banda, se pueden formar agujeros en la banda. El uso de bandas de alta temperatura puede reducir este resquebrajamiento por calor y aumentar la vida de la banda. La única solución es enfriar el material antes de transportarlo o usar otro método para mover el material, por lo menos hasta que se haya enfriado lo suficiente.

J. Falla de conexión de empalmes

A medida que la banda se mueve por el sistema de transportador, que va de plana a acanalada en las poleas terminales, la tercera parte exterior de la banda debe viajar más que la tercera parte interior de la banda.

Por lo tanto, la tercera parte exterior de la banda debe estirarse más que la tercera parte interior. Si este estiramiento ocurre en una distancia muy corta, la banda puede dañarse hasta el punto en que los rodillos laterales exteriores se encuentran con los rodillos planos centrales. A este daño se le denomina falla de conexión de empalmes.

La falla de conexión de empalmes aparece como pequeñas estrías que están a lo largo de la banda en áreas que pasan sobre los puntos donde se unen los rodillos laterales y los rodillos planos. (Estas estrías corren paralelas a la banda, aproximadamente un tercio del ancho de la banda de cada borde). En las primeras etapas, se puede ver como una figura de "W" o "M" en la banda cuando pasa por un rodillo de retorno **(Figura 4.23)**. Este tipo de daño a la banda puede ser tan severo que de hecho puede rasgar la banda en tres partes.

La falla de conexión de empalmes es causada por una abertura muy grande entre los rodillos y la suficiente tensión o carga que puede forzar a que la banda se deforme en la abertura. Una distancia de transición muy corta y/o una abertura de empalmes de un rodillo de más de 10 milímetros (0.4 pulg.) o de lo doble del grosor de la banda puede causar falla en la conexión de empalmes. El grosor de la banda, los materiales de refuerzo, los materiales de construcción y ángulos de canal determinan la distancia de transición de una banda específica. Al diseñar un nuevo sistema, contemplar cambios en las especificaciones de la banda o aumentar los ángulos de canal, es importante verificar con el fabricante para asegurar que se mantengan las distancias de transición adecuadas tanto en las poleas de cabeza como en las de cola.

K. Concavidad de la banda

Una banda cóncava sucede cuando la banda tiene una curvatura permanente en su anverso, perpendicular a la línea de trayectoria **(Figura 4.24)**.

La concavidad de banda puede ser causada por el calor, por las distancias de transición que no coinciden con la banda o por un ángulo de canal muy severo para el tipo de banda que se está usando. Otra causa de concavidad es la sobretensión de la banda. La presencia de químicos como descongelantes o surfactantes de polvo también puede causar que la banda transportadora se ahueque hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de si el químico contrae o expande el elastómero en el recubrimiento superior de la banda. Las relaciones de aspecto demasiado grandes (en las que el recubrimiento superior es demasiado grueso para el recubrimiento inferior) también pueden causar que una banda se ahueque.

Las bandas cóncavas son muy difíciles de alinear, ya que el área de fricción, la superficie donde la banda hace contacto con los rodillos, se reduce drásticamente.

L. Combadura de la banda

La combadura es una curva longitudinal en la banda cuando ésta se ve desde arriba. La Asociación de Fabricantes de Caucho define combadura como el borde convexo de la banda; el lado cóncavo de la banda se llama arco **(Figura 4.25)**. Si una banda está compuesta de más de una sección,

Figura 4.24

Una banda ahuecada no se apoyará en los rodillos.

Figura 4.25

Vista desde arriba, una combadura es una curva longitudinal en la banda.

puede tener más de una combadura o hasta combaduras opuestas.

Este tipo de daño puede ser creado durante la fabricación o por almacenamiento, empalme o tensión inadecuada de la banda **(Figura 4.26)**. El almacenamiento y manejo son esenciales desde la fabricación hasta el momento de instalación.

Estas curvas en la banda producen problemas de alineación que a menudo se confunden con empalmes torcidos. La combadura y arco producirán lentitud al movimiento lateral; un empalme torcido produce un "salto" más rápido en la alineación de la banda. Sin embargo, un empalme torcido tiene poca área de influencia, mientras que la curva de una combadura o arco va desde un extremo a otro de sección de la banda transportadora.

Figura 4.26

La combadura de la banda puede ser creada durante la fabricación o por un inadecuado almacenamiento, empalme o tensión de la banda.

Figura 4.27

Se pueden usar adhesivos especializados para reparar una banda dañada.

REPARACIÓN DE LAS BANDAS

Reparación de la banda transportadora

En la mayoría de las operaciones, la vida de las bandas se mide en años. Para lograr el menor costo de operación, la inspección de la banda debe ser un procedimiento programado de mantenimiento. Cualquier daño observado a la banda durante estas inspecciones debe ser reparado rápidamente para evitar que los problemas menores se conviertan en mayores. El daño a la banda puede permitir la entrada de polvo o de materiales ajenos en la banda, y por lo tanto provocar que la banda falle prematuramente. Para conservar la banda, es importante hacer reparaciones puntuales y eficaces de cualquier daño.

Las reparaciones de vulcanizado se pueden hacer durante las interrupciones de mantenimiento programadas cuando hay suficientes paros en producción de los transportadores para dar el tiempo requerido para hacer una unión vulcanizada. En casi todos los casos, una reparación de vulcanizado requiere la remoción de una sección completa de la banda y después reempalmar el resto o añadir una pieza adicional de banda, a menudo llamada "doble empalme".

Afortunadamente, muchas formas de daño son adaptables a métodos de reparación relativamente simples. Las formas reparables de daño incluyen:

A. Surcos en los que el recubrimiento superior se desgasta por la abrasión del material o de un objeto ajeno
B. Rasgaduras longitudinales en las que la banda es hendida por un objeto fijo, como una barra de metal encajada en la estructura del transportador
C. Rasgaduras de perfil en las que una pequeña rasgadura del borde de la banda se extiende hacia adentro
D. Perforaciones en los bordes en las que objetos romos arrancan pedazos de caucho del borde de la banda, causadas generalmente por el desalineamiento de la banda en la estructura del transportador

Las reparaciones se pueden hacer con materiales de auto reparación de tipo adhesivo para mantener la humedad o material ajeno fuera del armazón. Los alineadores mecánicos son otro método para reparar bandas dañadas para restaurar el servicio sin paros en producción significativos y extender la vida de servicio de las bandas costosas.

Reparación de la banda usando adhesivos

Los adhesivos proporcionan medios rentables para reparar las bandas transportadoras con un adhesivo de alta calidad. El uso de compuestos adhesivos ahorrará paros en producción y dinero en los presupuestos de mantenimiento sin requerir equipo pesado de vulcanización ni crear obstrucciones con herrajes de reparación en la banda **(Figura 4.27)**. Los compuestos de reparación ofrecen soluciones simples para el mantenimiento de la banda. Estos compuestos son durables, confiables y fáciles de usar. Existe una gran cantidad de productos para hacer esto. Incluyen cementos de contacto con base disolvente, termoplásticos activados por calor y elastómeros de uretano de dos componentes.

Todos estos sistemas requieren algún grado de preparación de superficie, que van desde una simple limpieza con solvente hasta un abundante pulido o lijado con chorro de arena de aire comprimido. Algunos pueden requerir una aplicación de una base para mejorar la adhesión.

Los cementos solventes, más comúnmente usados para los empalmes vulcanizados en frío, también se usan para pegar tiras y parches de reparación en áreas dañadas.

Los compuestos termoplásticos son "fusiones en caliente" que se calientan a un estado líquido y después se endurecen a medida que se enfrían, formando una unión. A medida que se enfrían rápidamente de su temperatura de aplicación de 120 a 150 grados Celsius (250° a 300° F), la reparación debe hacerse rápidamente, antes de que el adhesivo regrese a su condición sólida (no adhesiva). Los problemas que se han encontrado con los adhesivos termoplásticos incluyen la posibilidad de contracción a medida que el adhesivo se enfría y el riesgo de que las operaciones o carga de alta temperatura pueda causar un ablandamiento del adhesivo, causando a su vez una falla en la reparación.

Los productos de uretano son típicamente sistemas de dos componentes que el usuario puede mezclar y después esparcir como betún de pastel directamente en el área a reparar. Típicamente logran fuerza de operación en un corto período de tiempo, de una a dos horas, pero continuarán curándose de ocho a doce horas hasta que se llegue a la fuerza de curado necesaria.

Todos los sistemas adhesivos ofrecen aplicaciones relativamente simples, asumiendo que se sigan las instrucciones. Por supuesto, es crítico que las instrucciones del fabricante del adhesivo se sigan cuidadosamente desde la preparación de la superficie, la mezcla de los componentes, vida en el envase, técnica de aplicación y tiempo de curación. La duración del tiempo de curado de operación y un curado completo pueden sentar las bases para seleccionar cualquier producto en particular.

Es importante obtener el perfil del área reparada para que coincida con el perfil de la banda original para poder conservar la reparación y evitar más daño a la banda.

También es importante identificar y resolver la causa del problema, removiendo la obstrucción o corrigiendo el desalineamiento que causa el daño a la banda en primer lugar. De lo contrario, la reanudación de operaciones después de la reparación sólo inicia un período de espera hasta que el daño vuelva a aparecer y se tenga que hacer de nuevo la reparación.

Alineadores mecánicos para reparación de la banda

Por su relativa facilidad de instalación, a menudo se usan empalmes mecánicos en situaciones de reparaciones de emergencia como cuando se debe añadir un nuevo pedazo de banda a una banda vieja o cuando una banda debe ser parchada o una rasgadura cerrada **(Figura 4.28)**. En estos casos, los alineadores mecánicos se usan como "banditas adhesivas"

Figura 4.28

Las bandas dañadas se pueden reparar usando alineadores mecánicos.

para cubrir el daño y cerrar un orificio, permitiendo que el transportador vuelva a funcionar de nuevo.

Los empalmes mecánicos se pueden usar eficazmente para reparar la banda, contemplando que se tenga cuidado para instalar y retirar los alineadores adecuadamente. Por supuesto, el problema con todas las reparaciones temporales es que muy rápidamente la parte "temporal" se olvida. El sistema está funcionando; el personal de la planta continúa con sus actividades, al menos mentalmente, para resolver otros problemas. Debe recordarse que estas reparaciones son sólo temporales y no están diseñadas para la permanencia. Siempre es importante resolver la causa raíz del problema para poder evitar la recurrencia.

Figura 4.29

Los alineadores tipo garra se pueden martillar en el lugar para una reparación rápida de una banda rasgada.

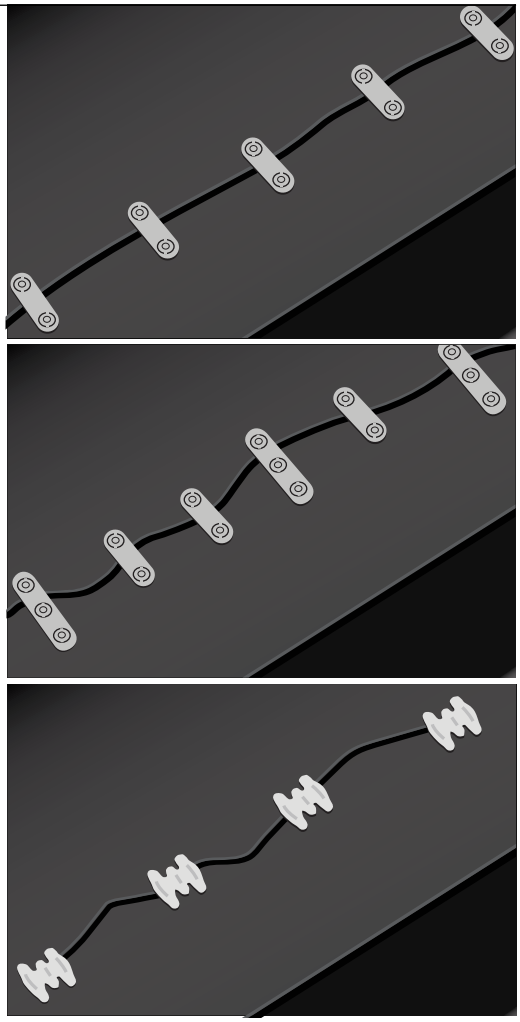


Figura 4.30

Las bandas dañadas se pueden reparar con alineadores de reparación de rasgaduras en un patrón que alterna alineadores de dos y tres pernos.

La recuperación del daño de la banda no tiene que implicar un paro en producción prolongado. Los sujetadores mecánicos de reparación de rasgaduras ofrecen una reparación económica y rápida. Pueden instalarse con herramientas simples y sin tirar partes de la banda. En cuanto los alineadores estén en su lugar, la banda puede continuar con su servicio sin esperar tiempo de "curado". Se pueden instalar en la parte superior de la banda, sin quitar la banda del transportador.

Los alineadores de una pieza tipo "garras" que se martillan pueden reparar temporalmente las rasgaduras cuando es crítica la velocidad de la reparación y el regreso a las operaciones **(Figura 4.29)**. Estos alineadores para reparar las rasgaduras también pueden usarse para fortalecer perforaciones y puntos suaves y dañados en la banda para prevenir que se conviertan en rasgaduras. Para reparar las rasgaduras angulosas (en "zigzag"), los proveedores de empalmes recomiendan alternar alineadores de dos y tres pernos **(Figura 4.30)** a lo largo de la reparación. El lado más grande (de dos pernos) de los alineadores de tres pernos debe colocarse en el lado de la lengüeta más "débil" de la rasgadura para más fuerza. Para rasgaduras rectas, los alineadores mecánicos de dos pernos son aceptables.

CÓMO PRESERVAR LA VIDA DE LAS BANDAS

Sistemas de detección de rasgaduras

Un número cada vez mayor de operaciones actúan para preservar la vida de sus bandas instalando sistemas de detección de rasgaduras. En el evento de una rasgadura en la banda transportadora, estos sistemas hacen sonar una alarma y/o automáticamente paran un transportador.

Estos sistemas están diseñados para la situación en la que una rasgadura a lo largo de toda la banda, que surge de una pieza de hierro atrapado o un terrón de material encajado que rasga la banda en dos piezas independientes (o casi independientes) requiera el reemplazo de una costosa banda. Sin un sistema de detección

de rasgaduras, una rasgadura de la banda puede continuar por cientos o miles de pies.

Los sistemas de detección de rasgaduras son vistos más comúnmente en transportadores muy costosos que son críticos para la producción. En estas circunstancias, la operación se pararía durante el tiempo requerido para adquirir e instalar una nueva banda o para reparar una rasgadura a lo largo de toda la banda.

Los sistemas de detección de rasgaduras son particularmente valiosos para los transportadores largos, en los que una longitud típicamente dañada de 60 metros (200 pies) antes de que el transportador pueda parar representa una pérdida insignificante en comparación con el valor de la longitud de banda salvada por el paro automático.

Aunque existan diferencias en los principios de operación de los diferentes sistemas de detección de rasgaduras, cada sistema tiene un sensor o agente de señal empotrado en algunas partes de la banda transportadora. A medida que se mueve la banda, estos indicadores pasan por los puntos de detección, típicamente instalados en lugares en los que es probable que ocurra una rasgadura: la zona de carga y descarga. Cuando la rasgadura en la banda causa que la señal se interrumpa, la alarma suena y la banda se detiene.

Estos sistemas minimizarán el daño a la banda y permitirán que la planta reduzca la cantidad de bandas que debe tener en inventario.

Monitoreo de la banda transportadora

A medida que las plantas de operación se esfuerzan para extender los períodos de producción, los márgenes de oportunidad para el mantenimiento continúan reduciéndose. Las compañías de provisión y soporte de los transportadores pueden ahora ayudar a adaptarse a la situación proporcionando herramientas que dan una mejor comprensión de la condición de la banda transportadora.

Además de los sistemas de detección de rasgaduras mencionados anteriormente, existen servicios que proporcionan un monitoreo exhaustivo de la condición de una banda. Los factores analizados incluyen la condición del armazón, la condición y el desgaste del recubrimiento superior, incluyendo su grosor y su vida restante estimada y la condición de los empalmes.

La detección temprana, el mapeo y monitoreo de áreas dañadas y de fuerza de los empalmes permite que se programen períodos de mantenimiento con anticipación y se extienda la vida de servicio de los sistemas de transportador que están bajo su control.

INSTALACIÓN DE LAS BANDAS

En resumen...

El sistema de transportadores es un elemento clave para la eficacia de una operación entera y la instalación de bandas es la clave para la productividad de un transportador. Por consiguiente, la preservación del potencial y vida de la banda es esencial. Considerando la inversión inicial en las bandas transportadoras, la importancia de preservar una banda a través de inspecciones regulares y actividades de reparación no puede exagerarse. Los costos relativamente menores de una inspección cuidadosa y reparación de las bandas y el gasto más significativo de un paro de transportador para permitir que se realice esa reparación se compensará muchas veces con una larga vida de la banda.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo, La banda, fue el segundo capítulo sobre los fundamentos de los transportadores en la sección Fundamentos del manejo seguro de los materiales a granel. El siguiente capítulo, Empalme de la banda, concluye esta sección describiendo varios tipos de empalmes de banda y su impacto en los materiales fugitivos.

REFERENCIAS

4.1 Los fabricantes y distribuidores de bandas pueden proporcionar materiales sobre la construcción y el uso de sus productos y de las bandas en general.

4.2 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*. Naples, Florida.

4.3 El sitio http://www.conveyorbeltguide.com es un valioso recurso que abarca muchos aspectos relacionados con las bandas.

5

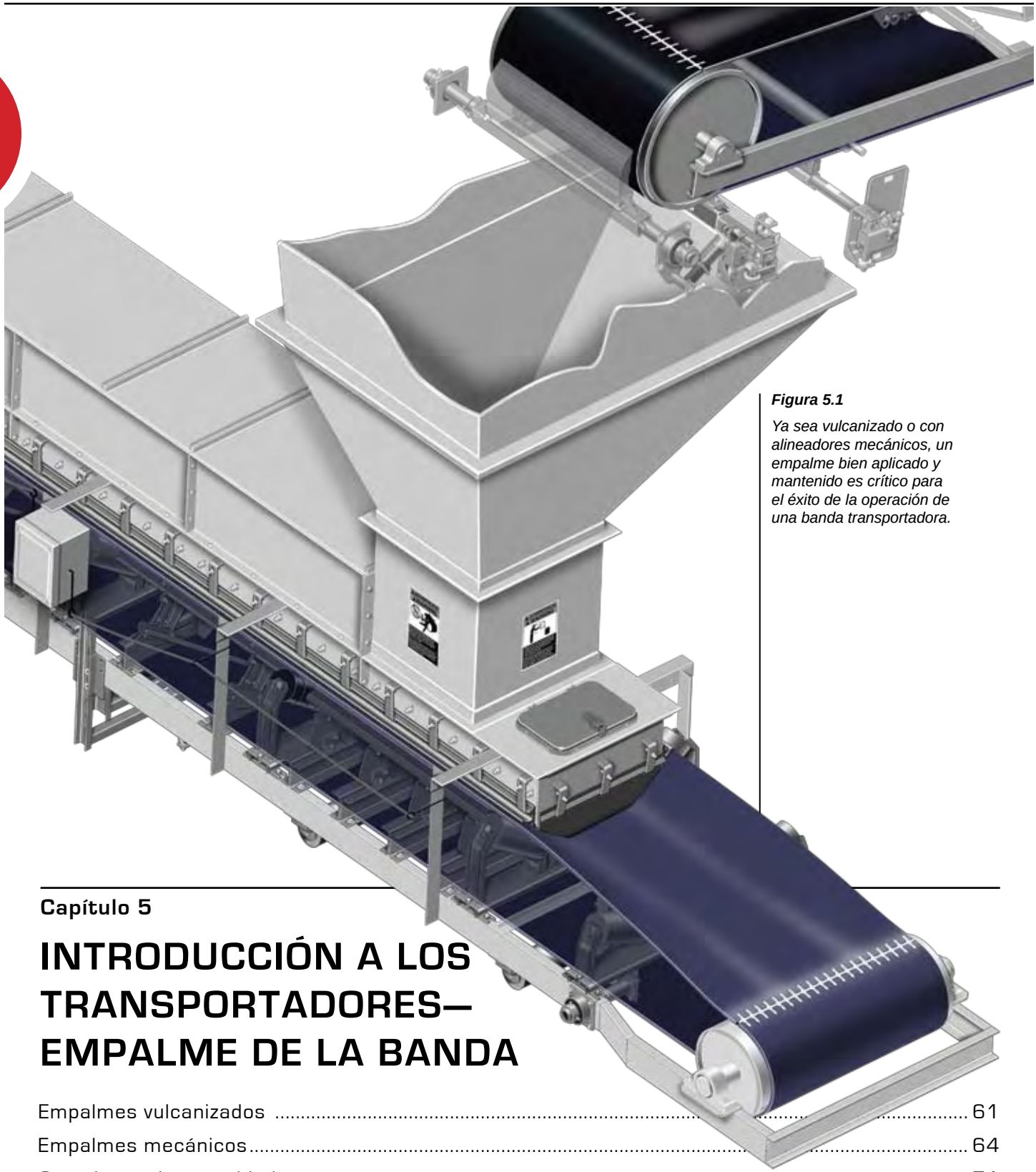


Figura 5.1

Ya sea vulcanizado o con alineadores mecánicos, un empalme bien aplicado y mantenido es crítico para el éxito de la operación de una banda transportadora.

Capítulo 5

INTRODUCCIÓN A LOS TRANSPORTADORES—EMPALME DE LA BANDA

Empalmes vulcanizados 61
Empalmes mecánicos 64
Cuestiones de seguridad 71
Diseño de empalme seguro 72
Estaciones de mantenimiento e instalación 72
Inspección y monitoreo 72
La importancia del empalme 73

En este capítulo...

En este capítulo discutiremos los métodos usados para unir la banda, incluyendo los empalmes mecánicos y la vulcanización caliente y fría **(Figura 5.1)**. El capítulo revisará las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas enfatizando a la vez la importancia de la instalación, inspección y mantenimiento adecuados.

Las bandas transportadoras se envían de la fábrica en un rollo, y antes de su uso, se deben unir los dos extremos de la banda para proporcionar un giro continuo. Los dos métodos de empalme de los extremos de la banda son la vulcanización y los alineadores mecánicos.

Ambas técnicas se emplean en todo el mundo. En Norteamérica, predomina el empalme mecánico de la banda; fuera de Norteamérica la vulcanización es más común. Por los motivos que se comentarán en esta sección, la vulcanización es preferida para el control de materiales fugitivos; sin embargo, en muchos casos, la necesidad de regresar el transportador a trabajar forzará el uso de empalmes mecánicos.

EMPALMES VULCANIZADOS

La vulcanización es el proceso de curar el caucho en bruto combinando el caucho con aditivos en la presencia de calor y presión (vulcanización "caliente"). La unión de los extremos de la banda con adhesivos es conocida en el negocio de las bandas como vulcanización "fría".

La vulcanización es generalmente el método preferido de empalme de bandas, debido a que ofrece fuerza superior, larga vida de servicio y una operación más limpia. Los empalmes vulcanizados son realmente la única opción para el desempeño a largo plazo de las bandas de cuerdas de acero de alta tensión. Las operaciones que requieren adiciones o remociones frecuentes de secciones de la banda, como las bandas subterráneas extensibles o transportadores con capacidades de ajuste limitadas que requieren acortar la banda para mantener la tensión, no son adecuadas para los empalmes vulcanizados.

Debido a su fuerza superior, los empalmes vulcanizados permiten la aplicación de una máxima tensión en la banda, resultando en una mejor tracción de la polea a la banda.

Un empalme vulcanizado no tiene tejido, trenzado, cosido, soldado interno ni ningún otro acoplamiento mecánico. El empalme depende únicamente de la adhesión de caucho al armazón o cuerdas de acero, mientras que los miembros tensiles del empalme, capas textiles o cuerdas de acero no se tocan unos a otros. La adhesión se obtiene a través del uso de un caucho intermediario o material semejante al caucho llamado cemento.

Pasos para vulcanizar una banda

Los pasos para vulcanizar los empalmes varían entre los fabricantes **(Figura 5.2)**. En general hay tres pasos:

A. Preparación de los extremos de la banda

En el primer paso para la banda de armazón de tela, se cortan los extremos en el ángulo correcto y después se retiran o se jalan para exponer las diferentes capas que se deben unir. Se debe tener cuidado de no dañar las capas ni las cuerdas. El proceso para la banda de cables de acero implica recortar el recubrimiento de caucho **(Figura 5.3)**.

B. Aplicación de cemento, goma u otro material intermediario

El segundo paso es la unión de las capas, semejante a la preparación de un sándwich, lo que formará el empalme terminado. En las bandas de cables de acero, las cuerdas se traslapan, y después se aplican agentes de adhesión adecuados a los cables expuestos. Después se ponen en su lugar los cauchos de relleno y recubrimiento, y la banda se cura de la misma manera que las bandas de cables de acero y de tela.

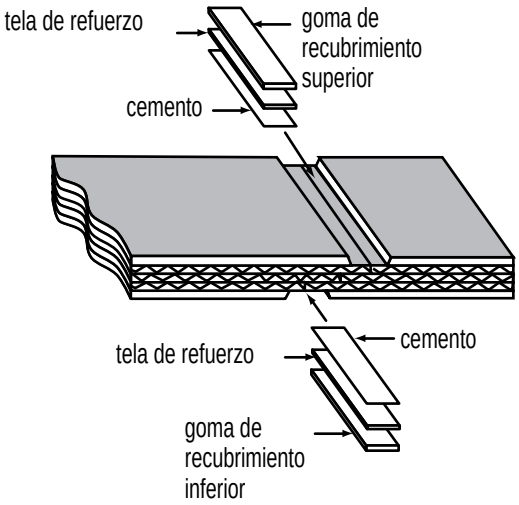


Figura 5.2

Un empalme vulcanizado se hace de un sándwich de banda y materiales adicionales.

C. Curado del empalme

Los materiales ensamblados se presionan y curan juntos, a través de la aplicación de calor, presión y/o tiempo, para formar el empalme terminado.

Típicamente, los materiales usados para un empalme vulcanizado como cemento, tiras de caucho llamadas fideos, o cubierta, dependiendo del estilo y construcción de la banda, están disponibles en juego. Los juegos del fabricante de la banda son los preferidos, aunque hay juegos genéricos para la mayoría de los grados de banda más comunes. Los materiales del juego son perecederos; tienen una vida útil especificada en almacenamiento y una "vida en el envase" limitada cuando se mezclan al estado listo para aplicar.

Existen dos tipos de vulcanización: caliente y fría. En la vulcanización caliente, se retiran las capas de la banda de manera escalonada y se traslapan con adhesivo y caucho. Entonces una prensa caliente o "plancha" aplica calor y presión para "vulcanizar" la banda en un aro sin fin. En la vulcanización fría (llamada técnicamente adhesión química), las capas de la banda se unen con un agente adhesivo que se cura a temperatura ambiente. La vulcanización, particularmente la vulcanización caliente, usualmente es realizada por contratistas externos que tienen el equipo especializado y experiencia para realizar el procedimiento requerido.

Figura 5.3

El proceso de empalme para la banda de cables de acero implica recortar el recubrimiento de caucho.

Figura 5.4

Se usan calor y presión de una prensa especial para formar un empalme de "vulcanización caliente".

Vulcanización caliente

En la vulcanización caliente, una prensa especial **(Figura 5.4)** aplica calor y presión al empalme para curar los materiales intermediarios y de recubrimiento en una unión de gran fuerza. La prensa aplica presión constantemente en todas las superficies. La presión puede ir de 34 a 1200 kilopascales (5 libras$_f$/pulg.^{2} a 175 lb$_f$/pulg.^{2}), dependiendo de la banda. Las temperaturas de cocción van de 120 a 200 grados Celsius (250° a 400° F), dependiendo del tipo de banda y del compuesto de caucho. El tiempo requerido para curarse dependerá del grosor y compuesto de la banda: los fabricantes de las bandas normalmente incluyen tablas de tiempo y temperatura en los manuales de empalme. Aunque el equipo es automatizado, el proceso puede requerir atención humana constante para lograr los mejores resultados. Las prensas vulcanizadoras portátiles para curar empalmes están disponibles en diferentes tamaños para coincidir con el ancho de las bandas. Los empalmes pequeños de banda de tela pueden curarse a menudo en una sola instalación. Los empalmes más grandes de banda de tela se pueden curar en dos, tres o más configuraciones de la prensa vulcanizadora sin problemas. Con las bandas de cuerdas de acero y los empalmes de dedo, es importante que la prensa sea lo suficientemente grande para curar el empalme en una sola configuración para evitar flujo de caucho no deseado y mala colocación de las cuerdas.

Cuando el procedimiento de vulcanización, o "cocción", se completa, el empalme resultante debe ser inspeccionado para detectar cualquier defecto visible que pueda indicar una debilidad. Es una práctica común lijar cualquier caucho sobrante del empalme para mejorar el desempeño de la unión a medida que pasa por los limpiadores de la banda y otros componentes del transportador.

Vulcanización fría (adhesión química)

En la vulcanización fría, la banda se une usando adhesivos o agentes de adhesión que fusionarán los extremos de la banda para formar un ciclo continuo.

En el empalme frío, la unión no se cura en una prensa. Los extremos de la banda se juntan cuidadosamente en alineación con el adhesivo y el contacto completo se logra con los rodillos manuales, rodillos de presión o martilleo en un patrón preestablecido. La unión puede mejorar a menudo simplemente poniendo pesas en la banda durante el intervalo de curado. La mayoría de los cementos de vulcanización fría requieren de por lo menos cuatro horas para un curado utilizable y 24 horas para un curado completo. Se logran mejores resultados siguiendo las recomendaciones del fabricante. El fabricante de la banda es la mejor fuente de información sobre las técnicas y los materiales de vulcanización adecuados.

Patrón de empalme

Los empalmes vulcanizados requieren el corte de capas de recubrimientos de caucho y armazón de tela para permitir que los extremos se traslapen y se unan. En general, la geometría de un empalme puede ser igual sin importar que la unión tenga vulcanización caliente o fría.

Los empalmes sesgados son más comunes, ya que el ángulo aumenta la longitud de la superficie de adhesión y reduce el estrés en el empalme a medida que se curva alrededor de las poleas del transportador. El ángulo del sesgo también sirve para reducir la probabilidad de rasgar el extremo principal del empalme. Este ángulo del sesgo es de 22 grados generalmente; la mayoría de las prensas vulcanizadoras se fabrican con este ángulo de sesgo integrado **(Figura 5.5)**.

Un diseño que está ganando cada vez mayor aceptación, particularmente en bandas de tela de alta tensión, es el empalme de dedo **(Figura 5.6)**. Este diseño implica cortar los dos extremos de la banda en una serie de "dedos" triangulares angostos. Los dedos, cada uno típicamente de 30 ó 50 milímetros (1-3/16 ó 2 pulg.) de ancho en la base y de entre 850 a 1200 milímetros (33 a 48 pulg.) de longitud, dependiendo de las especificaciones de la banda, se entrelazan, y entonces se realiza la vulcanización. Los empalmes de dedo deben realizarse en una sola "cocida".

En todos los diseños de empalme, es importante que las áreas traslapadas y cualquier material añadido a la unión estén instalados adecuadamente para minimizar el daño al empalme terminado por los sistemas de limpieza de bandas u otros componentes.

Ventajas de la vulcanización

Aunque un empalme vulcanizado es más caro y tardado de realizar, usualmente es una excelente inversión. Proporciona una fuerte unión capaz de soportar altos niveles de tensión de la banda. Los empalmes realizados por empresas reconocidas usarán materiales y mano de obra de alta calidad y típicamente están garantizados. Ya que los empalmes vulcanizados unen químicamente la banda en una pieza sin fin sin posibilidad de que se filtre el material a través del empalme, desde el punto de vista del

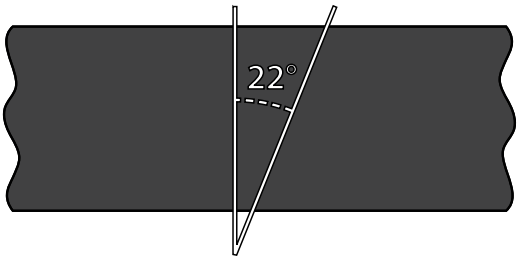


Figura 5.5

Los ángulos sesgados son generalmente de 22 grados.

Figura 5.6

Usado en las bandas de alta tensión, un empalme de dedo puede dar la mejor combinación de fuerza y vida del empalme.

control de material fugitivo, la vulcanización es el empalme que se debe elegir. Un empalme realizado adecuadamente no interferirá con el faldeo de caucho, los rodillos, las estructuras de soporte de la banda ni los limpiadores de la banda.

La vulcanización fría ofrece algunas ventajas sobre la vulcanización caliente. No se requiere fuente de calor ni una prensa, el equipo es más fácil de transportar y no se requiere de electricidad especial. Por lo tanto, se pueden realizar empalmes vulcanizados fríos aun en sitios remotos de acceso difícil y donde no hay energía disponible. Únicamente se requieren pequeñas herramientas portátiles; por lo tanto, el costo de compra y mantenimiento de los empalmes es bajo.

Los empalmes vulcanizados fríos y calientes requieren casi el mismo tiempo para preparar la banda y completar el proceso de adhesión; sin embargo, el empalme frío puede requerir más paros en producción que la vulcanización caliente debido al largo tiempo de curado del adhesivo.

El empalme de dedo puede proporcionar la mejor combinación de fuerza de empalme y vida dinámica en aplicaciones de bandas de alta tensión. Este sistema mantiene todas las capas de la banda en su lugar, sin que ningún escalón se corte en la banda. Se puede cortar un empalme de dedo cuadrado o sesgado a lo ancho de la banda.

Desventajas de los empalmes vulcanizados

Las desventajas de la vulcanización que deben ser tomadas en cuenta son el alto costo inicial y el tiempo requerido para realizar el empalme en comparación con un empalme mecánico. Puede ser difícil retirar las capas de la banda para prepararla para la vulcanización caliente y la adhesión química fría. Puede tomar más de 24 horas para que el transportador vuelva a trabajar desde el momento en que se prepara el empalme, se calienta y se enfría lo suficiente para permitir que la unión terminada se maneje, o aún más tiempo para que se cure el adhesivo químico frío.

Este tiempo extra que se usa para completar un empalme vulcanizado será particularmente molesto (y costoso) en casos en los que se requiera una reparación de emergencia para permitir continuar con las operaciones. En este caso, el retraso requerido para contratar y traer personal y equipo externo al sitio aumenta el costo de paros en producción extendiendo la interrupción y añadiendo recargos por "respuesta de emergencia".

Debido a presiones de costo y tiempo, los empalmes de banda vulcanizados no pueden justificarse en aplicaciones donde se requieran frecuentes extensiones o retracciones del transportador. Lo mismo aplica cuando el ajuste de la banda no es suficiente para que se realice un empalme vulcanizado en la banda, y se debe añadir una sección corta de banda, llamada doble empalme, requiriendo dos empalmes.

El vulcanizado puede ser más difícil y menos confiable en bandas más viejas y desgastadas. En las aplicaciones en transportadores que se utilizan en el proceso de transporte de materiales calientes, es importante que todo el material sea descargado de la banda antes de detenerla. El material caliente que está sobre una banda detenida puede "cocer" un empalme y reducir su vida.

La instalación de un empalme vulcanizado puede consumir una cantidad considerable de banda, tanto como 2.4 a 3 metros (8 a 10 pies) en algunos casos, particularmente cuando se usa un empalme sesgado en una banda ancha. Esta instalación puede requerir que se compre una banda más larga o que se añada una nueva sección de banda transportadora o un doble empalme.

Al diseñar los nuevos sistemas de transportador que incorporan bandas vulcanizadas, es atinado incluir un mecanismo de polea de ajuste, diseñado para liberar la tensión de la banda. La polea de ajuste debe tener el movimiento suficiente para justificar el estiramiento de la banda, evitando así la necesidad de acortar la banda con un nuevo empalme que tomará mucho tiempo.

EMPALMES MECÁNICOS

Alineadores mecánicos

En la actualidad existen muchos tipos de alineadores mecánicos para los empalmes de banda. Todos se basan en el principio de unir dos extremos de la banda con un diseño de bisagra y pasador o de placa. Los alineadores mecánicos ahora se fabrican en una gran variedad de materiales que resisten la corrosión

y el desgaste y que igualan las condiciones de aplicación.

Durante muchos años, los empalmes mecánicos fueron considerados una alternativa de baja calidad como método de unión de la banda. Los acontecimientos recientes han mejorado la posición de los alineadores mecánicos contra la vulcanización. Estas innovaciones incluyen el uso de bandas más delgadas (gracias al uso de materiales sintéticos en la banda), mejoras en el diseño y materiales usados en los alineadores para aumentar la fuerza y reducir el desgaste y el desarrollo de herramientas para retirar el perfil del empalme.

Tipos de empalmes mecánicos

Hay alineadores mecánicos para las bandas que manejan materiales a granel disponibles como alineadores de bisagra o de placa, con opciones dentro de cada grupo.

Alineadores de bisagra

En los empalmes de alineadores de bisagra, una tira de placas superiores e inferiores unidas en un lado por aros de metal se coloca en cada uno de los extremos de la banda **(Figura 5.7)**. Estas tiras se unen a la banda con grapas, pernos o remaches. Después la banda se une pasando un pasador a través de los aros alternados de la bisagra.

Los alineadores de bisagra usualmente vienen en tiras continuas para que se ajusten a anchos de banda estándar. Estos conjuntos de tiras aseguran un espaciado y alineación adecuados. Las tiras están fabricadas de manera que puedan desprenderse para ajustarse en anchos no estándar de banda.

La ventaja principal de los alineadores de bisagras es que la banda se puede separar retirando el pasador. De esta manera la banda se puede acortar, extender, quitar de la estructura o abrir para permitir dar mantenimiento en los componentes del transportador.

Los alineadores de bisagra aportan otros beneficios. La instalación de los dos extremos de banda se puede hacer por separado e incluso realizarse fuera del sitio. Aunque no se recomienda unir bandas de diferente grosor, (por los problemas que esto puede ocasionar, incluyendo problemas de sellado, alineación y limpieza), los alineadores de bisagra permitirían que diferentes grosores de banda se combinen usando alineadores hechos para ajustarse a sus respectivas mitades de banda.

Segmentos de placa sólida

Un segundo tipo de empalme mecánico se realiza con alineadores de placa **(Figura 5.8)**. Esta clase de alineador hace que el empalme sea fuerte y durable sin aberturas de bisagra que dejen pasar partículas finas. Los alineadores de placa son eficaces en las aplicaciones de transportador resistente en minas, canteras y molinos de acero. En las aplicaciones donde la banda es más ancha de 22 milímetros (7/8 pulg.), los alineadores de placa son la única elección para la sujeción mecánica. Los alineadores de segmento de placa sólida están hechos únicamente para uniones permanentes y no se recomiendan en aplicaciones que

Figura 5.7

Abastecidos en tiras continuas para igualar el ancho de la banda, los alineadores de bisagra se unen con un pasador.

Figura 5.8

Aplicados con remaches, grapas o pernos, los alineadores proporcionan una unión firme para las aplicaciones de trabajo pesado.

requieran la abertura de la unión para cambiar la longitud o ubicación de la banda.

Los alineadores de segmento de placa sólida se abastecen como piezas individuales empacadas en una caja o cangilón. Los segmentos de placa se instalan de un borde de la banda a otro usando grapas, remaches o pernos.

Los alineadores de placa sólida atornillados tienen unas ventajas únicas. Pueden aplicarse diagonalmente a través de la banda para permitir el uso en poleas que son más pequeñas que el tamaño recomendado para el alineador. También se pueden instalar en un patrón en forma de V **(Figura 5.9)**, que puede ser la única opción para usar alineadores para unir las bandas gruesas de alta tensión diseñadas para la vulcanización.

Un problema con los alineadores de segmento de placa sólida sujetados con pernos es que típicamente usan sólo dos pernos en cada placa, uno a cada lado del empalme. El apretamiento en los extremos del empalme significa que los bordes delanteros y de flujo están más comprimidos que el centro de la placa. Esto permite que el centro se eleve, creando un punto de desgaste en el alineador y en los limpiadores de banda que se ponen en contacto con la banda a medida que se mueve en su trayecto por el transportador.

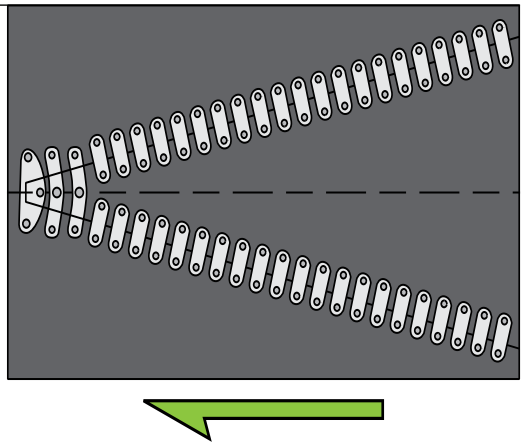


Figura 5.9

Un empalme en forma de "V" puede ser la mejor elección para unir cables de alta tensión con alineadores mecánicos.

Los alineadores de placa sólida remachados están diseñados para las aplicaciones más demandantes de alta tensión. La unión de puntos múltiples en cada lado de la bisagra proporciona el poder de sujeción más alto de cualquier alineador mecánico. Se pueden instalar sin herramientas eléctricas, usando un martillo para fijar los remaches y romper cualquier cabeza que esté sobre la banda. Esto es una ventaja en lugares remotos o subterráneos.

Puede surgir un problema si el transportador usa poleas más pequeñas de 300 milímetros (12 pulg.) de diámetro. En este caso, los alineadores de placa sólida pueden ser demasiado grandes para doblarse alrededor de la polea, causando que los componentes del empalme se salgan o se rompan.

Empalmes de placa de matriz flexible

Una técnica adicional de empalme son los empalmes de placa de matriz flexible. Este sistema usa pernos autorroscantes atornillados a través de una matriz de bisagra en forma de H (o quizá de una viga I). Para formar esta unión, los dos extremos de la banda se desbastan en un sesgo hasta el armazón de tela y después se insertan en los extremos abiertos de la matriz de bisagra reforzada con caucho en forma de H. Después la matriz (que corre al ancho completo de la banda) se sujeta a la banda usando hasta 240 pernos por metro de ancho de banda.

Figura 5.10

Un empalme de matriz flexible ofrece una instalación relativamente simple usando únicamente herramientas simples. El empalme usa pernos autorroscantes a través de una matriz en forma de H para unir los dos bordes de la banda.

Este sistema ofrece una instalación relativamente rápida y fácil, usando únicamente herramientas de desbaste y un desarmador eléctrico **(Figura 5.10)**. El empalme se puede instalar en cualquier clima y en lugares donde sería difícil usar una prensa vulcanizadora u otras herramientas de empalme. No requiere tiempo de curado y se puede usar para unir o reparar bandas transportadoras. Se usa como reparación temporal, la matriz se puede retirar y reutilizar.

Un beneficio del empalme de matriz flexible es que es a prueba de fugas, ya que no hay

aberturas entre los extremos de las bandas ni hay agujeros que permitan que el material se filtre.

Este sistema se usa actualmente para unir bandas de armazón de tela; el proveedor está intentando desarrollar y asegurar la aprobación para su uso en bandas de cables de acero.

Seleccionar el alineador adecuado

Hay muchos alineadores disponibles en una gran variedad de tamaños. En todo caso, las recomendaciones del fabricante deben verificarse para asegurar que el tamaño del alineador coincida con los tamaños de la polea y el grosor de la banda.

Si la banda se va a desbastar para poder avellanar el alineador a la superficie de la banda, este grosor desbastado debe considerarse al pensar en el tamaño del alineador. El alineador se debe seleccionar en base al diámetro de la polea más pequeña del sistema.

Hay alineadores disponibles en una gran variedad de metales diferentes para cumplir con los requisitos de las aplicaciones especiales. Estas propiedades incluyen materiales que no producen chispas, no magnéticos, resistentes a la abrasión o a la corrosión. También existen los pasadores de bisagra en una selección semejante. Se debe contactar al fabricante para obtener la recomendación adecuada de cada aplicación específica.

La capacitación para la selección e instalación de empalmes debe llevarla a cabo personal calificado. Cuando se instalan según las instrucciones del fabricante, los empalmes mecánicos pueden ofrecer un método económico para unir la banda. Cuando se especifican o se aplican incorrectamente, los empalmes mecánicos pueden crear problemas costosos y recurrentes.

Instalación adecuada de alineadores

Los empalmes mecánicos pueden ser instalados de manera relativamente fácil por personal de la planta; sin embargo, como consecuencia pueden ser mal aplicados, particularmente por personal no capacitado o en una situación de urgencia. Es de suma importancia que el personal de la planta sea capacitado en la instalación adecuada de los alineadores mecánicos.

Es una práctica común pero incorrecta el tener sólo un tamaño de empalmes mecánicos en el almacén de mantenimiento. A través de los años, las especificaciones de las bandas usadas en una planta pueden haber cambiado, pero los alineadores mecánicos del almacén siguen siendo los mismos, lo que puede causar una variedad de problemas, incluyendo falla del empalme y daño a los componentes del transportador. La instalación adecuada de un alineador mecánico requiere el uso del alineador correcto, las herramientas adecuadas y atención a los detalles.

Recortar los extremos de la banda en cuadrado

Donde se unen los extremos de la banda con alineadores mecánicos, el primer requisito de una buena unión es usualmente que los extremos de la banda se recorten en cuadrado. Si no se hace esto se provocará que el área de empalme de la banda se corra hacia un lado de la estructura en todos los puntos a lo largo del transportador. Esto se ve usualmente como un movimiento rápido de lado a lado a medida que el área del empalme pasa sobre cualquier punto de la estructura. Usar el borde de la banda como guía para el cuadrado no se recomienda ya que el borde de la banda puede no estar derecho. Las bandas transportadoras usadas pueden tener un borde indistinto debido al desgaste, por lo que se recomienda uno de los siguientes procedimientos:

A. Métodos de línea central

   Para encontrar la línea central promedio de la banda, mida de un borde de la banda al otro cinco puntos a lo largo de la banda, cada uno de apenas 300 milímetros (12 pulg.) más allá del extremo de la banda. Marque una serie de puntos en el centro de la banda, y conecte estos puntos usando un gis o una regla para determinar la línea central promedio **(Figura 5.11)**.

   Dibujar la línea de corte usando una escuadra. Dibuje una línea en la banda perpendicular a la línea de centro promedio. Esta línea se puede usar como línea de corte **(Figura 5.12)**.

B. Método de doble arco

   Para una mayor exactitud, o en las bandas que tienen los bordes desgastados, se puede emplear un método de "arco de intersección doble". Después de establecer una línea de centro como se hizo anteriormente, elija un

5

Figura 5.11

Para determinar la línea central promedio de la banda, conecte el centro de cinco puntos de medición a lo ancho de la banda.

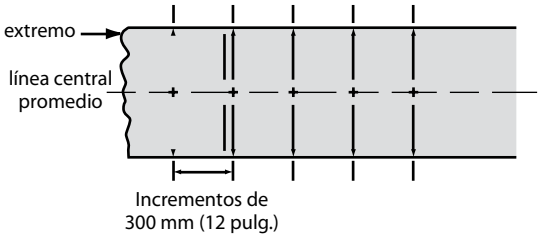


Figura 5.12

Use una escuadra para dibujar una línea de corte a lo largo de la banda perpendicular a la línea central promedio.

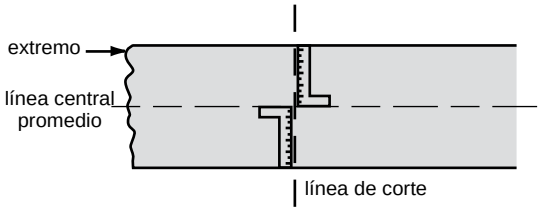


Figura 5.13

Paso uno: primero dibuje un arco desde un punto de eje de dos o tres veces el ancho de la banda desde el extremo.

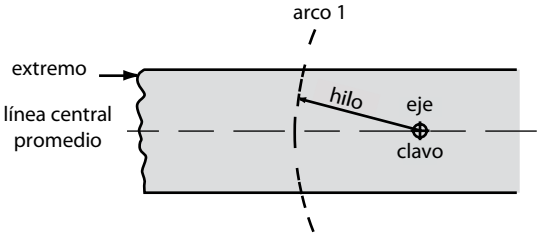


Figura 5.14

Paso dos: después dibuje un segundo arco para que haga intersección con el primero cerca del borde de la banda a ambos lados.

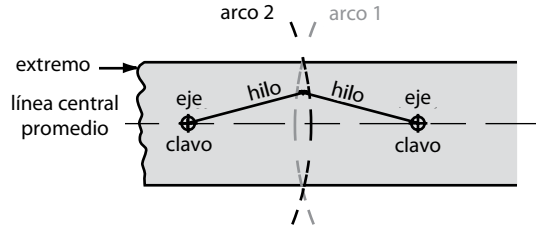


Figura 5.15

Paso tres: finalmente, marque la línea para cortar conectando los puntos donde los dos arcos hacen intersección cerca de ambos bordes de la banda.

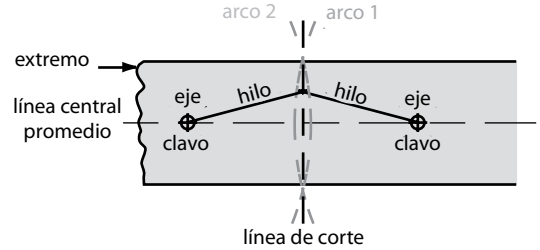
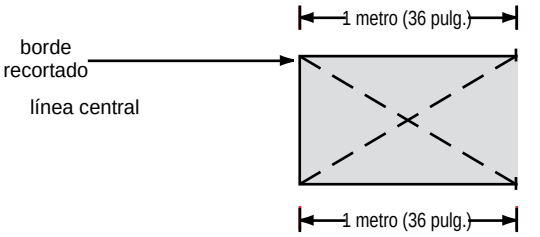


Figura 5.16

Para comprobar si la línea de corte es recta a lo ancho de la banda, mida diagonalmente desde puntos que están a la misma distancia a ambos lados de las bandas. Las líneas diagonales deben tener la misma longitud.



punto en la línea de centro dos a tres veces el ancho de la banda desde el extremo de esta. Usando un larguero con un clavo en la línea de centro como punto de eje, dibuje un arco en la banda de manera que el arco cruce el borde de la banda en ambos lados **(Figura 5.13)**. Ahora, haga un segundo punto de eje en la línea de centro mucho más cerca al extremo de la banda. Marque un segundo arco en la banda, éste en la dirección opuesta, de manera que el segundo arco cruce el primer arco en ambos lados de la línea de centro promedio cerca de los bordes de la banda **(Figura 5.14)**. Dibuje una línea de la intersección de los arcos de un lado de la banda a la intersección de los arcos del otro lado **(Figura 5.15)**. Esta nueva línea es perpendicular a la línea central de la banda transportadora y se convierte en el corte o línea de empalme.

Comprobar la exactitud de los extremos cuadrados

Sin importar qué método se use, es necesario revisar la exactitud. Para revisar la exactitud del extremo cuadrado, mida una distancia determinada (por ejemplo 1 m o 36 pulg.) lejos de la línea en ambos lados de la banda. Después mida diagonalmente desde estos nuevos puntos hasta el final del corte en el lado opuesto de la banda, y se obtiene una medida diagonal. Las dos líneas diagonales deben hacer intersección en la línea de centro de la banda, y estas líneas diagonales deben tener la misma longitud **(Figura 5.16)**.

La importancia de desbastar

Para que un empalme mecánico funcione en un punto de transferencia y permita un sellado y limpieza eficaces, las dos secciones de empalme superior e inferior deben empotrarse suficientemente en la banda para mantener constante el grosor de la banda y la superficie del empalme lisa, para evitar daño a los componentes y al empalme.

El recorte de los recubrimientos de la banda, llamado típicamente desbaste, monta los alineadores más cerca a la tela del armazón de la banda para una sujeción más firme **(Figura 5.17)**. El desbaste requiere que los recubrimientos superior e inferior sean recortados hasta el armazón de la banda. Ya que el armazón proporciona la fuerza de la banda y los recubrimientos superiores e inferiores proporcionan muy poca fuerza, esto no reducirá

la integridad de la banda o el empalme. Se requiere mucho cuidado al desbastar la banda, ya que cualquier daño al armazón de la banda puede debilitar el empalme y por lo tanto reducir la fuerza de la banda. Cuando el empalme se empotra adecuadamente, los componentes de metal de la bisagra mecánica se moverán sin incidentes más allá de las obstrucciones potenciales como las barras de impacto, el faldeo de borde de caucho y las hojas de limpiador de banda. El desbaste se recomienda para asegurar la integridad de la banda, el empalme y otros componentes del transportador. El desbaste de la banda reduce el ruido en la operación del transportador, ya que los alineadores están empotrados y no chocan con los rodillos a medida que la banda se mueve en el sistema.

El equipo para desbastar se puede adquirir con la mayoría de los proveedores de empalmes.

Rectificar un empalme mecánico

Si por algún motivo, como un grosor limitado de banda, daño a la banda, o tiempo limitado para hacer una reparación, es imposible empotrar un empalme mecánico desbastándolo, el empalme se puede rectificar. Esto se puede hacer ya sea bajando sus superficies salientes puliéndolas o sumiendo las superficies elevadas encapsulándolas.

Con el primer método, el pulido de los puntos altos asegurará que el borde principal o los pernos y remaches no sobresalgan del empalme. Se debe tener cuidado al pulir el empalme para evitar agujerar la banda o quitar parte del empalme.

El segundo método es encapsular el empalme con un material que lo proteja y también proteja al limpiador del daño por impacto **(Figura 5.18)**. Esto normalmente se logra con un adhesivo o elastómero que se aplica como masilla sobre la banda y el empalme. Aunque el sistema de limpieza aún tendrá que desplazarse sobre los alineadores mecánicos, la superficie del empalme será más lisa, sin obstáculos como cabezas de alineador en el trayecto del limpiador. La desventaja de este procedimiento es que como el empalme mecánico está cubierto, la unión es más difícil de inspeccionar y reparar.

Hacer muescas en el lado trasero

Para proteger las esquinas de la banda en el empalme, a menudo es útil hacer una muesca, o chaflán, a las esquinas de la banda en la unión. En las bandas de una dirección, es necesario hacer muescas únicamente al extremo posterior de la banda. Esta muesca se corta en la banda desde el primer alineador en cada extremo del empalme hasta el extremo de la banda en un ángulo de 60 grados. La muesca ayudará a prevenir que las esquinas de la banda se

Figura 5.17

Si se empotra adecuadamente, la parte superior del alineador mecánico estará pareja con la parte superior de la banda, o más baja.

Figura 5.18

La rectificación del empalme protegerá a los alineadores mecánicos y a los limpiadores de banda. Esto se puede hacer ya sea bajando sus superficies salientes puliéndolas o sumiendo las superficies elevadas encapsulándolas. Fotografía superior: antes de encapsular. Fotografía inferior: después de encapsular.

atasquen en la estructura del transportador y dañen el empalme o rasguen la banda **(Figura 5.19)**.

Manejo de los limpiadores de banda

Los alineadores mecánicos de banda a veces entran en conflicto con sistemas de limpieza de banda agresivos, especialmente donde se usan hojas duras de metal. Muchos operadores prefieren usar hojas de limpiador de banda no metálicas (por ejemplo de uretano) en bandas que tienen empalmes mecánicos por miedo a desgastar o enganchar el empalme y rasgarlo. La mayoría de estos tipos de problemas con los sistemas de limpiadores de banda se pueden atribuir a una selección o instalación inadecuada de los empalmes mecánicos.

Los nuevos avances ayudan a que los alineadores mecánicos sean más compatibles con los raspadores. Uno es el desarrollo de herramientas para desbastar que fácilmente remueven una tira uniforme de material de recubrimiento de la banda, dejando un canal liso y plano con un reborde redondo para recibir el empalme. Estos dispositivos son más rápidos y seguros que los métodos anteriores que usaban cuchillas o pulidoras.

Un segundo avance son los nuevos diseños de limpiadores "más compatibles con los alineadores", que ofrecen formas especiales de hojas, materiales y métodos de montaje que minimizan los problemas de impacto con placas alineadoras. La reciente introducción de alineadores mecánicos "rugosos", diseñados para permitir que las hojas del limpiador de banda "salten" sobre las placas sin dañar el limpiador o el empalme, ofrece la posibilidad de mejora en la durabilidad de la hoja y del alineador.

No hay estudios empíricos sobre el desgaste de empalmes debido a la interacción con material a granel y con los sistemas de limpieza y sellado. Si se cumple con las buenas prácticas de instalación y mantenimiento, deben elegirse los sistemas de limpieza y sellado y los empalmes en base al desempeño requerido, en lugar de preocuparse por su expectativa de vida.

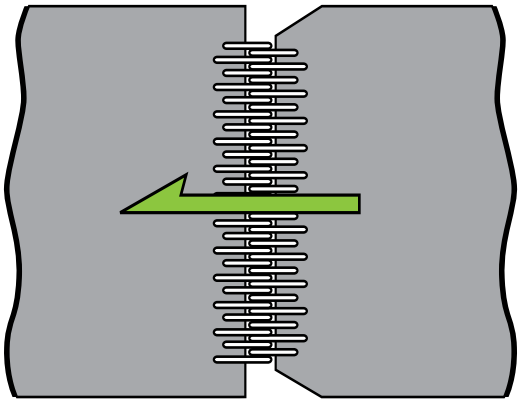


Figura 5.19

El borde posterior de la banda debe ser recortado en el empalme para evitar que las esquinas se enganchen en obstrucciones.

Ventajas de los empalmes mecánicos

La ventaja principal de los empalmes mecánicos es que permiten que la banda sea separada fácilmente. Esta separación del empalme permite la extensión o contracción de la banda en aplicaciones como minería; y permite dar servicio a otros componentes del transportador, como las poleas con recubrimiento térmico, rodillos o camas de impacto para acabarlo más fácilmente.

Una ventaja adicional de los alineadores mecánicos es que minimizan los paros en producción por reparación. Estos empalmes a menudo pueden instalarse en una hora o dos, mientras que una unión vulcanizada puede tomar un día entero o más para completarse. Los alineadores son fáciles de instalar por el personal de mantenimiento disponible, usando sólo herramientas de mano o máquinas portátiles simples; en contraste, la vulcanización usualmente requiere llamar a contratistas independientes con equipo especializado. Esta unión con alineadores costará unos cuantos cientos de dólares y consumirá sólo unos pocos milímetros de banda, mientras la unión vulcanizada puede costar varios miles de dólares y consumir varios metros de banda.

Los alineadores mecánicos proporcionan un empalme que es simple de realizar y fácil de inspeccionar. Si se inspeccionan con regularidad, los empalmes mecánicos normalmente advertirán sobre un fallo inminente. Los empalmes mecánicos son de bajo costo y se pueden almacenar por largo tiempo. Permiten una rápida instalación y un fácil alargamiento o encogimiento de la banda.

Es importante asegurarse de que la selección de alineadores siga las recomendaciones de los fabricantes de la banda y de los alineadores.

Desventajas de los empalmes mecánicos

Si los materiales que se transportan son calientes, la transmisión de calor a través de un alineador mecánico puede ser un factor que

lleve a la selección de un empalme vulcanizado. Cuando la temperatura del material excede los 121 grados Celsius (250° F), la cantidad de calor que pasa a través del alineador de metal al armazón de la banda puede debilitar las fibras, permitiendo finalmente que el alineador se desprenda. En estas aplicaciones, sería preferible un empalme vulcanizado.

Si no se inspeccionan los alineadores y las fallas resultantes de esos alineadores se puede dañar la banda severamente. Si los alineadores empiezan a jalar una porción del ancho del empalme, puede ocurrir un desgarre longitudinal de la banda. Cuando la banda y los alineadores han sido seleccionados adecuadamente, la extracción se debe usualmente a que los pernos no están ajustados debidamente o a ganchos o placas desgastados. Los alineadores mecánicos de placa permiten típicamente el reemplazo de placas individuales, que, si se realiza cuando el daño se observa por primera vez, puede eliminar la necesidad de cortar y reemplazar la unión entera.

Usar el tamaño o tipo de alineador mecánico incorrecto puede reducir enormemente la capacidad de tensión operativa de una banda. El grosor extra de un empalme mecánico que no está empotrado adecuadamente o de especificación errónea hará que sea casi imposible el sellado del punto de transferencia. Los empalmes que son muy grandes o muy gruesos para pasar a través del área del punto de transferencia pueden engancharse en el revestimiento de desgaste o en el chute lateral, maltratando el empalme y acortando su vida. Estos problemas con los empalmes a veces requieren que el revestimiento de desgaste y el chute lateral estén más arriba de la banda, permitiendo que más material llegue al sistema de faldón del borde. Esto, a su vez, resulta en un desgaste acelerado y en derrames. A menudo, los alineadores usados en el empalme no estarán recortados adecuadamente y estos remaches o pernos pueden engancharse en otros componentes como los sistemas del sellado lateral o los limpiadores de banda transportadora.

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Cualquier persona no capacitada que intente usar equipo de empalmes de banda para vulcanización o sujeción mecánica corre el riesgo de lesión así como la probabilidad de crear un mal empalme. Un riesgo significativo de un empalme de banda mal realizado es la probabilidad de que la banda falle por la tensión de las condiciones de aplicación. La falla del empalme podría resultar en lesiones al personal y daño al equipo.

Se deben hacer inspecciones antes del trabajo y se deben seguir las instrucciones del fabricante al usar herramientas, maquinaria o químicos para empalmes.

Todos los químicos, incluyendo los solventes, bases y cementos, deben almacenarse y manejarse adecuadamente, según las instrucciones del fabricante, poniendo especial atención a las limitantes de la vida útil.

Se debe usar ropa de protección, incluyendo guantes y protección para ojos, y el área de trabajo debe estar adecuadamente ventilada.

Se usan herramientas de mano afiladas y pulidoras eléctricas para cortar el caucho y preparar la unión, las cuales representan riesgos de corte y abrasión para los trabajadores.

El empalme de las bandas transportadoras a menudo se realiza bajo condiciones peligrosas, como en el interior de minas subterráneas, o estructuras inclinadas o elevadas, o en áreas de acceso limitado. Como siempre, se requieren procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación. La supresión adecuada sujetando la banda a la estructura es necesaria para prevenir cualquier movimiento de la banda. Los accesorios de sujeción que están diseñados para el tamaño y peso específicos de la banda transportadora que se va a empalmar, se deben adquirir con proveedores confiables.

La mayoría de los empalmes mecánicos, si no es que todos, permitirán que una pequeña cantidad del material transportado se filtre a través de la misma unión. Este material caerá a lo largo del transportador, resultando en problemas de limpieza y daño potencial a rodillos, poleas y otros componentes del transportador. Los alineadores de placa, en una unión bien hecha, no sufren de derrame de material. Todos los alineadores de bisagra tienen problemas con los materiales finos que se filtran a través de la unión; este problema se elimina con los empalmes vulcanizados.

Aunque da mayor fuerza, el empalme en forma de V tiene un costo. Puede requerir hasta 3 metros (10 pies) de banda para realizarse. Esto puede ser una cantidad significativa y costosa de banda desperdiciada.

Los empalmes mecánicos se usan en bandas de tela para hacer que la banda sea continua o para reparar rasgaduras y agujeros; sin embargo, en bandas de cables de acero, se pueden usar únicamente para reparaciones temporales.

DISEÑO DE EMPALME SEGURO

Los empalmes mecánicos y vulcanizados deben diseñarse con factores de seguridad al compararse con la tensión esperada de la banda. Estos factores de diseño para los alineadores mecánicos se incorporan a las tablas de selección de los fabricantes. Los empalmes vulcanizados en las bandas de cables de acero de alta tensión a menudo son diseñados individualmente por el fabricante o asesor de la banda. Si el empalme no coincide con la banda y no se justifican los factores de servicio y seguridad correctos esto puede resultar en fallas de empalme catastróficas que pueden causar lesiones, muerte, pérdida de producción y daño al equipo.

ESTACIONES DE MANTENIMIENTO E INSTALACIÓN

Algunas operaciones desarrollan lo que se llama una estación de empalme de la banda a lo largo del transportador. Aquí se almacenan herramientas y equipo para el mantenimiento del empalme y hay superficies de espacio y trabajo disponibles para la instalación del empalme. Este también puede ser el punto en el que se extrae una banda del transportador.

Una estación de empalme debe estar localizada donde haya mucho espacio, y que idealmente incluya espacio de trabajo a ambos lados de la estructura del transportador. La estación debe proteger a la banda de las condiciones climáticas y el material fugitivo. El espacio debe colocarse en un punto en el que haya una distancia de por lo menos cinco anchos de banda de larguero de transportador recto a cada lado del punto en el que se hará el empalme. Debe haber energía eléctrica disponible, incluyendo tomacorrientes para las herramientas de mano.

INSPECCIÓN Y MONITOREO

Inspección y servicio del empalme

Cuando se usan alineadores de perno, es importante que las placas se mantengan apretadas adecuadamente. La manera más práctica de lograr esto es apretando los pernos de manera que el caucho que está detrás de la placa se hinche ligeramente. Se debe tener cuidado de no apretar demasiado los alineadores ni de "enterrar" las placas en el recubrimiento de la banda, ya que esto podría causar daño a las capas de la banda. Los fabricantes generalmente sugieren volver a apretar los alineadores después de las primeras horas de operación, de nuevo después de los primeros días de operación y después en intervalos de dos o tres meses de operación.

Los empalmes deben inspeccionarse normalmente cada semana, reemplazando cualquier alineador que se vea desgastado teniendo cuidado con rupturas transversales en la parte posterior de los alineadores y revisando la extracción de los alineadores.

Sistemas de monitoreo de empalmes

Actualmente existen tecnologías más modernas que permiten la evaluación remota de los empalmes midiendo cualquier alargamiento del empalme. Estos sistemas están basados en el principio de que el alargamiento de un empalme es un indicador de falla inminente. El sistema se instala en bandas vulcanizadas colocando unos pequeños objetivos magnéticos en la banda a una distancia fija a cada lado de los empalmes; si los alineadores mecánicos de la banda están en su lugar, el sistema los puede usar como objetivos. El sistema monitoreará la distancia entre los pares de objetivos cada vez que un empalme pase por el escáner. Esta distancia se

mide, y si un empalme no está dentro de los límites establecidos, el sistema de monitoreo parará la banda o alertará al personal de la banda para que revise el problema. Además, el sistema puede ayudar a identificar si un alineador ha sufrido un daño severo y debe ser reemplazado.

LA IMPORTANCIA DEL EMPALME

En resumen...

Ya sea vulcanizado o con alineadores mecánicos, un empalme adecuadamente diseñado, bien aplicado y mantenido es crítico para el éxito de las operaciones de una banda transportadora. La aplicación inadecuada de un empalme acortará la vida de la banda e interferirá con el programa y eficacia de la operación del transportador. El cuidado al aplicar el empalme adecuado de manera correcta beneficiará a toda la planta. En las palabras de un antiguo axioma: "si no tiene el tiempo para hacerlo correctamente, ¿cuándo va a encontrar el tiempo para hacerlo de nuevo?"

Mirando hacia adelante...

Este capítulo, Empalme de la banda, que explica cómo los empalmes inadecuados o postergados pueden permitir que los materiales fugitivos se escapen de la banda, concluye la sección Fundamentos del manejo seguro de los materiales a granel. El siguiente capítulo empieza con la sección relacionada con Cargar la banda y aborda el área Antes de la zona de carga, enfocándose en las poleas de cola y en las áreas de transición.

REFERENCIAS

5.1 Todos los fabricantes y la mayoría de los distribuidores de bandas pueden proporcionar materiales sobre la construcción y el uso de sus productos específicos, así como sobre las bandas en general.

5.2 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*. Naples, Florida.

5.3 El sitio web http://www.conveyorbeltguide.com es un valioso recurso que abarca muchos aspectos de las bandas.

SECCIÓN 2

CARGAR LA BANDA

• Capítulo 6 76
ANTES DE LA ZONA DE CARGA

• Capítulo 7 90
CONTROL DEL AIRE

• Capítulo 8 100
CHUTES DE TRANSFERENCIA CONVENCIONALES

• Capítulo 9 116
PROMOTORES DE FLUJO

• Capítulo 10 130
SOPORTE DE LA BANDA

• Capítulo 11 152
CHUTES LATERALES

• Capítulo 12 170
REVESTIMIENTOS DE DESGASTE

• Capítulo 13 180
SISTEMAS DE FALDÓN DEL BORDE

6

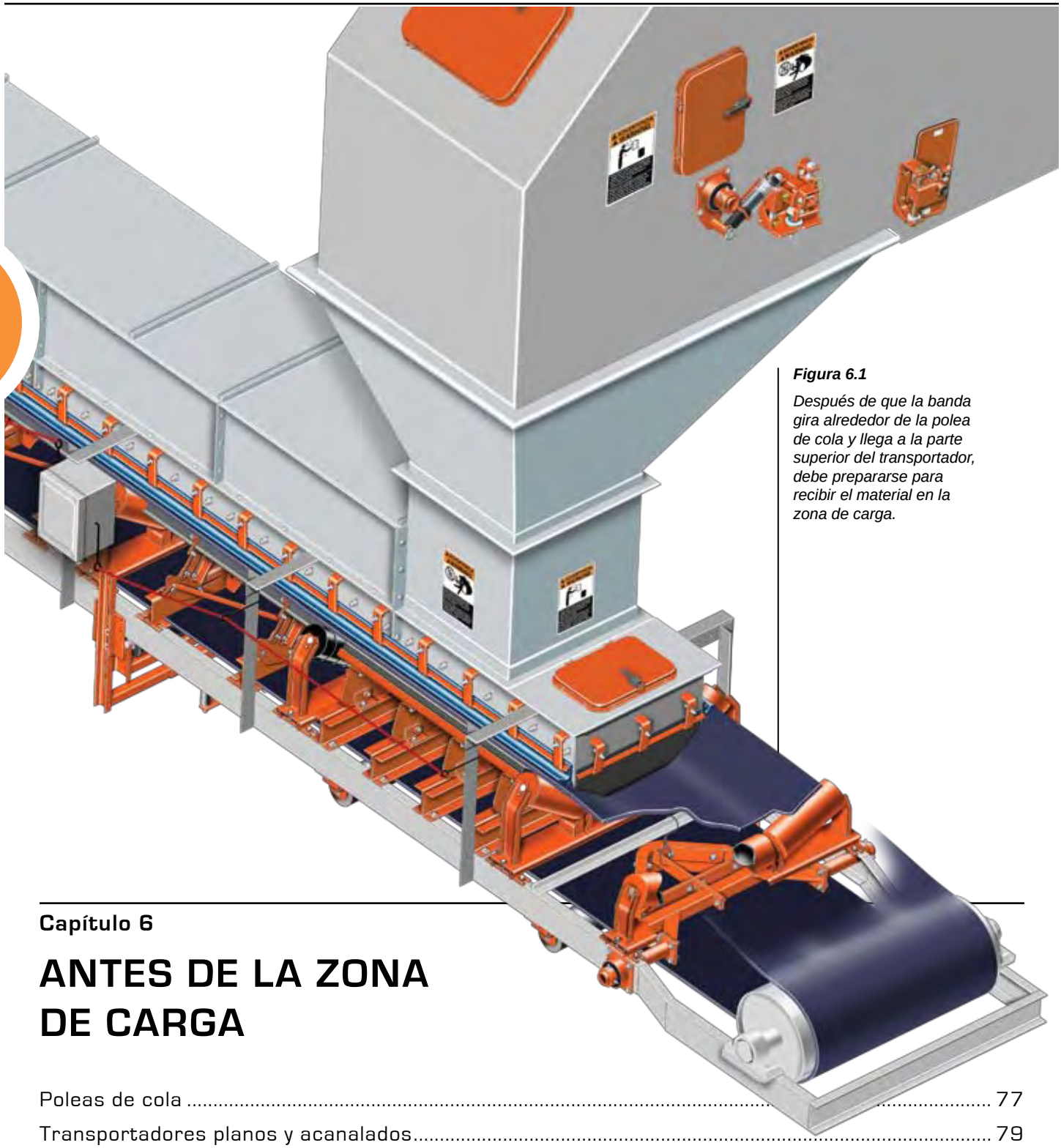


Figura 6.1

Después de que la banda gira alrededor de la polea de cola y llega a la parte superior del transportador, debe prepararse para recibir el material en la zona de carga.

Capítulo 6

ANTES DE LA ZONA DE CARGA

Poleas de cola 77
Transportadores planos y acanalados 79
Formación del canal 81
Sellado en el área de entrada 85
Especificaciones típicas 87
Temas avanzados 88
Cuestiones de seguridad 88
Protección de la polea de cola 89

En este capítulo...

Antes de que una banda transportadora pueda ser cargada, debe transformarse en la forma que cargará los materiales a granel. Este capítulo examina las áreas de transición, las áreas entre las poleas terminales y los primeros rodillos totalmente acanalados, observando cómo una banda toma la forma de un canal y la importancia de utilizar la distancia adecuada de transición para cambiar la forma de la banda. El capítulo también examina las poleas de cola, considerando la configuración y ubicación adecuada de la polea. También se consideran las técnicas para prevenir el escape de material fugitivo en la cola del transportador.

Al final de la longitud del retorno del transportador, la banda gira alrededor de la polea de cola y se mueve a la parte superior, o lado de carga. Es aquí donde se debe preparar a la banda para recibir la carga antes de que entre a la zona de carga **(Figura 6.1)**. Estos preparativos incluyen la estabilización de la trayectoria de la banda, centrado de la banda en la estructura, creación del perfil deseado para la banda para el transporte de carga y sellado de la parte trasera y los bordes de la zona de carga para prevenir un derrame.

Se debe tener cuidado al realizar estas tareas para minimizar el material fugitivo, material que ha escapado del transportador y el proceso, tanto en el área de transición como en el proceso de transporte, así como en conservar el equipo y preparar el transportador para una máxima eficacia.

En muchas plantas, esta área del sistema de transportador se destaca por los problemas de derrame y por lesiones a los empleados. Este capítulo discutirá las maneras de transformar la banda de plana a acanalada para la carga y de nuevo a plana para la descarga sin aumentar el material fugitivo y el riesgo a los empleados.

POLEAS DE COLA

Centrar la banda

Es crítico que la banda vaya en el centro de la estructura del transportador a medida que pasa por la zona de carga. Si la banda no está centrada adecuadamente cuando recibe la carga, la fuerza de carga aumentará la mala alineación e intensificará otros problemas encontrados en el lado de carga del transportador.

El área que está entre la polea y la zona de carga es muy corta y hay mucha tensión en la banda para permitir una corrección de desalineamiento, por lo que se instalan dispositivos de centralización de banda en el retorno del transportador para asegurar que la banda se centre cuando entra y sale de la polea de cola. Si la banda, centrada a su ingreso a la polea de cola, se descentraliza entre la polea y la zona de carga, hay más probabilidad de que el problema sea que la banda esté desalineada. Si la polea de cola está recta y se instala un dispositivo de alineación, la banda debe centrarse en la zona de carga. *(Vea el Capítulo 16: Alineación de la banda).*

Poleas de cola: alas y envolturas

Las poleas de cola tipo aletas radiales se instalan a menudo como método para reducir el riesgo de daño a la banda por el atrapamiento de terrones de material entre la banda y la polea. Las poleas jaula de ardilla tienen aspas que se asemejan a la rueda de paletas de un barco de vapor **(Figura 6.2)**. Este diseño permite que el material que de otra forma quedaría atrapado entre una polea sólida y la banda, pase a través de la cara de la polea. Entre las barras transversales de la polea hay cavidades en forma de cuenca que impiden que quede material fino o granulado atrapado entre la polea de cola y la banda de retorno. Estas cuencas proporcionan una función de auto limpieza; esto es, hay poca área de superficie en la que pueda acumularse el material, y la rotación de la polea lanza el material fuera de la cara de la polea **(Figura 6.3)**. Si existe la probabilidad de que la banda derrame algo de su carga en la banda de retorno, la polea jaula de ardilla puede actuar como un dispositivo eficaz para remover este derrame sin

Figura 6.2

Las poleas jaula de ardilla incorporan aspas como la rueda de paletas de un barco de vapor.

dañar a la banda, aunque la solución preferida es el sellado adecuado de la banda en la zona de carga junto con la instalación de un arado de protección de polea.

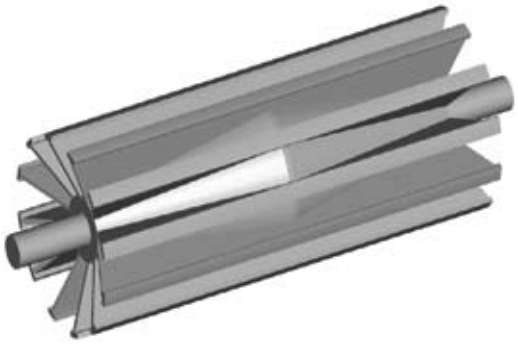


Figura 6.3

Las cuencas de la polea jaula de ardilla sirven para expulsar las acumulaciones de material.

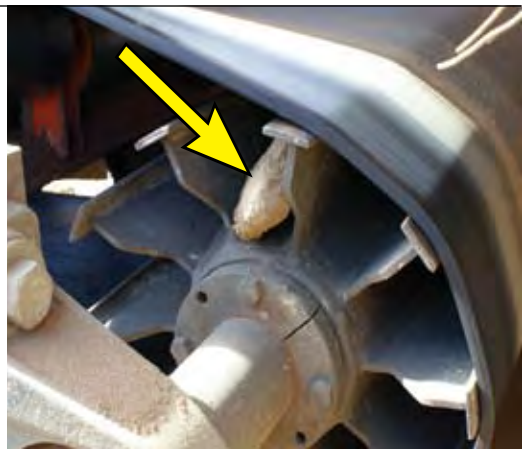


Figura 6.4

Terrones de material pueden quedar atrapados en las cuencas de la polea jaula de ardilla.

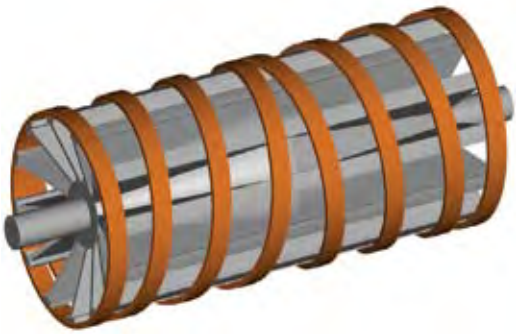


Figura 6.5

Una polea envuelta eliminará la vibración de la polea jaula de ardilla mientras que evita la acumulación de material.

Figura 6.6

Una banda de acero envuelta en espiral alrededor de la polea puede eliminar algunos de los problemas de la polea jaula de ardilla.

Las poleas jaula de ardilla también se ven en los ajustes de gravedad, donde ofrecen los mismos beneficios y limitaciones.

A pesar de su intención de diseño, las poleas de cola tipo aletas radiales aun están sujetas a acumulación y atrapamiento y a menudo no proporcionan la protección deseada. Tienen más éxito en las bandas de movimiento lento donde la limpieza y el sellado no son requisitos críticos. Los terrones más grandes de material se pueden encajar en las "alas" de la polea, causando potencialmente el daño que la polea fue diseñada para evitar **(Figura 6.4)**.

Las poleas de cola tipo aletas radiales cuyo radio mínimo de curvatura es menor que el recomendado por el fabricante puede dañar el armazón de la banda transportadora.

La desventaja más significativa de las poleas jaula de ardilla es la acción oscilatoria que introducen a la trayectoria de la banda. Las alas de la polea introducen un movimiento de pulsación que desestabiliza la trayectoria de la banda y afecta negativamente al sistema de faldón de la banda. Es contraproducente diseñar un punto de transferencia que enfatice la estabilidad de la banda para minimizar el material fugitivo y luego instalar una polea de cola de ala que desestabiliza al sistema. La Asociación de Fabricantes de Equipos para Transportadores (CEMA) recomienda que no se usen poleas jaula de ardilla en bandas que viajan a más de 2.25 metros por segundo (450 pies/min.).

Una mejor elección que la polea de cola de ala convencional es una polea de cola envuelta en espiral **(Figura 6.5)**. Estas poleas tienen una tira de acero adicional envuelta en una espiral alrededor de la circunferencia de la polea. La banda de acero está envuelta sobre la parte superior de las alas en dos espirales, convergiendo en el centro de cada extremo de la polea. Envolver las bandas de acero alrededor de la polea jaula de ardilla permite que la polea realice la función de auto limpieza pero elimina el "rebote" administrado a la banda.

Las poleas jaula de ardilla envueltas en espiral a veces se instalan como equipo original en las nuevas instalaciones del transportador. Las poleas jaula de ardilla existentes pueden ser mejoradas con tiras angostas de acero de 50 a 75 mm (2 a 3 pulg.) soldadas alrededor del borde exterior de las alas **(Figura 6.6)**.

La mejor solución para prevenir la acumulación de material en las poleas de cola es usar una polea de acero sólida y plana, protegida por un dispositivo limpiador localizado directamente enfrente de la polea **(Figura 6.7)**. Este arado diagonal o en V debe localizarse justo antes de la polea de cola en el lado de la banda que no es de carga para retirar cualquier material fugitivo que pueda llevarse hacia el interior de la banda. *(Vea el Capítulo 15: Arados para protección de las poleas).*

Poleas coronadas

Una polea de cara recta tiene el mismo diámetro en toda la cara de la polea. Una polea de cara coronada cambia de diámetro desde los extremos exteriores al centro de la polea, siendo el centro ligeramente más grande que los extremos **(Figura 6.8)**.

Las poleas coronadas a veces se usan en la cola del transportador, ya que se cree que la cara coronada mejorará la centralización de la banda cuando pasa alrededor de la polea y dentro de la zona de carga. Sin embargo, esto no siempre es verdad, y hay ejemplos en donde la cara coronada de la polea puede de hecho dañar la banda.

Las poleas de cara coronada nunca deben usarse en un área de alta tensión de la banda. Esto es usualmente la polea motriz. La polea motriz puede estar en el extremo de la cabeza, el extremo de la cola, o con una tracción central, en cualquier parte del lado de retorno del transportador. En estas áreas de alta tensión, el diámetro adicional del centro de la polea añade estrés adicional al centro de la banda y puede causar daño al armazón y a los recubrimientos térmicos. La excepción es cuando la tensión nominal de la banda es de 35 kilonewtons por metro (200 PIW) o menos; entonces se puede usar una polea coronada en cualquier parte del sistema.

En las áreas de menor tensión de la banda, las poleas de cara coronada pueden tener una ligera influencia en la centralización de la banda. Sin embargo, si hay problemas serios con la banda como concavidad de la banda, combadura de la banda o falla en el acoplamiento de los rodillos, ninguna cantidad de corona en la polea hará centralizar la banda. Siempre es mejor identificar la causa del desalineamiento y arreglar el problema. *(Vea el Capítulo 16: Alineación de la banda).*

Las poleas coronadas también presentan problemas con los limpiadores de banda montados en la cara de la polea de descarga.

TRANSPORTADORES PLANOS Y ACANALADOS

Bandas planas

Muchos materiales a granel pueden transportarse en bandas planas. Las bandas planas son particularmente comunes para materiales que tienen un ángulo pronunciado de reposo, el ángulo que formará una pila de material formada libremente. Los materiales con ángulos de reposo mayores de 30 grados son materiales adecuados para las bandas planas y van desde materiales irregulares, granulados o terrones como carbón, piedras y minerales, hasta materiales lentos que son típicamente irregulares, fibrosos y entrelazados, como pedazos o corteza de madera **(Figura 6.9)**. Cuando se mantiene la misma distancia de borde con los materiales que tienen un ángulo bajo de reposo, el volumen de material transportado se reduce; por lo tanto, los materiales con un ángulo de reposo bajo generalmente requieren que la banda sea acanalada.

Figura 6.7

Se coloca un arado enfrente de la polea para proteger la polea de los terrones de material.

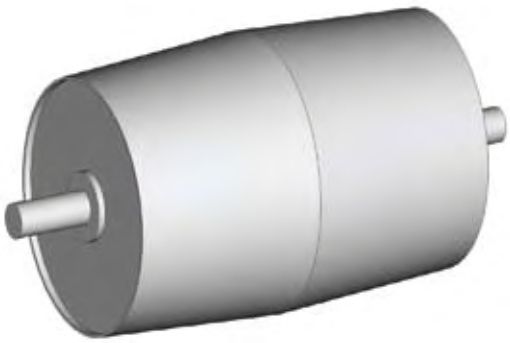


Figura 6.8

Una polea coronada es ligeramente más grande en el centro que en las orillas.

Las bandas planas son especialmente eficaces cuando la carga, o parte de la carga, se va a descargar de la banda en puntos intermedios por arados o placas deflectoras.

Los alimentadores de banda usan casi exclusivamente bandas planas. Esto es porque los alimentadores son generalmente muy cortos, y deben amoldarse a las operaciones en las que hay poco espacio para formar la banda en un canal. Los alimentadores típicamente operan cargas muy grandes y usan rodillos de trabajo pesado. Muchas bandas alimentadoras pueden invertir la dirección. Para mover una carga grande de material, las bandas alimentadoras a menudo trabajan con una tensión alta, dificultando acanalar una banda. Además, la carga frontal alta de los alimentadores de banda dificultan el sellado. Este problema se puede superar dejando grandes distancias de borde y operando a velocidades más bajas; entonces se puede controlar el derrame de estos alimentadores de banda. En muchos casos, estas bandas están equipadas con un chute lateral y un sistema de faldón a lo largo de su longitud total. Otras bandas alimentadoras incorporan un diseño dual de pared del chute, donde se deja un espacio entre la pared interior del chute instalado con un revestimiento de desgaste y una pared exterior del chute que incluye el sello del borde de la banda **(Figura 6.10)**.

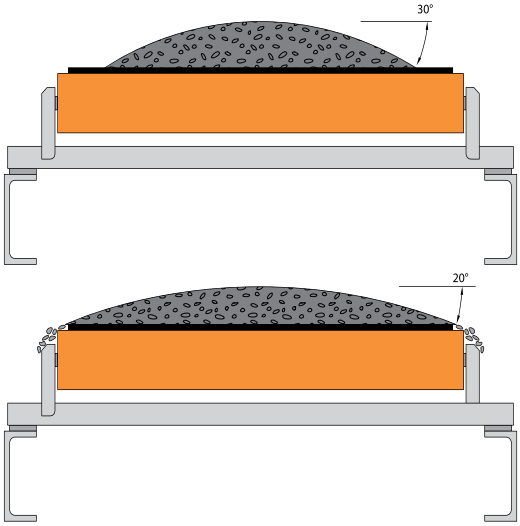


Figura 6.9

Los materiales que tienen un alto ángulo de reposo pueden ser transportados en bandas planas. Para materiales con un ángulo bajo de reposo, llevar el mismo volumen de material resultaría en derrame por los bordes de la banda; por lo tanto, los materiales que tienen un ángulo bajo de reposo generalmente requieren que la banda se canalice.

Figura 6.10

Algunos alimentadores de banda incorporan un sistema dual de paredes con espacio entre el revestimiento de desgaste y la pared exterior del chute.

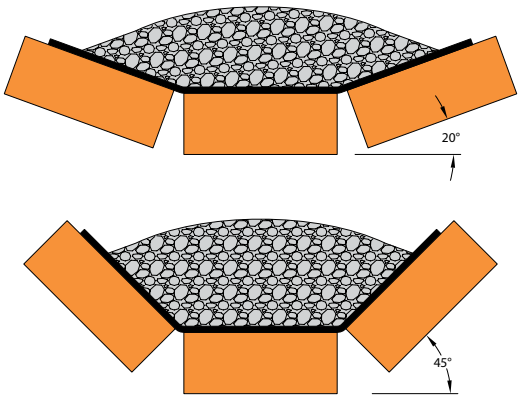


Figura 6.11

Dar forma a la banda en canal generalmente aumenta la capacidad del transportador.

Las bandas planas no requieren áreas de transición ni sufren los problemas de transición encontrados por las bandas acanaladas. Sin embargo, la mayoría de los demás componentes del transportador y los problemas discutidos en este libro se aplican a las bandas transportadoras planas.

Transportadores acanalados

En la mayoría de los materiales y transportadores, la formación de la banda en un canal da el beneficio de un aumento generoso de la capacidad de carga de la banda **(Figura 6.11)**.

Ángulos de canal típicos

Los ángulos de canal estándar en Europa son de 20, 30 y 40 grados; en Norteamérica, son comunes los ángulos de canal de 20, 35 y 45 grados **(Figura 6.12)**. Sin embargo, con una economía global cada vez mayor, uno puede encontrar transportadores de cualquier ángulo de canal en cualquier lugar del mundo. Hace un tiempo, el canal de 20 ángulos era estándar, pero los canales más profundos se han vuelto más comunes a medida que las mejoras en el diseño de las bandas permiten una mayor curvatura de los bordes de la banda sin que haya una falla prematura. En algunas aplicaciones especiales, como la minería de gran tonelaje, se usan rodillos catenarios con un canal de 60 grados para reducir derrames y daño por impacto.

Los transportadores más largos, de velocidades más altas pueden requerir el uso de una banda gruesa, a menudo con cuerdas de acero en el armazón. Como resultado, estas bandas pueden tener menor capacidad de canal. Por los requerimientos menores de curvatura y la reducción resultante de estrés en la banda,

un canal de 20 grados permite el uso de bandas más gruesas, permitiendo así que se transporten materiales más pesados y terrones más grandes.

Los ángulos de canalización mayores de 20 grados se especifican usualmente cuando el material tiene un ángulo bajo de reposo. Los ángulos de canalización más altos son adecuados para una amplia gama de aplicaciones. Los ángulos de canal más altos funcionan mejor cuando se hacen concesiones para las restricciones como las limitaciones en la distancia de transición y el requerimiento para la distancia de borde expuesto para el sellado del chute lateral.

Aunque ofrecen el beneficio de una mayor capacidad, las bandas acanaladas también presentan algunas limitaciones. Un área que puede presentar problemas, si no se considera adecuadamente durante el diseño del transportador y el proceso de especificación de la banda, es la distancia de transición más larga requerida para prevenir el estrés en los bordes de la banda. Otras desventajas de los ángulos de canal más pronunciados incluyen una mayor vulnerabilidad para el efecto de viento y un potencial mayor de daño a la banda.

El canal de una banda típicamente hace una contribución positiva a la alineación de la banda. Otro beneficio de una banda acanalada incluye una mejor habilidad para contener material como resultado de un derrame reducido y pérdida debido al viento.

Generalmente hablando, la selección del ángulo del canal que se va a usar en cualquier transportador se determina en la mayoría de los casos por el requerimiento de usar la banda menos costosa, y por consiguiente lo más angosta posible para transportar el tonelaje requerido de material.

FORMACIÓN DEL CANAL

Transición

En un transportador típico, la banda se acanala para la porción de carga de su trayecto y regresa a una configuración plana para el trayecto de regreso. Como consecuencia, en una polea terminal (de cabeza o de cola), la banda debe convertirse de forma plana a acanalada o de acanalada a plana. Este cambio del perfil de la banda se llama comúnmente transición **(Figura 6.13)**. Existen transiciones en las

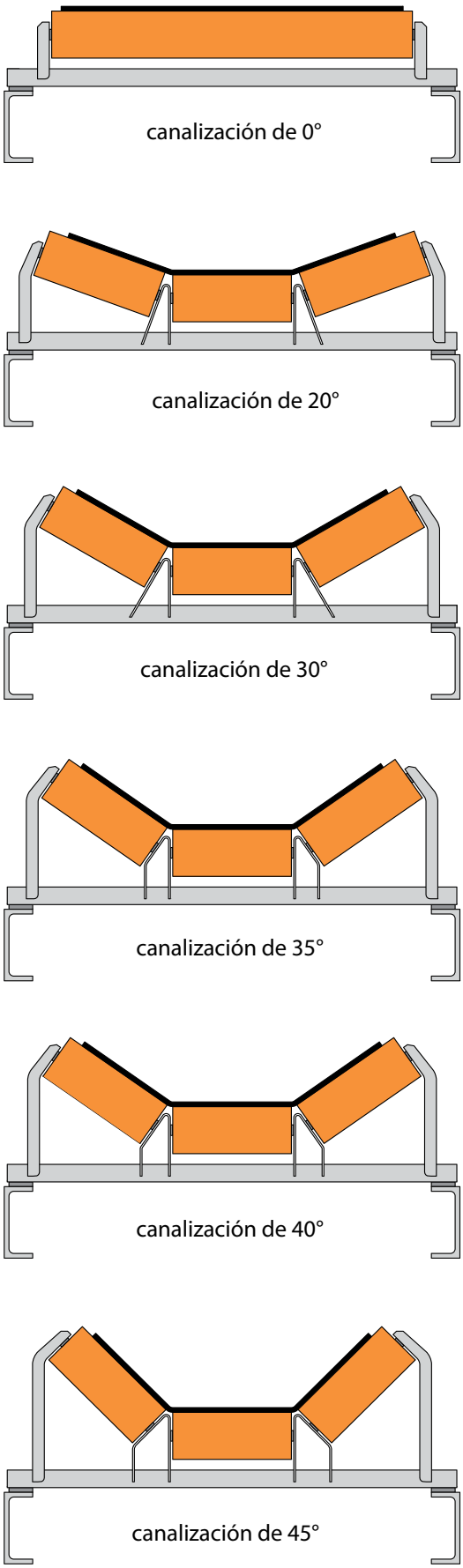


Figura 6.12

Los ángulos estándar de canal de transportador varían alrededor del mundo.

ubicaciones de polea de cola (carga) y cabeza (descarga) de un transportador acanalado y pueden ocurrir en otras áreas del transportador, como en una cabeza distribuidora.

Figura 6.13

La distancia desde la polea terminal (cola o cabeza) hasta el primer rodillo totalmente acanalado se llama distancia de transición; la banda cambia de plana a acanalada o viceversa en esta área.

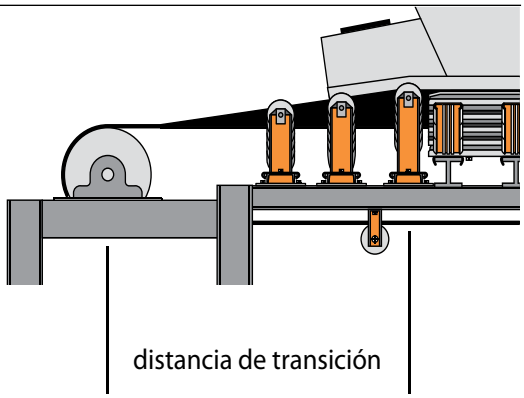


Figura 6.14

Una distancia de transición muy corta puede causar pliegues en el acoplamiento donde el rodamiento central se une a los rodillos laterales.

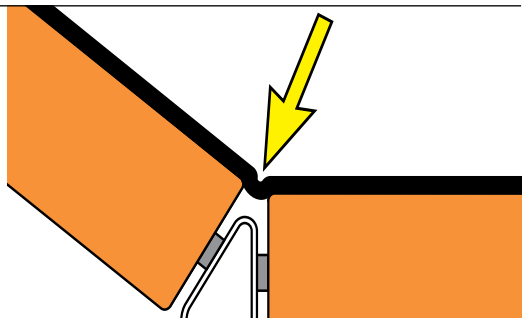


Figura 6.15

El daño causado por falla en la conexión de los empalmes aparece en dos líneas paralelas sobre la unión entre el rodamiento central y los rodillos laterales.

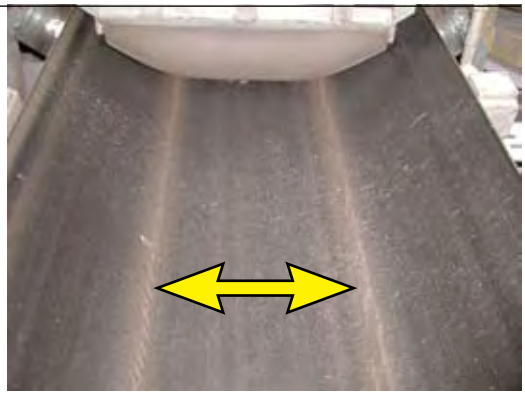


Figura 6.16

Una señal de falla en la conexión de empalmes puede ser la configuración de una "W" o "M" en la banda.

A la distancia desde la línea central de la polea terminal al primer rodillo totalmente acanalado se le llama distancia de transición. Esta área representa un mayor riesgo potencial a la banda que cualquier otra área del transportador. Al cambiar de banda plana a un perfil totalmente acanalado, la tensión en los lados de la banda es mayor que en el centro. La tercera parte exterior de la banda debe estirarse y recorrer más que la tercera parte central. Esto puede causar que el empalme, ya sea mecánico o vulcanizado, falle en los bordes de la banda. Además, las capas de la banda se pueden separar debido a este estrés.

La distancia de transición, el espacio permitido para este cambio en el contorno de la banda, debe ser suficiente en cada polea terminal. De lo contrario, la banda sufrirá un estrés extremo en los acoplamientos de los rodillos (los puntos en un conjunto de rodillos de canalización donde el rodillo horizontal se une con los rodillos inclinados). Como la tercera parte exterior de la banda se estira más, el resultado puede ser un pliegue en el acoplamiento del rodillo que eventualmente puede rasgar la longitud total de la banda **(Figura 6.14)**. Además, si la elasticidad del armazón se excede ligeramente, la banda podría no rasgarse sino estirarse más allá de sus límites, causando problemas de alineación de la banda. Si la distancia de transición es demasiado corta, la diferencia excesiva entre las tensiones del borde y el centro pueden superar la rigidez lateral de la banda. Esto puede forzar a la banda hacia dentro del canal, de manera que se dobla a través del centro o se atora en los acoplamientos de los rodillos donde se unen los rodamientos de los rodillos **(Figura 6.15)**. La primera señal de falla de acoplamiento de los rodillos se notará como un pliegue o forma de "W" o "M" en el lado de retorno de la banda **(Figura 6.16)**. La tensión cada vez mayor del borde vista en la banda causada por tener un área de transición muy corta aumentará cada vez más la carga en los cojinetes exteriores de los rodillos de canalización y podría llevar a una falla prematura del rodillo.

La tensión de la banda se puede mantener dentro de los límites seguros conservando la distancia de transición adecuada entre la polea y el primer rodillo totalmente acanalado, reduciendo así el estrés ocasionado a la banda.

Para dar el soporte adecuado a la banda en estas transiciones, los rodillos que tienen

ángulos intermedios deben usarse entre la polea terminal y el primer rodillo totalmente acanalado. Estos rodillos de transición permitirán que la banda cambie suavemente su perfil al ángulo de canal adecuado. Entonces se minimiza la tensión de la banda en el acoplamiento del rodillo ya que se ha extendido sobre varios rodillos y una mayor distancia.

Distancia de transición

La distancia requerida para la transición de una banda varía con la cantidad de canalización requerida, el grosor de la banda, la construcción de la banda, el tipo de armazón (cables de acero o tela) y la tensión calificada de la banda. Se debe seleccionar una distancia de transición para proporcionar por lo menos la distancia mínima para la banda seleccionada.

Mientras más pesado sea el armazón de la banda, mayor resistencia pondrá al ser colocado en una configuración acanalada y mayor será la distancia de transición requerida. Esto es fácil de entender si uno recuerda que un larguero estirado por el centro del transportador será más corto que el larguero colocado en el borde exterior de los rodillos. Los bordes exteriores de la banda deben recorrer más espacio que el centro de la banda. Mientras más alto sea el ángulo del canal, más se estiran los bordes y mayor es la distancia requerida para alcanzar ese ángulo.

La distancia de transición requerida es una función de la fabricación de una banda. Al diseñar un nuevo transportador, se deben seleccionar las bandas para corresponder a la carga de material y las características de longitud de transporte del transportador. La distancia de transición del sistema entonces se diseñaría para igualar los requerimientos de la banda seleccionada. Sin embargo, una situación más probable sería que, debido a límites de espacio y consideraciones de costo, se elegirá la banda para corresponder a la distancia de transición diseñada en la estructura del transportador de acero. De cualquier manera; sin embargo, el fabricante de la banda debe ser consultado cuando se determine la distancia de transición recomendada.

En el caso de reemplazo de bandas para los transportadores existentes, se debe seleccionar la banda para corresponder a la distancia de transición dada en la estructura del transportador. En ningún caso se debe colocar una banda en un transportador donde la distancia de transición sea demasiado corta para la banda.

Se recomienda ampliamente ponerse en contacto con el proveedor de la banda para asegurarse de que la distancia de transición de la estructura existente sea compatible con la banda. Hay tablas que identifican la distancia de transición recomendada como una función de la tensión calificada de la banda tanto para bandas de tela como para cuerdas de acero en diversos ángulos de canal en publicaciones de los fabricantes y de CEMA en BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS (*BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL), sexta edición*.

Rodillos de transición

Dependiendo de la distancia, se deben usar uno o más rodillos transicionales para dar soporte a la banda entre la polea terminal y el primer rodillo totalmente acanalado.

Es una buena práctica instalar varios rodillos de transición que soporten a la banda para cambiar gradualmente de un perfil plano a un contorno totalmente acanalado **(Figura 6.17)**. Los rodillos de transición pueden ser fabricados en ángulos intermedios específicos (entre planos y totalmente acanalados), o pueden ser ajustables para adecuarse a diferentes posiciones **(Figura 6.18)**. Por ejemplo, sería una buena práctica poner un rodillo de canalización de 20 grados como rodillo de transición antes de un rodillo de canalización de 35 grados, y ambos

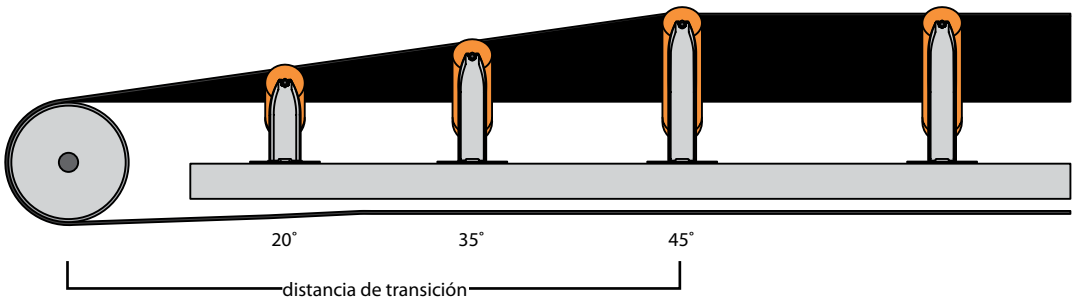


Figura 6.17

Se deben instalar varios rodillos de transición entre la polea y el primer rodillo totalmente acanalado.

enfrente de un rodillo de 45 grados. CEMA recomienda que todos los rodillos de transición usen rodamientos de metal.

También es importante para la estabilidad de la banda y la capacidad de sellado del punto de transferencia que se instale el rodillo de transición lo más cerca posible a la polea terminal para que la parte superior de la polea y la del rodamiento central del rodillo estén en el mismo plano horizontal. A esto se le conoce como transición a canal total.

Profundidad de polea de medio canal

Para acortar la distancia de transición requerida, el diseñador del transportador puede sentirse tentado a usar una transición de "medio canal" que requiere la elevación de la polea de cola. Al elevar la polea para que su parte superior (cuando la banda sale de la polea) esté en línea con el punto medio de los rodillos laterales (en lugar de estar en línea con la parte superior del rodillo central), la distancia de transición requerida puede ser reducida casi a la mitad **(Figura 6.19)**. Esta técnica usualmente se emplea para acortar la distancia de transición para evitar una obstrucción o ahorrar un poco de longitud del transportador.

Anteriormente, este arreglo de medio canal había sido aceptado por CEMA y los fabricantes de bandas como una manera de evitar una tensión excesiva en el acoplamiento del rodillo a medida que una banda se transforma, particularmente cuando se pone un transportador en un espacio limitado. Sin embargo, pueden surgir problemas con el diseño de medio canal, incluyendo la elevación de la banda de los rodillos cuando viaja sin carga **(Figura 6.20)**. Aunque se esté cargando una banda de medio canal, los puntos máximos y las sobretensiones en la proporción de flujo de material cambiarán dramáticamente la trayectoria de la banda y evitarán que el punto de transferencia sea eficazmente sellado. Estos cambios en la trayectoria de la banda crearán una "acción de bombeo" que actúa como abanico para expulsar el polvo en el ambiente. Además, este diseño puede causar que la banda se doble en el área de transición. Cargar la banda cuando está deformada de esta manera

Figura 6.18

Algunos armazones de rodillos se fabrican con múltiples orificios de montaje para que se permita que los rodillos laterales se usen como rodillos de transición.

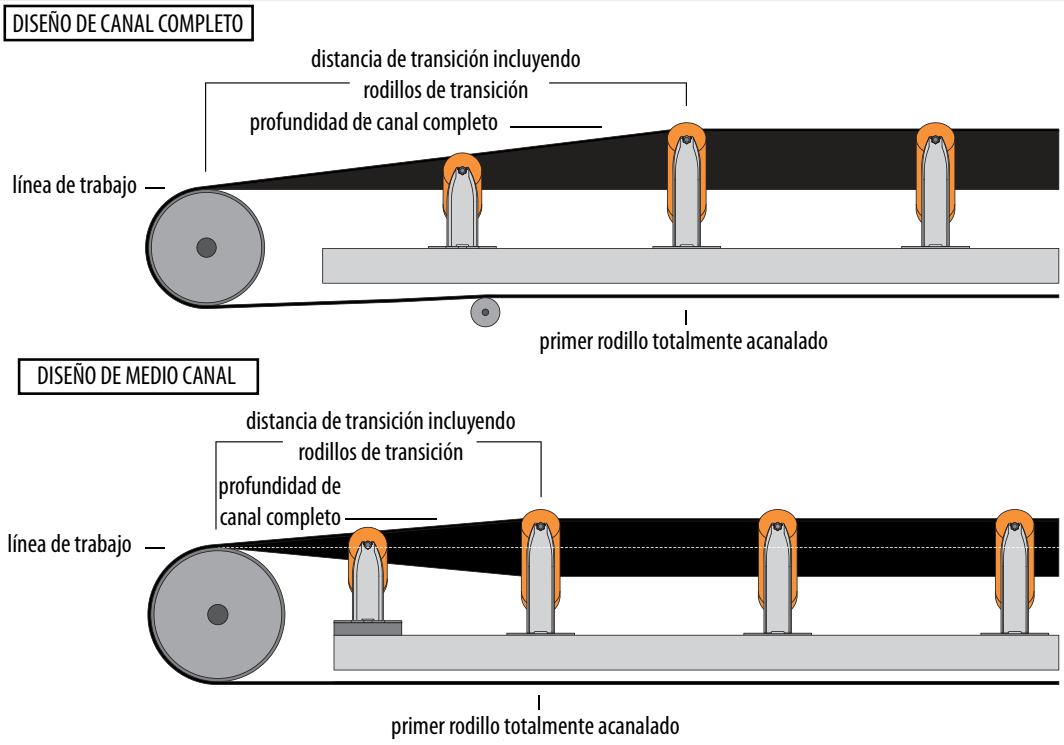


Figura 6.19

En el diseño de medio canal (abajo), la elevación de la polea de cola para que la banda esté en línea con el punto medio de los rodillos laterales permite que la distancia de transición se reduzca. Sin embargo, esto puede crear otros problemas.

hace que sea imposible el sellado eficaz y aumenta el desgaste de la banda debido a los mayores niveles de impacto y abrasión en los "puntos altos" de la banda.

Resolver los problemas creados por la profundidad de una polea de medio canal es más complicado que simplemente bajar la polea de cola para que esté alineada con el rodamiento central de los rodillos. Se debe mantener la mínima distancia de transición: a medida que la polea se mueve hacia abajo, también se debe mover más lejos del primer rodillo totalmente acanalado. Si no es posible, se deben hacer otras modificaciones, como la reducción del ángulo de canal en el área de carga para acortar la distancia de transición requerida. Entonces la banda puede ser cambiada a un ángulo de canal más alto fuera de la zona de carga. Otro método sería adoptar un área de transición muy gradual. Ambas técnicas se discuten a continuación en Temas avanzados.

Una mejor práctica, y la recomendación actual de CEMA, es usar el arreglo de canal completo donde la polea está en línea con la parte superior del rodamiento central en el conjunto de rodillos. Esto requiere una mayor distancia de transición, pero mejora enormemente la estabilidad de la banda a medida que entra a la zona de carga y, como resultado, mejora la capacidad de sellado del punto de transferencia.

Carga en el área de transición

Cargar la banda mientras está en transición es una mala práctica y debe evitarse. El área donde la carga es colocada en la banda no debe empezar antes del punto en el que la banda está totalmente acanalada y totalmente soportada por una cama deslizante o por el punto central del primer conjunto de rodillos totalmente acanalados. Una mejor solución es colocar la carga aproximadamente 300 milímetros (12 pulg.) más allá de este punto totalmente acanalado para poder dar cabida a cualquier rebote de material causado por turbulencia.

Si la carga se realiza mientras la banda aún está en transición en la configuración acanalada, la carga cae a un área ligeramente más grande con lados no paralelos. Esta área grande aumenta la presión en los chutes laterales y aumenta el desgaste en la banda y revestimientos a medida que la banda forma su canal totalmente. Además, ya que la banda en el área de transición cambia en contorno, no tendrá el perfil de banda estable requerido para un sellado eficaz.

El material que rebota con otro material y las paredes del chute puede desviarse atrás del punto de carga deliberado. Por lo tanto, la trayectoria del material debe estar diseñada para entrar en contacto con la banda lo suficientemente lejos de la polea de cola para evitar que el material inunde el área de transición. La disposición de un soporte adecuado de la banda en la zona de carga se asegura de que la banda mantenga la superficie plana, lo cual es crítico para un sellado eficaz.

SELLADO EN EL ÁREA DE ENTRADA

Sistemas de sellado

El sellado de la entrada de la banda en la zona de carga es a menudo un problema **(Figura 6.21)**. La turbulencia de material a medida que es cargado puede provocar que algunas partículas reboten o rueden hacia atrás hacia la

Figura 6.20

Usar el diseño de medio canal puede provocar que la banda se separe de los rodillos (particularmente cuando se descarga).

Figura 6.21

Poner un sello eficaz en la parte trasera de la zona de carga puede ser un problema.

cola del transportador. El material rebotará de la zona de carga y bajará por el transportador, acumulándose en la polea, los soportes de los cojinetes o en el suelo cerca de la polea de cola.

Figura 6.22

Los sellos traseros simples de caucho o plástico generalmente han demostrado ser ineficaces.

En un intento para resolver este problema, se aplica un sistema de faldón de algún tipo en la parte trasera del chute de carga. Típicamente, este sello es una cortina o pared, fabricada de una hoja de plástico o caucho **(Figura 6.22)**. Este sello puede crear algunos problemas y resolver otros.

Si el sello en la entrada del chute se aplica muy holgadamente, el material continuará escapando por la parte trasera de la zona de carga, hacia el área de transición y al suelo. Si un sistema de faldón se coloca muy apretado contra la banda para prevenir derrames por la parte trasera de la zona de carga, el sello puede actuar entonces como un limpiador de banda. En este caso, el sello raspará cualquier material que se haya quedado adherido a la banda durante el viaje de vuelta de la polea de descarga. El material removido por este "efecto de limpiador de banda" entonces se acumulará en el punto en el que la banda entra en la zona de carga **(Figura 6.23)** o, si el transportador está inclinado, se rodará para apilarse en la cola del transportador **(Figura 6.24)**.

Figura 6.23

Si el sello de la cola está forzado muy estrechamente contra la banda, un "efecto de limpiador de banda" raspará el material de la banda para apilarlo en la parte trasera de la zona de carga.

Sellar las esquinas del chute atrás de donde la banda se carga es difícil debido a las altas presiones de material y el movimiento significativo de aire que puede llevar polvo al punto de transferencia **(Figura 6.25)**. Esta dificultad para sellar el área de entrada se complica por cualquier vibración dinámica en la trayectoria de la banda creada por fluctuaciones en la tensión de la banda que resulta de "picos y cuencas" en la carga de material o por el uso de una polea de cola tipo jaula de ardilla. Por este motivo, deben evitarse este tipo de poleas.

Figura 6.24

Si el transportador está inclinado, el material rodará hacia abajo de la banda y se apilará en el suelo.

Caja de sellado de barreras múltiples

Un enfoque eficaz es sellar el área de atrás de la zona de carga con una caja de sellado de barreras múltiples **(Figura 6.26)**. Unida a la pared trasera del chute de carga, esta caja conecta el chute con el área donde la banda está plana a medida que pasa por la polea de cola. En una situación ideal, la caja de cola estaría extendida a la superficie plana de la polea de cola haciendo el sellado más eficaz y más fácil de mantener **(Figura 6.27)**. A menudo una caja de sellado de cola se instala en el área de transición cuando se retroadaptan los transportadores. En los nuevos transportadores,

Figura 6.25

El sellado en las esquinas de la zona de carga es difícil, permitiendo que se derrame material y polvo.

esto no se recomienda, porque es difícil sellar la curvatura de transición.

Se instala una tira de sellado en la parte exterior de la pared externa, la pared más cercana a la polea de cola, de la caja de sellado **(Figura 6.28)**. Desviada por el movimiento de la banda y en esa misma dirección, esta tira forma un sello unidireccional que evita el escape de material por la parte trasera de la zona de carga y fuera de la cola del transportador. Ya que esta tira hace una ligera presión sobre la banda, evita el efecto de limpiador de banda. El material que se adhiere a la banda puede pasar bajo el sello sin ser "limpiado" de la banda.

A sus lados, la caja debe adaptarse con un sello de chute lateral de capas múltiples de bajo mantenimiento para prevenir derrame de material sobre los bordes de la banda. La caja de sellado de la cola debe incorporar el inicio del transportador, para que la tira de sellado corra continuamente desde la caja de sellado de la cola hacia el extremo de salida del chute lateral **(Figura 6.29)**. Este sello continuo elimina los problemas con el sellado de las esquinas de alta presión de la zona de impacto.

La parte superior de la caja de sellado de la cola debe incluir una puerta de acceso para permitir el regreso al transportador de cualquier material fugitivo **(Figura 6.30)**.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

A. Transición

El diseño del transportador debe incorporar la distancia de transición y rodillos de transición suficientes para permitir que la banda esté totalmente acanalada antes de que cualquier material se cargue en la banda.

B. Altura de "canalización total"

La polea de cola debe colocarse a una altura de "canalización total", de modo que la banda que sale de la polea esté en línea con el rodamiento central del conjunto de rodillos de canal.

C. Caja de sellado de compuerta de cola

Se debe instalar una caja de sellado de compuerta de cola con un sello eficaz en el extremo del compartimento de la polea de cola en la banda totalmente acanalada para evitar el escape de material fugitivo de la parte trasera de la zona de carga.

Figura 6.26

Las cajas de sellado de cola se instalan para evitar que el material caiga de la parte trasera de la zona de carga del transportador.

Figura 6.27

A menudo una caja de sellado de cola se instala en el área de transición cuando se readaptan los transportadores. En los nuevos transportadores, esto no se recomienda porque es difícil sellar la curvatura de transición.

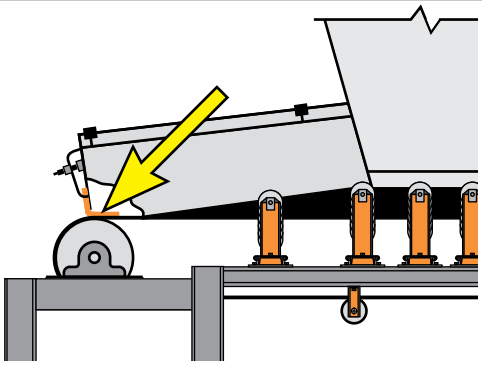


Figura 6.28

Se debe instalar una tira de sellado en la parte exterior de la pared trasera de la caja de sellado, la más cercana a la polea de cola.

Figura 6.29

Los sistemas de sellado de los bordes de la banda deben extenderse en una tira continua desde la caja de sellado de cola hasta el extremo del área del chute lateral.

Figura 6.30

Una puerta de acceso en la caja de sellado de cola permitirá que cualquier material derramado sea devuelto al transportador.

D. Tira de sellado del chute lateral

Se proporcionará un sellado eficaz en los bordes de la banda a los lados de la caja de sellado de la cola extendiendo la tira de sellado del chute lateral desde la caja a través de la zona de carga de transferencia como una tira continua de sellado, sin una unión o junta que pueda derramar material.

TEMAS AVANZADOS

Áreas de transición de dos etapas

Durante muchos años, la recomendación ha sido que la banda debe estar totalmente acanalada antes de que se coloque la carga. Una variación de esto es la idea de que es más crítico que la banda esté estable (por ejemplo, que no esté pasando por una transición) al cargarse a que esté totalmente acanalada al cargarse. Dado un transportador donde hay una distancia muy corta entre la polea de cola y la zona de carga, puede ser mejor canalizar parcialmente la banda en el área entre la polea de cola y la zona de carga, y después completar la transición después de que la banda haya sido cargada **(Figura 6.31)**. Para que esto proporcione cualquier beneficio, la línea de la banda debe estabilizarse con estructuras mejoradas de soporte, como camas de impacto y camas de soporte lateral, y los bordes deben estar eficazmente sellados después de la canalización inicial de la banda. Se puede realizar la elevación de los bordes de la banda al ángulo de canal final después de que la carga esté en la banda.

En los transportadores con espacio inadecuado en el área de transición tradicional entre la polea de cola y el chute de carga, este método da el beneficio de un ángulo de canalización más alto sin crear la inestabilidad de cargar mientras que la banda está pasando por una transición.

Transiciones graduales

Otro método para resolver el problema de una distancia de transición muy corta es el uso de una transición muy gradual. En lugar de arriesgar un daño por canalizar la banda demasiado rápido, la banda se canaliza sobre una distancia extendida, la longitud de la zona de carga. Esto hace que el cambio sea tan gradual que casi no se nota.

En un caso, el perfil de la banda cambió de plano a un canal de 35 grados en un área de transición de 12 metros (40 pies). Este transportador quizá fue una circunstancia especial con un punto largo de transferencia que incorporaba múltiples zonas de carga, una banda gruesa y una distancia mínima entre la polea de cola y la primera zona de carga. La clave para esta técnica es mantener el soporte de la banda para proporcionar una línea recta para el canal. En lugar de usar componentes especialmente

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Debido a los numerosos puntos de atrapamiento en el área de la cola del transportador, los empleados pueden fácilmente quedar atrapados por la banda en movimiento de este lugar. Además, ya que esta área contribuye a problemas de derrames, es probable que ocurran accidentes al usar palas. Se deben usar procedimientos adecuados de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación antes de realizar cualquier trabajo de mantenimiento o limpieza en esta área. Los empleados nunca deben trabajar ni colocar material en un transportador en movimiento.

Se requiere que haya dispositivos de protección y rótulos de seguridad en todo el equipo giratorio y puntos de atrapamiento; los dispositivos de seguridad no deben quitarse ni deshabilitarse cuando el transportador esté trabajando.

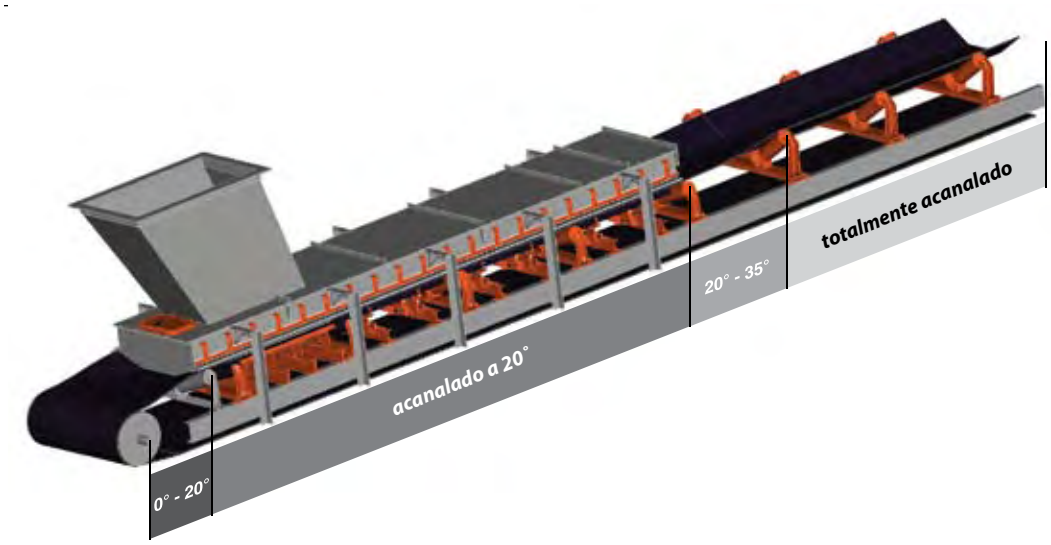


Figura 6.31

En un área de transición de dos etapas, la banda está parcialmente acanalada antes de cargarse. Después de que se coloca la carga, la banda pasa por otra transición que aumenta el ángulo de canal.

diseñados, este cambio de canalización gradual se logró al instalar componentes convencionales en forma de "anaquel" o ligeramente desalineados. Las camas de soporte para bandas que incorporan un ajuste suficiente para acomodar una instalación "fuera de alineación" deliberada se usaron en combinación con los rodillos de canalización de ángulos ajustables.

PROTECCIÓN DE LA POLEA DE COLA

En resumen...

Aunque la sección de la cola de una banda transportadora es relativamente simple, y los componentes generalmente no son muy valorados, esta sección del transportador podría ser una de las más importantes. Si no se tiene cuidado en la alineación, el tipo de polea de cola, la distancia de transición y el sellado, los efectos negativos pueden devaluar el desempeño del sistema entero de transportador.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo, Antes de la zona de carga, empezó la discusión de la carga de la banda examinando las poleas de cola y áreas de transición junto con las técnicas para prevenir el escape de material fugitivo en la cola del transportador. Los siguientes capítulos abordarán otros aspectos de la carga de la banda, empezando con el control de aire.

REFERENCIAS

6.1 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*. Naples, Florida.

6.2 El sitio web http://www.conveyorbeltguide.com es un valioso recurso que abarca muchos aspectos de las bandas.

6.3 Todos los fabricantes y la mayoría de los distribuidores de productos de transportadores pueden proporcionar una variedad de materiales sobre la construcción y el uso de sus productos específicos.

7

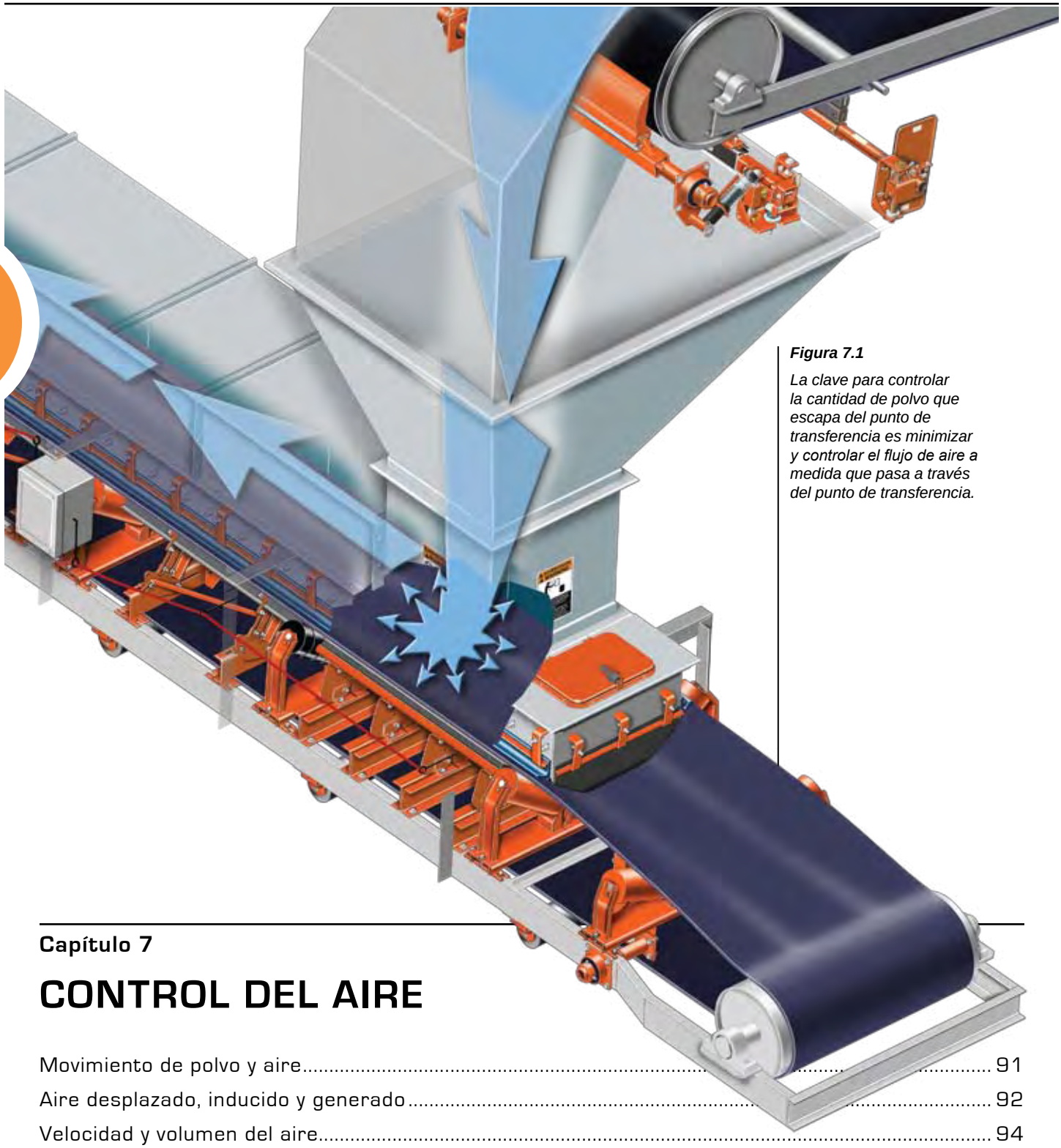


Figura 7.1

La clave para controlar la cantidad de polvo que escapa del punto de transferencia es minimizar y controlar el flujo de aire a medida que pasa a través del punto de transferencia.

Capítulo 7

CONTROL DEL AIRE

Movimiento de polvo y aire 91
Aire desplazado, inducido y generado 92
Velocidad y volumen del aire 94
Control del aire 95
Mantenimiento del sistema 98
Especificaciones típicas 98
Temas avanzados 98
Cuestiones de seguridad 99
Control del aire ≈ Control del polvo 99

En este capítulo...

En este capítulo observamos la importancia de controlar el movimiento de aire para controlar el escape del polvo en el ambiente. Se presentan las ecuaciones para calcular la cantidad de aire desplazado, aire inducido y aire generado, así como su relación con el flujo de aire total. También se discuten los métodos para medir la velocidad y volumen del aire. Se explican cuatro parámetros, junto con varias técnicas adicionales, para controlar el aire a fin de minimizar el polvo en el ambiente. Finalmente, se incluyen cuestiones de seguridad y mantenimiento.

Las zonas de carga de los transportadores y los puntos de descarga son las fuentes principales de la creación y liberación de polvo en el ambiente. La cantidad de polvo creado en un punto de transferencia depende de una serie de factores, incluyendo la naturaleza del material transportado, la altura de la caída sobre la banda y las velocidades y los ángulos de carga y descarga de las bandas. La clave para controlar la cantidad de polvo que escapa del punto de transferencia es minimizar y controlar el flujo de aire a medida que pasa a través del punto de transferencia **(Figura 7.1)**.

MOVIMIENTO DE POLVO Y AIRE

Para controlar el polvo, es necesario controlar el aire

A medida que los materiales se mueven en un transportador y a través del punto de transferencia, llevan una corriente de aire con ellos. Con la suficiente velocidad, esta corriente de aire puede recoger partículas finas del material y llevarlas junto con los materiales, o puede esparcirlas fuera de los confines del transportador.

Las condiciones que determinan si los materiales finos se van o no al ambiente son la velocidad del aire, el tamaño de las partículas y la cohesión de los materiales a granel. Estas características contribuyen a la cantidad de polvo generado por la siguiente relación relativa intuitiva: la cantidad de polvo generado es proporcional a la velocidad del aire dividida entre los factores de tamaño de las partículas y cohesión del material **(Figura 7.2)**. Cuando uno o más de estos parámetros es seguro, la habilidad de controlar el polvo depende de la alteración de una o dos de las otras características. Si la velocidad del aire aumenta, pero el tamaño de las partículas y la cohesión permanecen constantes, entonces el polvo en el ambiente aumentará. Si la velocidad del aire permanece constante y aumenta el tamaño de las partículas o la cohesión, la cantidad de polvo en el ambiente se reducirá. Si la velocidad del aire permanece constante y se reduce el tamaño de las partículas o la cohesión, entonces la cantidad de polvo en el ambiente aumentará.

Cuando el tamaño de las partículas que se transportan no puede cambiarse, se debe alterar la velocidad o la fuerza de cohesión de las partículas para poder minimizar la emisión de polvo. *(Vea el Capítulo 19: Supresión del polvo, para más información sobre cómo cambiar la fuerza de cohesión de las partículas).* El control del movimiento del aire que entra y sale del punto de transferencia del transportador no reducirá el polvo creado dentro de ese punto de transferencia, pero tendrá un efecto significativo en la cantidad de polvo que se lleva fuera del punto de transferencia. Limitar la presión positiva liberada por un punto de transferencia tendrá beneficios significativos en el control de materiales fugitivos.

Movimiento del aire a través de los puntos de transferencia

El volumen del aire que se mueve a través de un punto de transferencia está directamente relacionado con el tamaño del confinamiento del punto de transferencia, las aberturas en el confinamiento y la presencia de otro equipo del proceso. El costo de los componentes del sistema de manejo de polvo de un transportador está directamente relacionado con el volumen de aire que se extrae del sistema. Por lo tanto, la comprensión y el control del movimiento de aire son fundamentales para un control de polvo eficaz y económico a través del diseño del punto de transferencia.

Idealmente, es deseable una ligera presión negativa dentro del confinamiento. Esta

$$\text{Polvo generado} \;\alpha\; \frac{\text{Velocidad del aire}}{\text{Tamaño de las partículas} \bullet \text{Cohesión}}$$

Figura 7.2

Relación en la creación de polvo en el ambiente

condición atraería el aire en el confinamiento para que las partículas finas y el polvo en el ambiente se retengan en la estructura, en vez de ser llevadas hacia afuera. Típicamente, es difícil, si no imposible, lograrlo constantemente sin un sistema activo de colección de polvo. El flujo de aire, creado por el equipo que está arriba del punto de transferencia y el movimiento de materiales a través del punto de transferencia, crea una presión positiva en todo el sistema, creando un flujo de aire hacia afuera desde el punto de transferencia. Esto es cierto en una zona de carga del transportador, porque el impacto de los materiales en la banda receptora expulsa el aire con una "salpicadura" significativa. Mientras mayor sea el impacto, más fuerte será la corriente de aire que se alejará del área de impacto. Si esta presión positiva no se atiende con el control de flujo de material, descongestión de presión adecuada o sistemas de colección de polvo, las partículas de polvo se saldrán del punto de transferencia hacia el flujo de aire que va al exterior.

AIRE DESPLAZADO, INDUCIDO Y GENERADO

Calcular el flujo de aire

El flujo de aire se puede medir o calcular. Lo siguiente se ofrece como un método teórico, pero ejecutable. Las condiciones de cualquier combinación específica de diseño de transportador y flujo de material pueden afectar los resultados significativamente.

Hay tres fuentes de movimiento de aire que pueden estar presentes alrededor o a través de un punto de transferencia determinado: aire desplazado, aire inducido y aire generado.

El flujo total de aire en un punto de transferencia determinado se puede calcular sumando el aire desplazado, el aire inducido y el aire generado **(Ecuación 7.1)**.

Aire desplazado

La primera categoría es el aire desplazado. Una simple explicación del aire desplazado empieza con una taza de café. Cuando se sirve el café en la taza, el aire que está dentro es desplazado por el café. Lo mismo ocurre cuando entran materiales al chute de carga: el aire que llenaba el chute es expulsado, desplazado por los materiales. La cantidad de aire desplazado del chute es igual al volumen de material colocado en el chute. El movimiento de materiales a través de un punto de transferencia siempre producirá aire desplazado que puede calcularse a partir de la carga (cantidad de materiales transportados) y densidad aparente **(Ecuación 7.2)**.

Aire inducido

El aire inducido está presente en las zonas de carga del transportador cada vez que se mueven materiales a granel, ya que los materiales a granel tienen cierta cantidad de aire atrapado y traen con ellos una pequeña cantidad de aire a medida que viajan en la banda. A medida que los materiales salen de la polea de cabeza en una trayectoria normal, la corriente de material se extiende, llevando el aire a los nuevos vacíos. Cada partícula de material aplica energía a una cantidad de aire, extrayéndolo junto con la corriente de material. Cuando el producto cae

Ecuación 7.1

Cálculo del flujo total de aire

$$Q_{tot} = Q_{des} + Q_{ind} + Q_{gen}$$

Dado: *Un punto de transferencia está unido a una quebradora que genera 0.77 metros cúbicos por segundo (1625 pies³/min.) de aire. El aire desplazado es 0.06 metros cúbicos por segundo (133 pies³/min.) y el aire inducido es 0.055 metros cúbicos por segundo (117 pies³/min.).* ***Calcular:*** *El movimiento total del aire.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
Q_{tot}	Flujo de aire total	metros cúbicos por segundo	pies cúbicos por minuto
Q_{des}	Aire desplazado	0.06 m³/s	133 pies³/min.
Q_{ind}	Aire inducido	0.055 m³/s	117 pies³/min.
Q_{gen}	Aire generado (si está presente)	0.77 m³/s	1625 pies³/min.
Métrico: $Q_{tot} = 0.06 + 0.055 + 0.77 = 0.885$			
Imperial: $Q_{tot} = 133 + 117 + 1625 = 1875$			
Q_{tot}	Flujo de aire total	0.885 m³/s	1875 pies³/min.

y se comprime en una pila, este aire inducido se libera, ocasionando que una presión positiva considerable fluya lejos del centro de la zona de carga. Si no se atiende esta presión positiva con un diseño adecuado del punto de transferencia o sistemas de descongestión, las partículas finas serán llevadas fuera del sistema en la corriente de aire.

Un ejemplo de aire inducido sería cuando uno abre la llave del agua de la regadera, la corriente de agua de la cebolleta se extiende. Esta agua en movimiento trae un volumen de aire consigo. Esta corriente de aire puede observarse en el movimiento de la cortina de la regadera hacia el caudal de agua.

Los factores que influyen en la cantidad de aire inducido en un punto de transferencia del transportador incluyen la cantidad de materiales, el tamaño de las partículas del material transportado, la velocidad de la banda, la altura de la caída de material y el tamaño de las aberturas en el chute principal que permiten que el aire se lleve al confinamiento. El aire inducido se puede calcular con estos factores **(Ecuación 7.3)**.

El factor más controlable en el control del aire inducido es el tamaño de la abertura en el chute principal (A_u) a través de la cual ocurre la inducción de aire. Mientras más pequeña sea la abertura para que el aire entre al sistema, menor será el valor de A_u y menor será el volumen de aire que escapará o deberá escapar. (Nota: A_u es el tamaño de la entrada de la banda al confinamiento del chute principal, en lugar del tamaño de las puertas que descienden a la zona de carga o la sección del chute lateral del transportador de recepción).

Un método fácil y rentable para reducir la cantidad de aire inducido es reducir el tamaño de todas las aberturas del chute principal. Esto incluiría sellar las áreas abiertas donde la banda entra y sale del chute principal, así como colocar sellos en los ejes de las poleas y poner puertas sobre el limpiador de banda y otras aberturas de inspección.

Aire generado

Otras fuentes de aire en movimiento son aquellos dispositivos que alimentan la zona de carga del transportador. Esto incluye equipo como quebradoras, astilladores, quebradoras de martillos o cualquier dispositivo que tenga un movimiento giratorio que cree un efecto de ventilador, llevando el aire al punto de transferencia. Aunque no está presente en todos los puntos de transferencia, este flujo de aire generado puede ser el más severo de todos los movimientos de aire.

Otros dispositivos que se deben considerar, si los hay, serían los cañones de aire, vibradores y mangueras de aire comprimido usados para promover el flujo de material. Este tipo de movimiento de aire puede medirse usando la velocidad del aire e indicadores de volumen, como tubos Pitot y manómetros. Puede ser más sencillo que el usuario se ponga en contacto con

$$Q_{des} = \frac{k \cdot L}{\rho}$$

Dado: *Un chute de transferencia carga 180 toneladas por hora (200 st/h) de material que pesa 800 kilogramos por metro cúbico (50 libras$_m$/pies^3).* ***Calcular:*** *El aire desplazado.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
Q_{des}	Aire desplazado	metros cúbicos por segundo	pies cúbicos por minuto
L	Carga (cantidad de material transportado)	180 t/h	200 st/h
ρ	Densidad aparente	800 kg/m^3	50 libras$_m$/pies^3
k	Factor de conversión	0.277	33.3

Métrico: $Q_{des} = \frac{0.277 \cdot 180}{800} = 0.062$

Imperial: $Q_{des} = \frac{33.3 \cdot 200}{50} = 133$

Q_{des}	Aire desplazado	0.062 m^3/s	133 pies^3/min.

Ecuación 7.2

Cálculo del aire desplazado

el fabricante del equipo para obtener un cálculo de la salida de aire por varias piezas de equipo. Dependiendo de la quebradora, los fabricantes estiman el aire generado para varios tipos **(Tabla 7.1)**.

Ya que la cantidad de aire generado puede ser significativa, debe obtenerse del fabricante del equipo, o el flujo se puede calcular multiplicando el área de escape por la velocidad del aire, medido mientras el equipo está trabajando.

VELOCIDAD Y VOLUMEN DEL AIRE

Velocidad del aire

El aire fluye desde una zona de alta a baja presión por la diferencia de presión. Aunque existe una cantidad de variables que pueden ocasionar que el polvo permanezca en el vapor del material, incluyendo tamaño de las partículas, la cohesión del material y el contenido de humedad, en general las partículas de polvo tienen una velocidad de aceleración en el rango de 1.0 a 1.25 metros por segundo (200 a 250 pies/min.). Eso significa que el aire en movimiento sobre una cama de material a esta velocidad puede recoger polvo de la superficie y llevárselo.

Un buen parámetro de diseño para el cálculo de los chutes de salida de las zonas de carga es mantener la velocidad del área de salida debajo de 1.0 metros por segundo (200 pies/min.). Las velocidades más altas pueden permitir que la corriente de aire recoja partículas de

Ecuación 7.3

Cálculo de aire inducido

$$Q_{ind} = k \cdot A_u \cdot \sqrt[3]{\frac{RS^2}{D}}$$

Dado: *Un chute de transferencia carga 180 toneladas por hora (200 st/h) y tiene un área abierta de 0.046 metros cuadrados (0.5 pies²). El material con un promedio de diámetros de 0.075 metros (0.25 pies) cae 1.25 metros (4 pies).* ***Calcular:*** *El aire inducido.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
Q_{ind}	Volumen de aire inducido	metros cúbicos por segundo	pies cúbicos por minuto
A_u	Área abierta del chute de cabeza	0.046 m²	0.5 pies²
R	Índice del flujo de material	180 t/h	200 st/h
S	Altura de la caída libre del material	1.25 m	4 pies
D	Diámetro promedio del material	0.075 m	0.25 pies
k	Factor de conversión	0.078	10

Métrico: $Q_{ind} = 0.078 \cdot 0.046 \cdot \sqrt[3]{\frac{180 \cdot 1.25^2}{0.075}} = 0.055$

Imperial: $Q_{ind} = 10 \cdot 0.5 \cdot \sqrt[3]{\frac{200 \cdot 4^2}{0.25}} = 117$

Q_{ind}	Volumen de aire inducido	0.055 m³/s	117 pies³/min

Tabla 7.1

Niveles aproximados de aire generado por los diferentes tipos de quebradoras

Tipo de quebradora	En la alimentación de la quebradora por 300 milímetros (12 pulg.) de ancho de abertura	En la descarga de la quebradora por 300 milímetros (12 pulg.) de ancho de transportador
Quebradora de mandíbula	850 m³/h (500 pies³/min.)	850 m³/h (500 pies³/min.)
Quebradora giratoria	850 m³/h (500 pies³/min.)	1700 m³/h (1000 pies³/min.)
Quebradoras de martillos e impactadores	850 m³/h (500 pies³/min.)	2550 m³/h (1500 pies³/min.)

material y que las mantenga suspendidas en el aire dificultando la contención, colección o supresión.

Revisar la velocidad y el volumen del aire

La cantidad de aire que fluye a través del punto de transferencia cada minuto se puede calcular con algunas mediciones **(Ecuación 7.4)**. Para calcular el volumen de aire en movimiento, multiplique la velocidad medida de aire que sale de cada área abierta del punto de transferencia (incluyendo la salida de la banda, los lados de la banda, atrapadores de polvo y otras aberturas) por el área de cada abertura. Estos flujos de aire después se suman para producir un flujo total de aire. Estas mediciones se deben tomar mientras el punto de transferencia está en operación. Las mediciones de la velocidad del aire se pueden realizar con un anemómetro portátil relativamente económico; el área se puede medir con una cinta métrica **(Figura 7.3)**.

Dado que se puede producir un flujo adicional de aire a través del punto de transferencia por las quebradoras, cribas vibradoras, alimentadores y otro equipo de proceso y manejo, será necesario medir la velocidad del aire mientras estos dispositivos también están en operación.

Este cálculo del volumen de aire debe compararse con las estimaciones del volumen de aire **(Ecuación 7.1)**. Si existe una discrepancia importante, SIEMPRE debe usarse el flujo de aire calculado de la velocidad medida del aire **(Ecuación 7.4)**.

CONTROL DEL AIRE

Controlar el movimiento de aire

Un sistema completo para controlar el polvo en los puntos de transferencia del transportador se basa en cuatro parámetros de diseño:

A. Limitar la cantidad de aire que entra en el confinamiento

   Evitar que el aire entre en el confinamiento de la polea de cabeza o del transportador de descarga es posible sin tener que hacer cambios sofisticados y costosos. Se pueden instalar cortinas convencionales de caucho en la entrada y salida de la banda, y se pueden sellar otras aberturas, como alrededor de los ejes de las poleas. Quizá lo más fácil para limitar la entrada de aire en el extremo de descarga de los transportadores es asegurarse de que todas las puertas de inspección estén cerradas.

Figura 7.3

Las mediciones de aire se pueden tomar con un anemómetro portátil relativamente económico y una regla.

Ecuación 7.4

Cálculo de la cantidad de aire

$$Q_{tot} = A \cdot V$$

Dado: *La velocidad del aire que sale de un punto de transferencia se mide a 4.3 metros por segundo (850 pies/min.). El confinamiento del punto de transferencia tiene un área de sección transversal de 0.19 metros cuadrados (2 pies²).* ***Calcular:*** *El flujo total de aire.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
Q_{tot}	Movimiento total de aire	metros cúbicos por segundo	pies cúbicos por minuto
A	Área de sección transversal del confinamiento del punto de transferencia	0.19 m²	2 pies²
V	Velocidad del aire	4.3 m/s	850 pies/min
Métrico: $Q_{tot} = 0.19 \cdot 4.3 = 0.81$ ***Imperial:*** $Q_{tot} = 2 \cdot 850 = 1700$			
Q_{tot}	Movimiento total de aire	0.81 m³/s	1700 pies³/min.

B. Limitar la propagación de la corriente de material

A medida que se mueve a través del punto de transferencia, cada partícula o terrón de material actúa sobre el aire del confinamiento, llevando algo del aire junto con ellos. Se pueden mantener los materiales en una corriente consolidada a medida que salen de la polea de cabeza y se mueven a través del punto de transferencia con deflectores o cubiertas y cucharas diseñadas. Un deflector puede crear problemas de flujo de material, mientras que las cubiertas y cucharas diseñadas tienen menos probabilidad de crear problemas de flujo. Mientras más materiales haya y más rápido sea el movimiento, mayor será la necesidad de un chute diseñado. *(Vea el Capítulo 22: Chutes de flujo diseñados).*

C. Limitar la altura de la caída de material

En una descarga de transportador convencional, los materiales caen en caída libre. Esto dispersa los materiales, haciendo la corriente más grande y haciendo posible que lleve más aire con ella, porque el aire llena los vacíos creados dentro de los materiales propagados. Cuando los materiales caen en la siguiente banda, el aire en suspensión se aleja de la pila, creando una presión positiva. Mientras más lejos caen los materiales, mayor es la fuerza del aterrizaje; por lo tanto, mayor será la presión del aire hacia el exterior. La limitación de la altura de caída se encarga de este problema. Limitar la altura de caída usualmente implica acercar los transportadores. Este es un proceso increíblemente complicado de implementar una vez que se ha instalado un transportador; sin embargo, es relativamente fácil minimizar la altura de caída en el diseño del sistema.

D. Limitar la velocidad del aire dentro del confinamiento por debajo de la velocidad de aceleración de las partículas de polvo

Los confinamientos de los transportadores convencionales se comportan como ductos grandes que mueven aire. Como tales, el área de la sección transversal del ducto, formado por el chute del transportador y el chute lateral, puede aumentar o disminuir para cambiar la velocidad del aire que fluye a través del confinamiento. *(Vea el Capítulo 11: Chutes laterales, especialmente temas avanzados para problemas de muestra para determinar la velocidad).*

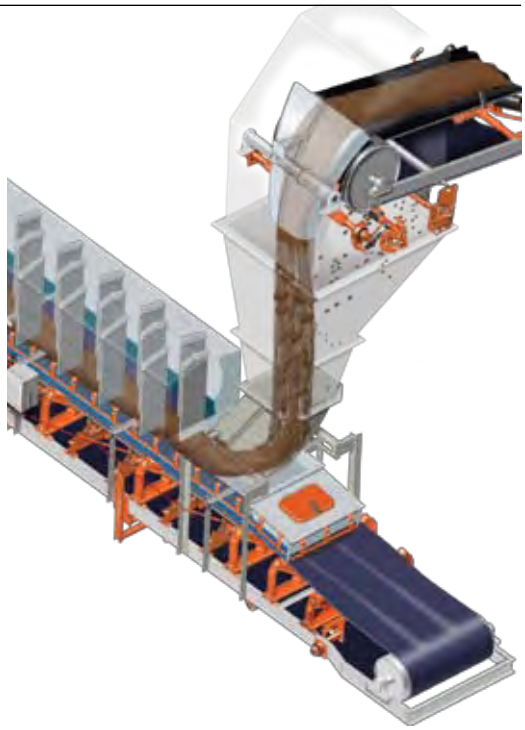


Figura 7.4

Confinando la corriente de material, un chute de "cubierta y cuchara" minimiza el aire en suspensión con el material, por lo que se reduce el polvo en el ambiente.

Sistemas de cubierta y cuchara

Prevenir que los materiales se dispersen cuando salen de la polea de descarga reducirá significativamente la cantidad de aire que entra como aire inducido. Los chutes que emplean un diseño de "cubierta y cuchara", para confinar la corriente de materiales en movimiento, reducen el flujo de aire **(Figura 7.4)**. La cubierta minimiza la expansión del material, desviando la corriente hacia abajo. La cuchara proporciona un chute de carga curva que da una línea suave de descenso. De esta manera los materiales se deslizan hacia el receptáculo, ya sea un contenedor o la zona de carga de otro transportador. La cuchara "alimenta" los materiales uniforme y constantemente, controlando la velocidad, dirección y nivel de impacto de los materiales en la zona de carga. Paradójicamente, el diseño de la cubierta y la cuchara depende de que la gravedad y fricción mantengan la velocidad del flujo de material a través del chute. En algunas instalaciones, puede no haber la suficiente altura de caída para usar esta técnica para controlar el polvo.

Al reducir la velocidad y la fuerza del impacto de material en la zona de carga, para acercarse a la velocidad y dirección de la banda, este sistema mitiga la salpicadura cuando los materiales caen en el transportador receptor. Por

lo tanto, hay menos polvo y aire escapando a gran velocidad. A medida que los materiales se depositan cuidadosamente en la banda, hay un mínimo de giros o turbulencia de los materiales que están en la banda. Hay menos impacto en la zona de carga, lo que reducirá el daño por contacto con la banda. Dado que existe un mínimo de giros o turbulencia de los materiales y fuerzas laterales inferiores, la longitud de los chutes laterales puede ser menor y sellarse más eficazmente.

La gravedad y el flujo de materiales tenderán a evitar que haya acumulaciones en la cubierta y la cuchara y que obstruyan el chute. A veces, no hay el suficiente espacio para incluir la cubierta y la cuchara en el diseño. En algunos casos con materiales libres, sólo se usa una cuchara para cambiar la dirección de la corriente, para minimizar la abrasión de la banda y la presión del lado del chute lateral. Las cucharas tienden a retroceder, o a salir si las características de los materiales a granel son variables. Se puede diseñar una compensación en la cuchara para la variedad de materiales.

La principal desventaja percibida de usar el concepto de "cubierta y cuchara" es el precio de estos componentes especialmente diseñados. Aun así, cuando se pueden aplicar y mantener, un análisis de costo total mostrará beneficios significativos en ahorro de costos por la reducción de polvo, derrames y desgaste de la banda.

Este sistema de "cubierta y cuchara" funciona mejor cuando la corriente de material se mantiene lo más cerca posible a un flujo continuo. El diseño minimiza la cantidad de expansión del perfil del material, para reducir el aire inducido y proporcionar un flujo constante. A medida que los materiales caen, el aumento de la velocidad inducida por la gravedad permite la reducción gradual en el área de la sección transversal del chute sin aumentar el riesgo de obstrucciones dentro del chute. Las variaciones en la proporción de materiales que se cargan en la banda puede entrar en conflicto con el diseño ideal de la cubierta y cuchara, por lo que se pueden requerir algunos arreglos en el diseño del chute.

Los diseños de cubierta y cuchara son una característica típica de los chutes de flujo, desarrollados usando propiedades de material y mecánica y verificados a través del método de Modelado de Elementos Discretos (DEM por sus siglas en inglés). El éxito de este sistema puede eliminar la necesidad de los sistemas de colección del polvo de "filtros con manga" en algunas operaciones. *(Vea el Capítulo 22: Chutes de flujo diseñados).*

Zonas de asentamiento

La zona de asentamiento es el nombre usado para la longitud cubierta del chute lateral incluyendo, si se requiere, un volumen confinado de la zona de carga después de que el producto haya sido puesto en la banda. La zona de asentamiento es usualmente una porción agrandada del área cubierta del chute lateral en el punto de transferencia **(Figura 7.5)**. Este volumen adicional frena el aire y permite que la mayoría del polvo se asiente y escape aire más limpio.

El tamaño de una zona de asentamiento debe determinarse por seis factores: ancho y velocidad de la banda, ancho del chute, cantidad de flujo de aire, profundidad de la cama de material y diámetro del terrón más grande de material que pueda pasar a través de la zona de asentamiento. A medida que aumente uno o más de estos factores, también debe aumentar la zona de asentamiento. Los cálculos para determinar el tamaño de la zona de asentamiento son únicamente para el espacio del aire, el área que está arriba de la carga. Al calcular el área de la sección transversal de la salida del chute, se resta el área ocupada por el cuerpo del material para encontrar el área de la zona de asentamiento. *(Vea el Capítulo 11: Chutes laterales, para problemas muestra para el cálculo del tamaño adecuado de un área de chutes laterales, incluyendo la zona de asentamiento).*

Figura 7.5

La zona de asentamiento es usualmente una porción alargada del área cubierta del chute lateral en el punto de transferencia que frena el aire y permite que el producto transportado se asiente y que escape aire más limpio.

Además de aumentar el tamaño de la zona de asentamiento, otra manera de frenar el aire en la zona de asentamiento es la instalación de cortinas de caucho como bafles. *(Vea el Capítulo 18: Control pasivo del polvo, para más información sobre cortinas de polvo).*

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Para un control eficaz del aire que está dentro de un punto de transferencia, y que escapa del mismo, es importante que se cierren los orificios, ya sea que la abertura sea por corrosión o desgaste o por una puerta abierta. El mantenimiento de los componentes, como revestimientos de desgaste y deflectores, dentro del punto de transferencia es crítico para minimizar la perturbación de los materiales y del flujo de aire.

Por la necesidad de controlar el movimiento del aire y el polvo resultante, y para mantener un lugar de trabajo limpio, seguro y productivo, muchas compañías subcontratan el mantenimiento de sistemas de control pasivo y activo de polvo a contratistas especializados.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

Se han desarrollado especificaciones típicas para el diseño del área del chute lateral de un punto de transferencia (incluyendo el sello de la cola, el chute lateral y la zona de asentamiento) como adecuadas para el control de derrames y movimiento de aire. *(Vea el Capítulo 6: Antes de la zona de carga y el Capítulo 11: Chutes laterales).*

Figura 7.6

La instalación de una pieza de banda vieja como cortina entre el trayecto de carga y el lado de retorno puede reducir la inducción de aire en la entrada de la banda.

TEMAS AVANZADOS

Cambiar las áreas abiertas del chute de cabeza y las alturas de caída para minimizar el aire inducido

El volumen de aire inducido (Q ind) es una función del área abierta (A_u), índice de flujo (R), altura de caída (S) y diámetro promedio del material (D) **(Ecuación 7.3)**. El área abierta y la altura de caída son las únicas dos cosas que realmente se pueden cambiar. Esas dos variables tienen impactos matemáticos diferentes en el aire inducido. Un reducción del área abierta del 5 por ciento dará una reducción del 4.27 por ciento de aire inducido. Sin embargo, un 5 por ciento de reducción en la altura de caída da sólo una reducción del 3.42 por ciento en el aire inducido. El costo para reducir el área abierta es usualmente mucho menor que el costo para reducir la altura de caída. Este bajo costo y mejor efecto hace que la reducción del área abierta para limitar la cantidad de aire que fluye en una banda transportadora sea una prioridad.

Se debe observar que si el área abierta se reduce un 5 por ciento y la altura de caída se reduce un 5 por ciento, el aire inducido se reduce un 6.84 por ciento.

Restringir el movimiento de aire en la entrada del chute de cabeza

Además de las técnicas ya mencionadas, otro método empleado para minimizar el aire inducido es cubrir la porción de entrada del transportador varios pies antes de entrar en el chute de cabeza. Esto aumenta la resistencia al aire que entra por las aberturas y; por lo tanto, reduce el flujo de aire.

Una técnica para reducir la inducción de aire en la entrada de la banda es la instalación de una pieza de banda vieja como cortina entre la trayectoria de carga y el lado de retorno **(Figura 7.6)**. Colocada desde un chute de compensación a otro, esta cortina actúa como una pared, envolviendo la polea de cabeza y reduciendo el movimiento de aire.

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Es importante seguir las reglas de seguridad establecidas en cuanto al equipo de protección personal (PPE por sus siglas en inglés), la entrada a espacios confinados y la exposición al polvo creada por el manejo de materiales a granel en el lugar de trabajo.

En aplicaciones en las que existe el peligro de una explosión o un incendio, se deben seguir los procedimientos establecidos para minimizar el riesgo.

CONTROL DE AIRE ≈ CONTROL DEL POLVO

En resumen...

El polvo es llevado de un punto de transferencia por la corriente de aire creada por el pasaje de materiales a granel a través de ese punto de transferencia **(Figura 7.7)**. Aunque habrá polvo que se genera sin corrientes de aire, el escape de polvo será minimizado sin una corriente de aire. Mientras más control establezca el punto de transferencia (o la operación entera) sobre el movimiento de aire, más control tendrá sobre el escape de polvo en el ambiente.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo, Control del aire, es el segundo capítulo de la sección Cargar la banda, siguiendo los temas de las poleas de cola y áreas de transición en Antes de la zona de carga. Los siguientes dos capítulos continúan la discusión en esta sección de reducción de derrames y polvo enfocándose en el control de material, el Capítulo 8 aborda los Chutes de transferencia convencionales y el Capítulo 9 examina los Promotores de flujo.

Figura 7.7

El polvo es llevado de un punto de transferencia por la corriente de aire creada por el pasaje de materiales a granel a través de ese punto de transferencia.

REFERENCIAS

7.1 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*. Naples, Florida.

7.2 Todos los fabricantes y la mayoría de los distribuidores de bandas pueden proporcionar materiales sobre la construcción y el uso de sus productos específicos.

8

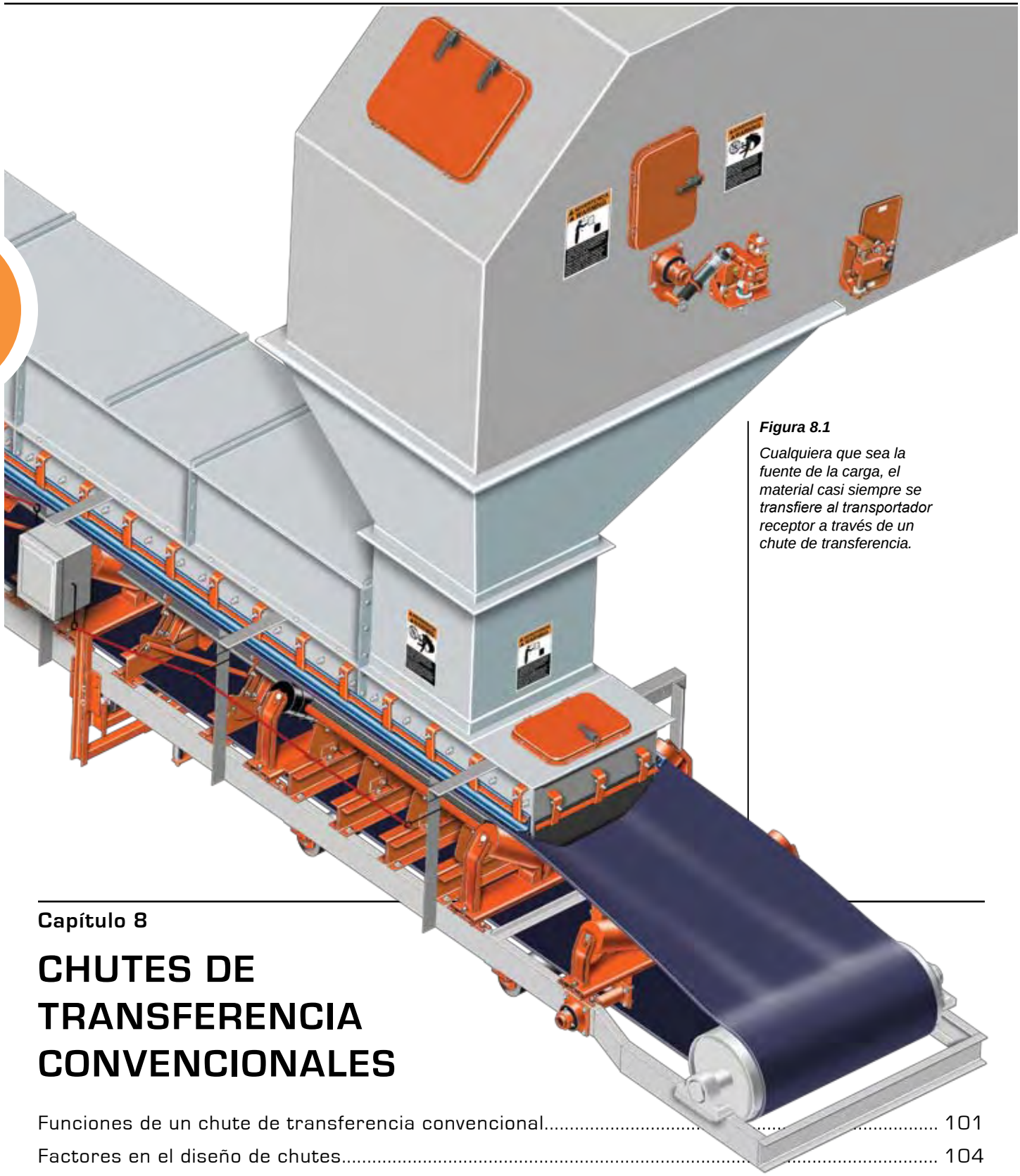


Figura 8.1

Cualquiera que sea la fuente de la carga, el material casi siempre se transfiere al transportador receptor a través de un chute de transferencia.

Capítulo 8

CHUTES DE TRANSFERENCIA CONVENCIONALES

Funciones de un chute de transferencia convencional 101
Factores en el diseño de chutes 104
Cuestiones de seguridad 113
Especificaciones típicas 113
Temas avanzados 114
El trabajo de un conjunto de chutes 115

En este capítulo...

En este capítulo, nos enfocaremos en los chutes de transferencia convencionales: su función, diseño y especificaciones. Discutiremos una variedad de métodos que pueden usarse para manejar de manera segura el flujo de material, disminuir el desgaste y controlar el flujo de aire para minimizar el polvo y los derrames, y preservar la vida útil del chute. Además se incluye una ecuación para calcular los ángulos de valle.

Un transportador recibe su carga de otros transportadores, contenedores de almacenamiento, alimentadores, equipo móvil, vagones de tren u otros sistemas de manejo de materiales. Aunque las fuentes pueden variar, los materiales casi siempre son transferidos al transportador receptor a través de un dispositivo llamado chute de transferencia **(Figura 8.1)**. Este capítulo abarca el diseño de un chute de transferencia.

Puesto que cada material y cada aplicación tiene sus propias características, un chute de transferencia eficaz debe ser más que sólo un contenedor hueco a través del cual se canaliza el material. Un chute bien diseñado controlará la trayectoria del flujo de material, evitará bloqueos y minimizará los derrames y el polvo, reduciendo así los costos de mantenimiento de la planta. El diseñador de un chute eficaz debe considerar no sólo las características del material a granel, las cuales pueden variar con el tiempo, sino también la interacción del material con las diferentes partes del sistema en general.

FUNCIONES DE UN CHUTE DE TRANSFERENCIA CONVENCIONAL

Un chute de transferencia convencional cumple su propósito cuando logra los siguientes objetivos **(Figura 8.2)**:

A. Proporcionar la transferencia de material a granel a la tasa de diseño especificada sin crear obstrucciones
B. Proteger de lesiones al personal
C. Minimizar el escape de materiales fugitivos
D. Regresar las raspaduras de la banda al flujo de material principal
E. Ser de fácil mantenimiento

Puesto que los transportadores generalmente no son autónomos, sino parte de sistemas complejos, a menudo es necesario hacer ajustes durante el diseño. Por lo tanto, estos objetivos no son requerimientos absolutos sino más bien las metas del diseño de un chute de transferencia eficaz.

Hay muchas "normas generales" para el diseño de chutes de transferencia convencionales que se basan en la experiencia y los principios de ingeniería. Algunas veces estas reglas se superponen o entran en conflicto. El diseño de una canaleta es una combinación de ciencia y arte, por lo que siempre es prudente consultar a un ingeniero de transportadores con experiencia en los sistemas de diseño para las aplicaciones en el manejo de materiales a granel específicos. *(Vea el Capítulo 22: Chutes de flujo diseñados, para una discusión sobre el diseño avanzado de canaletas).*

Transferencia de material

La función principal de una canaleta de transferencia es transferir de manera confiable el material a granel a la tasa de flujo especificada. Si el material no fluye de manera confiable por la canaleta, entonces todos los demás objetivos son irrelevantes.

Los materiales a granel deben fluir a través de una canaleta de transferencia de manera uniforme y consistente. Una canaleta de transferencia que coloca sobrecargas de material en la banda transportadora acarrea una serie de problemas al sistema de un transportador. Los depósitos pesados y periódicos de material en la banda pueden provocar que el centro de gravedad cambie y se desalinee la banda. La sobrecarga también tiene el potencial de estresar demasiado los componentes del sistema de un transportador, especialmente el motor de impulsión o el sistema de soporte para bandas, y puede conllevar a problemas de obstrucción si el área transversal de la canaleta es demasiado pequeña.

Figura 8.2

Una canaleta de transferencia convencional bien diseñada proporciona la transferencia de material a granel a la tasa de diseño especificada sin obstruir y al mismo tiempo minimiza el riesgo al personal, así como el escape de material fugitivo.

Métodos nuevos como, por ejemplo, el método de Modelado de Elemento Discreto (DEM) basado en computadora, ahora están disponibles para verificar que el material fluirá de manera confiable. La gran mayoría de los chutes convencionales aún están diseñados en base a las "normas generales" que siempre se usan.

Protección del personal

Aunque las transferencias abiertas son comunes en algunas industrias como, por ejemplo, agregados y minas subterráneas, la tendencia en el diseño de chutes es encerrar el punto de transferencia tanto como sea posible desde la polea de descarga hasta alguna distancia a lo largo del transportador receptor. Simplemente encerrar el punto de transferencia es una manera eficaz de contener el material a granel, reducir el escape de materiales fugitivos, limitar el ruido e impedir la exposición del personal a los numerosos puntos de presión del transportador.

Minimizar el escape de materiales fugitivos

El tamaño del compartimento a menudo se basa en el espacio disponible, lo cual puede llevar a un diseño indeseable. El chute de transferencia debe ser suficientemente grande para permitir cualquier mantenimiento que pueda requerirse. Además debe ser suficientemente grande para reducir las emisiones de polvo, permitiendo un volumen suficiente para reducir la presión positiva y la velocidad del aire que fluye hacia dentro y a través de la transferencia.

Existen varios elementos de diseño relacionados que afectan la creación de materiales fugitivos en forma de polvo y derrames. Un factor clave para reducir el escape de material es la colocación de la carga en el centro de la banda.

La carga desalineada, colocar la carga predominantemente en un lado de la banda, es un problema en muchos puntos de transferencia que contribuye a la generación de materiales fugitivos **(Figura 8.3)**. El problema es más común en los puntos de transferencia no lineales donde la dirección del recorrido del material se cambia. La carga desalineada también puede encontrarse en puntos de transferencia en línea donde el material se ha acumulado dentro del chute de transferencia o cuando los cambios en las características del material (como humedad, tamaño de las partículas o la velocidad) han alterado la trayectoria del material, lo que resulta en la acumulación más profunda del material en un lado de la banda receptora. Este desplazamiento causa problemas con la alineación y puede resultar en un derrame por el borde de la banda fuera del punto de transferencia **(Figura 8.4)**.

Aunque lo ideal es diseñar un chute de transferencia para evitar los problemas asociados con una carga desalineada, hay soluciones que pueden implementarse dentro de la zona de carga para compensar esta situación. Los rodillos satelitales y otros sistemas de alineación de la banda tienen una capacidad limitada para contrarrestar los efectos de una carga desalineada. La instalación de medidas correctivas como, por ejemplo, deflectores o promotores de flujo dentro de la zona de carga, en combinación con los sistemas de alineación para bandas, proporciona un método eficaz. *(Vea el Capítulo 16: Alineación de la banda, para mayor información).*

Una serie de accesorios, como deflectores, revestimientos, pantallas desviadoras, aplanadoras, parrillas, carcasas de rocas o cama muerta pueden colocarse dentro del chute de transferencia para ayudar a dirigir el flujo del material y proporcionar un patrón de carga

Figura 8.3

La carga desalineada, colocar la carga predominantemente en un lado de la banda, es un problema en muchos puntos de transferencia que contribuye a la generación de materiales fugitivos.

Figura 8.4

La carga desalineada conlleva a la acumulación profunda de material en un lado de la banda receptora, que lleva a su vez a problemas de alineación y derrame de material.

balanceado; estos se discuten más adelante en este capítulo. La geometría de las compuertas de carga o el conjunto de canaletas debe calcularse durante el diseño de la canaleta, en base a los patrones del flujo de material esperados, para promover el centrado de la carga.

Regreso de las raspaduras de la banda al flujo de material

Los limpiadores de banda se instalan en la polea de descarga para eliminar el material residual que se adhirió a la banda más allá del punto de descarga.

El material eliminado por los limpiadores debe regresarse al flujo de material principal para que no se acumule en las paredes del chute principal u otros componentes. Por lo tanto, una placa deflectora grande que encierra el sistema de limpieza para bandas con paredes inclinadas se requiere usualmente para alojar el material eliminado y dirigirlo de regreso al flujo de material principal. El material adherido tiene alta adhesión, por lo que cuando sea posible, la placa deflectora debe tener paredes inclinadas casi verticales.

Cumplir con este objetivo de diseño puede requerir usar chutes muy grandes, revestimientos de chute de baja fricción y/o dispositivos auxiliares como, por ejemplo, placa deflectora vibradora, cañones de aire y transportadores carroñeros. *(Vea el Capítulo 14: Limpieza de la banda).*

Al diseñar una transferencia, debe tenerse en cuenta que el ángulo más inclinado es el ángulo de valle entre dos paredes del chute **(Figura 8.5)**. Entre más inclinados deban ser los ángulos de valle para minimizar la adherencia de material adherido, más inclinados deben ser los ángulos de las paredes. Para lograr un ángulo de valle dado, son necesarios ángulos de paredes con inclinaciones aún más pronunciadas. Cuando sea posible, las esquinas deben redondearse para reducir las oportunidades de la acumulación de finos.

Ser de fácil mantenimiento

Diseñar el chute de transferencia de manera que los componentes puedan ser fáciles de acceder para el servicio es crítico para un mantenimiento eficaz. A menudo esto es tan simple como diseñar la estructura para ajustar la ubicación preferida de los componentes o proporcionar una medida para elevar las secciones pesadas de las paredes del chute u otros componentes a los que se dará mantenimiento. Muchos proveedores disponen sus componentes de manera que su mantenimiento sea fácil, pero estas funciones se eliminan debido al diseño de la estructura o a la colocación de tubos de servicio y conductos u otros componentes **(Figura 8.6)**.

Simplemente proporcionar suficiente espacio para acceder y montar plataformas de trabajo en alturas que sean convenientes para el mantenimiento sería de gran ayuda para hacer que un chute de transferencia sea fácil de mantener. En *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS* (*BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL), sexta edición*, de la Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas Transportadoras (CEMA), se indican los espacios libres recomendados alrededor de los chutes. *(Vea también el Capítulo 26: Accesibilidad del transportador).*

A menudo es necesario colocar andamios

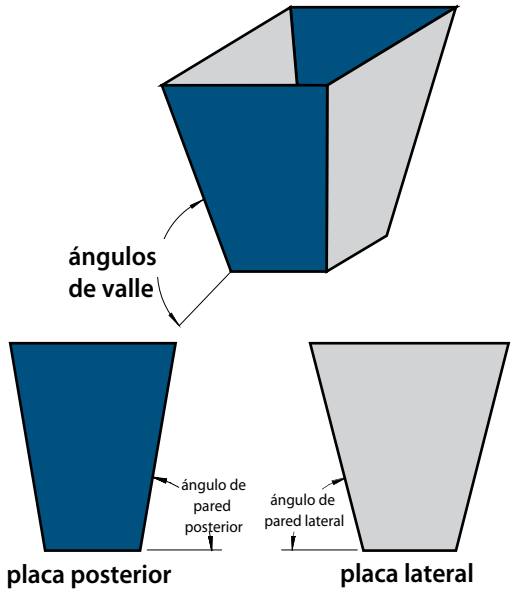


Figura 8.5

En el diseño de un punto de transferencia, el ángulo menos inclinado es el ángulo de valle entre dos paredes del chute.

Figura 8.6

La colocación de tubería de servicios y conductos, así como otros componentes, puede eliminar la posibilidad de dar mantenimiento fácil a un transportador.

o plataformas de trabajo dentro del chute de transferencia para el mantenimiento. No es inusual que la instalación y el desmontaje del andamio tome más tiempo que el trabajo de mantenimiento. Instalar las abrazaderas o relieves para adaptar las plataformas de trabajo dentro del chute (lejos del flujo de material) es una práctica eficaz que ahorrará una cantidad considerable de tiempo.

Diseñar el chute de transferencia de manera que el mantenimiento de los componentes críticos se realice sin entrar a un espacio reducido o sin la necesidad de permisos de "trabajo en caliente" mejorará la productividad del mantenimiento.

Una canaleta de transferencia que es fácil de mantener y limpiar es aquella a la que se le da mantenimiento y se limpia, lo que lleva a mayor producción y menos paros en producción. *(Vea el Capítulo 26: Accesibilidad del transportador y el Capítulo 28: Mantenimiento, para más información).*

FACTORES EN EL DISEÑO DE CHUTES

Diseño de un chute de transferencia convencional

El diseño de un chute de transferencia convencional generalmente es hecho por un diseñador experimentado o un ingeniero de manejo de materiales a granel usando las "normas generales" aceptadas en la industria. Muchas empresas de ingeniería establecen sus propias reglas de diseño y muchas industrias han desarrollado métodos consistentes para diseñar chutes que resuelven problemas específicos a sus necesidades. Aunque estas diversas normas pueden variar, hay un acuerdo general al menos en el orden de la magnitud de muchos de los requerimientos de diseño para diseñar canaletas convencionales. Los lineamientos para el diseño de canaletas de transferencia convencionales se han publicado en diferentes referencias. A continuación se presenta un resumen breve de algunas de las reglas y métodos de diseño más comunes.

Una canaleta de transferencia convencional generalmente consiste en las siguientes partes básicas **(Figura 8.7)**:

A. Canaleta principal

El área que rodea la polea de cabeza del transportador alimentador

B. Canaleta de descarga

El área donde el material está en caída libre

C. Canaleta de carga

El área donde el material entra en contacto con la banda receptora (también llamada zona de carga)

D. Zona de asentamiento

Aunque técnicamente no es parte de la canaleta de transferencia, es una extensión del conjunto de canaletas fijada a la canaleta de transferencia para asentar el polvo en el ambiente

Parámetros del sistema

Los siguientes son los parámetros mínimos que un diseñador debe tener antes de empezar a diseñar una canaleta de transferencia entre dos bandas transportadoras:

A. Capacidad nominal: toneladas por hora (tc/h)

B. Rangos ambientales del entorno operativo

C. Densidad aparente según el transporte: kilogramos por metro cúbico ($lbs_m/pies^3$)

D. Densidad aparente suelta: kilogramos por metro cúbico ($lbs_m/pies^3$)

E. Clasificación del material a granel: distribución del tamaño, características del material y todas las condiciones especiales

F. Anchos, velocidades y ángulos canalizados de la banda de descarga y receptora

G. Área transversal de la carga en la banda: metros cuadrados ($pies^2$)

H. Hoja de datos del proceso que muestra la secuencia de los transportadores

I. Dibujo de disposiciones generales que muestran las vistas planeadas y de elevación, las dimensiones críticas y la relación planeada entre los transportadores de descarga y receptores

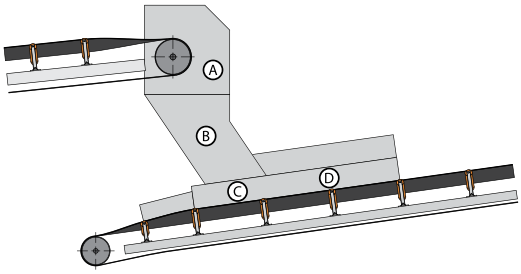


Figura 8.7

Una canaleta de transferencia convencional generalmente consiste en las siguientes partes básicas: A) Canaleta principal, B) Canaleta de descarga, C) Canaleta de carga y D) Zona de asentamiento.

Muchas veces, la capacidad mencionada de los transportadores se valora un 10 a 20 por ciento menos de su capacidad diseñada real por varias razones. Reducir la capacidad nominal permite tener sobrecargas, reduce los derrames y proporciona un factor de seguridad para cumplir con el rendimiento especificado. Al tomar las dimensiones de las canaletas de transferencia, debe usarse la carga completa del transportador y el área transversal.

El ángulo de reposo del material a menudo se usa en el diseño de canaletas de descarga convencionales para representar el ángulo de fricción interno y los valores de fricción de interfaz del material a granel. El ángulo de reposo también se usa para establecer la inclinación mínima de las paredes de la canaleta y la altura de la pila de material dentro del chute lateral. Además, el ángulo de reposo a menudo se usa para calcular la carga de cabeza o el peso del material en una banda que debe arrancar con una tolva llena sobre ella. Aunque se usan mucho para estos propósitos, usar el ángulo de reposo para estos cálculos a menudo es insatisfactorio puesto que el ángulo de reposo no representa la capacidad del material a granel de adherirse a sí mismo o a las paredes de la canaleta.

Una mejor dirección sería probar las propiedades del material real a medida que se transporta por el sistema. Esta prueba del material establecerá el rango de las propiedades del material a granel al que debe adaptarse la canaleta de descarga. También ayudará a eliminar los errores más comunes que se cometen en el diseño de las canaletas de transferencia: las suposiciones de un tamaño máximo del terrón y las diferencias entre la densidad aparente como se transporta y la densidad aparente suelta. *(Vea el Capítulo 25: Ciencia del material, para mayor información sobre las propiedades y pruebas del material).*

Trayectoria del material

La ruta que el material a granel toma a medida que se descarga del transportador de entrega se llama trayectoria. La trayectoria es afectada por la velocidad de la banda, el ángulo de inclinación de la banda de descarga y el perfil del material sobre la banda. En un diseño de canaleta de transferencia convencional, la trayectoria se representa y usa como un punto de inicio para estimar dónde el flujo de material se impactará primero contra la pared de la canaleta principal. A partir de ahí, se asume que el flujo de material rebotará de la pared de la canaleta de forma parecida a un rayo de luz que se dobla con una serie de espejos. En *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS* (*BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL), sexta edición* de la CEMA, se presenta una discusión detallada sobre el cálculo y la representación de las trayectorias de material.

Los errores más comunes que se cometen en esta etapa del diseño son desarrollar una trayectoria de material inicial incorrecta y no considerar los efectos de la fricción cuando se calculan los rebotes subsiguientes del flujo de material en las paredes de la canaleta de transferencia.

La opinión actual en el diseño de canaletas de transferencia es controlar el flujo de material a granel e impedir que caiga libremente desde la banda de descarga a la receptora. Con este método controlado, el diseñador asume que la sección transversal del material no se extiende o abre significativamente. Las alturas de descarga se minimizan para ayudar a reducir la degradación del material, la creación de polvo y el desgaste de la banda receptora.

Este método requiere cierto conocimiento de los valores de fricción entre el material a granel y los materiales de la canaleta de transferencia. El método de DEM se está usando en el diseño de canaletas convencionales para ayudar al diseñador a evaluar los efectos de las propiedades cambiantes como, por ejemplo, el coeficiente de fricción. Existen varios paquetes de software de DEM en el mercado diseñados para este propósito.

Distancia, ángulo y superposición entre transportadores

Idealmente, todas las transferencias de banda a banda serían en línea: las bandas de descarga y receptoras viajarían en la misma dirección **(Figura 8.8)**. Este tipo de transferencia permite suficiente superposición de la banda para evitar cargar en el área de transición de la banda receptora, donde la banda cambia de plana, en la polea de cola, a un ángulo totalmente canalizado. Hacer la transición de esta manera también hace que sea relativamente fácil colocar el material en la banda receptora con la carga moviéndose en la dirección de la banda, reduciendo así el desgaste y el

derrame innecesario. Las transferencias en línea a menudo se incorporan en los sistemas para reducir la extensión del transportador cuando hay potencia de propulsión o tensión insuficiente disponible para una sola banda, para extender la longitud del sistema de un transportador o adecuar mecanismos para mezclar, quebrar o separar el material.

Figura 8.8

Con las transferencias de transportadores en línea, las bandas de descarga y receptoras viajarían en la misma dirección.

Figura 8.9

Puede requerirse una transferencia no lineal para adecuar los cambios en la dirección del flujo de material requerido por una restricción en la planta o para permitir la separación del material o el apilamiento de almacenamiento.

Figura 8.10

La carga desalineada de material puede empujar la banda hacia afuera del faldeo, permitiendo que la tira de sellado caiga a donde la banda corre contra el sello.

Generalmente, se requiere un cambio en la dirección del movimiento del material a medida que un transportador carga a otro **(Figura 8.9)**. Una transferencia no lineal puede requerirse para adecuar cambios en la dirección del flujo de material y así poder desviar el material a una pila de almacenamiento o dividir el material para su separación.

Los problemas asociados con los puntos de transferencia no lineales incluyen: dificultad para mantener la velocidad, trayectoria y ángulos apropiados del material; problemas para controlar el polvo y el derrame; y problemas debido al aumento de desgaste (que resulta en mayores costos por el reemplazo) de los componentes en los puntos de transferencia.

Si el material se carga en la banda en una dirección que no está en línea con el movimiento de la banda receptora, los patrones de desgaste se vuelven visibles en la parte interior de la canaleta principal (de descarga). Estos patrones corresponderán con la ruta que el material toma a medida que rebota dentro de la canaleta e intenta lograr tener la dirección y velocidad de la banda en movimiento. Aunque la turbulencia puede no ser visible a medida que la carga sale del área de faldeo, el movimiento de rebote del material dentro de la canaleta de transferencia acelera el desgaste en los revestimientos, el chute lateral y los sistemas de sellado. La fuerza del material cargado puede descentralizar la banda y empujarla hacia afuera del faldeo en un lado de la banda, permitiendo que la tira de sellado se caiga e impida que la banda regrese a su posición centrada. La banda intentará regresar a su centro a medida que cambia la carga de material, obligando a la banda a entrar en contacto con la tira de sellado y cortando la tira, lo que resulta en oportunidades significativas de derrame **(Figura 8.10)**.

Afortunadamente, varias estrategias y componentes pueden emplearse para guiar el flujo de material hacia la dirección de recorrido deseada y cargarlo en el centro de la banda receptora.

Los errores más comunes que se cometen en la etapa de diseño de la canaleta de transferencia incluyen no proporcionar suficiente superposición de los transportadores. Esto conlleva a cargar en la transición de la banda y no tener suficiente espacio para instalar limpiadores de banda. Sin atención al diseño

apropiado de un transportador, incluyendo superposición suficiente, la operación es agobiada con un transportador que se obstruye a menudo, genera mucho material fugitivo y crea problemas de desgaste excesivo.

La carga en el área de transición de la banda receptora se realiza para intentar reducir costos ahorrando algunos metros de longitud del transportador. Se reconoce que esta práctica crea numerosos problemas en la carga, sellado y desgaste de la banda y, por lo tanto, debe evitarse.

Debe observarse que para poder reducir los requerimientos de absorción de la carga y las oportunidades de creación de polvo en un sistema de transferencia de un transportador, la altura de la descarga debe mantenerse al mínimo; sin embargo, los diseños de cubierta y cuchara usan la gravedad para mantener la velocidad del flujo de material **(Figura 8.11)** y a menudo requieren de mayores alturas de descarga para poder implementar estos requerimientos. Las cucharas diseñadas proporcionan muchos beneficios y deben considerarse como parte del diseño original o como parte del requerimiento de un mejoramiento en el futuro. *(Vea el Capítulo 22: Chutes de flujo diseñados).*

Consideraciones en el diseño de canaletas de transferencia

El volumen de la canaleta principal (de descarga) alrededor de la polea de descarga generalmente es dictado por la disposición general de los transportadores, los requerimientos de acceso para el mantenimiento y la trayectoria de material inicial.

El diámetro y ancho de la cara de la polea de cabeza ayudan a determinar el ancho y la altura de la canaleta principal. El espacio entre la pared de la canaleta y el borde de la polea debe ser suficientemente pequeño de modo que los terrones grandes no puedan pasar por el lado de carga al lado de retorno y quedar atrapados entre la polea y la pared de la canaleta. Un espacio típico es de 50 a 75 milímetros (2 a 3 pulgadas) por lado. El mantenimiento de la polea y el revestimiento de la polea, así como el acceso a los bujes del eje, deben considerarse para tomar esta decisión.

La canaleta principal debe empezar en el último rodillo de transición completa situado en el transportador de entrega para ayudar a contener cualquier material fugitivo que pueda caer de la banda a medida que la banda cambia de canalizada a plana en la polea de cabeza. El área de entrada de la canaleta principal debe controlarse con cortinas para polvo en los lados de carga y los sellos de barrera del lado de retorno de la banda, puesto que estas áreas son los factores clave para controlar la cantidad de aire que fluye a través de la canaleta de transferencia **(Figura 8.12)**.

Una vez que se cambie la dirección del flujo de material a granel por el primer contacto con la canaleta principal, el material a menudo se canaliza a las canaletas de descarga (transición). Estas canaletas de descarga pueden extenderse con canaletas parecidas a un ducto que acomodan el flujo de material a una alineación apropiada con el transportador receptor. Todas estas canaletas de descarga deben ser suficientemente inclinadas para impedir que el material a granel se pegue a las paredes, además de que deben ser suficientemente grandes para prevenir obstrucciones.

Es comúnmente aceptado que el área transversal de la canaleta de descarga deba medir un mínimo de cuatro veces el área transversal del perfil del material. También es

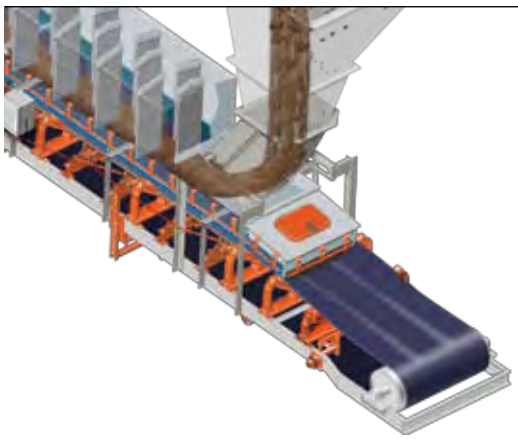


Figura 8.11

Los diseños de la cubierta y la cuchara ideales usan la gravedad para mantener la velocidad del flujo de material.

Figura 8.12

Para controlar el flujo de aire a través de la canaleta, el área de entrada debe controlarse con cortinas de polvo en el lado de carga y los sellos de barreras en el lado de retorno de la banda.

comúnmente aceptado que las dimensiones mínimas del ancho y/o profundidad midan al menos 2.5 veces más que el terrón más grande que se espera que pase por la canaleta. Muchos diseñadores aumentan estas proporciones en base a su experiencia con materiales específicos. En algunos casos, donde el material a granel es uniforme en tamaño y de flujo libre, estas proporciones pueden reducirse, especialmente cuando la canaleta se diseñó usando las propiedades específicas del material a granel que se transporta.

El ancho de la canaleta de carga (receptora) debe diseñarse para mantener el borde mínimo de la banda necesario para sellar y ajustar un desalineamiento. *(Vea el Capítulo 11: Chutes laterales).*

El error más común que se comete en esta etapa del diseño es hacer una transición demasiado abrupta entre la canaleta de descarga y la canaleta de carga, creando ángulos en las paredes de la canaleta que promueven la acumulación y conllevan a una obstrucción. La práctica de diseño actual es usar ángulos de valle a un mínimo de 60 grados o de preferencia 75 grados **(Figura 8.5)**.

Manejo del desgaste y el flujo de material

La canaleta de transferencia generalmente es diseñada para el flujo total y una trayectoria de material consistente. No obstante, el flujo de un material a granel a través de la canaleta cambiará a medida que el material cambie de propiedades, el tonelaje cambie, se desgaste la canaleta o el material a granel se acumule en la pared de la canaleta.

Deflectores

Los deflectores pueden usarse dentro de una canaleta de transferencia para absorber el impacto y minimizar el desgaste, empezando en el punto donde la trayectoria de material se encuentra primero con la canaleta principal **(Figura 8.13)**. Es importante proporcionar suficiente espacio libre entre un deflector y la polea de cabeza del transportador de descarga para evitar que los terrones grandes bloqueen el paso o que material cohesivo se adhiera a la placa, lo cual podría causar la obstrucción de la canaleta de transferencia.

Una vez que el flujo de material abandone el primer punto de contacto con la canaleta, puede ser necesario afinar el flujo del material durante el arranque del sistema. Los deflectores, o "placas de arranque", a menudo se incluyen en el plan original o se instalan en el arranque para direccionar el flujo de material.

Durante el arranque de un nuevo sistema de transportador, es una práctica común instalar deflectores dentro de la canaleta de carga para ayudar a centrar la carga. El proceso de obtener la trayectoria de flujo deseada a través de la canaleta a menudo es de prueba y error. Estas placas deflectoras deben ajustarse en la planta para que puedan volver a posicionarse hasta lograr el efecto deseado. Deben ser accesibles para permitir un reemplazo eficaz. Los puntos de inspección y acceso son críticos para observar y mantener la dirección apropiada de los materiales desviados.

La colocación de la carga debe mejorarse con los deflectores instalados dentro de la superficie de la canaleta de carga para dirigir los terrones de material hacia el centro de la zona de carga. El material que se carga en el centro es menos propenso a deslizarse hacia los bordes de la banda o dañar los sellos de chute lateral.

Los revestimientos de desgaste del deflector dentro de la parte inferior del chute de carga aparte de la banda pueden reducir los problemas asociados con la carga desalineada. Uno o más deflectores o placas de impacto pueden ser necesarios para retrasar el impulso hacia adelante del material, redirigirlo hacia la dirección apropiada y centrar la carga en la banda receptora. Estos revestimientos tienen una curva o ángulo que gira el material hacia el centro de la banda y lejos de los bordes de esta. Los revestimientos de desgaste del deflector deben usarse con cuidado pues pueden contribuir a otros problemas como, por ejemplo, material atrapado y obstrucción en la canaleta de transferencia.

Figura 8.13

Los deflectores pueden usarse dentro de una canaleta para absorber el impacto y minimizar el desgaste.

Las maneras populares de manejar el flujo de materiales a granel a través de la canaleta de transferencia y minimizar el impacto son instalando cribadoras o usando carcasas de rocas.

Cribadora o parrilla, barras

Una cribadora, también llamada parrilla o barras, dentro de la canaleta de transferencia permite que pasen los finos primero para formar una cama protectora en la banda. Los terrones de material que no pueden pasar por las barras se deslizan por la inclinación y caen en la banda sobre un cojín formado por los finos depositados anteriormente. Las plantas usan parrillas como una rejilla en los depósitos de los camiones u otras instalaciones para mantener alejados los terrones de material demasiado grandes de los sistemas de transportadores **(Figura 8.14)**.

Carcasas de rocas

Las carcasas de rocas consisten de una repisa dentro de la canaleta de descarga donde se acumula una pila del material transportado **(Figura 8.15)**. El material subsecuente que se mueve a través de la canaleta fluye o se desvía sobre esta bolsa de material cautivo. La fuerza abrasiva se transfiere del conjunto de canaletas a la cama de material acumulado, y así la altura de descarga en general se reduce y la fuerza del impacto se atenúa a medida que el material rebota del material en la repisa **(Figura 8.16)**.

Las escaleras de rocas, compuestas de una serie de pantallas desviadoras o carcasas de rocas pequeñas, se usan para reducir el impacto y controlar la velocidad del material en las descargas de mayor distancia **(Figura 8.17)**. Los anaqueles de la escalera de rocas normalmente se acomodan en lados alternantes de la canaleta de manera que el material nunca tiene una caída libre de más de 1.5 ó 2 metros (5 a 6 pies).

Las carcasas de rocas y las escaleras de rocas son muy apropiadas para las canaletas que manejan materiales como arena, grava o rocas duras **(Figura 8.18)**. Las carcasas se usan con mucho éxito si las condiciones físicas y las tasas de flujo no cambian con el tiempo, puesto que es importante que el material en flujo se mueva consistentemente sobre la acumulación en la carcasa de rocas. Debe tenerse cuidado de juzgar acertadamente las características cohesivas del material (por ejemplo en condiciones húmedas) para evitar acumulaciones que puedan obstruir la canaleta.

Las carcasas de rocas no deben usarse en puntos de transferencia que manejan materiales a granel frágiles que puedan degradarse o materiales con terrones grandes que puedan bloquear u obstruir el flujo. Tampoco deben usarse si un transportador transportará más de un material.

Figura 8.14

Una cribadora, también llamada parrilla o barras, dentro de la canaleta permite que pasen los finos primero para formar una cama protectora sobre la banda. Las plantas usan parrillas para impedir que los terrones demasiado grandes se acerquen a los sistemas de transportadores.

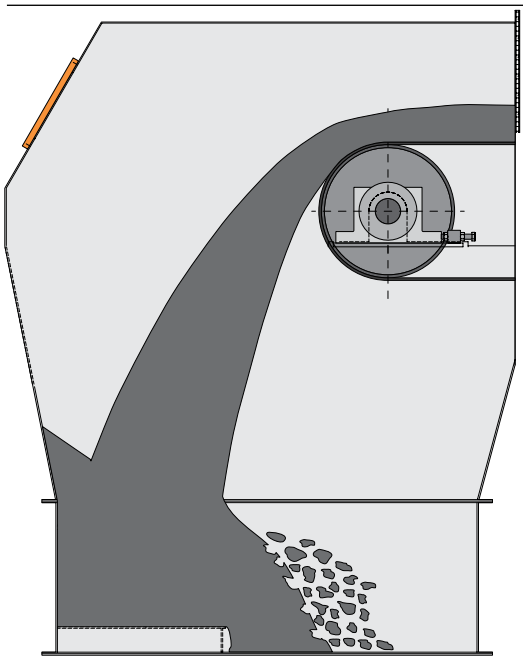


Figura 8.15

Una carcasa de rocas consiste de una repisa dentro de la canaleta donde se acumula una pila del material transportado.

Figura 8.16

Las carcasas de rocas transfieren la abrasión del material en movimiento del conjunto de canaletas a la cama de material, y la fuerza del impacto se atenúa a medida que el material rebota del material en la repisa.

Placas de impacto o rejillas

Otro método para desviar el flujo y absorber el impacto dentro de una canaleta de transferencia es el uso de placas de impacto o rejillas en la ruta del material **(Figura 8.19)**. Una placa de impacto se coloca dentro de la canaleta para absorber la fuerza del flujo de material en movimiento. Las placas de impacto a menudo se usan en transferencias angulares donde se presentan altas velocidades en la banda y las circunstancias (como espacio disponible o presupuestos) impiden el diseño de canaletas espaciosas.

Figura 8.17

Las escaleras de rocas son una serie de pantallas desviadoras o carcasas de rocas "pequeñas" que se usan para reducir el impacto y controlar la velocidad del material en las descargas de mayor distancia.

Figura 8.18

Las carcasas de rocas y las escaleras de rocas son muy apropiadas para las canaletas que manejan materiales como arena, grava o rocas duras. Nota: vista hacia abajo del chute desde la polea de cabeza.

Figura 8.19

Las placas de impacto se colocan en la ruta del material dentro de la canaleta de carga para desviar el flujo y absorber el impacto.

Algunas rejillas de impacto están diseñadas para atrapar el material y desarrollar un impacto de material sobre material que conserva las paredes de la canaleta. El material subsecuente rebota por el material capturado sin golpear realmente la rejilla ni el conjunto de canaletas. El espacio entre la polea de cabeza y la placa de impacto debe considerarse cuidadosamente para minimizar los problemas causados por las rocas demasiado grandes o material casual que se atascó entre la polea y la placa o por la acumulación de materiales cohesivos o de alto contenido de humedad que pueden obstruir la canaleta de transferencia.

La selección de los materiales apropiados y la atención cuidadosa al diseño y colocación de las placas de impacto y rejillas puede mejorar significativamente la vida de estos componentes de desgaste.

Revestimientos de desgaste

El impacto constante y el deslizamiento del material contra los lados de la canaleta de transferencia son la fuente principal del desgaste en una canaleta. Además de las rejillas, carcasas de rocas y placas de impacto mencionadas anteriormente, una manera de reducir el desgaste de la canaleta es el uso de revestimientos de sacrificio dentro de la canaleta. Los revestimientos también pueden instalarse para reducir la fricción de la pared y/o la adhesión del material. Al seleccionar un material para usarse como revestimiento, la meta es seleccionar un material que resista la abrasión y mejore el flujo. *(Vea el Capítulo 12: Revestimientos de desgaste, para más información).*

Carga de la banda receptora

Otro fenómeno que ocurre en los puntos de transferencia donde el material cae verticalmente sobre una banda de alta velocidad se llama apilamiento. El material que aún no se mueve a la velocidad de la banda se acumula en esta y crea una "pila" de material en la zona de carga **(Figura 8.20)**. Cuando un terrón de material se descarga sobre la banda, éste rebota y cae, disipando la energía suministrada por el transportador anterior y de su caída hasta que el terrón queda atrapado en el movimiento de la banda receptora. Mientras tanto, el material

puede rebotar sobre la pila hacia un lado o a la parte posterior del transportador resultando en un derrame. Entre mayor sea la diferencia entre la velocidad del flujo de material y la velocidad de la banda receptora, más grande y profunda será la pila de material. A medida que crece este cuerpo "apilado" de material, se vuelve cada vez más difícil mantener un punto de transferencia sin derrames y sellado, así como controlar el desgaste del recubrimiento de la banda.

Un transportador de alta velocidad puede usarse para remediar esta condición **(Figura 8.21)**. Otra solución es el uso de una compuerta curveada, rampa o cuchara para controlar la velocidad y dirección del flujo de material hasta que alcance la velocidad y dirección de la banda receptora **(Figura 8.22)**. Estas canaletas de carga curveadas dirigen el flujo de material, "vaciándolo" en el centro de la banda receptora. El posicionamiento más suave de la carga en el transportador receptor reduce el movimiento del material hacia los bordes de la banda y libera menos energía y movimiento de aire minimizando así el polvo. El ángulo al cual desciende la canaleta desde la estructura de descarga a la banda receptora debe ser suficientemente plano para evitar que los terrones de material reboten excesivamente después de que aterricen en la banda. Una canaleta con un ángulo de valle tan bajo como sea posible, combinado con una dirección de carga y velocidad apropiadas, permite que los terrones de material golpeen la banda a un ángulo rasante **(Figura 8.23)**. Esto permite que el material rebote suavemente a medida que es transportado en la dirección del movimiento de la banda en vez de rebotar hacia la cara del flujo de material entrante. Una canaleta curveada reduce el riesgo de daños a la banda y minimiza la degradación del material y la generación de polvo.

No obstante, debe observarse que si el ángulo de la canaleta es demasiado plano, el flujo de material puede disminuir su velocidad hasta el punto de poder acumularse al apagarse el transportador, pegarse y finalmente obstruir la canaleta. Los ángulos de valle típicos para canaletas diseñadas convencionalmente son entre 65 y 75 grados a partir de la línea de la banda receptora **(Figura 8.5)**.

Manejo del flujo de aire

Una canaleta de transferencia bien construida y diseñada puede reducir significativamente el polvo en el ambiente limitando la formación de movimiento de aire inducido. Las secciones del chute lateral deben ser suficientemente grandes para proporcionar un pleno que asiente las corrientes de aire y reduzca las presiones positivas que pueden transportar partículas en el ambiente hacia afuera del compartimiento. *(Vea el Capítulo 7: Control del aire y el Capítulo 11: Chutes laterales, para más información).*

El compartimiento debe ser suficientemente espacioso para permitir una reducción significativa en la velocidad de las corrientes de aire y, por lo tanto, permitir que las partículas en el ambiente se asienten de nuevo en la carga antes de que el transportador abandone el compartimiento.

Estructura de la canaleta

La canaleta de transferencia es típicamente fabricada con placas de acero dulce y acero inoxidable, la selección depende del material a transportar y las condiciones de la planta.

Figura 8.20

El apilamiento ocurre cuando la carga de una banda que aún no se mueve a la velocidad de la banda se acumula en la zona de carga.

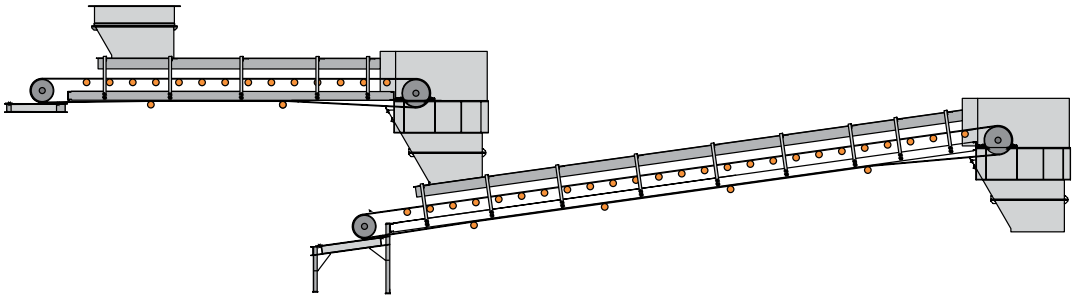


Figura 8.21

Un transportador de alta velocidad puede usarse para aumentar la velocidad del material hasta que alcance la velocidad y la dirección apropiadas.

La selección del grosor de la placa en la canaleta de transferencia depende de las características y el volumen del material que se mueve a través de la canaleta, los requerimientos de resistencia estructural y el margen de desgaste si la canaleta no incluye un sistema de revestimiento reemplazable.

Los códigos locales generalmente gobiernan el diseño estructural de las canaletas, pero depende del diseñador considerar todas las cargas que puedan presentarse. Algunas de las cargas más importantes son el peso de la canaleta, las acumulaciones de materiales fugitivos, la nieve y el hielo, el peso de una canaleta llena de materiales a granel y las cargas debido al viento. Las plataformas de trabajo alrededor de la canaleta deben ser suficientemente macizas para soportar actividades de mantenimiento.

Figura 8.22

Una compuerta curveada, rampa o cuchara puede colocar el flujo de material en la banda receptora con la velocidad y la dirección apropiadas.

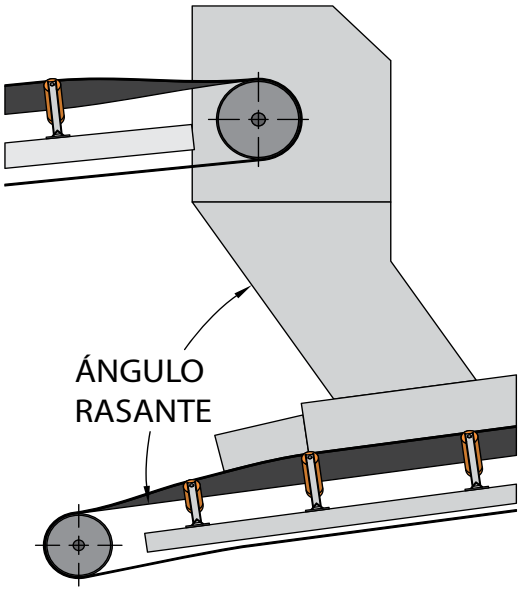


Figura 8.23

El ángulo al cual desciende la canaleta desde la estructura de descarga hasta la banda receptora debe ser suficientemente plano para que el material golpee la banda a un ángulo rasante y así evitar que los terrones de material reboten demasiado.

Figura 8.24

A pesar de las mejores intenciones y prácticas de los diseñadores de chutes, hay ocasiones en que el material se acumulará dentro de los chutes de transferencia.

Las canaletas de transferencia deben fabricarse en secciones que sean convenientes para la transportación y su construcción subsiguiente en la planta. Para sistemas de mejoramiento, las secciones de las canaletas también deben diseñarse para pasar a través de aperturas disponibles para alcanzar el lugar de la construcción.

Debe tenerse cuidado en la construcción de las canaletas de transferencia para evitar imperfecciones en la superficie que puedan interrumpir el flujo de material y anular la ingeniería cuidadosa que se invirtió en el diseño. Variaciones de ± 3 milímetros (1/8 de pulgada) pueden presentar problemas al emparejar las secciones del revestimiento de desgaste o acomodar el conjunto de canaletas a la banda. La inversión de tiempo en una instalación de canaleta exacta retornará muchas veces a través de la eficacia mejorada, mantenimiento simplificado y reducción de material fugitivo.

A pesar de las mejores intenciones y prácticas de los diseñadores de canaletas de transferencia, hay ocasiones en que el material se acumulará en las canaletas de transferencia. Los materiales con altos niveles de humedad pueden adherirse a las paredes o hasta congelarse durante las operaciones en invierno **(Figura 8.24)**. La operación continua puede comprimir la incrustación de material más firmemente a la pared de la canaleta, lo que permite la acumulación de material adicional que posiblemente lleve a una obstrucción completa de la canaleta. Durante el proceso del diseño de la canaleta, es prudente hacer provisiones para requerimientos futuros de promotores de flujo como vibradores y cañones de aire. *(Vea el Capítulo 9: Promotores de flujo y el Capítulo 22: Chutes de flujo diseñados).*

Acceso a la canaleta

Una canaleta de transferencia encerrada debe tener aperturas para permitir una inspección visual y puertas para la entrada de trabajadores

además de una ruta despejada para que los trabajadores alcancen estas aperturas. Las aperturas de inspección como, por ejemplo, puertas de acceso con bisagras, deben colocarse lejos del flujo de material pero en un lugar donde el personal pueda observar el movimiento del material e inspeccionar el desgaste **(Figura 8.25)**.

Las pantallas o guardas deben colocarse para proteger a los trabajadores que observan el flujo de material desde los puntos de atrapamiento y los componentes giratorios. Los recubrimientos o puertas deben ser resistentes a la corrosión y proporcionar un sello a prueba de polvo. Las barreras de seguridad deben colocarse para prevenir que el material se escape de la canaleta e impedir que el personal toque la trayectoria del material.

En el diseño de las canaletas de transferencia a menudo se olvida la provisión de algún método de acceso para reemplazar los revestimientos dentro de la canaleta o para dar mantenimiento a los limpiadores de la banda.

La consideración de los requerimientos de mantenimiento futuro es especialmente importante en las canaletas de transferencia demasiado pequeñas para que el personal trabaje dentro de ellas. Fabricar las canaletas en secciones para un desmontaje fácil es una estrategia de mantenimiento. *(Vea el Capítulo 26: Accesibilidad del transportador).*

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

A. Dirección

En general, la canaleta de transferencia debe diseñarse para dirigir el material en la dirección del transportador receptor y centrarlo en la banda.

B. Altura de descarga

La altura de descarga desde el sistema de descarga al transportador receptor

Figura 8.25

Las puertas de inspección y acceso deben colocarse lejos del flujo de material pero en un lugar donde el personal pueda observar el movimiento del material e inspeccionar el desgaste.

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Las consideraciones de seguridad requieren que el acceso sea limitado, de modo que el personal no pueda entrar a la canaleta hasta realizar los procedimientos de seguridad apropiados que incluyen los procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación de los transportadores de descarga y receptores. Nadie debe entrar a las canaletas sin una capacitación apropiada sobre los procedimientos de seguridad en espacios reducidos.

Los componentes estructurales y lineales de las canaletas de transferencia tienden a ser grandes y pesados, por lo que deben manejarse con el equipo apropiado y el debido cuidado.

Si se instalan dispositivos promotores de flujo (como cañones de aire) se instalan, deben seguirse los procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación apropiados para la desactivación de este equipo antes de dar mantenimiento.

El personal que trabaja en las canaletas o alrededor de ellas debe estar consciente del potencial de materiales en caída, ya sea de la carga en la banda superior o la acumulación en las paredes de la canaleta. Se recomienda que la canaleta sea inspeccionada y limpiada a profundidad antes de entrar por cualquier motivo.

Es importante poner atención a los procedimientos de seguridad cuando se trabaja alrededor de dispositivos nucleares instalados en las canaletas de transferencia para la detección de nivel o análisis de material a granel en línea.

Las canaletas y sus estructuras deben ser conectadas a tierra para prevenir la acumulación de electricidad estática.

debe ser tan corta como sea posible y al mismo tiempo proporcionar el espacio adecuado para la instalación de equipo y mantenimiento.

C. Velocidad

El material de la descarga debe cargarse de manera que se mueva a la misma velocidad que viaja el transportador receptor.

D. Inclinación

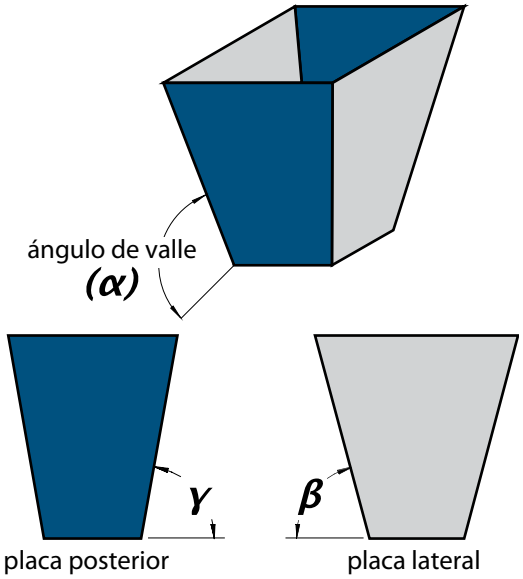
La canaleta de transferencia debe inclinarse adecuadamente para prevenir que el material rebote excesivamente después de aterrizar en el transportador receptor, lo cual puede aumentar la generación de polvo y el daño por el impacto.

E. Volumen

El volumen de la canaleta de descarga debe ser al menos cuatro veces el del flujo de carga del transportador alimentador. Las secciones de transferencia deben ser suficientemente grandes para proporcionar un pleno que minimice las corrientes de aire.

Figura 8.26

El ángulo de valle es el ángulo creado por la pared lateral unida a la pared posterior.



TEMAS AVANZADOS

Ancho de la canaleta

La banda mide 1200 milímetros (48 pulgadas) de ancho con rodillos de canalización de 30 grados. ¿Cuál es el ancho de canaleta recomendado donde las canaletas se emparejan con los chutes laterales?

La regla de 2/3 de la CEMA resulta en una canaleta de 800 milímetros (32 pulgadas) de ancho.

Otro método para determinar la distancia recomendada entre los chutes laterales se basa en la cantidad de borde de la banda necesaria para un sello eficaz y el acomodo del desalineamiento de la banda. El ancho de las paredes del chute lateral recomendado para una banda de 1200 milímetros (48 pulgadas) de ancho con un ángulo de canalización de 30 grados es de 894 milímetros (35.2 pulgadas). *(Vea el Capítulo 11: Chutes laterales).* La diferencia entre el método de la CEMA y el método de borde de banda es más pronunciado para bandas muy angostas y muy amplias.

Cálculo de los ángulos de valle

Se requirió una canaleta nueva con un ángulo de valle mínimo de 60 grados. Un ángulo de pared lateral de 75 grados y un ángulo de pared posterior de 60 grados se seleccionaron puesto que estos ángulos estaban dentro del rango recomendado **(Figura 8.26)**. La ecuación puede usarse para revisar el diseño **(Ecuación 8.1)**.

En este ejemplo, el ángulo de valle es de aproximadamente 57 grados, de modo que el diseñador debe reconsiderar el diseño del chute para mantener un mínimo de 60 grados como se requiere. Si los ángulos se cambian a 65 grados y 75 grados, el ángulo de valle sería de 61 grados, lo cual puede ser suficientemente inclinado para mantener el flujo.

Ecuación 8.1

Cálculo de los ángulos de valle

$$\alpha = \text{arc cot}\left(\sqrt{\cot^2(\beta) + \cot^2(\gamma)}\right)$$

Dado: *Un diseñador seleccionó un ángulo de pared lateral de 75° y un ángulo de pared posterior de 60°.*
Calcular: *El ángulo de valle de la canaleta.*

α	Ángulo de valle	grados
β	Ángulo de la pared posterior hasta horizontal	60°
γ	Ángulo de la pared lateral hasta horizontal	75°

$$\alpha = \text{arc cot}\left(\sqrt{\cot^2(60) + \cot^2(75)}\right) = 57.5$$

α	Ángulo de valle	57.5°

Debe observarse que el ángulo de valle jamás será mayor que el menor de los otros dos ángulos (pared posterior y pared lateral).

El diseño sería un proceso iterativo de seleccionar ángulos de paredes en base a geometría y cálculos del ángulo de valle. Si el ángulo de valle no es apropiado, deben seleccionarse diferentes ángulos de pared y el ángulo de valle debe calcularse según los ángulos seleccionados. Este proceso se repite hasta que los ángulos de las paredes se ajusten dentro de la geometría disponible y el ángulo de valle esté en el rango correcto en base al material.

EL TRABAJO DE UN CONJUNTO DE CHUTES

En resumen...

Diseñados correctamente, los chutes de transferencia convencionales ofrecen un método eficaz de transferir material de manera segura desde una elevación a otra con un mínimo de material fugitivo y pocos requerimientos de mantenimiento. Incorporar los elementos mencionados en este capítulo a los planos proporcionará al diseñador y al usuario final las herramientas idóneas para comprender cómo operar las canaletas desde un nivel práctico y cómo diseñarlas o modificarlas para mejorar su desempeño.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Chutes de transferencia convencionales, el tercer capítulo en la sección Cargar la banda, se enfocó en la canaleta de transferencia y los métodos para manejar el flujo de material y así reducir el derrame y el polvo. El siguiente capítulo continúa esta sección con una discusión sobre los Promotores de flujo.

REFERENCIAS

8.1 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*. Naples, Florida.

8.2 Martin Marietta Corporation. *Dust Control Handbook for Minerals Processing*, Contrato No. J0235005.

8.3 Morrison, J.N., Jr. (1971). “Environmental Control Applied to Belt Conveyor Transfer Points.” En *Bulk Materials Handling: Volume 1*. University of Pittsburgh.

8.4 Taylor, H.J. (1989). *Guide to the Design of Transfer Chutes and Chute Linings for Bulk Materials*. The Mechanical Handling Engineers’ Association.

9

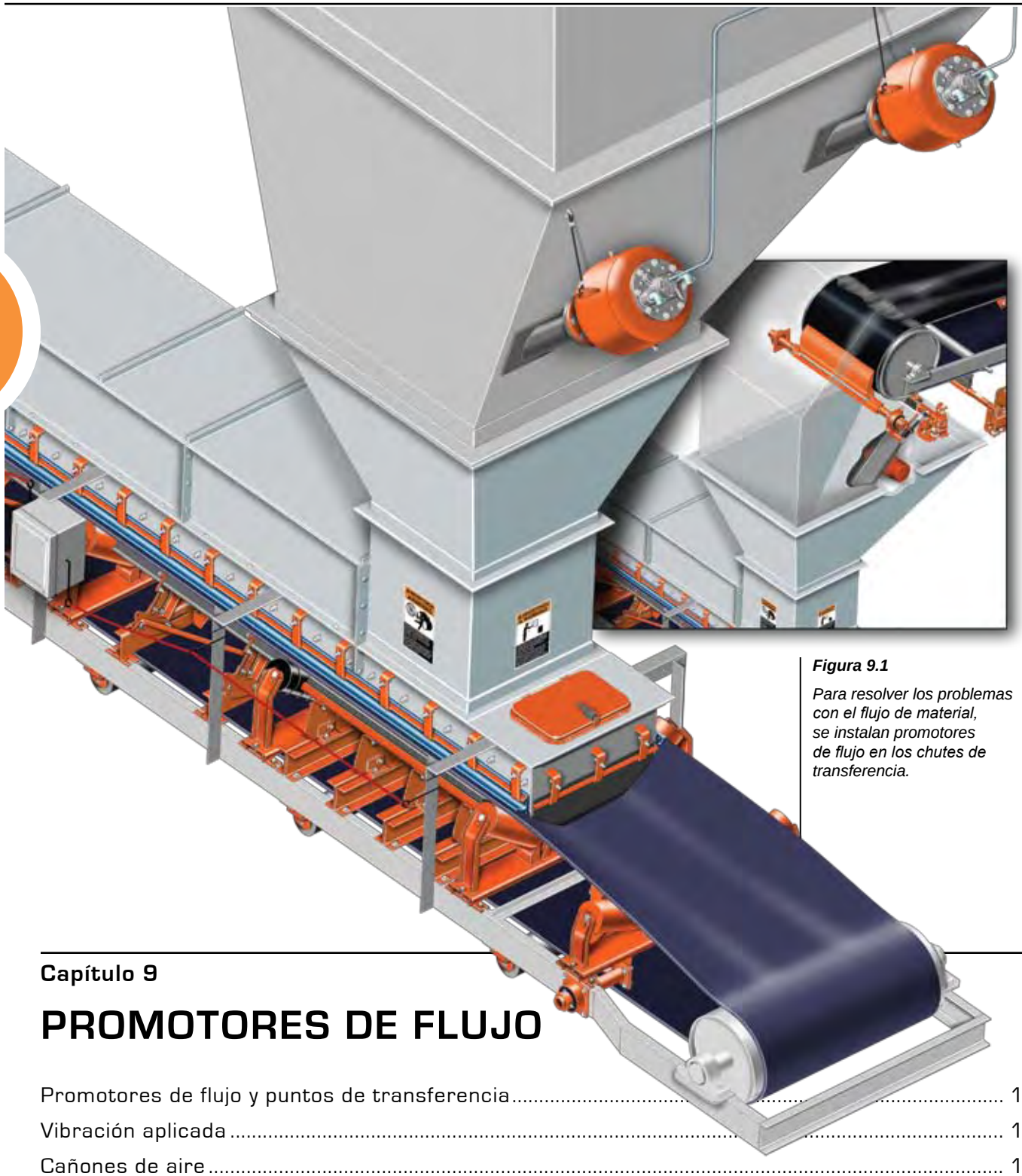


Figura 9.1

Para resolver los problemas con el flujo de material, se instalan promotores de flujo en los chutes de transferencia.

Capítulo 9

PROMOTORES DE FLUJO

Promotores de flujo y puntos de transferencia 117
Vibración aplicada 118
Cañones de aire 122
Otros métodos para mejorar el flujo 123
Mantenimiento del sistema 124
Cuestiones de seguridad 125
Aplicación de los promotores de flujo 127
Temas avanzados 127
Los promotores de flujo de material promueven el flujo de este 128

En este capítulo...

En este capítulo discutiremos diferentes métodos para promover el flujo de materiales a través de las canaletas. Estos promotores de flujo incluyen vibradores lineales y giratorios, cañones de aire, sistemas de ventilación, revestimientos de canaletas y diseños de canaletas ligeras. Se ofrecen consideraciones para la selección del tipo de promotor de flujo para aplicaciones especiales, el dimensionamiento, la instalación y el mantenimiento de los promotores de flujo, además de los procedimientos de seguridad.

Las canaletas de transferencia deben diseñarse para adecuar y facilitar el flujo de materiales que manejarán. No obstante, aun si la aplicación es ideal y el ingeniero es experimentado, los cambios en las características del material o la demanda del sistema pueden crear problemas con el flujo de material. Para resolver estos problemas se utiliza una variedad de dispositivos llamados promotores de flujo **(Figura 9.1)**.

Existe una amplia variedad de características del material y condiciones de operación que hacen del uso de los promotores de flujo en el diseño original una opción práctica. Es casi imposible diseñar una canaleta capaz de manejar cada situación con el material. Muchas veces, la solución más económica para sostener el flujo con material cambiante y las condiciones de operación es incluir dispositivos promotores de flujo en el diseño original. Los materiales con alto contenido de humedad pueden adherirse a las paredes o hasta congelarse durante las operaciones en invierno. La operación continua puede contribuir a comprimir la incrustación del material aún más firmemente en la pared. Los materiales a granel pueden cambiar de características a medida que avanza la operación a través de una unión o pila de almacenamiento. En algunos casos, la canaleta puede bloquearse por completo con solo un pequeño cambio en cualquiera de estos parámetros.

Los promotores de flujo se instalan para promover el flujo de materiales a través de una canaleta. Puesto que afectarán la carga del transportador, los dispositivos promotores de flujo pueden también tener un impacto en el derrame y el polvo. La eliminación accidental o intencional de la acumulación puede producir sobrecargas que a su vez producen derrames y desalineamiento. Cuando se diseñan promotores de flujo dentro de una canaleta, la operación adquiere cierto control sobre el flujo de material que es imposible de obtener con estrategias puramente estáticas, como los revestimientos de baja fricción.

PROMOTORES DE FLUJO Y PUNTOS DE TRANSFERENCIA

¿Qué es un promotor de flujo?

Los dispositivos promotores de flujo son sistemas que se usan para estimular o mejorar el movimiento de los materiales a granel. Pueden ser tan simples como un vibrador de pistón de impacto en una pared de la canaleta para desprender la acumulación de material o tan sofisticados como un sistema de cañones de aire múltiples que se descargan automáticamente en un ciclo sincronizado para prevenir la acumulación de material. Los dispositivos promotores de flujo incluyen vibradores lineales o giratorios, cañones de aire de baja presión y dispositivos de ventilación, así como revestimientos de baja fricción y diseños de canaletas ligeras. Estos sistemas pueden combinarse de muchas maneras.

La solución antigua para deshacer los bloqueos sueltos y para eliminar las acumulaciones en las canaletas y los contenedores de almacenamiento era golpear la parte exterior de las paredes con un martillo u otro objeto pesado **(Figura 9.2)**. Sin embargo, entre más se golpeaban las paredes, peor se volvía la situación, pues las abolladuras y rebordes en la pared debido a los golpes del martillo forman salientes que comienzan a generar acumulaciones de material adicionales **(Figura 9.3)**.

Una mejor solución es la aplicación de un dispositivo promotor de flujo en la canaleta. Estos dispositivos aplican energía exactamente donde es necesario para reducir la fricción en las paredes y deshacen el material para mantener el material en movimiento hacia la apertura de descarga.

Figura 9.2

La solución tradicional para mejorar el flujo en las canaletas y contenedores de almacenamiento era golpear la parte externa de las paredes con un mazo, martillo u otro objeto pesado.

Este capítulo explora los diferentes métodos para promover el flujo de material en una canaleta. Esta discusión se centra en los promotores de flujo aplicados a las canaletas de carga y descarga de un transportador; esta información y estas tecnologías también pueden aplicarse a aplicaciones en otros procesos del material y contenedores de almacenamiento, incluyendo silos, compartimientos, tolvas, depósitos, pantallas, alimentadores, centrífugas y cambiadores de calor.

Promotores de flujo en puntos de transferencia

Usar las características del material y los requerimientos del proceso para diseñar una canaleta que fluya eficazmente ciertamente es la mejor práctica. No obstante, los materiales son impredecibles. La fuente del material puede cambiar debido a motivos económicos o las condiciones climáticas pueden alterar dramáticamente las características del flujo. En estas situaciones, un enfoque simple y rentable es aplicar promotores de flujo para mantener el flujo de material.

En algunos casos, los promotores de flujo son equipos originales incorporados al diseño de un sistema para estabilizar las tasas de flujo o eliminar los problemas anticipados. Como ejemplo, un promotor de flujo puede diseñarse en un sistema para mover el material a través de una canaleta que, debido a restricciones de altura, no tiene un ángulo suficientemente inclinado para mantener un movimiento constante de material. En otros casos, los promotores de flujo son componentes de mejoramiento agregados al sistema de manejo de materiales para resolver problemas que no se anticiparon en el diseño original o que han aparecido recientemente, quizá debido a los cambios en la condición del material, el proceso o el equipo.

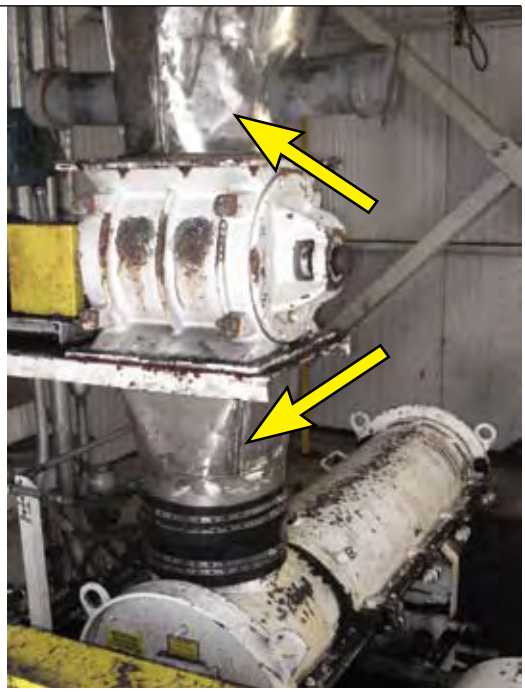


Figura 9.3

Entre más se golpean las paredes, peor se vuelve la situación, pues las abolladuras y rebordes en la pared debido a los golpes del martillo forman salientes que comienzan a generar acumulaciones de material adicionales.

Es prudente incorporar los montajes de canales para los vibradores o montajes de boquillas para cañones de aire cuando una canaleta está en la etapa de fabricación. Cuando se presente un problema más adelante, debido a que las características del material han cambiado u otros problemas imprevistos se han presentado, será simplemente cuestión de instalar un dispositivo promotor de flujo para remediar el problema.

Es crítico que la canaleta de acero y la estructura de soporte sean sólidos, puesto que la operación de estos dispositivos promotores de flujo puede crear un estrés potencialmente dañino a la estructura. Una canaleta diseñada y mantenida apropiadamente no se dañará con la adición de promotores de flujo.

Es importante que cualquier dispositivo promotor de flujo se use sólo cuando la descarga esté abierta y el material pueda fluir de la canaleta. Si se usa cuando la descarga está cerrada, la energía del promotor de flujo puede compactar el material más apretadamente, haciendo que el flujo sea más problemático cuando se abra la descarga, además de provocar daños al contenedor. La mejor práctica es que el promotor de flujo sea controlado con temporizadores o sensores para prevenir cualquier acumulación de material debido a retrasos en el flujo. Esto ahorra energía, reduce ruido y mejora la seguridad, pues el promotor de flujo se usa sólo cuando es necesario.

VIBRACIÓN APLICADA

Los vibradores desempeñan la misma función que golpear la parte exterior de una botella de salsa catsup: reducen la cohesión entre las partículas de material y la adhesión entre las partículas y la pared para aumentar el flujo de material hacia fuera desde la parte inferior.

La relación entre el material a granel y la frecuencia de la vibración idónea para estimular el material es proporcional al tamaño de la

partícula. Como regla general, entre más pequeña sea la partícula, mejor será su respuesta a frecuencias de vibración mayores. La relación entre la amplitud de vibración y el material a granel se basa en las fuerzas cohesivas y adhesivas. A medida que aumenta el tamaño de la partícula también aumenta la amplitud requerida para provocar el movimiento del material a granel. Las partículas que son finas y fluyen libremente (menor cohesión) tienden a responder bien a amplitudes menores de vibración; las partículas de flujo libre que son más grandes responden mejor a amplitudes mayores. Las partículas que son pegajosas tienden a acumularse en masas sólidas que responden bien a una vibración de alta amplitud y baja frecuencia. Generalmente, la dirección de la rotación o el golpe de la masa del vibrador debe ser en la dirección del flujo deseado del material.

Vibradores lineales

Los vibradores lineales activan el material dentro de la canaleta o el contenedor usando golpes pesados en la parte exterior de las paredes de acero de la estructura. De hecho, la primera forma de vibración fue un martillo. La acción de golpear las paredes de la canaleta o el contenedor debilita la fuerza adhesiva entre el material y la superficie de la pared. No obstante, martillar las paredes de la canaleta o contenedor a menudo provoca daños a la superficie de la pared **(Figura 9.4)**. Las marcas que deja el martillo en la pared, a menudo llamadas "abolladuras por martillo", perpetuarán y aumentarán el problema que el golpe del martillo debería haber solucionado. Además, el uso de un martillo representa el riesgo de lesiones al personal de la planta. El vibrador de pistón se desarrolló para producir este efecto sin usar un martillo **(Figura 9.5)**.

Un vibrador de pistón neumático (o lineal) usa el aire de la planta para mover un pistón de atrás hacia adelante dentro de un compartimiento **(Figura 9.6)**. En algunos vibradores, este pistón puede golpear la pared; en otros diseños, sólo se balancea con suficiente masa para flexionar la pared. En ambos casos, el vibrador proporciona energía a través de la pared hacia el material dentro de la estructura. Esta fuerza, más controlada que el golpe de un martillo, desprende la adhesión entre el material y la pared para que el material fluya hacia fuera de la estructura.

La vibración lineal es la mejor solución para materiales pegajosos, ásperos y de alto contenido de humedad. Una prueba conveniente es tomar un puñado de material y apretarlo hasta formar una bola. Si el material conserva fácilmente la forma de bola después de abrir el puño, la vibración lineal probablemente es la mejor opción.

Un vibrador de pistón se montaría en la parte exterior del contenedor o canaleta en el punto de la acumulación o bloqueo en la parte interna. A menudo estos vibradores se fijan a un canal de acero que se monta en la pared de la canaleta **(Figura 9.7)**. Este montaje reparte la fuerza a un área mayor de la estructura para maximizar

Figura 9.4

Golpear con un martillo el contenedor o las paredes de la canaleta ocasiona daño a la superficie de la pared, a menudo llamado "abolladuras por martillo".

Figura 9.5

El vibrador de pistón se desarrolló para producir este golpeteo sin usar un martillo.

Figura 9.6

Un vibrador de pistón neumático (o lineal) usa el aire de la planta para mover un pistón de atrás hacia adelante dentro de un compartimiento para producir una fuerza vibratoria.

9

la eficacia y al mismo tiempo evitar fatigar la estructura. La mayoría de los vibradores lineales son impulsados por el aire de la planta y pueden controlarse de manera remota con un solenoide, o localmente con una válvula manual de apertura/cierre.

El vibrador para una aplicación en particular se selecciona según el peso y las características del material en la canaleta o porción inclinada de un contenedor o tolva (**Tabla 9.1**). La "norma general" para las aplicaciones típicas de

Tabla 9.1

Tamaños de vibradores típicos por el peso del material dentro de la canaleta

Peso máximo de material a granel en la canaleta kg (lbs_m)	Fuerza vibradora requerida N (lbs_f)	Diámetro del pistón en un vibrador lineal mm (pulgadas)	Rango de grosor de la pared del contenedor mm (pulgadas)	Longitud sugerida del canal de montaje mm (pulgadas)
1315 (2900)	~1300 (~300)	32 (1.25)	1.6 a 3.2 (1/16 a 1/8)	900 (36)
2223 (4900)	~2250 (~500)	50 (2)	4.8 a 6.4 (3/16 a 1/4)	900 (36)
4445 (9800)	~4450 (~1000)	75 (3)	6.4 a 9.5 (1/4 a 3/8)	900 (36)
9979 (22000)	~10000 (~2200)	100 (4)	9.5 a 12.7 (3/8 a 1/2)	1800 (72)

Tabla 9.2

Salidas de fuerza del vibrador en base a la densidad aparente

Densidad aparente	Razones de fuerza
Mayor de 1440 kg/m³ (90 lbs_m/pies³)	1 newton por 0.7 kg (1 lb_f/7 lbs_m)
Entre 640-1440 kg/m³ (40-90 lbs_m/pies³)	1 newton por 1.0 kg (1 lb_f/10 lbs_m)
Menor de 640 kg/m³ (40 lbs_m/pies³)	1 newton por 0.3 kg (1 lb_f/3 lbs_m)

Nota: como se mencionó anteriormente, los materiales finos y secos responden bien a una vibración de alta frecuencia/baja amplitud, mientras que las partículas más grandes y los materiales húmedos responden mejor a una vibración de baja frecuencia/alta amplitud.

Ecuación 9.1

Requerimiento de fuerza de salida del vibrador lineal

$$LF = \frac{Wt_t}{k_a}$$

Dado: *4100 kilogramos (9000 lbs_m) de material seco están obstruyendo la canaleta de carga de un transportador.* ***Calcular:*** *La fuerza lineal requerida de un vibrador para promover el flujo en la canaleta.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
LF	Fuerza lineal requerida	newtons	libras-fuerza
k_a	Factor de aplicación *El factor de aplicación viene de la norma general para la aplicación de un vibrador.*	1.025 (material seco) 0.82 (material húmedo)	10 (material seco) 8 (material húmedo)
Wt_t	Peso del material en el área afectada	4100 kg	9000 lbs_m

Métrica: $LF = \frac{4100}{1.025} = 4000$

Imperial: $LF = \frac{9000}{10} = 900$

LF	Fuerza lineal requerida	4000 N	900 lbs_f

vibrador es aplicar 1 newton por 1 kilogramo (1 lb_f/10 lb_m) de peso de material dentro de la canaleta. Esta regla general supone que el material puede fluir y tiene una densidad menor de 1440 kilogramos por metro cúbico (90 $lbs._m$/ $pies^3$).

Se necesitará más fuerza para materiales con mayor densidad o humedad o de densidad menor. Aunque la proporción anterior es aceptable en materiales entre 640 a 1440 kilogramos por metro cúbico (40-90 lb_m/ $pies^3$), los materiales con densidades aparentes mayores o menores requieren de diferentes proporciones (**Tabla 9.2**).

La longitud del canal de montaje y el grosor de las paredes de la canaleta idóneas para estas aplicaciones también dependen del peso y las características del material; las aplicaciones fuera de los parámetros presentados en la tabla pueden requerir una ingeniería especializada.

Se requiere del cálculo de la fuerza lineal para la aplicación de un vibrador en una canaleta **(Ecuación 9.1)**.

Después de su instalación, los vibradores de aire comprimido deben concentrarse en las necesidades de la aplicación ajustando la presión de aire y/o la tasa de flujo para maximizar el efecto en el material a granel.

Vibradores giratorios

A diferencia de los vibradores lineales, otros vibradores crean una fuerza vibratoria a través de la rotación de un peso excéntrico. Estos vibradores giratorios crean una vibración poderosa muy parecida a la de una lavadora en casa cuando su carga está descentrada. Suministran una energía que es la más adecuada para mover materiales secos y finos **(Figura 9.8)**.

Los vibradores giratorios pueden ser alimentados neumática, hidráulica o eléctricamente: la elección para una aplicación específica a menudo es determinada por el suministro de energía disponible con mayor facilidad en el punto de instalación.

En los vibradores neumáticos giratorios, un flujo de aire impulsa una masa en una órbita circular para crear la vibración; en los vibradores hidráulicos giratorios, es un flujo de líquido hidráulico el que mueve la masa. En los vibradores eléctricos giratorios, los pesos excéntricos se montan normalmente en los extremos del rotor o eje de un motor eléctrico **(Figura 9.9)**.

Los vibradores giratorios están disponibles en una amplia variedad de tamaños y salidas para corresponder con las especificaciones de cada aplicación. Además, muchos vibradores eléctricos giratorios pueden ajustarse alterando la superposición de los pesos excéntricos, aumentando o disminuyendo la cantidad del desequilibrio, para proporcionar la cantidad deseada de fuerza vibratoria.

La vibración puede inducir estrés a las estructuras de metal y puede ser necesario

Figura 9.7

Un vibrador de pistón debe instalarse en un canal de acero que se monta en la parte externa de la canaleta en el punto de la acumulación.

Figura 9.8

Los vibradores giratorios crean una vibración poderosa a través de la rotación de un peso excéntrico o masa alrededor del eje central.

Figura 9.9

En vibradores eléctricos giratorios, los pesos normalmente se montan en los extremos de un rotor o eje del motor eléctrico.

reforzar las paredes en los puntos de aplicación. Al igual que los vibradores lineales, los vibradores giratorios normalmente se instalan en una placa de montaje que dispersa la energía vibratoria (y el peso del dispositivo) en una superficie grande **(Figura 9.10)**.

Figura 9.10

Los vibradores giratorios normalmente se instalan en una placa de montaje que dispersa la energía vibratoria y el peso del dispositivo por un área de superficie más grande.

Los vibradores giratorios diseñados para canaletas o tolvas generalmente se dimensionan en base a una razón de 1:10 de fuerza de salida a la masa de material dentro de la canaleta o sección inclinada del contenedor. Normalmente, entre más fino sea el material, mayor será la frecuencia necesaria para excitar el material y hacerlo fluir.

En una canaleta, un vibrador giratorio normalmente se instala de un cuarto a un tercio de la parte inferior de la estructura. Si se requiere de un segundo vibrador, este debe montarse a 180 grados del primer vibrador y a la mitad de la estructura.

Los vibradores giratorios pueden controlarse automática o manualmente para usarse sólo cuando sean necesarios. Una vez instalado, un vibrador debe "afinarse" ajustando su fuerza o velocidad para dar el efecto óptimo a cada aplicación.

Figura 9.11

Un sistema de cañones de aire es otra solución a la acumulación de material en las canaletas de transferencia.

CAÑONES DE AIRE

Además de los vibradores, otra solución para la acumulación de material en las canaletas de transferencia es la instalación de un sistema de cañón de aire **(Figura 9.11)**.

Los cañones de aire, también llamados pegadores, usan aire comprimido de la planta para crear una erupción de aire que deshará la acumulación de material en las canaletas. Los cañones de aire son reservas de aire comprimido con válvulas de descarga rápida. Cuando se activan las válvulas, el aire escapa rápidamente, creando una amplia área de influencia **(Figura 9.12)**. Al colocar estratégicamente y controlar correctamente este chorro de aire, deshará o impedirá la acumulación de material.

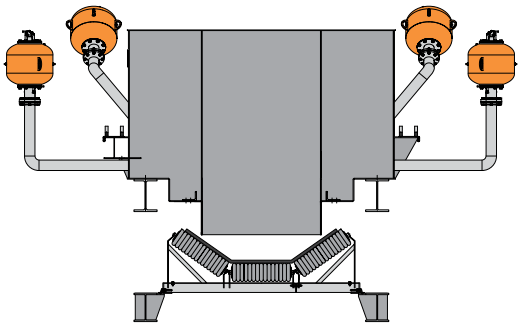


Figura 9.12

Los cañones de aire usan aire comprimido de la planta para crear una erupción de aire que desbaratará la acumulación de material en las canaletas.

Boquillas y tubería de diferentes formas se fijan a la pared de la canaleta o tolva y los cañones de aire se conectan a cada boquilla. Las boquillas deben colocarse para dirigir el chorro hacia la salida o dirección del flujo. Algunos sistemas usan reservas de aire independiente para cada boquilla, y otros usan una reserva para varias boquillas **(Figura 9.13)**. Las boquillas están incrustadas en la pared para descargarse bajo la capa de material acumulado **(Figura 9.14)**. Debe tenerse cuidado al instalar las boquillas para no crear más bordes y esquinas

Figura 9.13

Algunos sistemas de cañones de aire suministran aire desde una reserva a varias boquillas de descarga.

que creen acumulaciones. El movimiento del material a granel puede desgastar las boquillas y los terrones más grandes pueden deformar o destruir las boquillas.

El número de cañones de aire instalados depende del tamaño y la forma de la canaleta o tolva, y de la naturaleza de la acumulación. Normalmente, un cañón de aire puede mantener 1.5 a 2 metros cuadrados (15 a 20 pies^2) de la pared de la canaleta o tolva libre de material. Los cañones de aire con volumen de aire de 50 litros (1.75 pies^3) dan buenos resultados en las aplicaciones en canaletas o tolva. Los cañones de aire pueden instalarse a varias alturas alrededor del contenedor de la instalación.

Los cañones de aire están disponibles en una variedad de tamaños de reservas de aire y diámetros de descarga para suministrar la cantidad de fuerza apropiada. La secuencia de disparo de una instalación de cañón de aire debe ajustarse para las circunstancias específicas de la instalación, incluyendo las condiciones de la canaleta, el material y el clima. Después de obtener resultados satisfactorios, los cañones pueden ajustarse a un temporizador u otro control automático de modo que el ciclo de disparos mantenga el flujo de material sin la atención del personal de la planta.

La descarga de un cañón de aire a la canaleta o tolva puede causar un aumento de presión positiva dentro de ésta, por lo que puede aumentar el escape de polvo expulsado de la canaleta o la zona de carga. En muchos casos, los cañones de aire se usan en materiales pegajosos que requieren mayor fuerza de la suministrada por la vibración pero sin crear altos niveles de polvo. El aire generado por los cañones de aire debe incluirse en el cálculo de aire generado. *(Vea el Capítulo 7: Control del aire, Ecuación 7.1, Cálculo del flujo total de aire)*

OTROS MÉTODOS PARA MEJORAR EL FLUJO

Sistemas de ventilación

Algunos materiales de partículas finas, como harina o maicena, se desairean cuando se almacenan, volviéndose más compactos y duros. Si se han almacenado por un período demasiado largo, no fluirán eficazmente. Agregar aire de baja presión/alto volumen a los productos permitirá a los materiales fluir de manera eficaz de nuevo. Esto se logra usando un soplador de desplazamiento positivo que suministra aire a los difusores de ventilación, almohadillas o boquillas montadas dentro del contenedor **(Figura 9.15)**. Algunos dispositivos de ventilación dependen únicamente de la corriente de aire y algunos vibran con el flujo de aire. El aire de las almohadillas romperá la adhesión entre el material y la pared de la canaleta en el caso de material seco. Los materiales húmedos y pegajosos o materiales grumosos no responden bien a este sistema.

Revestimientos del chute

Los materiales de revestimiento como cerámica o plásticos diseñados, pueden proporcionar una solución económica a los problemas de flujo en una canaleta. El polietileno de alta densidad (HDPE), el polietileno de peso molecular ultra alto (UHMW) y la cerámica han demostrado ser capaces de promover el flujo de material. El material seleccionado para el revestimiento debe ser capaz de manejar los niveles de impacto y/o la abrasión de deslizamiento de la aplicación.

Figura 9.14

Las boquillas de descarga de un sistema de cañones de aire están incrustadas en la pared del chute, de modo que se descargan bajo la capa de material acumulado.

Figura 9.15

Las boquillas de ventilación pueden montarse dentro de la canaleta para mejorar el flujo.

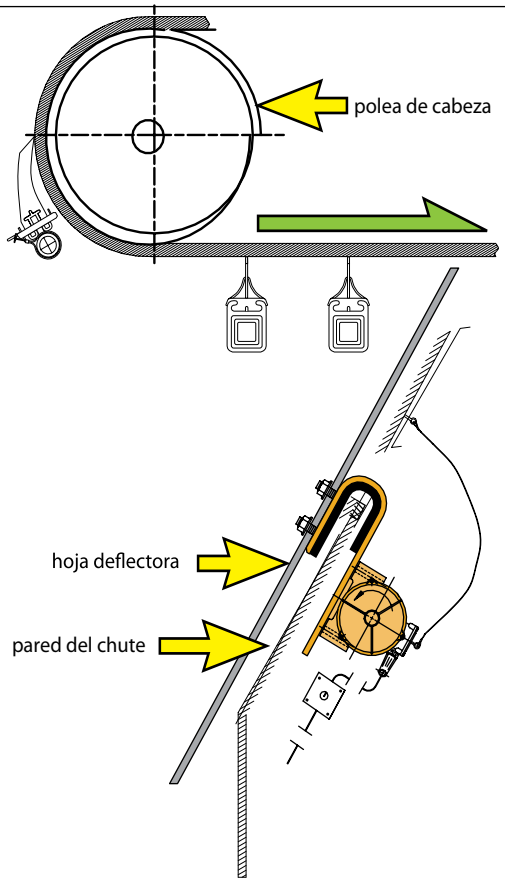
Los plásticos diseñados generalmente se fijan con pernos a las paredes de la canaleta con alineadores cubiertos o avellanados. Un problema que debe abordarse con los revestimientos de plástico es la diferencia entre sus tasas de expansión y contracción, y las tasas de la pared de metal. El sistema de montaje debe adecuarse a esta diferencia, permitiendo que los revestimientos de plástico se muevan. Si no se hace esto, el revestimiento se doblará impidiendo el flujo de material y desgastándose rápidamente.

Los revestimientos de cerámica pueden instalarse en canaletas de metal con adhesivos, soldadura o una combinación de ambas técnicas.

La instalación apropiada de los revestimientos de la canaleta es crítica para lograr los beneficios de tener menores coeficientes de fricción. Si las hojas o losetas no se instalan apropiadamente, los bordes donde se unen pueden aumentar el coeficiente de fricción eficaz aún más que el acero, empeorando las propiedades de flujo de la canaleta. Se recomienda probar el revestimiento y el material a granel para determinar el coeficiente real de fricción y predecir las tasas de desgaste.

Figura 9.16

Una placa deflectora vibradora fija el vibrador a una hoja de plástico suspendida para mantener el material en movimiento.



Diseños de los chutes suaves

La mayoría de los chutes están hechos de metal rígido. No obstante, hay ocasiones en que la canaleta o su revestimiento pueden estar hechos de un material flexible. Los materiales extremadamente húmedos o pegajosos responden bien a los diseños de canaletas con paredes suaves.

Un diseño de canaleta suave usa un bastidor separador hecho de un canal en U o perfil angular. A este bastidor se fija un material flexible como, por ejemplo, caucho o la banda de un transportador. Muchas veces, la vibración natural del equipo (originada por el impulso del transportador u otro equipo conectado al sistema) impide que el material se pegue al revestimiento de caucho.

Los vibradores y cañones de aire pueden usarse para ayudar a una canaleta suave activando el revestimiento flexible. Un ejemplo de usar un vibrador para promover el flujo en una canaleta suave es una placa deflectora vibradora en donde una hoja de plástico suspendida se convierte en un piso o pared falsa en la canaleta **(Figura 9.16)**. Un vibrador se fija a esta hoja para mantener el material en movimiento. *(Vea el Capítulo 14: Limpieza de la banda, para información sobre las placas deflectoras vibradoras).*

Otra técnica usa la descarga de los cañones de aire en la parte posterior de una cortina de caucho flexible instalada como revestimiento en la pared de la canaleta **(Figura 9.17)**. Cuando los cañones se descargan, dan un "golpe" a la cortina para deshacer la acumulación de material, es como sacudir la arena de una toalla en la playa. La cortina está asegurada únicamente en la parte superior. Normalmente, la cortina está instalada sólo en el lado más plano o de menor "flujo libre" del chute. El tubo de descarga debe acomodarse de modo que se incline debajo del cañón hacia la salida del contenedor para impedir que el material entre a la apertura de descarga del cañón. Esta técnica funciona bien con materiales húmedos o pegajosos.

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Los dispositivos promotores de flujo son relativamente sensibles a la ubicación y operación apropiada. Una de las ventajas principales de usar promotores de flujo es que

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Al igual que con todos los equipos de la planta, los vibradores y cañones de aire presentan sus propias cuestiones de seguridad únicas. El ruido y el material en caída o volador son los riesgos principales derivados del uso de promotores de flujo. El ruido puede controlarse usando los promotores de flujo sólo cuando sean necesarios. La exposición al material en caída o volador puede controlarse con la ubicación del promotor de flujo y con procedimientos apropiados para controlar el acceso a las canaletas que tienen promotores de flujo. Las instrucciones del fabricante deben seguirse con cuidado durante la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas promotores de flujo.

Los vibradores deben montarse rígidamente a la pared de la estructura. Los montajes de canales deben sujetarse a la pared de la canaleta con soldadura por puntos, en donde los intervalos del cordón de soldadura están espaciados **(Figura 9.18)**. Esta técnica de soldadura por puntos está diseñada para impedir que la unión se rompa en toda la placa de montaje. Una inspección mensual del área soldada del montaje debe realizarse para buscar grietas en las soldaduras. Debe instalarse un cable de seguridad para impedir que el vibrador se caiga si falla el montaje.

Los procedimientos apropiados de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación deben seguirse cuando se trabaja en un vibrador o montaje.

Los montajes y las tuberías de descarga de los cañones de aire deben fijarse firmemente a la pared de la canaleta. El cañón de aire debe fijarse firmemente al montaje. No se recomienda que la conexión de hilos entre el tubo de montaje y la reserva de aire se suelden por completo pues esto crea un área de estrés que permite que los hilos se rompan.

Un cable de seguridad debe unir la reserva de aire a una parte de la estructura para impedir que el cañón de aire se caiga en caso de que falle el montaje **(Figura 9.19)**.

Antes de realizar cualquier trabajo en el cañón de aire, el tanque de aire debe descargarse por completo y la válvula de cierre de la línea de suministro de aire debe girarse a la posición de cerrado para evitar que se llene el tanque con aire. También es prudente jalar la válvula de alivio de presión para asegurar que no queda aire en el contenedor del cañón de aire. Hay cañones de aire que disparan sólo en respuesta a una señal de presión positiva (y por lo tanto no pueden descargarse accidentalmente cuando se desactivan).

Todas las puertas de inspección y entrada deben cerrarse para prevenir el ingreso indebido. Deben seguirse los procedimientos de entrada apropiados y los cañones de aire deben bloquearse adecuadamente y descargarse antes de que el personal pueda entrar a la canaleta. La tolva, o chute o contenedor debe tener los avisos correctos y las advertencias de peligro **(Figura 9.20)**.

Puesto que los dispositivos promotores de flujo a menudo usan aire comprimido u otra fuente de energía que puede representar un peligro de energía almacenada, es crucial seguir los procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación. Aunque la acumulación de material en un chute aun puede estar presente, su adhesión a la pared puede debilitarse hasta el punto en que un movimiento leve durante el mantenimiento puede provocar su caída. Existe el peligro de una descarga eléctrica cuando se trabaja en los sistemas de control. Debe considerase la posibilidad de una activación remota durante el mantenimiento y la comprobación, por lo que deben implementarse procedimientos para impedir la activación accidental.

En las áreas donde se colocan los vibradores o cañones de aire puede requerirse que los trabajadores en los alrededores usen protección auditiva. Los niveles de sonido variarán mucho dependiendo del tipo de contenedor y el tamaño del sistema promotor de flujo. Deben tomarse lecturas del ruido y publicar avisos de precaución según se requiera **(Figura 9.21)**.

Si los cañones de aire o dispositivos de ventilación se usan en contenedores o canaletas encerradas, debe determinarse el aumento de la presión de aire e integrar un alivio de presión en el sistema.

Figura 9.17

Otra técnica usa la descarga de un cañón de aire en la parte posterior de una cortina de caucho flexible para desprender las acumulaciones de material dentro del chute.

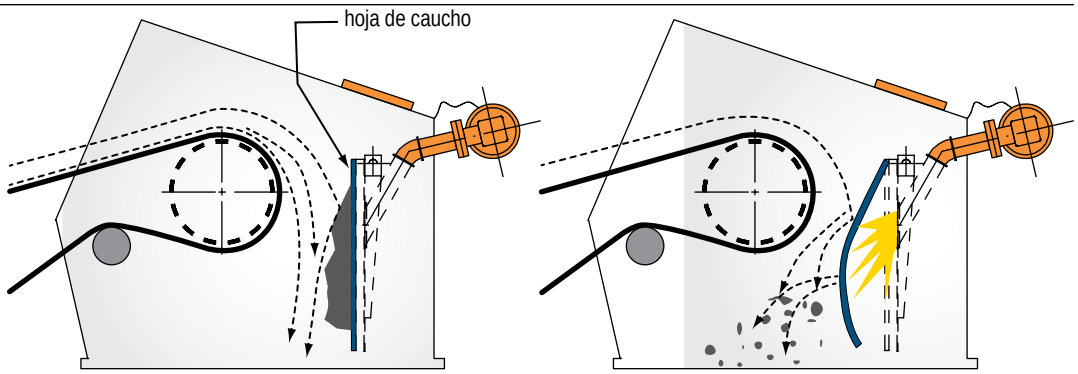
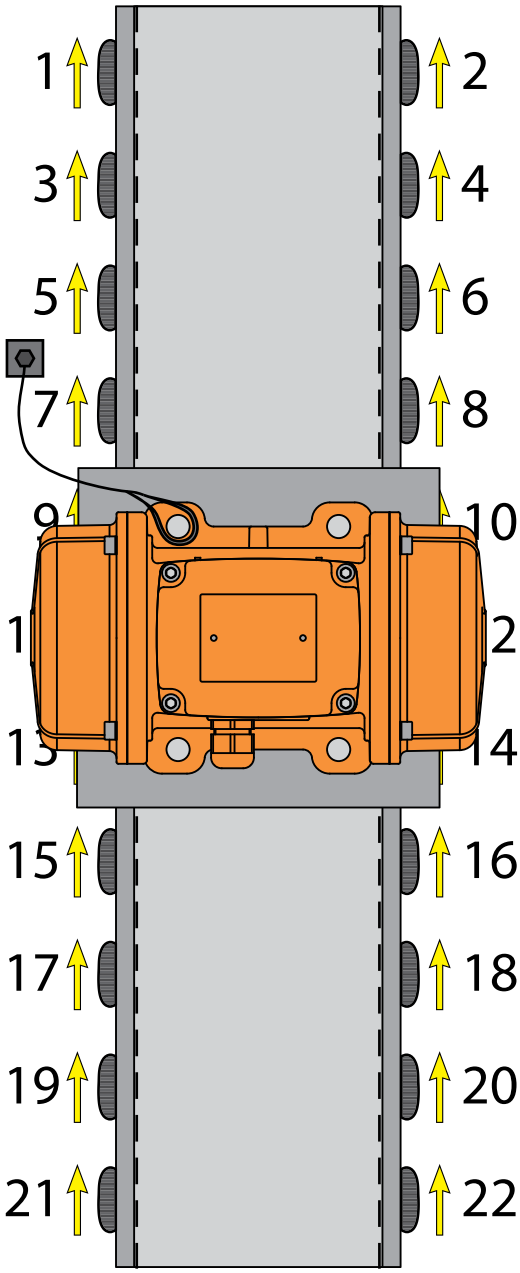


Figura 9.18

Los vibradores y montajes deben sujetarse a la pared de la canaleta con soldadura por puntos, en donde los intervalos del cordón de soldadura están espaciados.



una operación obtendrá un nivel de control sobre el flujo de material en una canaleta que no es posible lograr de otra manera. Esta ventaja también puede convertirse en un problema, pues es muy fácil desajustar un promotor de flujo de sus parámetros de operación óptimos. A menudo, los trabajadores olvidan registrar los parámetros al realizar el mantenimiento o intentan ajustar el promotor de flujo en respuesta a las solicitudes de los operadores. Esto puede derivar en un desempeño pobre del movimiento del material, una baja eficacia de energía y una vida útil corta del promotor de flujo. Si no se monta o ajusta apropiadamente, los promotores de flujo pueden no producir el efecto deseado e incluso pueden empeorar la situación. Un proveedor especializado con experiencia generalmente puede optimizar la instalación inicial y la configuración de control del sistema de promotores de flujo. Esta configuración debe registrarse para futuras referencias.

La falta de presión de aire o volumen requerido afectará el desempeño. Mantener la suciedad y la humedad fuera de las líneas de suministro de aire comprimido es crítico para los promotores de flujo potenciados con aire comprimido. Algunos promotores de flujo neumáticos requieren lubricación, mientras que en otros no es necesario. Es importante seguir los requerimientos de los fabricantes acerca de la calidad y el tratamiento del aire.

Los promotores de flujo a menudo se ubican en áreas donde están sujetos al material en caída, el impacto del equipo en movimiento, los elementos y la vibración. Con el tiempo, estas condiciones pueden deteriorar las líneas de suministro del promotor de flujo y los sistemas de control. Es importante seguir las recomendaciones de los fabricantes para la inspección y el mantenimiento de rutina de los controles y las líneas de suministro.

Los dispositivos promotores de flujo envían fuerza a la canaleta y al material a granel; con el tiempo, los componentes se desgastarán o se romperán bajo condiciones normales. La mayoría de los dispositivos promotores de flujo pueden reconstruirse para extender su vida útil. Puesto que los espacios libres y ajustes son críticos para la operación apropiada de los promotores de flujo, se recomienda que los dispositivos promotores de flujo sean adaptados por el fabricante o que el fabricante capacite al personal de mantenimiento de la planta sobre cómo adaptar correctamente el equipo.

Debido a que los promotores de flujo generalmente operan de manera intermitente, pueden parecer listos para trabajar cuando en realidad no están operando a niveles óptimos. El dispositivo promotor de flujo debe probarse periódicamente, según las sugerencias del fabricante para garantizar que esté operando de manera apropiada. Un proveedor especializado con experiencia a menudo puede detectar por el sonido o el efecto del dispositivo promotor de flujo si éste necesita una reparación o un ajuste.

APLICACIÓN DE LOS PROMOTORES DE FLUJO

Pueden compararse las características y aplicaciones típicas para diferentes sistemas de promotores de flujo **(Tablas 9.3** y **9.4)**.

En muchos casos, es ventajoso "aumentar" el tamaño del dispositivo promotor de flujo, especialmente los vibradores, por un modelo o tamaño de unidad de modo que el dispositivo pueda reducir su fuerza para sus deberes regulares. De esta manera, si los requerimientos aumentan, no es necesario comprar un nuevo vibrador.

Hay reglas generalizadas para dimensionar y colocar los promotores de flujo, pero la experiencia para diagnosticar el problema y ajustar el promotor de flujo a fin de obtener el máximo efecto es más un arte que una ciencia. El más indicado para la selección, instalación y control de los promotores de flujo es un proveedor especializado que cuente con conocimiento y experiencia de numerosas instalaciones.

Después de revisar las características específicas de cualquier posible aplicación, incluyendo la naturaleza del problema y las características del material, la elección del tipo de promotor de flujo a menudo se relaciona con la fuente de poder disponible en el punto de aplicación.

TEMAS AVANZADOS

Dimensionar un vibrador como un promotor de flujo

La mayoría de los fabricantes de vibradores proporcionarán la salida de fuerza que ofrecen sus diversas unidades. El usuario es el encargado de determinar la fuerza requerida para una aplicación específica **(Ecuación 9.1)**. Con ese requerimiento de fuerza puede seleccionarse el vibrador apropiado usando los datos técnicos de los fabricantes.

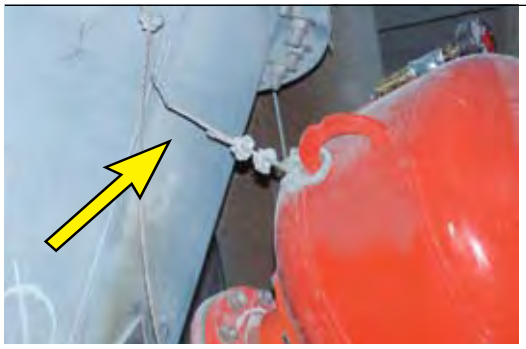


Figura 9.19

Un cable de seguridad debe unir la reserva de aire del cañón de aire a una parte de la estructura del contenedor.

Figura 9.20

Los sistemas de cañones de aire requieren avisos de seguridad y procedimientos de entrada al contenedor adecuados.

Figura 9.21

Muchos dispositivos promotores de flujo requieren que se coloquen avisos sobre el uso de protección auditiva.

9

Tabla 9.3

Características de dispositivos promotores de flujo comunes

	Vibrador lineal	Vibrador giratorio	Cañón de aire	Ventilador
Eléctrico		Sí		
Neumático	Sí	Sí	Sí	Sí
Hidráulico		Sí		
Velocidad variable	Sí	Sí	Puede descargar cada vez que se llena la reserva de aire	Sí
Fuerza variable	Sí	Sí	Sí	Sí
Rango de vibración (vpm)	1400 a 5500	Vibradores neumáticos 3000 a 25000 vpm Vibradores eléctricos 600 a 3600 rpm		

Tabla 9.4

Aplicaciones adecuadas para los promotores de flujo según las características del material

Característica del material	Vibrador lineal	Vibrador giratorio	Cañón de aire	Ventilador
Ligero y esponjoso		X		X
Partículas pequeñas		X		X
Partículas grandes	X		X	
Finos pegajosos	X		X	
Materiales explosivos*	X	X	X	
Partículas entrelazadas			X	
Acumulación gruesa de material	X		X	

** Contacte al fabricante para productos y accesorios diseñados específicamente para clasificaciones y lugares de trabajo peligrosos.*

LOS PROMOTORES DE FLUJO DE MATERIAL PROMUEVEN EL FLUJO DE ESTE

En resumen...

Cualquier tipo de sistema de promotor de flujo debe diseñarse apropiadamente para aportar un beneficio a una operación.

Las especificaciones del material, las características del proceso y el número, tamaño y ubicación de los dispositivos son elementos críticos para un sistema promotor de flujo eficaz. Si no se diseñan y aplican apropiadamente a una aplicación, los dispositivos promotores de flujo pueden crear problemas adicionales.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Promotores de flujo, el cuarto capítulo de la sección Cargar la banda, presenta los promotores de flujo como un medio para mejorar el flujo. El siguiente capítulo continúa con esta sección y se enfoca en el Soporte de la banda.

REFERENCIAS

9.1 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*. Naples, Florida.

9.2 Todos los fabricantes y la mayoría de los distribuidores de productos de transportadores pueden proporcionar una variedad de materiales sobre la construcción y el uso de sus productos específicos.

10

Figura 10.1

Para un punto de transferencia eficaz con mínimo derrame, la línea de recorrido de la banda debe estabilizarse con un soporte de banda apropiado en la zona de carga de un transportador.

Capítulo 10

SOPORTE DE LA BANDA

Beneficios de la estabilidad 131
Soporte de la banda con rodillos 133
Camas de soporte para bandas 138
Instalación de la cama 143
Métodos alternativos para el soporte de la banda 145
Mantenimiento del sistema 146
Especificaciones típicas 146
Cuestiones de seguridad 147
Temas avanzados 147
Pague ahora o pague (más) después 149

En este capítulo...

Este capítulo se enfoca en el soporte de la banda en la zona de carga del transportador para impedir el escape de materiales fugitivos y prevenir el daño a la banda y otros componentes. Los temas que se presentan incluyen los rodillos, las camas deslizantes y camas de impacto, así como también varios métodos alternativos para mantener una línea de la banda estable. Se proporcionan ecuaciones para calcular requerimientos de potencia necesarios para el soporte de la banda.

La construcción de una zona de carga eficiente en un transportador es como la construcción de una casa: comienza con buenas bases. Para una casa, la base consiste en los cimientos o las paredes del sótano; en un sistema de banda transportadora, la base es una línea de banda sin hundimiento y estable.

Para que un transportador controle el polvo y los derrames, el ingeniero de diseño debe hacer algo práctico para mantener estable y recta de manera consistente la línea de recorrido de la banda. Aunque hay muchos factores que influyen en la línea de recorrido de la banda dentro y fuera de la zona de carga, un punto clave es proveer el soporte de la banda apropiado.

Para un punto de transferencia eficaz con mínimo derrame, es esencial que la línea de recorrido de la banda se estabilice con un soporte de banda apropiado en la zona de carga **(Figura 10.1)**.

BENEFICIOS DE LA ESTABILIDAD

Una línea de la banda sin hundimiento y plana en el área de faldeo es esencial para sellar correctamente la zona de carga **(Figura 10.2)**. Idealmente, la banda debe mantenerse plana, como si estuviera corriendo por una mesa que impide el movimiento en cualquier dirección excepto en aquella que la carga necesita recorrer; de esta manera se eliminaría el hundimiento y sería más fácil de sellar.

El hundimiento de la banda, cuando se observa desde un lado del punto de transferencia, es la desviación vertical de la banda a diferencia de una línea recta sobre la parte superior de los dos rodillos adyacentes **(Figura 10.3)**. Se asume que la figura de la banda hundida es una curva catenaria, una curva natural que se forma cuando un cable es suspendido por sus extremos.

Si la banda se hunde entre los rodillos debajo de la zona de carga o se flexiona bajo el estrés de la carga, los finos y terrones de material buscarán la manera de salir por los lados del transportador, cayendo al suelo como derrame o en el ambiente como una nube de polvo. Peor aún, estos materiales pueden clavarse en los puntos de atrapamiento donde pueden morder la banda o dañar el sistema de faldón y otros componentes, empeorando el problema de derrames. Una pequeña cantidad de hundimiento en la banda, un hundimiento que apenas es aparente a simple vista, es suficiente para permitir que los finos queden atrapados, lo que conlleva a un desgaste abrasivo en el sistema de faldón del chute lateral y la superficie de la banda. Una ranura que se corta en el recubrimiento de la banda a lo largo de toda la longitud de la banda en el área de faldeo generalmente puede atribuirse a material capturado en los puntos en atrapamiento **(Figura 10.4)**. Cuando se previene el hundimiento de la banda, el número y el tamaño

Figura 10.2

Una línea de banda sin hundimiento y plana en el área de faldeo es esencial para sellar correctamente la zona de carga.

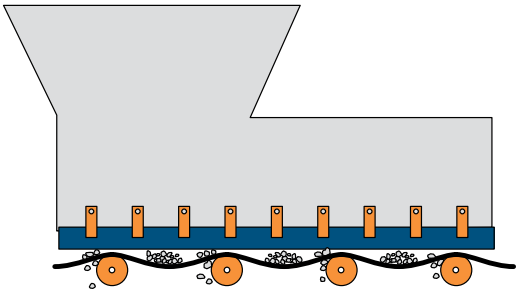


Figura 10.3

El hundimiento de la banda es una desviación vertical de la banda a diferencia de una línea recta que se observa a lo ancho de la parte superior de dos rodillos adyacentes.

Figura 10.4

Una ranura que se corta en el recubrimiento de la banda a lo largo de toda la longitud de la banda en el área de faldeo generalmente puede atribuirse a material capturado en los puntos en atrapamiento.

de los puntos de atrapamiento se reducen, por lo que también se reduce la posibilidad de dañar la banda.

Para prevenir un derrame y reducir el escape de partículas de polvo, debe eliminarse el hundimiento de la banda cuando sea práctico en la medida de lo posible. Es especialmente importante controlar el hundimiento en la zona de carga de un transportador donde la carga es sometida constantemente a cambios de peso. Estos cambios en la carga transportan los finos y el polvo hacia afuera del sistema de faldón y empujan las partículas a los puntos de atrapamiento entre el revestimiento de desgaste o el sello del faldeo y la banda.

Métodos para controlar el hundimiento

Un método para reducir el hundimiento de la banda a lo largo de todo el transportador es aumentar la tensión de la banda. No obstante, este método tiene desventajas, como por ejemplo, un aumento en el consumo de la potencia de impulso y el estrés adicional a la banda, empalmes y otros componentes. Cuando se utiliza tensión adicional para reducir el hundimiento, la máxima tensión nominal de la banda nunca debe excederse.

Después de alcanzar la tensión en la banda requerida por la banda transportadora y la carga en el sistema, el método recomendado para reducir el hundimiento de la banda es mejorar el sistema de soporte para bandas del transportador **(Figura 10.5)**.

Soporte apropiado de la banda

La clave para una línea sin hundimiento y estable del recorrido de la banda es un soporte adecuado. La cantidad de soporte necesario es determinada por las características únicas de cada transportador individual, sus zonas de carga y su carga de material. Los factores a evaluar incluyen el ángulo de canalización y la velocidad de recorrido del transportador que se está cargando, el peso del material, el tamaño del terrón más grande, la altura de descarga del material y el ángulo y velocidad del movimiento del material durante la carga.

Figura 10.5

Para reducir el hundimiento de la banda, mejore el sistema de soporte para la banda del transportador.

Es esencial que la banda se estabilice a todo lo largo de la zona de carga. Los sistemas de soporte que van más allá de lo que se requiere como mínimo harán muy poco daño aparte de un aumento incidental en los requerimientos de potencia del transportador. Un sistema de soporte para bandas que se queda más corto de lo requerido puede llevar a fluctuaciones en la estabilidad de la banda al final del sistema de soporte, potencialmente creando problemas de derrame, lo que hará que resulte casi inútil la instalación del sistema de soporte para bandas. El soporte de la banda es como el dinero: es mucho mejor tener un poco más que quedarse un poco corto.

Elementos esenciales de la construcción del soporte de bandas

Es esencial que los largueros, la estructura de soporte del transportador sobre la cual se instala el resto de los componentes, estén rectos y paralelos para un soporte de banda apropiado. De lo contrario, deben enderezarse o reemplazarse. La topografía láser es el método preferido para revisar la alineación de los largueros. *(Vea el Capítulo 16: Alineación de la banda).*

Los cimientos deben proporcionar una estructura de soporte sólido para impedir la desviación del larguero. La cantidad de material que se carga y el nivel de las fuerzas de impacto deben considerarse para prevenir la desviación excesiva bajo la carga. Los largueros espaciados adecuadamente fijados a cimientos sólidos aseguran una buena base para el resto de la estructura.

La Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas Transportadoras (CEMA) proporciona un recurso valioso sobre los estándares de construcción de transportadores y zonas de carga: "Estándares de instalación de transportadores para bandas transportadoras que manejan materiales a granel" *(Referencia 10.1).*

Existen varias técnicas y componentes que pueden usarse, independientemente o en combinación, para controlar el hundimiento de la banda mejorando el soporte de esta en la zona de carga. Estos incluyen los rodillos, las camas de soporte para bandas y las camas de impacto.

SOPORTE DE LA BANDA CON RODILLOS

El instrumento básico para soportar una banda transportadora son los rodillos. Un rodillo consiste en uno o más rodamientos y cada uno de ellos contiene uno o más cojinetes para garantizar que ruede libremente. Los rodamientos están soportados o suspendidos de un marco instalado a lo ancho de los largueros del transportador **(Figura 10.6)**. Los rodillos son los componentes más numerosos en un transportador, en términos de la cantidad de veces que se usan en un transportador en particular y el número de estilos y opciones disponibles. Existen muchos tipos, pero todos comparten las mismas responsabilidades: formar y soportar la banda y la carga al tiempo que minimizan la potencia necesaria para transportar los materiales.

La familia de rodillos

Los rodillos se clasifican según el diámetro del rodamiento, el tipo de servicio, la condición operativa, la carga de la banda y la velocidad de la banda; se clasifican según su capacidad para transportar una carga en base a la vida calculada del cojinete. CEMA usa un código de dos caracteres que expresa la clasificación del rodillo y la clasificación de carga implícita con un código de una letra seguido del diámetro del rodillo en pulgadas, lo que resulta en clases de B4 a F8 **(Tabla 10.1)**. Otras regiones pueden tener diferentes sistemas de clasificación.

Sin importar los códigos y las clasificaciones, la clave es asegurarse de que cada transportador sea consistente de principio a fin, que todos los rodillos en un transportador específico se apeguen a los mismos estándares e idealmente sean suministrados por el mismo fabricante.

Existe una amplia variedad de categorías generales de rodillos, dependiendo de su aplicación deseada.

Rodillos de apoyo

Los rodillos de apoyo proporcionan soporte a la banda mientras ésta transporta el material. Están disponibles en diseños planos o canalizados. El diseño plano generalmente consiste en un solo rodamiento horizontal para usarse en bandas planas como por ejemplo, alimentadores de banda.

Figura 10.6

Un rodillo consiste en uno o más rodamientos, cada uno con uno o más cojinetes. Los rodamientos están soportados o suspendidos de un marco instalado a lo ancho de los largueros del transportador.

Tabla 10.1

Clasificaciones de rodillos (basadas en los estándares de la CEMA)

Clasificación de rodillos de CEMA	Diámetro del rollo		Ancho de banda		Descripción
	mm	pulgadas	mm	pulgadas	
B4	102	4	450-1200	18-48	Trabajo ligero
B5	127	5	450-1200	18-48	
C4	102	4	450-1500	18-60	Trabajo moderado
C5	127	5	450-1500	18-60	
C6	152	6	600-1500	24-60	
D5	127	5	600-1800	24-72	
D6	152	6	600-1800	24-72	
E6	152	6	900-2400	36-96	Trabajo pesado
E7	178	7	900-2400	36-96	
F6	152	6	1500-2400	60-96	
F7	178	7	1500-2400	60-96	
F8	203	8	1500-2400	60-96	

Las dimensiones métricas son conversiones de Martin Engineering; los anchos de la banda pueden no ser tamaños métricos reales de bandas.

Figura 10.7

El conjunto de rodillos de canalización generalmente consiste en tres rodamientos, un rodamiento horizontal en el centro con rodamientos inclinados (o de ala) en cada lado.

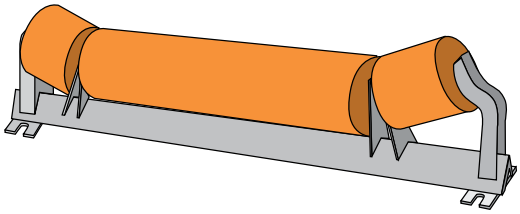


Figura 10.8

Los rodillos de "colección" incorporan un rodamiento central más largo y rodamientos inclinados más cortos para suministrar a un área de carga extensa.

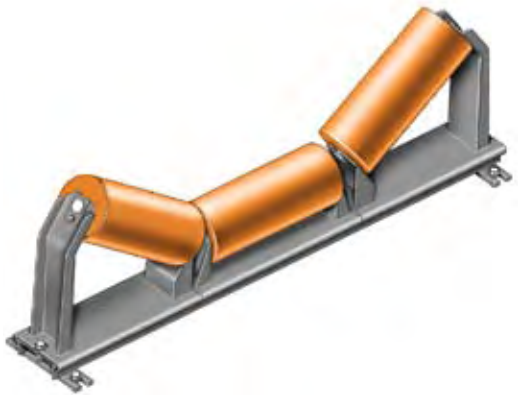


Figura 10.9

Con rodillos en línea, las líneas centrales de los tres rodamientos se alinean.

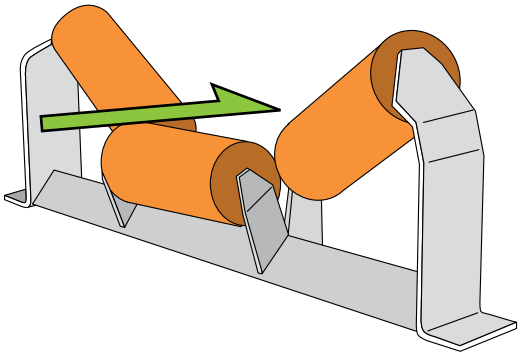


Figura 10.10

Los rodillos de compensación, con el rodamiento central colocado en una línea central diferente a los rodamientos de ala, pueden reducir la altura general del conjunto de rodillos.

Figura 10.11

Los rodillos de retorno, que se usan para soportar la banda en su trayecto de regreso a la zona de carga, normalmente consisten en un solo rodamiento horizontal colgado en la parte inferior de los largueros del transportador.

El rodillo de canalización generalmente consiste en tres rodamientos, un rodillo horizontal en el centro con rodamientos inclinados (o de ala) en cada lado **(Figura 10.7)**. El ángulo de rodamientos inclinados a partir del horizontal se llama ángulo de canalización. Normalmente, los tres rodamientos tienen la misma longitud, aunque hay conjuntos que incorporan un rodamiento central más largo y rodamientos inclinados más cortos llamados rodillos de "colección". Este diseño proporciona un área plana más grande para transportar material mientras que permite una inspección o "colección" de la carga **(Figura 10.8)**.

Los conjuntos de rodillos de canalización están disponibles como rodillos en línea **(Figura 10.9)**, las líneas centrales de los tres rodamientos están alineadas, y como rodillos de compensación, el rodamiento central tiene una línea central diferente a los rodamientos de ala, generalmente la banda pasa sobre el rodamiento central antes de pasar por los rodamientos de ala **(Figura 10.10)**. Compensar los rodillos puede reducir la altura general del conjunto de rodillos y, por lo tanto, es popular en aplicaciones de minas subterráneas donde el franqueo superior es de gran valor. Los rodillos de compensación eliminan el espacio entre los rodamientos reduciendo así la oportunidad de un tipo de daño a la banda llamado falla en la unión de conexiones.

Rodillos de retorno

Los rodillos de retorno proporcionan soporte a la banda cuando regresa a la zona de carga después de descargar el material. Estos rodillos generalmente consisten en un solo rodamiento horizontal colgado de la parte inferior de los largueros de un transportador **(Figura 10.11)**. Los rodillos de retorno en V, que incorporan dos rodamientos más pequeños, algunas veces se instalan para mejorar la alineación de la banda **(Figura 10.12)**.

Rodillos satelitales

Existen varios diseños de rodillos satelitales que funcionan para mantener la banda corriendo en el centro de la estructura de un transportador. Normalmente, estos rodillos corrigen la alineación: reaccionan a cualquier desalineación de la banda para moverse a una posición que intentará dirigir la banda de regreso al centro **(Figura 10.13)**. Están disponibles para aplicarse en el lado de carga y el lado de retorno. *(Vea el Capítulo 16: Alineación de la banda).*

Los rodillos satelitales de la banda nunca deben instalarse debajo del lado de carga de la banda en la zona de carga pues se colocan en una parte más alta que los rodillos de apoyo regulares adyacentes y elevan la banda a medida que giran.

Rodillos de impacto

Los rodillos de impacto con almohadilla de caucho son una solución para absorber el impacto en la zona de carga de la banda **(Figura 10.14)**. Estos rodillos usan rodamientos compuestos de discos de caucho elástico para amortiguar la fuerza de la carga. Los rodillos de impacto típicamente tienen la misma clasificación de carga que los rodillos estándares, puesto que utilizan los mismos ejes y cojinetes. Los recubrimientos de caucho absorben un poco de la energía para proporcionar el beneficio de un amortiguador.

Una desventaja de usar los rodamientos de impacto en la zona de carga es que cada rodillo soporta la banda sólo en la parte superior del rodamiento. Sin importar qué tan estrecho sea el espacio entre ellos, la figura redonda del rodamiento y la capacidad del caucho para doblarse bajo la carga permitirán a la banda oscilar o hundirse alejándose del perfil plano ideal **(Figura 10.15)**. Este hundimiento permite y promueve el atrapamiento de material fugitivo. El intervalo de espacio entre los rodamientos de impacto ofrece poca protección contra materiales residuales que caen desde arriba y penetran en la banda.

Hasta los rodillos de impacto están sujetos a daños por impacto, pues los cojinetes y los rodamientos se dañan debido a terrones demasiado grandes o impactos inusuales **(Figura 10.16)**. Los rodillos con cojinetes desgastados hacen que la banda corra de manera inconstante, lo que resulta en una desalineación y derrame por los lados de la banda. Los rodillos dañados por impactos severos o atascos debido a material fugitivo aumentan significativamente el consumo de energía del transportador. En muchos casos, es más eficaz absorber el impacto con camas de impacto, como se explica a continuación.

Espaciado de los rodillos

El espaciado entre los componentes de rodamiento tiene un efecto dramático en las misiones de soporte y moldeo de los rodillos. Los rodillos colocados con mucha separación

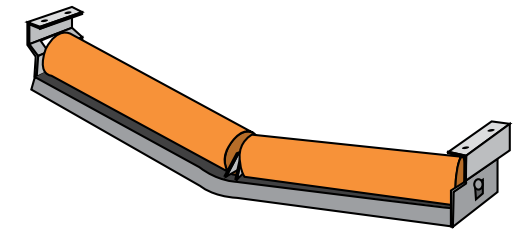


Figura 10.12

Los rodillos de retorno en V, que incorporan dos rodamientos más pequeños, algunas veces se instalan para mejorar la alineación de la banda.

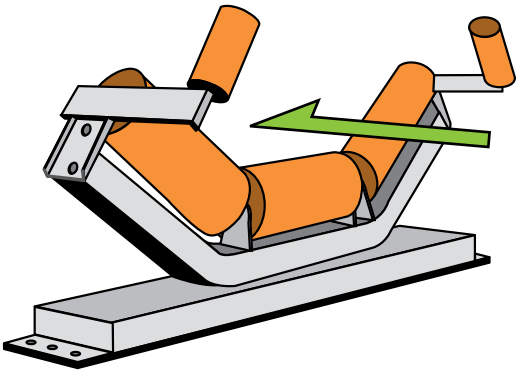


Figura 10.13

Disponible para el lado de carga y el lado de retorno del transportador, los rodillos satelitales se autoalinean para dirigir la banda de regreso al trayecto apropiado.

Figura 10.14

Los rodillos de impacto usan rodamientos compuestos de discos de caucho elástico para amortiguar la fuerza de la carga.

Figura 10.15

La figura redonda del rodamiento y la habilidad del caucho a doblarse bajo la carga permitirá a la banda transportadora oscilar o hundirse alejándose del perfil plano ideal.

Figura 10.16

Aunque se diseñaron para amortiguar las fuerzas del impacto, los rodillos de impacto están sujetos a daños por impacto pues se dañan los cojinetes y rodamientos o se doblan los bastidores debido a terrones "muy grandes" o impactos inusuales.

entre ellos no soportarán de manera adecuada la banda ni podrán mantener el perfil deseado. Colocar los rodillos demasiado cerca uno de otro mejorará el soporte y perfil de la banda, pero aumentará los costos de construcción del transportador y puede llevar a un aumento en el consumo de energía de un transportador.

Normalmente, los rodillos se colocan lo suficientemente cerca uno de otro para soportar una banda completamente cargada, de manera que no haya demasiado hundimiento entre ellos. Si se permite que la banda se hunda demasiado, la carga cambia a medida que se transporta por encima de cada rodillo y baja por el valle entre ellos. Este cambio en la carga aumenta el desgaste de la banda y el consumo de energía. El hundimiento también promueve el derrame de material. La CEMA ha publicado tablas sobre el espaciado de rodillos recomendado para las aplicaciones afuera de la zona de carga **(Tabla 10.2)**.

Figura 10.17

El método tradicional para reducir el hundimiento de la banda en una zona de carga es aumentar el número de rodillos en un espacio dado, lo que disminuye el espacio entre los rodillos.

El espaciado de los rodillos de retorno es determinado por el peso de la banda, debido a que ninguna otra carga es soportada por estos rodillos y el derrame relacionado con el hundimiento no es un problema en este lado del transportador. El espaciado de los rodillos de retorno típico es de 3 metros (10 pies).

Rodillos en el área de faldeo

La manera básica y tradicional de mejorar el soporte de la banda y así reducir el hundimiento de ésta debajo de una zona de carga o cualquier parte a lo largo del transportador es aumentando la cantidad de rodillos. Al aumentar la cantidad de rodillos en un espacio específico, y por lo tanto disminuyendo el espacio entre los rodillos, se reduce la posibilidad de que se hunda la banda **(Figura 10.17)**. Los rodillos generalmente pueden colocarse de modo que sus rodamientos estén a 25 milímetros (1 pulgada) entre ellos **(Figura 10.18)**.

No obstante, este método tiene sus desventajas. Puesto que los rodillos están muy cercanos uno del otro, es más difícil darles mantenimiento. Para dar mantenimiento a los conjuntos de rodillos, típicamente se hace a un lado el armazón para lubricar o reemplazar los rodillos. Si los rodillos están espaciados estrechamente no hay espacio suficiente para que el conjunto de rodillos se haga a un lado para realizar el mantenimiento **(Figura 10.19)**.

Tabla 10.2

Espaciado de rodillos recomendado para aplicaciones fuera de la zona de carga como lo publicó la CEMA

Espaciado de los rodillos de retorno	Ancho de la banda	Espaciado de los rodillos de carga fuera de la zona de carga					
		Peso del material manejado en kilogramos por metro cúbico ($lbs_m/pies^3$)					
		480 (30)	800 (50)	1200 (75)	1600 (100)	2400 (150)	3200 (200)
m (pies)	m (pulg)	m (pies)	m (pies)	m (pies)	m (pies)	m (pies)	m (pies)
3.0 (10.0)	457 (18)	1.7 (5.5)	1.5 (5.0)	1.5 (5.0)	1.5 (5.0)	1.4 (4.5)	1.4 (4.5)
3.0 (10.0)	610 (24)	1.5 (5.0)	1.4 (4.5)	1.4 (4.5)	1.2 (4.0)	1.2 (4.0)	1.2 (4.0)
3.0 (10.0)	762 (30)	1.5 (5.0)	1.4 (4.5)	1.4 (4.5)	1.2 (4.0)	1.2 (4.0)	1.2 (4.0)
3.0 (10.0)	914 (36)	1.5 (5.0)	1.4 (4.5)	1.2 (4.0)	1.2 (4.0)	1.1 (3.5)	1.1 (3.5)
3.0 (10.0)	1067 (42)	1.4 (4.5)	1.4 (4.5)	1.2 (4.0)	1.1 (3.5)	0.9 (3.0)	0.9 (3.0)
3.0 (10.0)	1219 (48)	1.4 (4.5)	1.2 (4.0)	1.2 (4.0)	1.1 (3.5)	0.9 (3.0)	0.9 (3.0)
3.0 (10.0)	1372 (54)	1.4 (4.5)	1.2 (4.0)	1.1 (3.5)	1.1 (3.5)	0.9 (3.0)	0.9 (3.0)
3.0 (10.0)	1524 (60)	1.2 (4.0)	1.2 (4.0)	1.1 (3.5)	0.9 (3.0)	0.9 (3.0)	0.9 (3.0)
2.4 (8.0)	1829 (72)	1.2 (4.0)	1.1 (3.5)	1.1 (3.5)	0.9 (3.0)	0.8 (2.5)	0.8 (2.5)
2.4 (8.0)	2134 (84)	1.1 (3.5)	1.1 (3.5)	0.9 (3.0)	0.8 (2.5)	0.8 (2.5)	0.6 (2.0)
2.4 (8.0)	2438 (96)	1.1 (3.5)	1.1 (3.5)	0.9 (3.0)	0.8 (2.5)	0.6 (2.0)	0.6 (2.0)

Conversiones métricas agregadas por Martin Engineering; los anchos de la banda pueden no ser tamaños de bandas métricas reales.

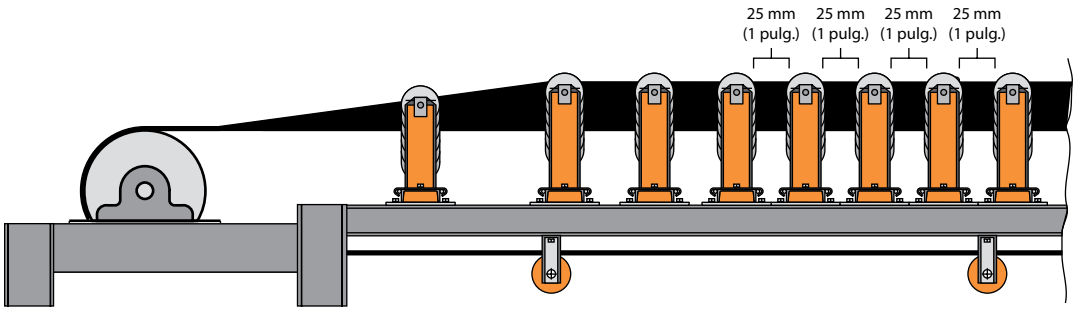


Figura 10.18

Los rodillos generalmente pueden colocarse de modo que sus rodamientos estén a 25 milímetros (1 pulgada) de distancia entre sí.

Para alcanzar un conjunto de rodillos, uno o más conjuntos adyacentes deben retirarse, creando una reacción en cadena.

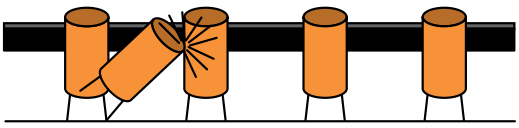


Figura 10.19

Si los rodillos están espaciados estrechamente, no hay espacio disponible para que el conjunto de rodillos se haga a un lado para realizar el mantenimiento.

Rodillos montados sobre carriles

Los rodillos montados sobre carriles que se deslizan hasta su posición son una solución a los problemas de mantenimiento de los rodillos con espacios estrechos. Estos rodillos están montados en una viga de acero que forma un carril, permitiendo que los rodillos puedan instalarse o retirarse individualmente deslizándolos hacia dentro o fuera de manera perpendicular al trayecto del transportador **(Figura 10.17** y **Figura 10.20)**. Los rodillos en configuraciones montadas sobre un carril pueden ser rodamientos de acero o rodamientos de estilo impacto con anillo de caucho. Con rodillos montados sobre carriles, cada rodamiento individual o cada conjunto puede recibir mantenimiento sin hacer a un lado el armazón o sin elevar la banda.

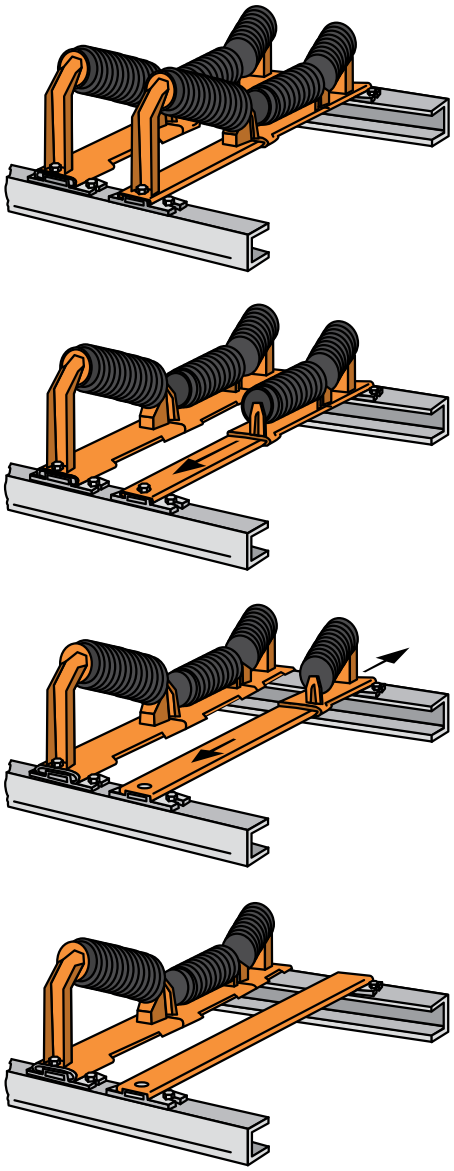


Figura 10.20

Los rodillos montados en carril resuelven los problemas de mantenimiento de los rodillos con espacios reducidos, permitiendo que los rodamientos se instalen o retiren individualmente deslizándolos hacia dentro o hacia fuera.

El carril sobre el cual se deslizan los rodillos (o los componentes del soporte de la banda) proporciona un complemento a la estructura del transportador. Este carril puede incorporarse al diseño del transportador como parte de la estructura **(Figura 10.21)**. Incorporar un sistema para colocar el rodillo en su lugar durante la etapa de diseño del transportador permite usar estructuras de soporte para banda modulares, rodillos, camas o unidades de combinación y simplifica la instalación de los componentes. Esto es especialmente ventajoso en bandas anchas donde los componentes grandes pueden requerir de grúas u otro equipo pesado para su instalación.

Sugerencias para la instalación de rodillos

Al instalar rodillos en un punto de transferencia, deben adaptarse a los largueros y alinearse horizontal y verticalmente a lo ancho

del transportador. Las variaciones provocarán puntos de atrapamiento que capturan material, provocando daños a la banda y derrames. La topografía láser puede usarse para asegurar la alineación de todos los componentes de rodamiento. *(Vea el Capítulo 16: Alineación de la banda).*

Los estándares de los rodillos tienen tolerancias para el diámetro del rodamiento, redondez (u "holgura"), altura del rodamiento central y el ángulo de canalización. Hasta una pequeña diferencia en las dimensiones de los rodillos, la diferencia de un fabricante a otro, puede crear altibajos en la línea de la banda, haciendo imposible un sellado eficaz.

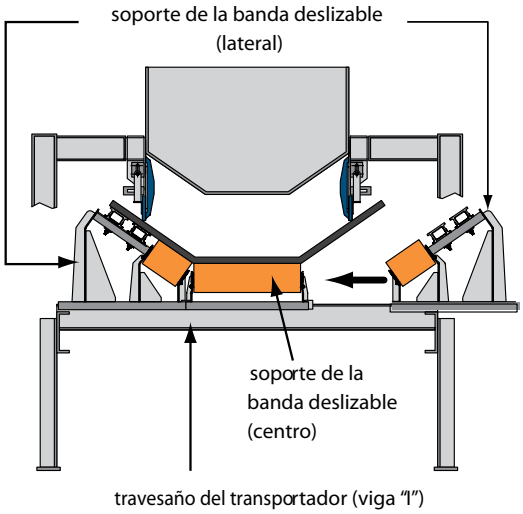


Figura 10.21

El carril sobre el cual se deslizan los rodillos puede incorporarse en el diseño del transportador como parte de la estructura.

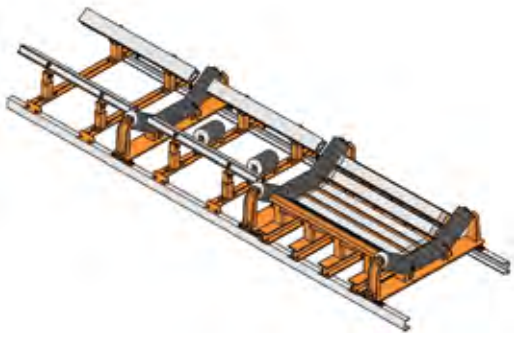


Figura 10.22

Para proporcionar la mesa plana que permite el sellado eficaz, muchos transportadores usan camas en vez de rodillos en la zona de carga del transportador.

Figura 10.23

El soporte de borde de "riel lateral" coloca una o más barras de baja fricción en ambos lados del transportador directamente debajo del sello de chute lateral.

Los rodillos deben alinearse con cuidado y adecuarse de manera que no se produzcan jorobas o valles en la banda. Los rodillos deben revisarse para que tengan concentricidad, entre menos circulares sean, mayor será la tendencia de la banda a ondularse o rebotar. Sólo los rodillos suministrados por el mismo fabricante y del mismo diámetro de rodillo, clase y ángulo de canalización deben usarse en el área de faldeo de un transportador.

CAMAS DE SOPORTE PARA BANDAS

Tan importante es el concepto de la "mesa plana" para un buen sellado, que muchos diseñadores ahora usan camas en lugar de rodillos debajo de las zonas de carga de un transportador **(Figura 10.22)**. En vez de usar los rodamientos de un rodillo, las camas usan alguna variedad de barras de baja fricción para soportar el perfil de la banda.

En esta discusión de los sistemas de soporte para bandas, los términos cama, base o doble empalme deben considerarse sinónimos.

Todas las camas de soporte para bandas desempeñan dos funciones: controlar el hundimiento de la banda en la zona de carga para reducir el derrame y proporcionar una superficie suave sobre la que pueda correr una banda. Además, las camas de impacto reducen el daño a la banda al absorber las fuerzas del material que se descarga a la banda. Otros beneficios de usar camas debajo del punto de transferencia incluyen reducir las partes móviles y eliminar la necesidad de lubricación. El diseño modular del sistema típico de camas permite que el soporte de la banda se extienda tanto como lo requieran las circunstancias.

Camas de soporte para sellado del borde

Los sistemas de soporte para sellado del borde están diseñados para proporcionar soporte continuo a la banda y mantener un perfil de banda recto en los bordes de ésta.

Una forma de soporte para el sellado del borde es una configuración de "riel lateral". Este sistema coloca una o más barras de baja fricción en ambos lados del transportador directamente debajo del sello de chute lateral **(Figura 10.23)**. Las barras funcionan para soportar los lados de la banda, permitiendo el sellado eficaz del borde de la banda.

Cada instalación de cama para sellado del borde puede medir una o más camas de largo dependiendo de la longitud del punto de transferencia, la velocidad de la banda y otras características del transportador. La parte superior de estas barras debe instalarse en línea con la parte superior de los rodillos de entrada y salida para evitar crear puntos de atrapamiento **(Figura 10.24)**. Cuando se usan varias camas para sellado del borde, deben colocarse rodillos entre las camas.

En las bandas más rápidas, anchas y de carga más pesada, las camas para sellado del borde pueden necesitar más de una barra en cada lado para soportar el borde de la banda. En bandas más anchas, a menudo es necesario agregar un rollo de soporte central o una barra de baja fricción adicional debajo del centro de la banda **(Figura 10.25)**.

Las barras deslizantes de soporte del borde pueden fabricarse con plásticos de baja fricción como, por ejemplo, polietileno de peso molecular ultra alto (UHMW). Estos materiales proporcionan una superficie autolubricante y de bajo arrastre que reduce la acumulación de calor y el desgaste indebido ya sea en la banda o en la barra. Un diseño de propiedad exclusiva incluye barras formadas en una "H" o configuración en "caja" que permite el uso de las superficies superior e inferior **(Figura 10.26)**.

A velocidades de transportador superiores a 3.8 metros por segundo (750 pies/min), el calor creado por la fricción de la banda puede reducir el desempeño de las barras de plástico. Por lo tanto, el uso de las barras de soporte de acero inoxidable ha sido aceptado en estas aplicaciones. Las barras de acero inoxidable también deben incorporarse en aplicaciones con temperaturas de servicio superiores a 82 grados centígrados (180º F).

Las regulaciones de seguridad pueden limitar la opción de materiales que se usan en los sistemas de soporte de barras. La mayoría de los países tienen regulaciones que requieren materiales antiestáticos y/o resistentes al fuego usados en contacto con la banda en aplicaciones subterráneas. Otros requerimientos regionales o de la planta pueden determinar los materiales a usar.

Las barras de baja fricción deben ser soportadas en un bastidor de montaje que sea ajustable para facilitar la instalación, la alineación y el mantenimiento. Este bastidor debe alojar diferentes combinaciones de rodillos y anchos de paredes de canaleta y permitir ajustes por desgaste.

Las barras deben sostenerse en la posición de soporte sin el riesgo de que los soportes y alineadores de montaje entren en contacto con la banda. Por ejemplo, los pernos que sostienen las barras en su lugar deben instalarse de manera paralela en vez de perpendicular a la banda **(Figura 10.27)**.

Una cama de soporte del borde puede aumentar gradualmente la fricción de la banda y los requerimientos de energía del transportador. Sin embargo, este aumento marginal en el consumo de energía es más que compensado por la eliminación de los gastos de limpieza por fugas en el faldeo, el daño de los puntos de atrapamiento a la banda y paros en producción inesperados pero necesarios para el mantenimiento de los rodillos o reemplazo de la banda.

Figura 10.24

Para evitar crear puntos de atrapamiento, la parte superior de las barras de soporte de la banda debe instalarse en línea con la parte superior de los rodillos de entrada y salida.

Figura 10.25

En bandas más anchas, puede ser necesario agregar rodamientos de soporte adicionales o barras de baja fricción en el centro de la cama de soporte.

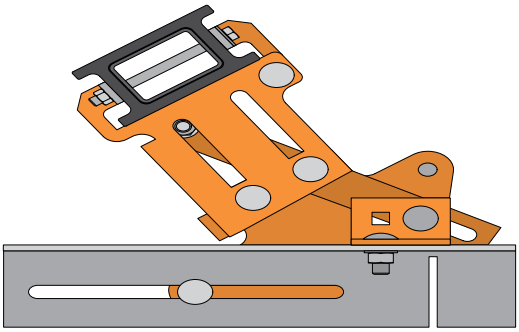


Figura 10.26

Una cama de propiedad exclusiva incluye barras formadas en una "H" o configuración en "caja" que permite el uso de las superficies superior e inferior.

Camas de impacto

Nada puede dañar la banda de un transportador y los componentes del punto de transferencia y crear una fuga de material tan rápido y dramáticamente como un impacto en la zona de carga debido a objetos pesados o terrones con bordes filosos **(Figura 10.28)**. Tanto si surge por descargas largas de material o por terrones grandes, piedras grandes, troncos o metal de desecho, estos impactos causarán daño a componentes como rodillos y tiras de sellado. El impacto también puede crear un efecto de "ondas" en la banda, desestabilizando su línea de recorrido y aumentando el derrame de material. Los impactos fuertes o constantes también pueden dañar el recubrimiento de la banda y debilitar su armazón. En consecuencia, los ingenieros del sistema realizan varias actividades para reducir los niveles de impacto en las zonas de carga, incluyendo la incorporación de chutes diseñados, carcasas de rocas o diseños que cargan los finos antes que los terrones grandes.

Figura 10.27

Las barras deben sostenerse en la posición de soporte sin el riesgo de que los soportes y alineadores de montaje entren en contacto con la banda.

Figura 10.28

El impacto en la zona de carga debido a descargas largas o terrones grandes de material puede dañar los componentes y crear derrames.

Figura 10.29

Las camas de impacto se instalan directamente debajo de la zona de descarga del material para soportar la carga principal del material que golpea la banda.

Figura 10.30

Las camas de impacto están formadas de un marco de acero que sostiene un conjunto de barras amortiguadoras de impacto. Las barras combinan una superficie superior suave y una o más capas secundarias semejantes a esponjas que absorben la energía del impacto.

No obstante, en muchos casos no es posible eliminar por completo el impacto, por lo que es necesario instalar algún tipo de sistema de absorción de energía debajo de la zona de carga. Si se colocara una banda sobre un piso de concreto y se golpeara con un hacha o un martillo, la banda se dañaría. Sin embargo, si se colocaran capas de espuma entre la banda y el piso, la banda estaría más protegida. Ésta es la manera en que el sistema de impacto para soporte de bandas protege la banda en condiciones de carga con impactos severos.

Las camas de impacto se instalan directamente debajo de la zona de descarga del material para soportar la carga principal del material que golpea la banda a medida que se carga **(Figura 10.29)**. Estas camas generalmente están compuestas de un conjunto de barras amortiguadoras de impacto individuales unidas a un armazón de soporte de acero. Las barras están compuestas de materiales elastoméricos durables que combinan una superficie suave, permitiendo que la banda pase rozando sobre ella para minimizar la fricción, y una o más capas secundarias semejantes a esponjas que absorben la energía del impacto **(Figura 10.30)**.

Algunos fabricantes alinean un grupo de barras largas, típicamente de 1.2 metros (4 pies) de longitud, en una cama con las barras acomodadas en forma paralela en la dirección de avance de la banda. Otros fabricantes usan segmentos modulares más cortos que se alinean para formar un doble empalme perpendicular al recorrido de la banda. Estos dobles empalmes normalmente miden 300 milímetros (12

pulgadas) de ancho. El número de camas y dobles empalmes requeridos es determinado por la longitud de la zona de impacto. El número de barras requeridas en una cama o doble empalme específico es determinado por el ancho de la banda transportadora.

Algunos sistemas incluyen una superficie superior suave y una capa baja acojinada fijada permanentemente, otros incluyen componentes separados que se ensamblan en el lugar de la aplicación. Las camas de impacto están disponibles en un diseño montado en carril, lo que simplifica el reemplazo de las barras cuando se requiere **(Figura 10.31)**.

El límite de la cantidad de impacto que la banda puede absorber en combinación con una cama de impacto se basa en la capacidad de la banda para resistir la energía aplastante. Para las zonas de carga con los mayores niveles de impacto, toda la instalación de la cama de impacto puede montarse en una estructura amortiguadora como, por ejemplo, resortes o cojines de aire. Aunque esto reduce la rigidez de toda la zona de carga y absorbe la fuerza del impacto, tiene la desventaja de desviar un poco la banda en el área de faldeo, haciendo más difícil sellar la zona de carga.

Estándares para las camas de impacto

El ESTÁNDAR 575–2000 de CEMA proporciona un sistema de clasificación fácil de usar para las camas de impacto utilizado en aplicaciones que manejan materiales a granel. Este sistema ofrece a los fabricantes y usuarios un sistema de clasificación común para reducir las posibilidades de una mala aplicación.

El sistema de clasificación de camas se basa en la energía de impacto creada por el material a granel para establecer una clasificación de servicio para una aplicación específica. El requerimiento de fuerza de impacto se determina para cada aplicación calculando el impacto del peor de los casos. Para una aplicación dada, el impacto del terrón más grande **(Ecuación 10.1) (Figura 10.32)** y un flujo homogéneo continuo **(Ecuación 10.2) (Figura 10.33)**. La mayoría de las aplicaciones usarán la mayor de estas dos fuerzas. Los números de referencia para la fuerza de impacto se usan luego para seleccionar una de las tres clasificaciones de una tabla **(Tabla 10.3)**.

Las ecuaciones usadas por la CEMA son generalmente aceptadas como aproximaciones razonables de las fuerzas de impacto. El ESTÁNDAR de la CEMA observa que el impacto del tamaño máximo de un terrón casi siempre produce la fuerza de mayor impacto

Figura 10.31

Las camas de impacto están disponibles en un diseño montado en carril, lo que simplifica el reemplazo de las barras cuando se requiera.

$$F_I = W + \sqrt{2 \cdot k \cdot W \cdot h_d}$$

Dado: *Un terrón de material con un peso (fuerza) de 475 newtons (100 lbs_f) cae 4 metros (13 pies) a una cama de impacto con un coeficiente de elasticidad general de 1000000 newtons por metro (70000 lbs_f/pies).*
Calcular: *La fuerza de impacto creada por el terrón de material.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
F_I	Fuerza de impacto	newtons	libras-fuerza
k	Coeficiente de elasticidad del sistema que está absorbiendo el impacto	1000000 N/m	70000 lbs_f/pies
W	Peso (fuerza) del terrón más grande	475 N	100 lbs_f
h_d	Altura de la descarga	4 m	13 pies
Métrica: $F_I = 475 + \sqrt{2 \cdot 1000000 \cdot 475 \cdot 4} = 62119$			
Imperial: $F_I = 100 + \sqrt{2 \cdot 70000 \cdot 100 \cdot 13} = 13591$			
F_I	Fuerza de impacto	62119 N	13591 lbs_f

Ecuación 10.1

Cálculo de la fuerza de impacto de un solo terrón de material (ESTÁNDAR 575-2000 de CEMA)

y, por lo tanto, debe determinar la clasificación del impacto especificada para una aplicación dada. Un análisis minucioso implicaría agregar la fuerza absorbida por el terrón con la fuerza absorbida por un flujo y comparando el valor de la fuerza.

Las dimensiones para la construcción de la cama se basan en el sistema de clasificación de rodillos establecido hace tiempo por CEMA. Se incluyen las clasificaciones: B, C, D, E o F, seguidas del diámetro del rodillo nominal medido en pulgadas (por ejemplo, 5, 6 ó 7).

Camas con barras y rodamientos

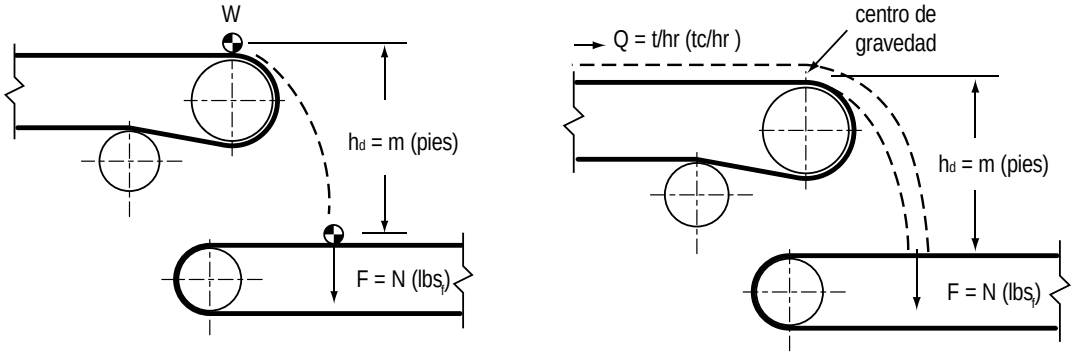
Existen varios diseños de "cama de combinación", los cuales usan barras para un sello continuo en el borde de la banda pero además incorporan rodamientos debajo del centro de la banda **(Figura 10.34)**. Estos diseños híbridos son populares como una manera de combinar el bajo consumo de energía de los rodamientos con la superficie de impacto de sellado plano o barras deslizantes. Con un diseño híbrido, la fricción se mantiene baja soportando el centro de la banda con rodamientos convencionales. Esto reduce el consumo de energía del transportador. El borde de la banda se soporta continuamente, eliminando el hundimiento de la banda entre los rodillos. Esto reduce el derrame al mínimo. Puesto que los rodamientos centrales operan en un ambiente prácticamente libre de polvo, se extiende la vida de los cojinetes del rodillo y los sellos, reduciendo así los costos de mantenimiento a largo plazo. Estos diseños se

Figura 10.32 (izquierda)

Cálculo del impacto de un solo terrón grande

Figura 10.33 (derecha)

Cálculo del impacto de un flujo homogéneo continuo



Ecuación 10.2

Cálculo de la fuerza de impacto de un flujo de material (ESTÁNDAR 575-2000 de CEMA)

$$F_s = k \cdot Q \cdot \sqrt{h_d}$$

Dado: *Un flujo de material cae 4 metros (13 pies) sobre una cama de impacto a una tasa de 2100 toneladas por hora (2300 tc/h).* ***Calcular:*** *La fuerza de impacto creada por el flujo de material.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
F_s	Fuerza de impacto	newtons	libras-fuerza
Q	Flujo de material	2100 t/h	2300 tc/h
h_d	Altura de la descarga	4 m	13 pies
k	Factor de conversión	1.234	0.1389
Métrica: $F_s = 1{,}234 \cdot 2100 \cdot \sqrt{4} = 5183$			
Imperial: $F_s = 0.1389 \cdot 2300 \cdot \sqrt{13} = 1152$			
F_s	Fuerza de impacto	5183 N	1152 lbs_f

Tabla 10.3

ESTÁNDAR 575-2000 de CEMA Sistema de clasificación de la base de impacto

Código	Clasificación	Fuerza de impacto (N)	Fuerza de impacto (lbs_f)
L	Trabajo ligero	<37800	<8500
M	Trabajo moderado	37800-53400	8500-12000
H	Trabajo pesado	53400-75600	12000-17000

La conversión de las medidas fue agregada por Martin Engineering.

observan más comúnmente en transportadores de alta velocidad que operan a más de 3.8 metros por segundo (750 pies/minuto) o aplicaciones donde hay una carga de material pesado que crearía altos niveles de fricción en el centro del transportador.

Otra posibilidad es usar camas que incorporan barras de impacto en el centro con pequeños rodillos de colección espaciados estrechamente en las alas. Aquí, la intención del diseño es proporcionar un cojín de impacto superior en el centro de la banda y al mismo tiempo reducir la fricción en el borde de la banda.

INSTALACIÓN DE LA CAMA

Sistemas de múltiples camas

A menudo es apropiado instalar sistemas de combinación, incorporando camas amortiguadoras de impacto y camas de soporte del sello **(Figura 10.35)**. Deben instalarse tantas camas de impacto como sean necesarias para soportar la banda transportadora hasta el final de la zona de impacto. Las camas de soporte de sello lateral completan el sistema por la distancia requerida para estabilizar la carga en el área de faldeo.

Estos sistemas proporcionan una manera eficaz de combinar el soporte de banda transportadora óptimo con la máxima rentabilidad en la construcción del sistema y consumo de energía.

Alineación de la cama

La cama de impacto generalmente se instala de manera que las barras del centro de la cama se acomoden un poco debajo de la línea de descarga normal de la banda transportadora, de 12 a 25 milímetros (0.5 a 1 pulgada), **(Figura 10.36)**. Esto permite que la banda absorba un poco la fuerza del impacto cuando la carga de material la desvíe hacia la cama, mientras que evita la fricción continua y el desgaste de las barras. Las barras de ala, las barras en los lados de la cama, deben instalarse en línea con los rodillos de entrada, salida e intermedios para prevenir el hundimiento de la banda transportadora y los puntos de atrapamiento **(Figura 10.37)**. Es importante que la barra que está directamente debajo de la canaleta de acero o pared del chute lateral se alinee exactamente con los rodillos laterales.

Las camas pueden soldarse o sujetarse con pernos a los largueros; puede ser mejor sujetar los sistemas con pernos, pues esto permitirá un mantenimiento más eficaz. Algunas camas de impacto están disponibles en un diseño con montaje en carril, lo cual simplifica la

Figura 10.34

Las "camas de combinación" usan barras para un sello continuo en el borde de la banda y rodamientos debajo del centro de la banda.

Figura 10.35

Los sistemas de combinación, que incorporan camas amortiguadoras de impacto y camas de soporte del sello, pueden instalarse para proporcionar una línea de la banda estable.

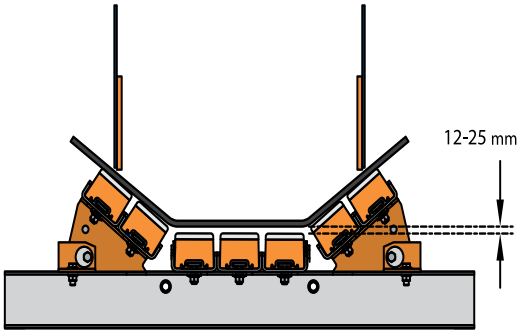


Figura 10.36

Las camas de impacto generalmente se instalan de manera que las barras del centro de la cama se acomoden un poco debajo de la línea de descarga normal de la banda, de 12 a 25 milímetros (0.5 a 1 pulgada).

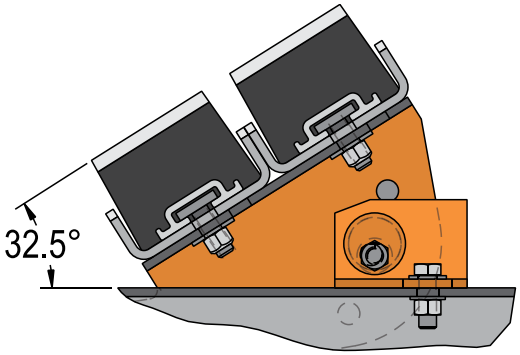
Figura 10.37

Las barras de ala de una cama de impacto deben instalarse en línea con los rodillos de entrada, salida e intermedios para prevenir el hundimiento de la banda y puntos de atrapamiento.

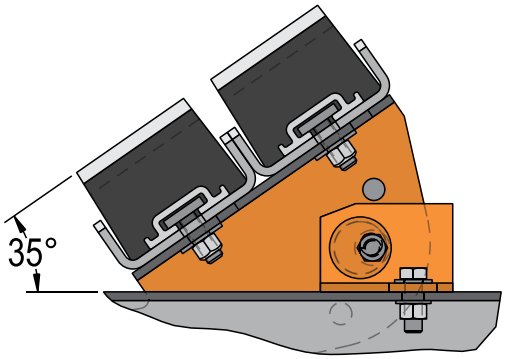
10

Figura 10.38

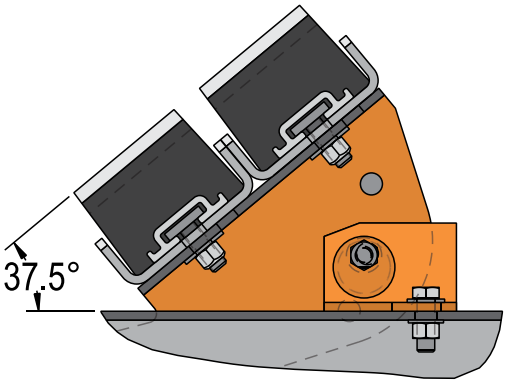
Una cama de impacto bien diseñada simplificará la instalación con el uso de soportes de ala ajustables, los cuales permiten que la cama se coloque debajo de la banda antes de elevar los lados hasta el ángulo de canalización apropiado. Nota: El rango de ajuste para un ángulo de canalización de 35° es de ± 2.5°.



detalle de ajuste 32.5˚



detalle de ajuste 35˚



detalle de ajuste 37.5˚

instalación de la cama o el reemplazo de las barras cuando se requiera.

La instalación de las camas de impacto se simplifica a través del uso de soportes de ala ajustables, que permiten que la cama se deslice debajo de la banda de forma plana para después elevar los lados al ángulo de canalización apropiado **(Figura 10.38)**. Es importante que la cama se diseñe para permitir algún medio simple para ajustar la altura y ángulo de la barra. Esto facilitará que la cama funcione con rodillos de diferentes fabricantes y permitirá una compensación para el desgaste.

Rodillos entre las camas

Al instalar dos camas o más, se recomienda el uso de rodillos intermedios, es decir, rodillos colocados entre las camas adyacentes **(Figura 10.39)**. Instalar un conjunto de rodillos entre dos camas (o colocar cada cama entre dos rodillos) reducirá el arrastre de la banda sobre las barras. Esto reduce el consumo de energía del transportador. Además, la acumulación de calor en las barras se reducirá dando a las barras y la banda vidas útiles más largas.

Los rodillos deben especificarse antes y después de cada cama de 1200 milímetros (4 pies); el número de conjuntos de rodillos requeridos para un punto de transferencia dado es el mismo número de camas requeridas más uno. Para asegurar la uniformidad de una línea de la banda estable, todos estos rodillos deben ser del mismo fabricante, con el rodamiento del mismo tamaño. Los rodillos de impacto deben usarse entre las camas debajo de la zona de carga; los rodillos convencionales pueden usarse afuera del área de impacto. Los rodillos montados en carril deben usarse entre las camas para que sean fáciles de mantener.

En algunas de las áreas de impacto, puede ser aceptable tener un espacio de hasta 2.4 metros (8 pies) entre los rodillos intermedios. Estas aplicaciones pueden incluir zonas de carga largas donde es difícil predecir la ubicación del impacto y donde los rodamientos puedan dañarse por la carga en el punto de impacto. Esto también incluiría puntos de transferencia debajo de chutes y tolvas de descarga en minas, en fábricas de papel y celulosa donde los troncos se descargan en las bandas o en instalaciones de reciclado que tienen objetos pesados desde baterías de carros hasta motores de camiones que caen en los transportadores.

Figura 10.39

Cuando se instalan dos camas o más, se recomienda el uso de rodillos intermedios, es decir, rodillos colocados entre las camas adyacentes.

MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA EL SOPORTE DE LA BANDA

Este libro aborda varios métodos de sistemas de transportadores alternativos. *(Vea el Capítulo 33: Consideraciones para los transportadores de especialidad)*. Además, existen otros métodos para soportar las bandas convencionales en estructuras de transportadores más o menos convencionales.

Rodillos catenarios

Los rodillos catenarios, algunas veces llamados rodillos en guirnalda, son conjuntos de rodamientos, normalmente tres o cinco, unidos por un cable, cadena u otra conexión flexible y suspendidos en la estructura del transportador debajo de la banda **(Figura 10.40)**. Estos conjuntos de rodillos giran libremente bajo las fuerzas del material de carga, actuando para absorber el impacto y centralizar la carga. Su montaje flexible permite que los rodillos se muevan y mantengan rápidamente y proporciona un poco de autocentrado.

Los rodillos catenarios se observan normalmente en aplicaciones de trabajo muy pesado como, por ejemplo, transportadores con altos niveles de impacto y grandes volúmenes de material. Las instalaciones típicas incluirían transportadores debajo de la descarga de cangilón con rueda de paletas y debajo de las zonas de carga de transportadores terrestres largos que transportan material sin cribar **(Figura 10.41)**. Los rodillos catenarios también se usan comúnmente en la industria de fundición de metales.

No obstante, el "rebote" y la oscilación de los rodillos catenarios y los cambios que este movimiento pueden aumentar la ruta de la banda, especialmente cuando el material se carga de manera descentrada, lo que debe considerarse al diseñar el sistema de un transportador **(Figura 10.42)**. A medida que oscila el rodillo catenario, la banda se mueve de lado a lado. Esto permite el escape de material fugitivo por los lados de la zona de carga y crea una desalineación que expone los bordes de la banda a sufrir daños provocados por la estructura del transportador **(Figura 10.43)**. Por lo tanto, debe dejarse mayor distancia del borde fuera del chute lateral para permitir el sellado.

Transportadores soportados por aire

Otro concepto para estabilizar la ruta de la banda es el transportador con banda soportada en aire. Estos transportadores reemplazan los rodillos de carga y las camas con un pleno en forma de canal debajo de la banda. La banda es soportada por una película de aire que se libera del pleno **(Figura 10.44)**. *(Vea el Capítulo 23: Transportadores soportados por aire)*.

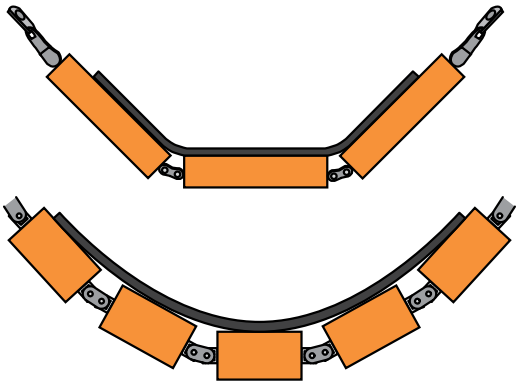


Figura 10.40

Los rodillos catenarios, algunas veces llamados rodillos en guirnalda, son conjuntos de rodamientos, normalmente tres o cinco, unidos por un cable, cadena u otra conexión flexible y suspendidos en la estructura del transportador debajo de la banda.

Figura 10.41

Las instalaciones típicas de rodillos catenarios incluyen transportadores debajo de la descarga de cangilón con ruedas excavadoras y debajo de las zonas de carga de transportadores terrestres largos que transportan material sin cribar.

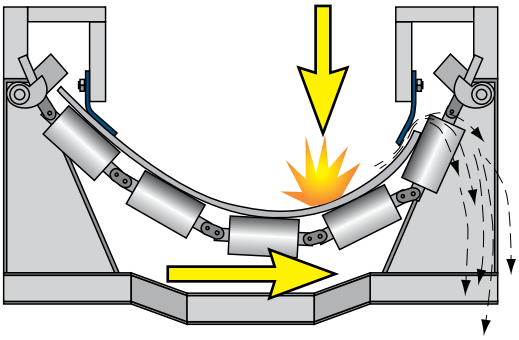


Figura 10.42

Su suspensión permite que los rodillos catenarios reboten y oscilen debajo de la zona de impacto, cambiando la trayectoria de la banda y dificultando el sellado.

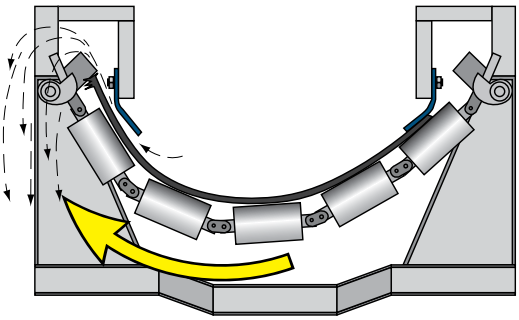


Figura 10.43

A medida que oscila el rodillo catenario, la banda se mueve de lado a lado, permitiendo que el material fugitivo se desborde por los lados de la zona de carga creando una desalineación.

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Una clave para proporcionar el trayecto y la estabilidad apropiada a un transportador es el mantenimiento de los sistemas de soporte de la banda. El mantenimiento apropiado de estos componentes impedirá que la banda desarrolle una acción dinámica indeseada que haría perder la habilidad del sistema de soporte para bandas de controlar los materiales fugitivos.

Los procedimientos de mantenimiento requeridos para un sistema de soporte para bandas transportadoras variarán en la construcción y los componentes de un sistema en particular, pero deben incluir lo siguiente:

A. Inspección de los componentes giratorios, incluyendo las poleas y los rodamientos, para buscar desgaste y revisar la operación (¿aún están girando?)

B. Reemplazo de los rodamientos "detenidos", "atascados", dañados o desgastados

C. Lubricación de los cojinetes en los componentes giratorios según corresponda, ya que algunos rodillos se fabrican como "sellados de por vida" y no requieren lubricación

D. Inspección de las camas de soporte para bandas

E. Ajuste de las camas para compensar por el desgaste

F. Realineación y/o reemplazo de las barras que muestran maltrato o desgaste

G. Extracción de las acumulaciones de material en los rodillos, bastidores, estructura de la cama y barras de soporte según se requiera

Es importante consultar las instrucciones del fabricante para el mantenimiento requerido de cualquier componente específico.

No se deben lubricar demasiado los rodillos. Esto puede dañar los sellos de los cojinetes, permitiendo que los materiales fugitivos entren al cojinete, lo que aumenta la fricción y disminuye su vida útil. El exceso de aceite y grasa puede derramarse a la banda, donde puede adherirse al recubrimiento, disminuyendo la vida útil de la banda. El exceso de grasa también puede escaparse a los barandales, pasillos o pisos haciéndolos resbaladizos y peligrosos. Los rodillos equipados con cojinetes sellados con "grasa de por vida" no deben lubricarse.

Es mejor seleccionar componentes para el sistema de soporte para bandas teniendo en mente un mantenimiento fácil. De lo contrario, el tiempo requerido para realizar el mantenimiento y/o la dificultad al realizar estas labores reducirá la probabilidad de que este mantenimiento esencial en realidad se lleve a cabo.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

Una línea de la banda perfectamente plana y recta en el área de faldeo es esencial para sellar correctamente un punto de transferencia. El hundimiento de la banda debe minimizarse a no más de 3 milímetros (0.125 ó 1/8 de pulgada) a través de la zona de carga. Las especificaciones incluyen lo siguiente:

A. Camas de impacto en el área de carga

Para absorber el choque del impacto de la carga y estabilizar la línea de la banda, deben usarse camas de impacto completo debajo de la banda en el área de carga directa. La sección de la cama de impacto no debe ser mayor a 1.2 metros (4 pies) con un rodillo instalado a cada 1.2 metros como mínimo.

B. Instalación de una cama en el área de carga

Las camas deben diseñarse para coincidir con el perfil de la banda canalizada y deben instalarse de modo que las barras en el centro de la cama estén 12 a 25 milímetros (0.5 a 1 pulgada) debajo de la alineación sin carga normal de la banda.

C. Camas montadas en carril

Las barras deben instalarse en una forma de cama diseñada para facilitar la instalación y el mantenimiento sin requerir elevar la banda o retirar los rodillos adyacentes o la misma cama. La cama debe construirse en tres secciones de montaje en carril para tener facilidad de acceso y mantenimiento.

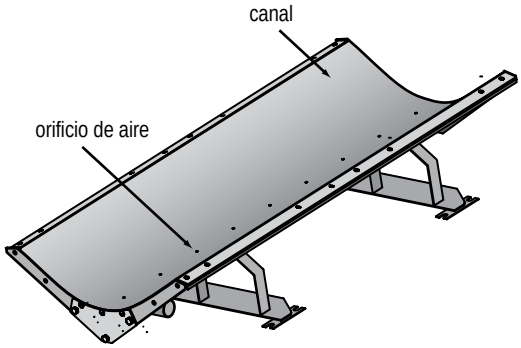


Figura 10.44

Los transportadores soportados en aire estabilizan la línea de la banda soportando la banda con una película de aire que surge de una bandeja en forma de canal.

D. Barras de soporte del borde y rodamientos de soporte central

En el área de estabilización del faldeo directamente después del punto de carga, deben usarse camas de soporte para sello con barras de soporte del borde de baja fricción y rodamientos de soporte centrales.

E. En línea con rodillos

Las camas deben diseñarse en línea con los rodillos de entrada y salida así como también cualquiera de los rodillos intermedios.

F. Método de ajuste

El diseño debe incluir un método para un ajuste vertical y radial de la barra a la banda.

En todos los casos, el equipo seleccionado no debe proporcionar únicamente un soporte de banda adecuado, sino también ser capaz de mantener la banda en contacto constante con el sistema de faldeo para garantizar la eficacia del sellado.

TEMAS AVANZADOS

Espaciado de los rodillos y hundimiento de la banda

En *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS (BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL), sexta edición*, la CEMA recomienda que el hundimiento de la banda transportadora entre los rodillos se limite a 2 por ciento para rodillos de 35 grados y 3 por ciento para rodillos de 20 grados *(Referencia 10.2)*. El método de la CEMA se refiere a limitar el hundimiento fuera de la zona de carga para prevenir derrames.

En la zona de carga, el hundimiento debe ser mucho menor que lo recomendado por CEMA para prevenir derrames, creación de polvo y desgaste de la banda, revestimiento de desgaste y sello del faldeo. Por ejemplo **(Ecuación 10.3)**, al usar el método de la CEMA se obtiene un hundimiento máximo recomendado entre rodillos de 12.5 milímetros (0.5 pulgadas) para rodillos de 35 grados y 19 milímetros (0.75

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Los trabajadores deben estar conscientes de los siguientes peligros específicos a la zona de carga y capacitados para realizar inspecciones, limpieza y mantenimiento de manera segura:

A. Puntos de atrapamiento

Una banda en movimiento crea peligros de puntos de atrapamiento entre los componentes giratorios o fijos de la zona de carga.

B. Componentes pesados

Muchos de los componentes de la zona de carga y soporte de la banda son pesados, por lo que crean peligros de levantamiento.

C. Área ajustada

Las zonas de carga a menudo están en áreas ajustadas con acceso limitado, estas áreas a menudo se consideran espacios confinados.

D. Agua, nieve o hielo

Las zonas de carga a menudo están en lugares expuestos al clima, por lo que están sujetas a acumulaciones de agua, nieve o hielo, creando riesgos adicionales de caídas, tropiezos y resbalones.

E. Área de almacenamiento

El área abierta alrededor del extremo de la cola de un transportador y la zona de carga a menudo se convierten en áreas de almacenamiento para equipo de repuesto o reemplazo. Esta práctica crea peligros de tropiezos y caídas alrededor de las zonas de carga.

F. Equipo auxiliar

El equipo auxiliar a menudo es automatizado y puede arrancar sin advertencia, creando situaciones potencialmente peligrosas.

Los procedimientos establecidos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación deben seguirse antes de ajustar o dar mantenimiento a cualquier sistema de soporte para bandas. Es importante asegurar que el área está despejada de obstrucciones y seguir todos los requerimientos de entrada a espacios reducidos.

pulgadas) para rodillos de 20 grados. Esto es un hundimiento claramente inaceptable para controlar materiales fugitivos en la zona de carga.

El hundimiento (ΔY_s) es proporcional al peso (fuerza) de la banda y el material a granel ($W_b + W_m$) [newtons (lbs_f)] y el espaciado de los rodillos (S_i) [milímetros (pulgadas)] y es inversamente proporcional a la tensión mínima de la banda en la zona de carga (T_m) [newtons (lbs_f)] **(Ecuación 10.3)**. Para controlar los materiales fugitivos, se recomienda que el diseñador maneje la tensión de la banda y el espaciado de rodillos en la zona de carga para mantener el hundimiento de la banda a no más de 3 milímetros (0.12 pulgadas) y de preferencia en 0.0. Aun con muy poco hundimiento, si el soporte de la banda no es continuo, los materiales fugitivos pueden escapar y provocar un desgaste.

El ejemplo **(Ecuación 10.3)** muestra que con un espaciado de rodillos de 600 milímetros (24 pulgadas) hay 3.37 milímetros (0.135 pulgadas) de hundimiento. Si el espaciado de los rodillos en el ejemplo se reduce a 178 milímetros (7 pulgadas), el hundimiento de la banda disminuye a 1.0 milímetros (0.039 pulgadas).

Si se usa un sistema de soporte para bandas como, por ejemplo, una cama de impacto o una sección del transportador soportado en aire, puede suponerse que el espaciado de los rodillos (S_i) será 0.0; el cálculo entonces produce un hundimiento de la banda de 0.0, puesto que no debe haber hundimiento cuando la banda es una superficie continua y plana.

Camas y requerimientos de potencia

Los sistemas de soporte para bandas tienen un efecto significativo en los requerimientos de potencia de un transportador. Los cambios en el soporte de la banda tendrán un efecto especialmente perceptible en los sistemas cortos o de baja potencia. Se recomienda que los requerimientos de potencia teóricos de los cambios propuestos a los sistemas de soporte para bandas se calculen para asegurar que haya una potencia de impulso al transportador disponible para compensar la fricción adicional infligida al transportador.

El consumo de kilowatts (hp) agregado puede calcularse determinando la tensión de la banda agregada usando los métodos estándares recomendados por la CEMA. El coeficiente de fricción de los sistemas de soporte nuevos (o propuestos), multiplicado por la carga infligida

Ecuación 10.3

Cálculo del hundimiento de la banda

$$\Delta Y_s = \frac{(W_b + W_m) \cdot S_i \cdot k}{T_m}$$

Dado: *Una banda que pesa 550 newtons por metro (38 lbs_f/pies) está cargando 3000 newtons por metro (205 lbs_f/pies) de material. Los rodillos están espaciados a 600 milímetros (2 pies) y la tensión en el área es de 24000 newtons (5400 lbs_f).* ***Calcular:*** *El hundimiento de la banda.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
ΔY_s	Hundimiento de la banda	milímetros	pulgadas
W_b	Peso (fuerza) de la banda por longitud de la banda	550 N/m	38 lbs_f/pies
W_m	Peso (fuerza) del material por longitud de la banda	3000 N/m	205 lbs_f/pies
S_i	Espaciado de los rodillos	600 mm	2 pies
T_m	Tensión de la banda	24000 N	5400 lbs_f
k	Factor de conversión	0.038	1.5

$$\text{Métrica: } \Delta Y_s = \frac{(550 + 3000) \cdot 600 \cdot 0.038}{24000} = 3.37$$

$$\text{Imperial: } \Delta Y_s = \frac{(38 + 205) \cdot 2 \cdot 1.5}{5400} = 0.135$$

ΔY_s	Hundimiento de la banda	3.37 mm	0.135 pulgadas

al soporte de la banda por el peso de la banda, la carga del material y el sistema de faldón, es igual a la tensión. No hay necesidad de incluir la extracción de los rodillos, la inclinación del transportador u otros factores posibles, puesto que las estimaciones proporcionadas por este método en la mayoría de los casos producirán resultados más altos que el consumo de energía experimentado en el uso real. En aplicaciones donde hay un lubricante, como agua, presente de manera consistente, los requerimientos de potencia real pueden ser la mitad o hasta menos de la cantidad estimada por estos cálculos.

Puede calcularse la tensión agregada por un sistema de soporte del sellado en el chute lateral **(Ecuación 10.4)**.

Puede calcularse la tensión agregada por una base de impacto **(Ecuación 10.5)**.

Las tensiones debidas a la base de impacto y la cama de soporte pueden relacionarse con los requerimientos de energía agregados al impulso de una banda transportadora **(Ecuación 10.6)**.

PAGUE AHORA O PAGUE (MÁS) DESPUÉS

En resumen...

Los cambios que parecen simples en el sistema de un transportador, como cambiar la especificación de la banda o agregar soporte a la banda, pueden derivar en cambios drásticos en la potencia de impulso requerida.

En su sexta edición de *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS (BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL)*, la CEMA detalla una fórmula relativamente compleja para determinar la tensión de una banda transportadora y los requerimientos de potencia. Los programas de computadora actuales para el diseño de transportadores ofrecen ecuaciones similares y, con los datos correctos, realizarán los cálculos.

La instalación de sistemas de soporte para bandas mejorados puede aumentar los requerimientos de potencia de impulso del transportador. No obstante, las verdaderas implicaciones de los sistemas de soporte para bandas mejorados se ven cuando al compararse con el consumo de energía de un transportador donde los cojinetes de los rodillos se arrastran o los mismos rodillos acumulan material debido a los derrames en el punto de transferencia inducido por el hundimiento de la banda.

Como lo demostró R. Todd Swinderman en el ensayo "The Conveyor Drive Power Consumption of Belt Cleaners" (El consumo de potencia de impulso de los limpiadores de banda en un transportador, *Referencia 10.3)*, "el material fugitivo también puede perjudicar la operación de los sistemas de transportadores al aumentar significativamente el consumo de energía". Por ejemplo, Swinderman calculó que un solo conjunto de rodillos de impacto congelado requeriría aproximadamente 1.2 kilowatts de potencia adicional (1.6 hp) mientras que un conjunto de rodillos de acero

$$\Delta T_s = (W_b \cdot L_b \cdot 0.1) + (F_{ss} \cdot 2 \cdot L_b)$$

Dado: *Una banda transportadora que pesa 130 newtons por metro (9 lbs_f/pies) es soportada debajo del sello por 6 metros (20 pies). El sello presiona la banda con una fuerza de 45 newtons por metro (3 lbs_f/pies).*
Calcular: *La tensión agregada a la banda debido al soporte del sellado.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
ΔT_s	Tensión agregada a la banda debido al soporte del sellado	newtons	libras-fuerza
W_b	Peso (fuerza) de la banda por longitud de la banda	130 N/m	9 lbs_f/pies
F_{ss}	Carga de sellado del faldón de caucho	45 N/m	3 lbs_f/pies
L_b	Soporte de la longitud de la banda	6 m	20 pies
Métrica: $\Delta T_s = (130 \cdot 6 \cdot 0.1) + (45 \cdot 2 \cdot 6) = 618$			
Imperial: $\Delta T_s = (9 \cdot 20 \cdot 0.1) + (3 \cdot 2 \cdot 20) = 138$			
ΔT_s	Tensión agregada a la banda debido al soporte del sellado	618 N	138 lbs_f

Ecuación 10.4

Cálculo de la tensión agregada a la banda debido al soporte del sellado

10

Ecuación 10.5

Cálculo de la tensión agregada a la banda debido a la base de impacto

$$\Delta T_{IB} = (W_b \cdot L_b) + (F_{ss} \cdot 2 \cdot L_b) + \left(\frac{Q \cdot L_b \cdot k}{V} \right)$$

Dado: *Una banda transportadora que pesa 130 newtons por metro (9 lb_f/pies) es soportada por una base de impacto por 1.5 metros (5 pies). El sello presiona la banda con una fuerza de 45 newtons por metro (3 lbs_f/pies). La banda transporta 275 toneladas por hora (300 tc/h) y viaja a 1.25 metros por segundo (250 pies/min).* ***Calcular:*** *La tensión agregada a la banda debido a la base de impacto.*

Variables		Métrica	Imperial
ΔT_{IB}	Tensión agregada a la banda debido a la base de impacto	newtons	libras-fuerza
W_b	Peso (fuerza) de la banda por longitud de la banda	130 N/m	9 lbs_f/pies
L_b	Soporte de la longitud de la banda	1.5 m	5 pies
F_{ss}	Carga de sellado del faldón de caucho	45 N/m	3 lbs_f/pies
Q	Flujo de material	275 t/h	300 tc/h
V	Velocidad de la banda	1.25 m/s	250 pies/min
k	Factor de conversión	2.725	33.33

Métrica: $\Delta T_{IB} = (130 \cdot 1.5) + (45 \cdot 2 \cdot 1.5) + \left(\frac{275 \cdot 1.5 \cdot 2.725}{1.25} \right) = 1230$

Imperial: $\Delta T_{IB} = (9 \cdot 5) + (3 \cdot 2 \cdot 5) + \left(\frac{300 \cdot 5 \cdot 33.33}{250} \right) = 275$

ΔT_{IB}	Tensión agregada a la banda debido a la base de impacto	1230 N	275 lbs_f

Ecuación 10.6

Cálculo del consumo de energía agregado al impulso de la banda debido al soporte de impacto y sellado

$$P = (\Delta T_S + \Delta T_{IB}) \cdot V \cdot \mu_{ss} \cdot k$$

Dado: *Una banda transportadora que recorre 1.25 metros por segundo (250 pies/min) está soportada por una base de impacto y un sistema de soporte del sello que agrega 1230 newtons (275 lbs_f) y 618 newtons (138 lbs_f) respectivamente. Los sistemas de soporte usan una superficie deslizante de UHMW.* ***Calcular:*** *El consumo de energía agregada al impulso debido al soporte de impacto y sellado.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
P	Consumo de energía agregado a la energía motriz de la banda	kilowatts	caballos de fuerza
ΔT_S	Tensión agregada a la banda debido al soporte del sellado *(calculada en la ecuación 10.4)*	618 N	138 lbs_f
ΔT_{IB}	Tensión agregada a la banda debido a la base de impacto *(calculada en la ecuación 10.5)*	1230 N	275 lbs_f
V	Velocidad de la banda	1.25 m/s	250 pies/min
μ_{ss}	Coeficiente de fricción Según CEMA 575-2000	0.5 – UHMW 1.0 – Poliuretano 1.0 – Caucho	0.5 – UHMW 1.0 – Poliuretano 1.0 – Caucho
k	Factor de conversión	1/1000	1/33000

Métrica: $P = \frac{(618 + 1230) \cdot 1.25 \cdot 0.5}{1000} = 1.15$

Imperial: $P = \frac{(138 + 275) \cdot 250 \cdot 0.5}{33000} = 1.56$

P	Consumo de energía agregado a la energía motriz de la banda	1.15 kW	1.56 hp

atascado puede demandar hasta 0.27 kilowats (0.36 hp). Un rodillo con una acumulación de material de 25 milímetros (1 pulgada) agregaría 0.32 kilowats de potencia adicional (0.43 hp) a los requerimientos de impulso del transportador. Estos requerimientos adicionales se multiplicarían por el número de rodillos afectados.

El uso de soporte de banda y técnicas de sellado mejorados implica requerimientos adicionales a los sistemas de impulso del transportador. Sin embargo, estos requerimientos y costos adicionales parecerán menores cuando se comparan con el consumo de energía al operar un rodillo "congelado" o varios rodillos que trabajan con una acumulación de material. Al implementar los sistemas de soporte para bandas adecuados, una planta puede prevenir los múltiples y costosos problemas que surgen del escape de material fugitivo.

Sería mejor diseñar un sistema que incorpore un consumo de energía un poco elevado para prevenir derrames, en vez de sufrir el consumo de energía mucho más alto y mayores consecuencias que surgen debido al material fugitivo. Los costos de la instalación y operación de los sistemas de soporte para bandas representan una inversión en la eficacia.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre el Soporte de la banda, el quinto capítulo en la sección Cargar la banda, abordó la importancia de los sistemas de soporte para bandas adecuados para mantener una trayectoria de banda estable para así prevenir el material fugitivo y el polvo. Los siguientes tres capítulos continúan con esta sección y discuten las maneras adicionales de prevenir los derrames enfocándose en los chutes laterales, revestimientos de desgaste y sistemas de sellado del borde.

REFERENCIAS

10.1 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). “Conveyor Installation Standards for Belt Conveyors Handling Bulk Materials.” En *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*, Apéndice D, págs. 575–587. Naples, Florida.

10.2 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*, pág. 133. Naples, Florida.

10.3 Swinderman, R. Todd, Martin Engineering. (May 1991). “The Conveyor Drive Power Consumption of Belt Cleaners,” *Bulk Solids Handling*, págs. 487–490. Clausthal-Zellerfeld, Alemania: Trans Tech Publications.

11

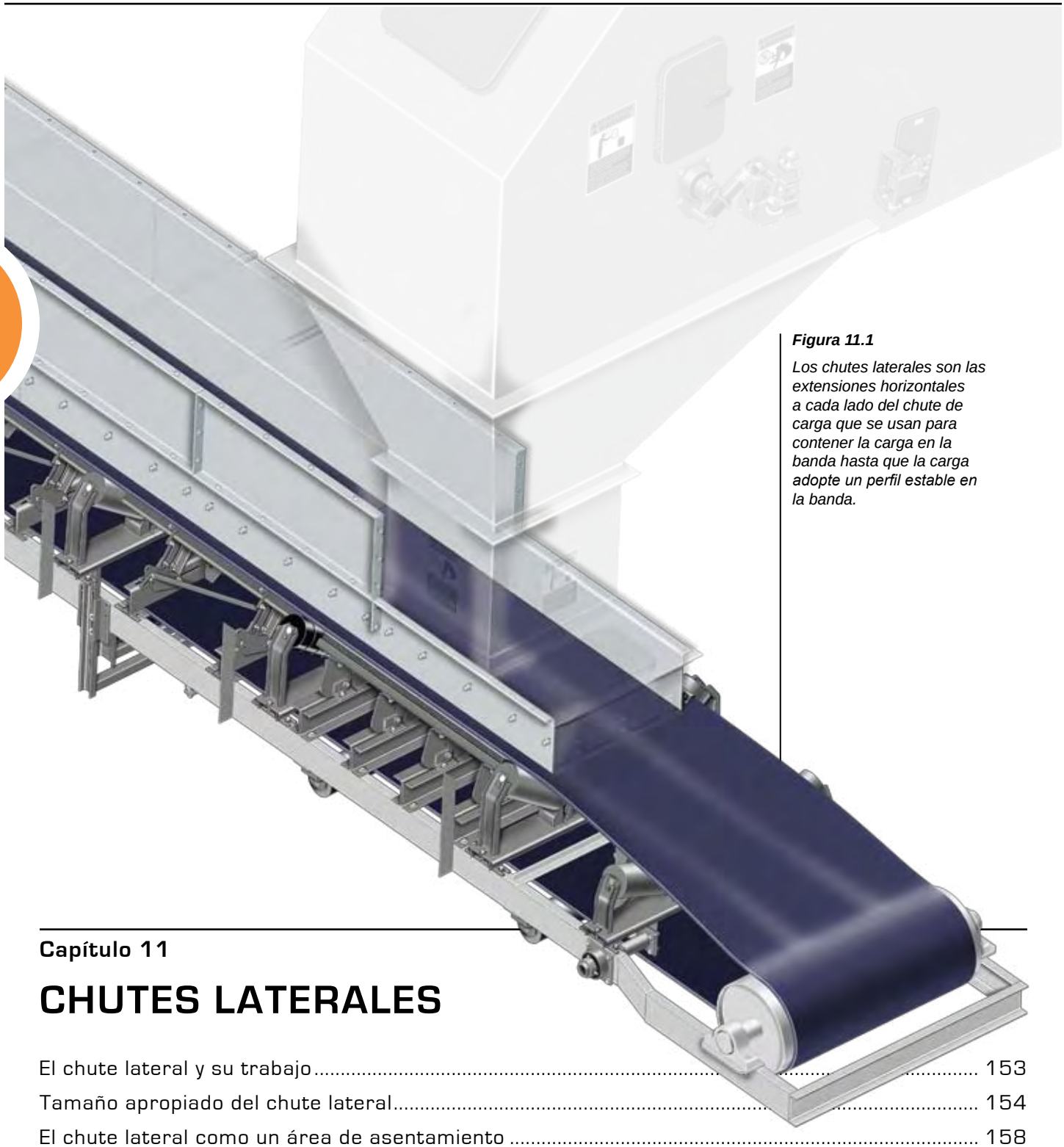


Figura 11.1

Los chutes laterales son las extensiones horizontales a cada lado del chute de carga que se usan para contener la carga en la banda hasta que la carga adopte un perfil estable en la banda.

Capítulo 11

CHUTES LATERALES

El chute lateral y su trabajo 153
Tamaño apropiado del chute lateral 154
El chute lateral como un área de asentamiento 158
Construcción del chute lateral 159
Cuestiones de seguridad 162
Mantenimiento del sistema 162
Especificaciones típicas 163
Temas avanzados 163
Cómo llegar a una conclusión sobre el chute lateral 168

Figura 11.2

El chute lateral generalmente se extiende hacia fuera del punto de carga en la dirección de recorrido del material a ambos lados de la banda, confinando y dando forma a la carga hasta que se asienta en el perfil deseado.

En este capítulo...

En este capítulo abordaremos los chutes laterales y las funciones que sirven para reducir los derrames y el polvo. Proporcionamos ecuaciones para determinar la longitud y el ancho adecuado de chutes laterales y damos ejemplos de ambos. Además incluimos información sobre la construcción de chutes laterales.

Los chutes laterales se usan para contener la carga a medida que el material se coloca sobre la banda hasta que éste adopta un perfil estable **(Figura 11.1)**. Los chutes laterales, que pueden conocerse en la industria como tabla delantal, faldeo de acero o algunas veces simplemente chute o conjunto de chutes, casi siempre se construyen con placas de acero. En este libro, el término chute lateral se usa para definir el material de construcción que se extiende desde el punto de carga en la dirección que viaja el material en ambos lados de la banda **(Figura 11.2)**. Los términos "faldeo de caucho", "sello de chute lateral", "limpiadores laterales", "sello de polvo", "tiras de sello", "sellado" y "sello del faldón" se refieren a la tira de elastómero instalada en el chute lateral de metal para impedir el escape de finos. *(Vea el Capítulo 13: Sistemas de faldón del borde).*

El propósito principal del chute lateral es mantener la carga en el transportador, impidiendo que el material se derrame por el borde de la banda mientras la carga se asienta en el canal de la banda y alcanza la velocidad de la misma. El chute lateral de cada punto de transferencia debe ser diseñado para corresponder a las características del material a transferir, el transportador receptor, la altura de la descarga entre los transportadores y la manera en que se carga y usa el punto de transferencia.

Las mejores prácticas para el diseño del chute y el chute lateral ahora ofrecen la oportunidad de un sistema de manejo de material más limpio y más eficaz. Este capítulo aborda lo que se ha convertido en la mejor práctica para el diseño y la aplicación de los sistemas de chutes laterales en el punto de transferencia.

EL CHUTE LATERAL Y SU TRABAJO

El chute lateral y el revestimiento o placa de desgaste colocado dentro de éste se combinan con el sistema de faldón de elastómero para formar un sello de capas múltiples **(Figura 11.3)**. Las tiras de sello de elastómero no pueden y no debe esperarse que resistan a presiones laterales de material significativas o contacto con piezas de material mayores a finos pequeños. El chute lateral y el revestimiento de desgaste forman las primeras líneas de defensa y pretenden contener el material fugitivo y prevenir cualquier presión de descarga presente en el sistema al colocar el material en contacto con el sistema de faldón que por lo tanto lo desgasta de manera prematura.

Además, los chutes laterales y su recubrimiento forman una zona de asentamiento que se usa para el manejo eficaz del polvo **(Figura 11.4)**. En la zona de asentamiento, la corriente de aire que viaja con el flujo de material en movimiento se desacelera y se controla, lo que permite que las partículas en el ambiente regresen al cuerpo de material principal **(Figura 11.5)**.

Figura 11.3

El chute lateral se combina con el revestimiento de desgaste del punto de transferencia y el sistema de faldón para formar un sello eficaz de capas múltiples.

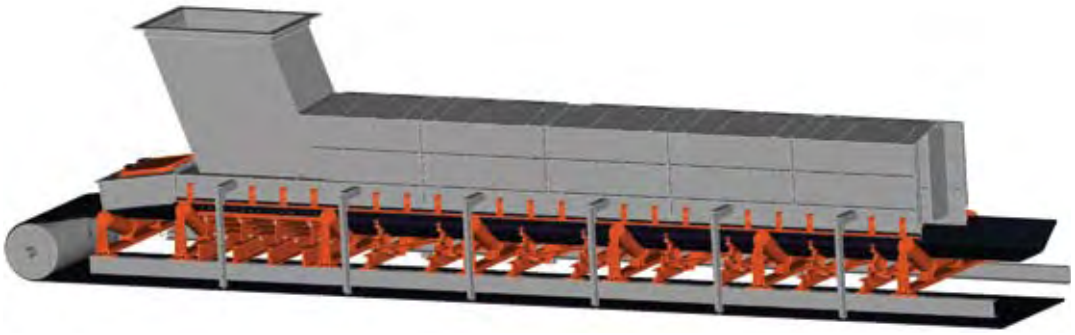


Figura 11.4

La zona de asentamiento generalmente es una porción ampliada del área del chute lateral cubierta en el punto de transferencia.

Un chute lateral de tamaño inadecuado siempre deriva en un desempeño pobre del transportador en formas de derrame de material, finos de material fugitivo, polvo en exceso y costos de operación mucho mayores para el usuario final. Es imperativo que los chutes laterales se diseñen apropiadamente en longitud y altura de modo que el material fugitivo pueda contenerse y controlarse.

TAMAÑO APROPIADO DEL CHUTE LATERAL

Longitud del chute lateral

La longitud de un chute lateral se refiere a la longitud adicional de la pared de acero que va más allá de la zona de impacto. La zona de impacto es el área del chute de carga si se extendiera hasta la banda.

El chute lateral debe extenderse en la dirección de recorrido de la banda después del punto donde la carga de material se ha asentado por completo en el perfil que debe mantener por el resto de su recorrido en el transportador.

Algunas veces la carga nunca se estabiliza por completo y por lo tanto, se requiere el chute lateral en toda la longitud del transportador. Esto es más común con materiales muy finos que fácilmente son transportados por el ambiente, materiales que tienden a enrollarse o transportadores con puntos de carga múltiples. Los alimentadores de la banda, normalmente cortos en longitud y cargados hasta casi el ancho total de la banda, por lo general requieren de faldeo en toda su longitud.

Figura 11.5

Esta zona de asentamiento reduce la velocidad del aire y permite que el producto transportado se asiente y que escape aire más limpio.

La longitud máxima del chute lateral debe basarse en el movimiento de aire total y la velocidad de la banda usando los siguientes lineamientos:

A. Medidas métricas

Si el flujo de aire es menor a 0.5 metros cúbicos por segundo, la longitud del chute lateral es 0.6 metros por cada 0.5 metros por segundo de velocidad de la banda. Si el flujo de aire es mayor a 0.5 metros cúbicos por segundo, la longitud del chute lateral es 0.9 metros por cada 0.5 metros por segundo de velocidad de la banda.

B. Medidas imperiales

Si el flujo de aire es menor a 1000 pies cúbicos por minuto, la longitud del chute lateral es de 2 pies de chute lateral por cada 100 pies por minuto de velocidad de la banda. Si el flujo de aire es mayor de 1000 pies cúbicos por minuto, la longitud del chute lateral es de 3 pies por cada 100 pies por minuto de velocidad de la banda. *(Vea Temas avanzados: Ecuación 11.1).*

Para prevenir el derrame o daño a la banda, el chute lateral debe terminar por encima de un rodillo y no entre ellos **(Figura 11.6)**. Esto puede aumentar la longitud general del chute lateral.

Lo que puede proporcionar una respuesta más clara para la longitud del chute lateral es la necesidad de encerrar los sistemas colectores de polvo y/o de supresión de polvo como se discute en otra sección de este libro. *(Vea el Capítulo 19: Supresión del polvo y Capítulo 20: Colección del polvo).* Las paredes de un

compartimiento de control de polvo pueden servir eficazmente como un chute lateral pues tienen la longitud necesaria para sistemas eficaces de control de polvo que generalmente proporcionan más de lo requerido para estabilizar la carga.

Las desventajas de aumentar la longitud del chute lateral son el costo de mantenimiento adicional para revestimientos y sellos más largos, un aumento mínimo en el costo del acero para las paredes y un leve aumento en los requerimientos de potencia del transportador. El consumo de potencia adicional resulta por la fricción agregada creada por la pared de acero más larga y la longitud adicional por la instalación del faldón de sellado. Esto generalmente es un aumento modesto que proporciona beneficios a largo plazo que superan por mucho el costo de adelanto mínimo. *(Para más información sobre el consumo de potencia de los sistemas de faldón del borde, vea el Capítulo 13: Sistemas de faldón del borde).*

También hay ocasiones en que las condiciones como la inclinación de la banda, la forma del producto transportado o la profundidad de la base de material requieren que la longitud del área de faldeo se aumente significativamente para impedir el derrame de material.

Cuando haya duda, siempre es mejor tener un chute lateral un poco más largo de lo requerido como mínimo de acuerdo a la ecuación anterior. Un 25 por ciento adicional en la longitud del área de asentamiento adicional es una recomendación que mejorará el control del polvo con un aumento mínimo en los requerimientos de potencia y gasto por el acero.

Cuando el transportador incorpora zonas de carga múltiples, el cálculo debe usar el flujo de aire total de todos los puntos de carga para establecer las dimensiones mínimas de la zona de asentamiento después del último punto de carga.

Ancho del chute lateral

La distancia entre los dos lados del chute lateral generalmente es determinada por los requerimientos de capacidad de la banda; el espacio necesario para establecer un sello eficaz en la parte exterior del chute lateral a menudo también se ignora.

La importancia de diseñar el sistema de modo que haya suficiente distancia hasta la "banda libre" (entre la parte exterior del chute lateral y el borde de la banda exterior) no debe pasarse por alto. El diseñador de un transportador siempre debe considerar el efecto que tiene un posible desalineamiento de la banda en la capacidad de sellar eficazmente entre el sistema del chute lateral fijo y la banda en movimiento. Al mantener la mayor distancia posible de la "banda libre", el diseñador puede ayudar a eliminar una gran parte de los problemas de derrames y polvo comunes que a menudo se asocian con la transferencia de materiales a granel de un transportador a otro. Los beneficios obtenidos al mantener la distancia de la "banda libre" correcta para permitir un sistema de sellado de chute lateral mejorará aún más con la incorporación del soporte de la banda apropiado debajo del chute lateral y la instalación de un sistema de sellado de chute lateral altamente eficaz. *(Vea el Capítulo 10: Soporte de la banda y el Capítulo 13: Sistemas de faldón del borde).*

Puesto que el acto de canalizar una banda funciona para disminuir el ancho de la banda, la frase "ancho de la banda eficaz" se usa para representar el ancho de una banda canalizada. Éste no es el ancho de carga (la distancia entre los chutes laterales) sino más bien la medida del ancho horizontal de una banda transportadora canalizada que mide el ancho paralelo al rodillo inferior **(Figura 11.7)**.

Existen varios estándares para establecer la distancia entre los chutes laterales y por lo tanto establecer la distancia del borde de la "banda libre". La Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas Transportadoras (CEMA) y el Deutsches Institut für Normung (DIN 22101) han establecido fórmulas que pueden consultarse.

Las mejores prácticas indican que para asegurar un borde de la "banda libre" adecuado para aplicar apropiadamente los sellos del faldón y proporcionar una tolerancia de desalineamiento de la banda, los chutes laterales deben ubicarse con un mínimo de 115

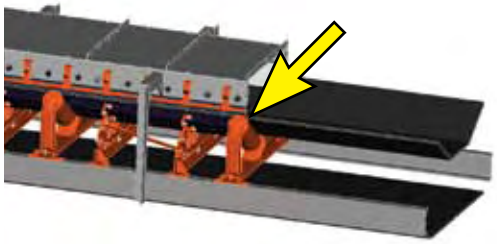


Figura 11.6

Los chutes laterales de acero deben terminar por encima de un rodillo para impedir un derrame o dañar la banda.

11

Diseño recomendado de la zona de carga — **Tabla 11.1**

I) Ancho de la banda		II) Ángulo de canalización			III) Ancho de la banda eficaz (*Vea la Figura 11.7 "A"*)				IV) Ancho del chute recomendado (*Vea la Figura 11.7 "B"*)								
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
Métrico (mm)	300	0°	300	NR	1400	0°	1400	1170	2600	0°	2600	2370	3000	0°	3000	2770	Métrico (mm)
		20°	288	NR		20°	1344	1128		20°	2495	2279		20°	2879	2663	
		30°	273	NR		30°	1275	1076		30°	2368	2169		30°	2732	2533	
		35°	264	NR		35°	1231	1043		35°	2287	2098		35°	2638	2450	
		40°	253	NR		40°	1182	1005		40°	2194	2018		40°	2532	2356	
		45°	241	NR		45°	1127	964		45°	2092	1930		45°	2414	2252	
	500	0°	500	270	1600	0°	1600	1370	2800	0°	2800	2570	3200	0°	3200	2970	
		20°	480	264		20°	1536	1320		20°	2687	2471		20°	3071	2855	
		30°	455	NR		30°	1457	1258		30°	2550	2351		30°	2914	2715	
		35°	440	NR		35°	1407	1219		35°	2462	2274		35°	2814	2626	
		40°	422	NR		40°	1350	1174		40°	2363	2187		40°	2701	2525	
		45°	402	NR		45°	1288	1125		45°	2253	2091		45°	2575	2413	
	650	0°	650	420	1800	0°	1800	1570	18	0°	18.0	9.0	54	0°	54.0	45.0	Imperial (pulgada)
		20°	624	408		20°	1728	1512		20°	17.3	8.8		20°	51.8	43.4	
		30°	592	393		30°	1639	1440		35°	15.8	NR		35°	47.5	40.1	
		35°	572	383		35°	1583	1395		45°	14.5	NR		45°	43.5	37.1	
		40°	549	372		40°	1519	1343	24	0°	24.0	15.0	60	0°	60.0	51.0	
		45°	523	360		45°	1449	1286		20°	23.0	14.6		20°	57.6	49.1	
	800	0°	800	570	2000	0°	2000	1770		35°	21.1	NR		35°	52.8	45.4	
		20°	768	552		20°	1920	1703		45°	19.3	NR		45°	48.3	41.9	
		30°	729	529		30°	1821	1622	30	0°	30.0	21.0	72	0°	72.0	63.0	
		35°	704	515		35°	1759	1570		20°	28.8	20.3		20°	69.1	60.6	
		40°	675	499		40°	1688	1512		35°	26.4	19.0		35°	63.3	55.9	
		45°	644	481		45°	1609	1447		45°	24.1	17.8		45°	57.9	51.6	
	1000	0°	1000	770	2200	0°	2200	1970	36	0°	36.0	27.0	84	0°	84.0	75.0	
		20°	960	744		20°	2112	1895		20°	34.6	26.1		20°	80.6	72.2	
		30°	911	711		30°	2004	1804		35°	31.7	24.3		35°	73.9	66.5	
		35°	879	691		35°	1935	1746		45°	29.0	22.6		45°	67.6	61.2	
		40°	844	668		40°	1857	1681	42	0°	42.0	33.0	96	0°	96.0	87.0	
		45°	805	642		45°	1770	1608		20°	40.3	31.9		20°	92.1	83.7	
	1200	0°	1200	970	2400	0°	2400	2170		35°	36.9	29.6		35°	84.4	77.1	
		20°	1152	936		20°	2304	2087		45°	33.8	27.4		45°	77.3	70.9	
		30°	1093	894		30°	2186	1986	48	0°	48.0	39.0	108	0°	108.0	99.0	
		35°	1055	867		35°	2111	1922		20°	46.1	37.6		20°	103.7	95.2	
		40°	1013	837		40°	2026	1849		35°	42.2	34.8		35°	95.0	87.6	
		45°	966	803		45°	1931	1769		45°	38.6	32.3		45°	86.9	80.5	
													120	0°	120.0	111.0	
														20°	115.2	106.7	
														35°	105.5	98.2	
														45°	96.6	90.2	

Notas: Las dimensiones se determinaron por cálculos en vez de mediciones en el campo. Las medidas métricas se redondearon al milímetro más próximo. Las medidas imperiales se redondearon a un decimal. No se consideró el grosor del acero del chute o chute lateral. Se asumieron rodillos de canalización de tres piezas de igual longitud. Las distancias del borde de la banda en unidades métricas se consideraron en 90 mm para el sellado lateral + 25 mm para el margen de la desalineación de la banda. Las distancias del borde de la banda en medidas imperiales se consideraron en 3.5 pulgadas para el sellado lateral + 1 pulgada para el margen de la desalineación de la banda. No se consideró el tamaño de partícula del material a granel.

milímetros (4.5 pulgadas) de ancho de la banda real en cada lado de la banda transportadora **(Tabla 11.1)**.

La distancia del borde debe aumentarse a un mínimo de 150 milímetros (6.0 pulgadas) cuando se usan cinco rodillos catenarios en la zona de carga para compensar por la desalineación de la banda adicional que es una característica de las bandas que usan rodillos catenarios.

El ancho del chute lateral debe revisarse para asegurarse de que la altura de la base del material que sale del área de faldeo y el ángulo de reposo del material no se combinen para crear una situación de derrame.

Altura de chute lateral

El ancho y la velocidad de la banda, el tamaño del terrón de material y la velocidad del aire en la descarga deben considerarse para determinar la altura del chute lateral requerida para un punto de transferencia en especial.

El chute lateral debe ser suficientemente alto para contener la carga de material cuando la banda está operando a una capacidad normal y para pasar los terrones sin atascarse. A medida que aumenta el tamaño de los terrones incluidos en la carga, también debe aumentar la altura del chute lateral; como mínimo, la altura debe ser suficiente para contener las piezas más grandes. El chute lateral debe ser suficientemente alto para contener dos de las piezas más grandes apiladas una sobre la otra.

En la sexta edición de *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS* (*BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL)*, la CEMA ha publicado tablas especificando la altura mínima de los chutes laterales sin cubierta en los transportadores con rodillos de 20, 35 y 45 grados que transportan cargas con terrones de diferentes tamaños. En resumen, se especifica que aproximadamente 300 milímetros (12 pulgadas) es suficientemente alto para partículas de 50 milímetros (2 pulgadas) o menos, transportadas en las bandas canalizadas de 20 grados o planas con hasta 1800 milímetros (72 pulgadas) de ancho o para las bandas canalizadas de 35 grados y 45 grados con hasta 1200 milímetros (48 pulgadas) de ancho. La tabla especifica chutes laterales con una altura mínima de 825 milímetros (32.5 pulgadas) para las bandas con anchos de hasta 2400 milímetros (96 pulgadas) con terrones de hasta 450 milímetros (18 pulgadas).

Para materiales que puedan crear un problema de polvo, es una buena práctica aumentar la altura del área de faldeo para que sirva como un pleno, un espacio que reducirá la presión de aire positivo. Esta área servirá para "asentar" el aire repleto de polvo de modo que las partículas puedan regresar a la carga del transportador.

Para un máximo control de polvo, las paredes del chute (chutes laterales) deben ser suficientemente altas para suministrar un área de sección transversal en la zona de carga que proporcione una velocidad de aire máxima encima de la base de producto menor a 1 metro por segundo (200 pies/min). *(Vea Temas avanzados: Ecuación 11.2).* Este volumen mayor combinado con varias cortinas de polvo proporciona una cámara amplia para adecuar las presiones positivas del movimiento de aire sin que los materiales a granel más comunes sean expulsados del compartimiento **(Figura 11.8)**. En muchas circunstancias, para lograr esta velocidad de aire limitada, la altura del chute lateral debe aumentarse a 600 milímetros (24 pulgadas) o más. Materiales muy ligeros con partículas extremadamente pequeñas o materiales polvorosos pueden requerir velocidades de salida tan bajas como 0.25 metros por segundo (50 pies/min).

El chute lateral aún debe ser suficientemente

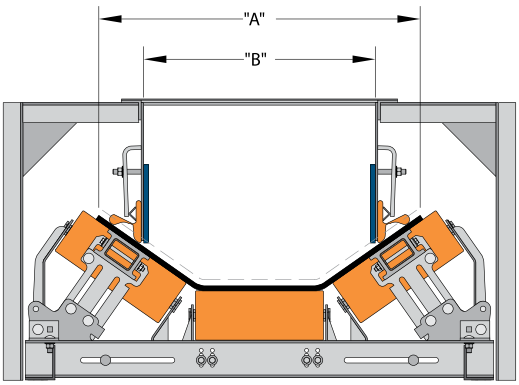


Figura 11.7

El ancho de la banda eficaz (A) es el ancho de la banda transportadora cuando se canaliza. La distancia del transporte de la carga real (B) después se reduce por el requerimiento del sellado del faldón afuera del chute lateral.

Figura 11.8

La altura del chute lateral puede aumentarse para reducir la velocidad del aire, minimizando las presiones positivas del movimiento de aire sin que los materiales a granel más comunes escapen del compartimiento.

alto para contener el terrón más grande de la carga si se coloca en la parte superior del perfil de carga del material. Si el cálculo no produce una altura suficiente, la altura calculada debe reemplazarse con una altura de 2.5 veces el terrón más grande.

Obviamente, hay un límite práctico para la altura que puede tener un chute lateral. Si el requerimiento de altura de la zona de asentamiento/chute lateral es demasiado, será necesario instalar un sistema de colección de polvo que sea responsable del movimiento de aire total en el punto de transferencia y un sistema de control de polvo activo (por ejemplo, sistema de supresión de polvo o una cámara de bolsas con sistema de colección de polvo).

Las paredes del chute deben ser suficientemente altas y ubicadas de manera tal que los colectores de polvo no jalen los finos de la pila. Los colectores pueden jalar tanto material que se obstruyen rápidamente. Si las paredes del chute lateral no son suficientemente altas, la energía se desperdiciará eliminando el polvo que se hubiera asentado solo y el sistema de colección de polvo sería más grande y más costoso de lo necesario. *(Vea la discusión sobre las zonas de asentamiento en el Capítulo 18: Control pasivo del polvo).*

EL CHUTE LATERAL COMO ÁREA DE ASENTAMIENTO

Se recomienda cubrir el chute lateral con un sistema de acero o tela para el control de polvo **(Figura 11.9)**. A menos que exista una razón específica para no cubrirlo, el chute lateral debe encerrarse con un recubrimiento, tapa o techo. El recubrimiento del chute lateral se requiere para crear el pleno necesario para permitir que el polvo se asiente y se calme el movimiento de aire. Un pleno grande es útil para controlar las nubes de polvo impulsadas por las fuerzas de transferencia del flujo de material. *(Vea el Capítulo 7: Control del aire y el Capítulo 18: Control pasivo del polvo).*

Figura 11.9

Cubrir el chute lateral con un sistema de acero o tela se recomienda para crear el pleno necesario que permita el asentamiento del polvo y se aplaque el movimiento de aire.

La incorporación de las cortinas de polvo colocadas adecuadamente dentro del sistema de recubrimiento del chute lateral ayudará a desacelerar el flujo de aire y a disminuir significativamente la liberación del polvo en el ambiente por el extremo de la salida del punto de transferencia. *(Vea el Capítulo 18: Control pasivo del polvo, para más información sobre cortinas de polvo).*

Además, colocar un "techo" sobre el chute lateral encerrará el terrón de material ocasional que por medio de alguna circunstancia aleatoria pasa por el chute de carga a la banda con la fuerza suficiente para "rebotarlo" completamente fuera de la banda.

La CEMA recomienda que estos recubrimientos de chute lateral sean diagonales desde el chute de carga al chute lateral, para el material que aún no se mueve a la velocidad de la banda y así evitar atascamiento de material. En *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS* (*BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL), sexta edición*, la CEMA proporciona tablas sobre las alturas mínimas de los chutes laterales sin cubierta y el ancho mínimo de la banda en base al tamaño del terrón. Una práctica generalmente aceptada es mantener el ancho y la altura del chute lateral al menos 2.5 veces el tamaño del terrón más grande. Al mantener los chutes laterales altos, se logran dos objetivos: evitar atascamientos de material y proporcionar un área grande para disipar la velocidad del aire y permitir que se asiente el polvo.

Las cubiertas del chute lateral no son "cubiertas" semicirculares comúnmente vistas a lo largo del recorrido del transportador sino más bien normalmente son un techo plano entre los dos chutes laterales. En la mayoría de los casos, una cubierta de acero es la mejor opción. Estas cubiertas pueden sujetarse en su lugar con abrazaderas, lo que permite la inspección y el mantenimiento. Con más frecuencia se aplica tela o caucho para conectar el equipo vibratorio a los chutes o chutes laterales fijos.

La cubierta debe diseñarse de manera que soporte el peso de un trabajador, o debe bloquearse con guardas y marcarse con una advertencia de "No pisar", de modo que nadie caiga por la cubierta.

Las aperturas en el chute lateral o

recubrimientos deben proporcionarse para dar mantenimiento e inspeccionar; estas aperturas deben proporcionarse con puertas para evitar que el material escape y minimizar el flujo de salida del aire.

CONSTRUCCIÓN DEL CHUTE LATERAL

Espacio libre sobre la banda

Aun en las condiciones más ideales, los chutes laterales de acero pueden ser peligrosos para la banda. Las fluctuaciones en la línea de recorrido de la banda pueden permitir que ésta se mueva contra el acero, donde puede perforarse o cortarse. Además, el material puede introducirse debajo del chute lateral y raspar la superficie de la banda.

Es crítico elevar los bordes inferiores del chute lateral suficientemente retirados del transportador de manera que nunca entren en contacto con el recubrimiento de la banda. A medida que aumenta la distancia sobre la banda, también aumenta la dificultad de proporcionar un sellado eficaz. El chute lateral algunas veces se instala con un espacio libre de varias pulgadas sobre la banda para facilitar el reemplazo de la misma. Cuando el acero se coloca a mucha distancia sobre la superficie de la banda, es prácticamente imposible proporcionar un sellado eficaz en la parte exterior de los chutes laterales cuando hay presión lateral.

Un sello ineficaz ocasiona problemas en cadena. El material se fuga, acumulándose en rodillos, lo que lleva a un desalineamiento y otros problemas que resultan en una línea de la banda inestable. La banda se flexiona hacia arriba y abajo, y se mueve de un lado a otro. Los ingenieros de la planta y el personal de mantenimiento, atentos a la necesidad de impedir que la banda entre en contacto con el conjunto de chutes, aumentan el espacio libre entre la banda y el chute lateral. Esto aumenta dramáticamente la dificultad para sellar el punto de transferencia, lo que ocasiona un aumento de derrames. Este aumento de derrames resulta en un ciclo vicioso continuo de desalineamiento de la banda, fallas en los componentes giratorios y aumento en los costos de operación.

Entre más cerca se coloquen el acero y la banda, más fácil será mantener un sello entre ellos. Es crítico proporcionar un alivio en la dirección del recorrido de la banda. La brecha debajo del acero debe formar una apertura en forma de cuña que permita al material cargado transportarse a lo largo del chute lateral de acero y el caucho de sellado en vez de introducirse en una apertura con la fuerza incesante del movimiento de la banda. El chute lateral debe abrirse gradualmente, horizontal y verticalmente, desde el punto de carga en la dirección de recorrido de la banda para permitir que el material atrapado se libere solo **(Figura 11.10)**.

Se recomienda que los bordes más bajos de las placas de faldeo se coloquen 6 milímetros (1/4 ó 0.25 pulgadas) sobre la banda en la entrada de la banda a la zona de carga. Esta dimensión debe aumentarse de manera uniforme en la dirección que viaja la banda de 9 a 12 milímetros (3/8 ó 0.38 a 0.5 pulgadas) a medida que la banda sale del chute lateral **(Figura 11.11)**. Este espacio libre cerrado no puede solucionarse a menos que se estabilice el recorrido de la banda a una tolerancia mas o menos de 1.5 milímetros (1/16 ó 0.063 pulgadas) en la entrada (polea de cola) del extremo del chute.

Es crítico que la línea central de la construcción del chute lateral esté en línea con la línea central de la banda para impedir que ésta se descentralice. Si no están en línea las dos, las fuerzas desiguales del centro de gravedad de la carga y la fricción contra el chute lateral provocarán una desalineación crónica de la banda y acelerarán el desgaste en los revestimientos de desgaste y sello del faldeo. Con el acero colocado cerca de la línea de la banda, es crítico para la seguridad de la banda impedir que ésta se eleve de los rodillos durante el arranque del transportador. Ésta es una razón por la cual no es conveniente la elevación de la polea de cola, conocida comúnmente como la disposición de canalización parcial, puesto que esta práctica promueve la elevación de la banda.

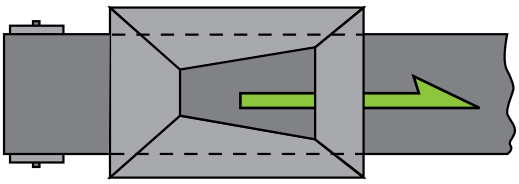


Figura 11.10

Para reducir el riesgo de que el material atrapado perfore la banda, el chute lateral debe abrirse (o autoaliviarse) horizontal y verticalmente en la dirección de recorrido de la banda. (La ilustración está aumentada para mostrar el efecto).

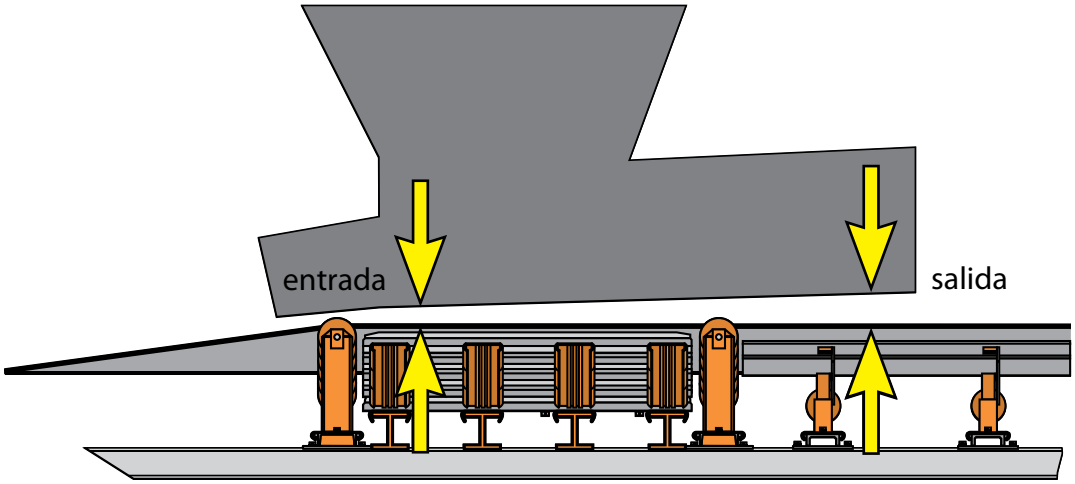


Figura 11.11

Los bordes más bajos de las placas de faldeo deben colocarse 6 milímetros (1/4 ó 0.25 pulgadas) por encima de la banda en la entrada de ésta a la zona de carga. Esta dimensión debe aumentarse de manera uniforme en la dirección que viaja la banda de 9 a 12 milímetros (3/8 ó 0.38 a 0.5 pulgadas) a medida que la banda sale del chute lateral.

El uso de una disposición de canalización parcial generalmente se hace con el propósito de acortar la distancia de la transición. *(Vea el Capítulo 6: Antes de la zona de carga, para mayor información sobre las transiciones de canalización parcial).* Es importante que las especificaciones y la tensión de la banda se calculen correctamente para minimizar el riesgo de elevar la banda de los rodillos. Pueden instalarse rodillos de sujeción para mantener la banda sobre los rodillos.

Los bordes inferiores ásperos o aceros pandeados pueden crear condiciones difíciles, capturando material que aumenta el arrastre en el impulso del transportador y/o raspa la superficie de la banda. Deben instalarse bloques de cerámica o placas de desgaste teniendo cuidado de evitar bordes puntiagudos o dentados que puedan atrapar material y dañar la banda **(Figura 11.12)**. La regla es mantener una superficie de flujo suave en el borde inferior del chute lateral y eliminar todos los puntos de atrapamiento. El acero del chute lateral y los revestimientos del chute deben instalarse con cuidado con todas las uniones bien acomodadas.

El espacio que queda entre el faldeo y la superficie de la banda debe sellarse con un sistema de faldón de elastómeros reemplazable y flexible que se aplica a la parte exterior del chute lateral. *(Vea el Capítulo 13: Sistemas de faldón del borde).*

Figura 11.12

El chute lateral debe instalarse de modo que mantenga una superficie de flujo suave en el borde inferior del chute lateral para eliminar todos los puntos de atrapamiento de material.

Construcción del chute lateral

La fortaleza y estabilidad del chute lateral son muy importantes para su éxito. Muchas veces el chute lateral del transportador está soportado por soportes voladizos que no son suficientemente sólidos para resistir el impacto del material o la vibración del equipo. Este riesgo es una falla estructural que pone en peligro a la banda y al mismo punto de transferencia.

El grosor del chute lateral debe ser suficiente para resistir las presiones laterales que puedan presentarse cuando el chute se obstruye o la banda rueda hacia atrás. Puesto que está ubicada cerca de la banda, debe impedirse cualquier movimiento del chute lateral para minimizar los riesgos de provocar daños.

Excepto en aplicaciones muy ligeras, el grosor mínimo del acero dulce que se usa en la construcción de chutes laterales debe ser de 6 milímetros (0.25 pulgadas). En las bandas que se mueven a más de 3.7 metros por segundo (750 pies/min.) o 1300 milímetros (54 pulgadas) o más de ancho, el grosor mínimo debe ser de 10 milímetros (3/8 de pulgada). Para aplicaciones con bandas que se mueven a más de 5 metros por segundo (1000 pies/min.) o 1800 milímetros (72 pulgadas) o más de ancho, el grosor mínimo debe ser de 12 milímetros (0.5 pulgadas).

Los chutes laterales deben instalarse en soportes de acero estructural en centros de aproximadamente 1.2 metros (48 pulgadas)

de modo que los soportes no interfieran con el espaciado o el acceso a las camas y rodillos de soporte de la banda. El diseño de soporte más común es un "marco en A" de perfil angular instalado con aproximadamente el mismo espaciado que los rodillos de retorno. Estos "marcos en A" deben ser sólidos y bien reforzados, además deben instalarse a suficiente distancia sobre la banda para permitir un acceso fácil para ajustar o reemplazar los sellos del chute lateral **(Figura 11.13)**.

Al menos un "marco en A" debe colocarse al inicio del chute lateral y otro en el extremo de éste. Un espaciado estrecho debe considerarse en la zona de impacto del transportador hasta el grado de duplicar la estructura de soporte.

Hay tamaños mínimos de perfil angular que necesitan usarse para construir estos "marcos en A" **(Tabla 11.2)**. Estas especificaciones son las más adecuadas para materiales de flujo libre y baja densidad. Para los alimentadores de la banda o para manejar materiales de alta densidad como minerales o reconcentrados, se requiere un acero más pesado y espaciado más estrecho.

Es importante que se proporcione un espacio libre apropiado entre la parte inferior de los soportes del chute lateral y la banda para dejar espacio para la instalación y mantenimiento de un sello de chute lateral y un sistema de abrazaderas. El espacio libre mínimo entre el soporte horizontal y la banda en la pared del chute lateral debe ser de 230 milímetros (9 pulgadas).

Si hay una vibración dinámica en el sistema provocada por el movimiento de la banda u otra maquinaria en operación como martillos perforadores, quebradoras o pantallas, es posible que deba aislarse el chute lateral.

Estas recomendaciones son para instalaciones de transportadores estándares y clasificaciones de trabajo normales donde la banda llega a la altura de la cintura aproximadamente y los rodillos son de un ancho estándar. Para otras aplicaciones como, por ejemplo, chutes laterales de "doble altura" o condiciones severas, puede requerirse una estructura de soporte adicional. Debe consultarse a un ingeniero estructural o de transportadores para recibir asesoría sobre el grosor del chute lateral y las estructuras de soporte requeridas.

Chutes laterales para transportadores con puntos de carga múltiples

Si la banda se carga en más de un punto a lo largo de la longitud del transportador, debe tenerse cuidado al colocar el chute lateral en los puntos de carga. El chute lateral en los puntos de carga subsecuentes debe diseñarse de modo que permita el paso libre del material cargado anteriormente sin que el chute lateral o el acero del chute del siguiente punto de carga lo saquen de la banda.

Puesto que es imposible confiar en que el material se cargue de manera uniforme y en el centro sobre un transportador con puntos de carga múltiple, cierta cantidad de arado y derrame del material probablemente es inevitable. Este material fugitivo contribuye

Figura 11.13

El chute lateral debe soportarse apropiadamente y la estructura de soporte debe estar suficientemente por encima de la banda para permitir el acceso al sistema de faldón.

Tabla 11.2

Tamaños de perfiles angulares recomendados para los soportes del chute lateral

Especificaciones del transportador	Tamaño del perfil angular para el marco en A
Abajo 3.7 m/s (750 pies/min) ó 1400 mm (54 pulgadas) de ancho	50 x 50 x 5 mm (2 x 2 x 3/16 de pulgada)
3.7 m/s a 5 m/s (750 pies/min a 1000 pies/min) ó 1400 mm a 1800 mm (54 a 72 pulgadas) de ancho	75 x 75 x 6.4 mm (3 x 3 x 1/4 de pulgada)
Arriba 5 m/s (1000 pies/min) ó 1800 mm (72 pulgadas) de ancho	75 x 75 x 9.5 mm (3 x 3 x 3/8 de pulgada)

a mayores costos de operación y limpieza, así como también fallas prematuras en el equipo. Por lo tanto, es una buena práctica incorporar chutes laterales continuos.

Cuando los puntos de carga sean relativamente estrechos, generalmente es mejor proporcionar un chute lateral continuo entre dos puntos de carga y un ángulo de canalización más profundo de lo que se usaría normalmente en lugar de usar chutes laterales individuales en cada punto de carga **(Figura 11.14)**.

Figura 11.14

Cuando un transportador tiene puntos de carga múltiples relativamente cercanos entre ellos, es mejor proporcionar un chute lateral continuo entre los puntos de carga.

Figura 11.15

Los transportadores soportados por aire son particularmente adecuados para zonas de carga múltiples puesto que requieren de una sola carga centrada en vez de chutes laterales convencionales o sellos de faldeo.

Otro método excelente para situaciones con zonas de carga múltiples sería instalar un transportador soportado por aire. Los transportadores soportados por aire son excepcionalmente adecuados para zonas de carga múltiples, puesto que requieren de una sola carga centrada en vez de chutes laterales convencionales o sellos de faldeo **(Figura 11.15)**. *(Vea el Capítulo 23: Transportadores soportados por aire).*

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Un chute lateral básicamente es una pared de acero sin partes móviles que requiere poco mantenimiento preventivo. Si el chute lateral también funciona como el revestimiento de desgaste, el desgaste puede ser un problema. El chute lateral puede ser sometido a corrosión y requerir de reemplazos periódicos. Si el transportador se atasca con frecuencia, el chute lateral puede deformarse, aumentando así la probabilidad de dañar la banda. Los recubrimientos del chute lateral deben fijarse en su lugar y cerrarse las puertas de acceso después de las inspecciones y el mantenimiento. Deben realizarse revisiones periódicas para asegurarse de que los chutes laterales sean estructuralmente capaces de contener los materiales a granel y de ser colocados apropiadamente por encima de la banda.

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Aun si se instala apropiadamente con alivio adecuado y sin bordes dentados, el chute lateral presenta un borde implacable en proximidad a la banda en movimiento. Debe tenerse cuidado al trabajar cerca del chute lateral para evitar quedar atrapado entre los componentes en movimiento y la estructura de acero.

Aun cuando se construyan con acero, los recubrimientos del chute lateral del transportador no deben usarse como pasillos ni como plataformas de trabajo. Deben colocarse guardas y marcarse con advertencias de "No pisar".

Cortar y soldar son los procedimientos de mantenimiento comunes en la zona de carga. Deben seguirse los procedimientos de"trabajo en caliente" y vigilancia anti incendio establecidos. Los chutes y las secciones de chute lateral cubiertos a menudo se consideran espacio reducido y requieren que los trabajadores sigan precauciones especiales. *(Vea el Capítulo 2: Seguridad, para más información sobre espacios confinados).* Los chutes y el equipo de alimentación pueden contener grandes cantidades de acumulación de materiales a granel sueltos que pueden desprenderse durante el mantenimiento. Deben seguirse los procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación establecidos.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

Las siguientes especificaciones son para transportadores que manejan materiales a granel de flujo libre y relativamente uniforme, como carbón y roca quebrada.

A. Punto de transferencia

El punto de transferencia se equipará con chutes laterales de acero en cada lado de la banda como una extensión del chute.

B. Asentamiento de la carga

Los chutes laterales serán suficientemente largos para permitir que la carga se asiente hasta tener el perfil para ser transportada.

C. Velocidad de aire reducida

El área transversal del chute lateral será suficiente para reducir la velocidad del aire a 1.0 metros por segundo (200 pies/min) para permitir que el polvo se asiente antes de que la carga salga del área de faldeo.

D. Recubrimientos

El sistema de chutes laterales incluirá recubrimientos que le permiten actuar como un pleno para que el polvo se asiente del aire.

E. Área de la banda libre

El chute lateral estará diseñado para tener suficiente área de la banda libre en cada lado que permita un sellado eficaz.

F. Espacio libre encima de la banda

El borde inferior del chute lateral debe instalarse a 6 milímetros (0.25 pulgadas) por encima de la banda en la salida de la zona de carga, abriéndose un poco de 9 a 12 milímetros (0.38 a 0.5 pulgadas) en la salida.

G. Sin elevación

Debe impedirse que la banda se eleve de su estructura de soporte aun cuando opera sin carga.

H. Construcción

El sistema de chutes laterales se construirá de manera sólida con soportes apropiados que no interfieran con la habilidad de instalar o mantener los componentes del transportador, incluyendo las camas de soporte para las bandas, rodillos o sistemas de sellado de chute lateral.

TEMAS AVANZADOS

Problemas de muestra: Cálculo de las dimensiones del chute lateral / zona de asentamiento

Existen ecuaciones para determinar las dimensiones mínimas apropiadas para el chute lateral en los puntos de transferencia en los siguientes cuatro problemas (**Ecuación 11.1** Longitud del chute lateral y **Ecuación 11.2** Altura del chute lateral). *(Para el flujo de aire total en los problemas de muestra, vea la Ecuación 7.1 o mida el flujo de aire total).*

$$l_{sb} = \frac{V \cdot CF}{k}$$

		Unidades	
		Métricas	Imperiales
l_{sb}	Longitud del chute lateral (desde la zona de carga hasta el final del chute)	metros	pies
V	Velocidad de la banda	m/s	pies/min
CF	Factor del chute (Q_{tot} = Flujo de aire total)	Si $Q_{tot} < 0.5$ m³/s = 0.6	Si $Q_{tot} < 1000$ pies³/min = 2
		Si $Q_{tot} > 0.5$ m³/s = 0.9	Si $Q_{tot} > 1000$ pies³/min = 3
k	Factor de conversión	0.5	100

Ecuación 11.1

Longitud del chute lateral

$$h_{sb} = \frac{Q_{tot}}{CW \cdot v}$$

		Unidades	
		Métricas	Imperiales
h_{sb}	Altura de chute lateral	metros	pies
Q_{tot}	Flujo de aire total	m³/s	pies³/min
CW	Ancho del chute (chute lateral)	m	pies
v	Velocidad de aire objetivo	m/s	pies/min

Ecuación 11.2

Altura del chute lateral

11

Figura 11.16

Problema #1 de muestra

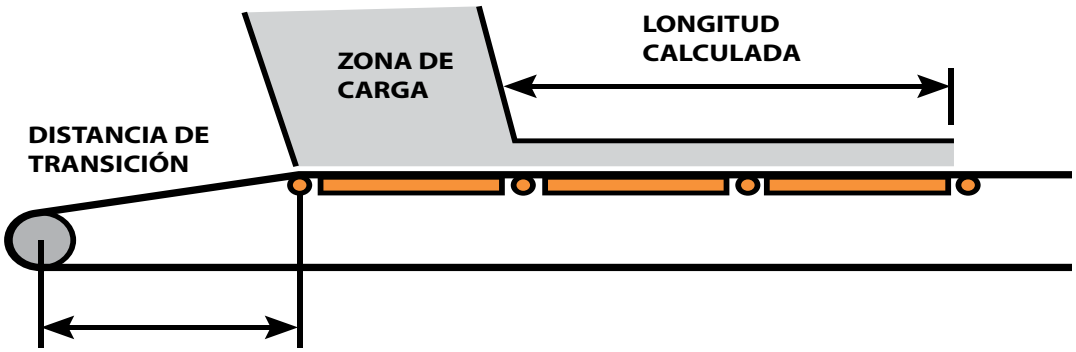


Tabla 11.3

(Figura 11.16)

Problema #1 de muestra del chute lateral				
Dado:	Material	Carbón sub-bituminoso	**Calcular:**	Longitud mínima del chute lateral ***(Ecuación 11.1.1)***
	Ancho de la banda	1 m (36 pulgadas)		
	Velocidad de la banda	3 m/s (600 pies/min)		Altura mínima del chute lateral ***(Ecuación 11.2.1)***
	Ancho del chute lateral	0.6 m (2 pies)		
	Flujo de aire medido	0.56 m^3/s (1200 $pies^3$/min)		

Ecuación 11.1.1

Ejemplo de problema de muestra para la longitud del chute lateral

$$l_{sb} = \frac{V \cdot CF}{k}$$

Dado: *La velocidad de la banda de 3 metros por segundo (600 pies/min) y un flujo de aire de 0.56 metros cúbicos por segundo (1200 $pies^3$/min).* ***Calcular:*** *La longitud mínima del chute lateral.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
V	Velocidad de la banda	3 m/s	600 pies/min
CF	Factor del chute	0.9	3
k	Factor de conversión	0.5	100

Métrico: $l_{sb} = \frac{3 \cdot 0.9}{0.5} = 5.4$ **Imperial:** $l_{sb} = \frac{600 \cdot 3}{100} = 18$

l_{sb}	Longitud mínima del chute lateral (desde la zona de carga hasta el final del chute)	5.4 m	18 pies

Ecuación 11.2.1

Ejemplo de problema de muestra para la altura del chute lateral

$$h_{sb} = \frac{Q_{tot}}{CW \cdot v}$$

Dado: *Un flujo de aire de 0.56 metros cúbicos por segundo (1200 $pies^3$/min), un ancho de chute (chute lateral) de 0.6 metros (2 pies) y una velocidad de aire objetivo de 1 metro por segundo (200 pies/min).* ***Calcular:*** *La altura mínima del chute lateral.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
Q_{tot}	Flujo de aire total	0.56 m^3/s	1200 $pies^3$/m
CW	Ancho del chute (chute lateral)	0.6 m	2 pies
v	Velocidad de aire objetivo	1 m/s	200 pies/min

Métrico: $h_{sb} = \frac{0.56}{0.6 \cdot 1} = 0.93$ **Imperial:** $h_{sb} = \frac{1200}{2 \cdot 200} = 3.0$

h_{sb}	Altura mínima del chute lateral	0.93 m	3 pies

Nota: En algunas aplicaciones reales, los resultados calculados pueden ser poco prácticos, de modo que debe aplicarse el juicio de ingeniería.

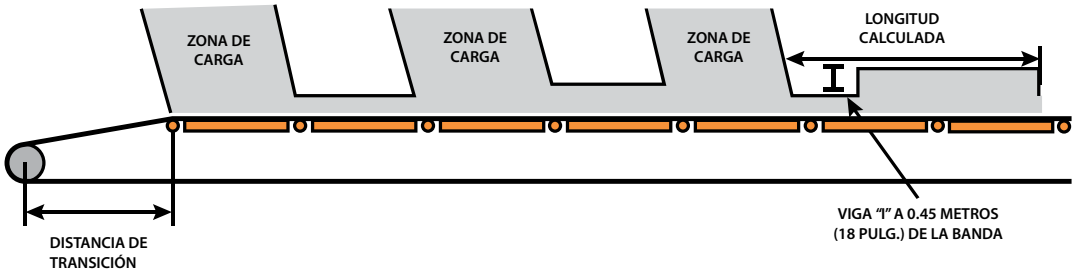


Figura 11.17

Problema #2 de muestra

Problema #2 de muestra del chute lateral				
Dado:	Material	Virutas de madera	**Calcular:**	Longitud mínima del chute lateral ***(Ecuación 11.1.2)***
	Ancho de la banda	1.27 m (48 pulgadas)		
	Velocidad de la banda	3.5 m/s (700 pies/min)		Altura mínima del chute lateral ***(Ecuación 11.2.2)***
	Ancho del chute lateral	1.0 m (3 pies)		
	Flujo de aire medido	0.28 m^3/s (600 $pies^3$/min) de cada zona de carga; todas las zonas de carga operan al mismo tiempo		

Tabla 11.4

(Figura 11.17)

11

$$l_{sb} = \frac{V \cdot CF}{k}$$

Dado: *La velocidad de la banda de 3.5 metros por segundo (700 pies/min) y un flujo de aire de 0.84 metros cúbicos por segundo (1800 $pies^3$/min).* ***Calcular:*** *La longitud mínima del chute lateral.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
V	Velocidad de la banda	3.5 m/s	700 pies/min
CF	Factor del chute	0.9	3
k	Factor de conversión	0.5	100

Métrico: $l_{sb} = \frac{3.5 \cdot 0.9}{0.5} = 6.3$ **Imperial:** $l_{sb} = \frac{700 \cdot 3}{100} = 21$

l_{sb}	Longitud mínima del chute lateral (desde la zona de carga hasta el final del chute)	6.3 m	21 pies

Ecuación 11.1.2

Ejemplo de problema de muestra para la longitud del chute lateral

$$h_{sb} = \frac{Q_{tot}}{CW \cdot v}$$

Dado: *Un flujo de aire de 0.84 metros cúbicos por segundo (1800 $pies^3$/min), un ancho del chute (chute lateral) de 1 metro (3 pies) y una velocidad de aire objetivo de 1 metro por segundo (200 pies/min).* ***Calcular:*** *La altura mínima del chute lateral.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
Q_{tot}	Flujo de aire total	0.84 m^3/s	1800 $pies^3$/m
CW	Ancho del chute (chute lateral)	1.0 m	3 pies
v	Velocidad de aire objetivo	1 m/s	200 pies/min

Métrico: $h_{sb} = \frac{0.84}{1.0 \cdot 1} = 0.84$ **Imperial:** $h_{sb} = \frac{1800}{3 \cdot 200} = 3$

h_{sb}	Altura mínima del chute lateral	0.84 m	3 pies

Ecuación 11.2.2

Ejemplo de problema de muestra para la altura del chute lateral

Nota: Este chute lateral de altura extendida **debe** comenzar inmediatamente cuesta abajo de la "viga I" encima de la banda.

Nota: En algunas aplicaciones reales, los resultados calculados pueden ser poco prácticos, de modo que debe aplicarse el juicio de ingeniería.

11

Figura 11.18

Problema #3 de muestra

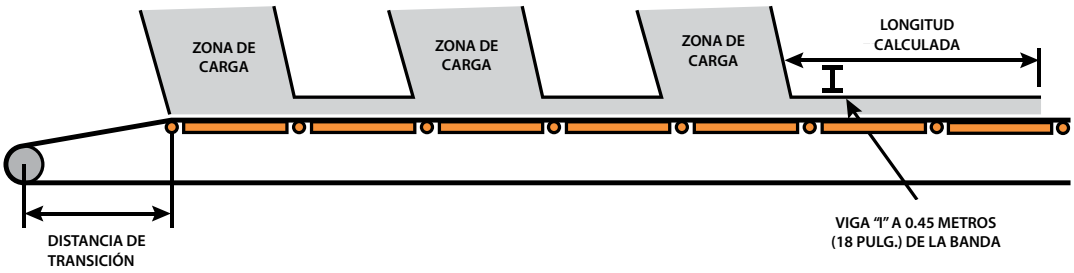


Tabla 11.5

(Figura 11.18)

Problema #3 de muestra del chute lateral				
Dado:	Material	Carbón antracita	**Calcular:**	Longitud mínima del chute lateral ***(Ecuación 11.1.3)***
	Ancho de la banda	1.27 m (48 pulgadas)		Altura mínima del chute lateral ***(Ecuación 11.2.3)***
	Velocidad de la banda	3.5 m/s (700 pies/min)		
	Ancho del chute lateral	1.0 m (3 pies)		
	Flujo de aire medido	0.28 m^3/s (600 $pies^3$/min) de cada zona de carga; todas las zonas de carga operan una a la vez		

Ecuación 11.1.3

Ejemplo de problema para la longitud del chute lateral

$$l_{sb} = \frac{V \cdot CF}{k}$$

Dado: *La velocidad de la banda de 3.5 metros por segundo (700 pies/min) y un flujo de aire de 0.28 metros cúbicos por segundo (600 $pies^3$/min).* ***Calcular:*** *La longitud mínima del chute lateral.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
V	Velocidad de la banda	3.5 m/s	700 pies/min
CF	Factor del chute	0.6	2
k	Factor de conversión	0.5	100

Métrico: $l_{sb} = \frac{3.5 \cdot 0.6}{0.5} = 4.2$ **Imperial:** $l_{sb} = \frac{700 \cdot 2}{100} = 14$

l_{sb}	Longitud mínima del chute lateral (desde la zona de carga hasta el final del chute)	4.2 m	14 pies

Ecuación 11.2.3

Ejemplo de problema de la altura del chute lateral

$$h_{sb} = \frac{Q_{tot}}{CW \cdot v}$$

Dado: *Un flujo de aire de 0.28 metros cúbicos por segundo (600 $pies^3$/min), un ancho de chute (chute lateral) de 1 metro (3 pies) y una velocidad de aire objetivo de 1 metro por segundo (200 pies/min).* ***Calcular:*** *La altura mínima del chute lateral.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
Q_{tot}	Flujo de aire total	0.28 m^3/s	600 $pies^3$/m
CW	Ancho del chute (chute lateral)	1.0 m	3 pies
v	Velocidad de aire objetivo	1 m/s	200 pies/min

Métrico: $h_{sb} = \frac{0.28}{1.0 \cdot 1} = 0.28$ **Imperial:** $h_{sb} = \frac{600}{3 \cdot 200} = 1$

h_{sb}	Altura mínima del chute lateral	0.28 m	1 pie

Nota: El chute lateral puede acomodarse debajo de la "viga I" encima de la banda.

Nota: En algunas aplicaciones reales los resultados calculados pueden ser poco prácticos, de modo que debe aplicarse el juicio de ingeniería.

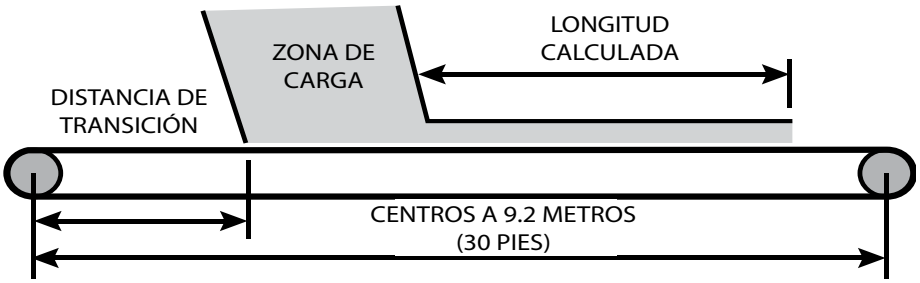


Figura 11.19

Problema #4 de muestra

Problema #4 de muestra del chute lateral				
Dado:	Material	Carbón antracita	**Calcular:**	Longitud mínima del chute lateral ***(Ecuación 11.1.4)***
	Ancho de la banda	1.8 m (72 pulgadas) (banda del alimentador)		
	Velocidad de la banda	0.5 m/s (100 pies/min)		
	Profundidad del material	0.3 m (1 pie)		Altura mínima del chute lateral ***(Ecuación 11.2.4)***
	Ancho del chute lateral	1.5 m (5 pies)		
	Banda plana			
	Flujo de aire medido	0.047 m^3/s (100 $pies^3/min$)		

Tabla 11.6

(Figura 11.19)

11

$$l_{sb} = \frac{V \cdot CF}{k}$$

Dado: *La velocidad de la banda de 0.5 metros por segundo (100 pies/min) y un flujo de aire de 0.047 metros cúbicos por segundo (100 $pies^3/min$).* ***Calcular:*** *La longitud mínima del chute lateral.*

	Variables	Unidades métricas	Unidades imperiales
V	Velocidad de la banda	0.5 m/s	100 pies/min
CF	Factor del chute	0.6	2
k	Factor de conversión	0.5	100

Métrico: $l_{sb} = \frac{0.5 \cdot 0.6}{0.5} = 0.6$ **Imperial:** $l_{sb} = \frac{100 \cdot 2}{100} = 2$

l_{sb}	Longitud mínima del chute lateral (desde la zona de carga hasta el final del chute)	0.6 m	2 pies

Nota: El chute lateral **debe** extenderse por toda la longitud cargada de la banda puesto que también funciona para mantener el material sobre la banda.

Ecuación 11.1.4

Ejemplo de problema para la longitud del chute lateral

$$h_{sb} = \frac{Q_{tot}}{CW \cdot v}$$

Dado: *Un flujo de aire de 0.047 metros cúbicos por segundo (100 $pies^3/min$), un ancho del chute (chute lateral) de 1.5 metros (5 pies) y una velocidad de aire objetivo de 1 metro por segundo (200 pies/min).* ***Calcular:*** *La altura mínima del chute lateral.*

	Variables	Unidades métricas	Unidades imperiales
Q_{tot}	Flujo de aire total	0.047 m^3/s	100 $pies^3/m$
CW	Ancho del chute (chute lateral)	1.5 m	5 pies
v	Velocidad de aire objetivo	1 m/s	200 pies/min

Métrico: $h_{sb} = \frac{0.047}{1.5 \cdot 1} = 0.03$ **Imperial:** $h_{sb} = \frac{100}{5 \cdot 200} = 0.1$

h_{sb}	Altura mínima del chute lateral	0.03 m	0.1 pie

Nota: La altura **debe** ser al menos 0.3 metros (1 pie), puesto que esa es la altura del material sobre la banda.

Nota: En algunas aplicaciones reales los resultados calculados pueden ser poco prácticos, de modo que debe aplicarse el juicio de ingeniería.

Ecuación 11.2.4

Ejemplo de problema de la altura del chute lateral

11

CÓMO LLEGAR A UNA CONCLUSIÓN SOBRE EL CHUTE LATERAL

En resumen...

El chute lateral desempeña una función clave en el control de polvo y derrames. Al centrar la carga, los sistemas de chutes laterales diseñados adecuadamente reducirán el derrame, formando un pleno para que los materiales se asienten del aire, además que el chute lateral ayuda a impedir el escape de polvo. Ambos son pasos esenciales en la lucha por mejorar la eficacia del transportador a través del control total del material.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Chutes laterales, el sexto capítulo en la sección Cargar la banda, se enfocó en el uso de los chutes laterales para reducir los derrames y el polvo. Restan dos capítulos en esta sección: el Capítulo 12: Revestimientos de desgaste y el Capítulo 13: Sistemas de faldón del borde.

REFERENCIAS

11.1 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*. Naples, Florida.

11.2 El sitio web http://www.conveyorbeltguide.com es un valioso recurso que abarca muchos aspectos de las bandas.

11.3 Todos los fabricantes y la mayoría de los distribuidores de productos de transportadores pueden proporcionar una variedad de materiales sobre la construcción y el uso de sus productos específicos.

12

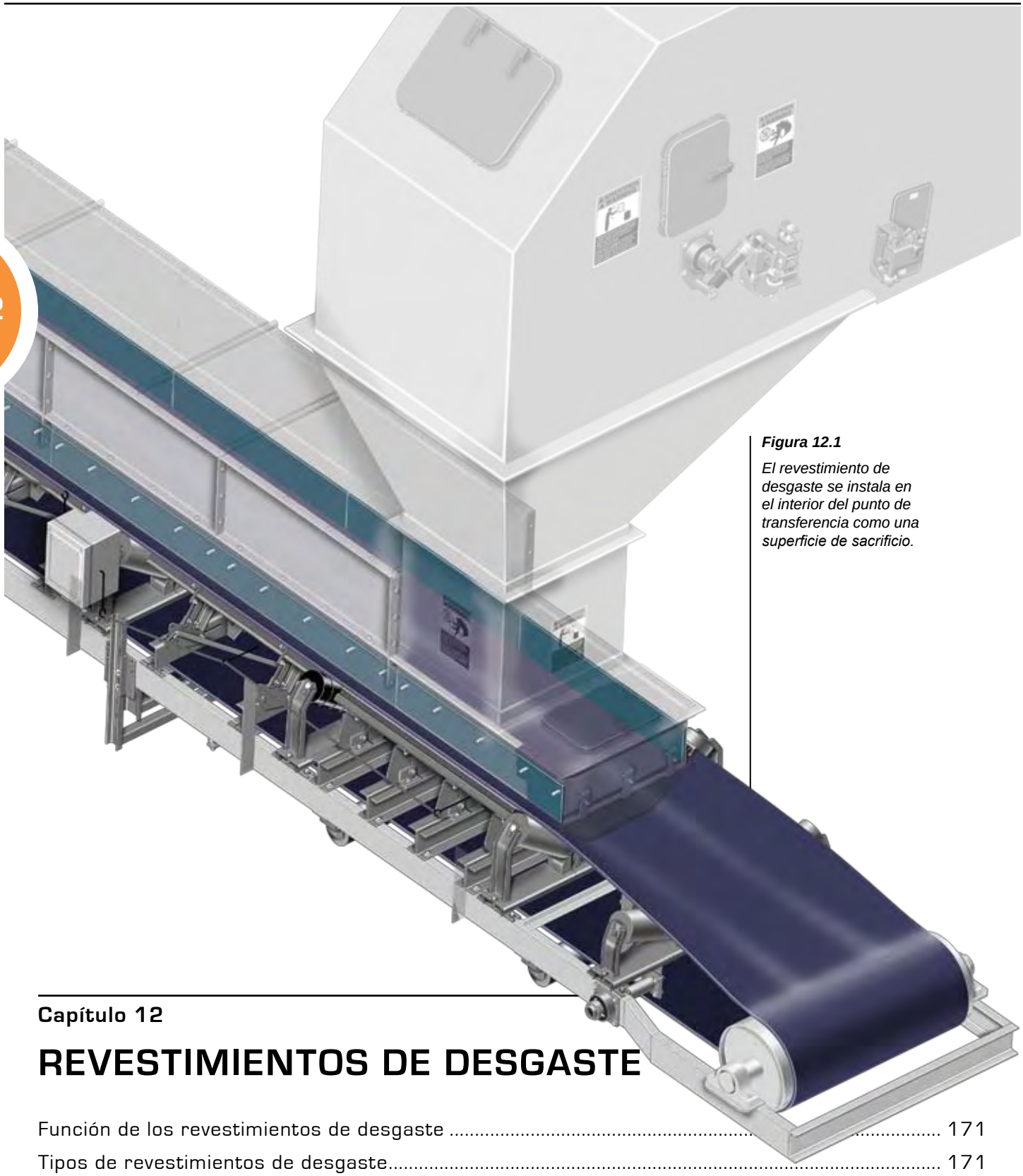


Figura 12.1

El revestimiento de desgaste se instala en el interior del punto de transferencia como una superficie de sacrificio.

Capítulo 12

REVESTIMIENTOS DE DESGASTE

Función de los revestimientos de desgaste 171
Tipos de revestimientos de desgaste 171
Aplicación de los revestimientos de desgaste 175
Cuestiones de seguridad 176
Especificaciones típicas 178
Selección de un revestimiento de desgaste para una aplicación específica 178

En este capítulo...

Este capítulo cubrirá las razones para la instalación del revestimiento de desgaste, los tres estilos de revestimientos de desgaste usados comúnmente y los diferentes materiales que se usan como revestimientos de desgaste. Además, discutiremos la selección y las técnicas de instalación correctas del revestimiento de desgaste en la sección del chute lateral de un punto de transferencia.

El revestimiento de desgaste es un material instalado en el interior del punto de transferencia como una superficie de sacrificio que se desgastará por el contacto con la cama en movimiento de material **(Figura 12.1)**.

FUNCIÓN DE LOS REVESTIMIENTOS DE DESGASTE

En los planes para un punto de transferencia con poco derrame, el revestimiento de desgaste sirve para varios propósitos:

A. Proporciona una superficie de desgaste y sacrificio que es fácil de reemplazar para proteger las paredes del chute y el chute lateral.

B. Ayuda a centrar la carga de material.

C. Impide que la carga de material aplique altas fuerzas laterales a las tiras de sellado, mejorando así la vida de servicio del sello.

D. Algunos tipos de revestimientos de desgaste reducen la fricción, el impacto, el ruido y la degradación del material a granel.

Las fuerzas del material que fluye a través del punto de transferencia y cae sobre una banda dentro de un área de transferencia tradicional crean tremendas presiones externas. El revestimiento de desgaste se instala para controlar esta presión lateral y proteger los componentes del punto de transferencia. El revestimiento de desgaste es un componente clave para contener el material transportado en el área de faldeo **(Figura 12.2)**. Esta presión lateral del material, si no se controla, empujará los finos y el polvo del material lejos del centro de la pila de material y hacia abajo del chute lateral lo que resulta en un derrame.

Los revestimientos de desgaste se instalan en el interior de los chutes laterales para proteger el sello de faldeo. Tienen la misión de separar el trabajo de sellado y la función de colocar la carga. Al crear una presa entre la pila de material y las tiras de sellado del faldón, los revestimientos de desgaste reducen en gran medida las fuerzas de carga laterales que llegan a las tiras de sellado. Con los revestimientos de desgaste instalados, las tiras de sellado no tienen que actuar como una pared que contiene el material, sino más bien actúan sólo como un sello, es decir, el propósito para el cual son más adecuadas. Esta disposición mejora la eficacia y la expectativa de vida del sistema de faldón y al mismo tiempo reduce el riesgo de daños provocados por el atrapamiento de material.

Hay sólo unos cuantos casos donde la instalación de un revestimiento de desgaste no mejorará en gran parte la habilidad del sellado de un punto de transferencia y la expectativa de vida de sus componentes. Estos serían en las bandas con carga muy ligera o las bandas que manejan materiales de baja densidad y no abrasivos. En cualquier otra circunstancia, los revestimientos de desgaste apropiadamente instalados y mantenidos reducirán las fuerzas de carga lateral del material para aumentar la eficacia del sellado y la vida del faldón de sellado.

TIPOS DE REVESTIMIENTOS DE DESGASTE

Configuraciones del revestimiento de desgaste

Actualmente pueden observarse cuatro estilos de revestimiento de desgaste: recto, espaciado, deflector y cónico **(Figura 12.3)**.

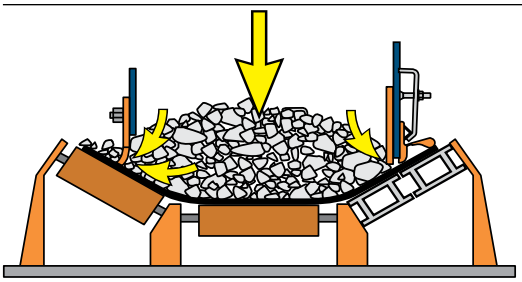


Figura 12.2

Sin la protección ofrecida por el revestimiento de desgaste, el sistema de faldón de elastómero no es suficientemente fuerte para contener las fuerzas que empujan el material por el borde de la banda.

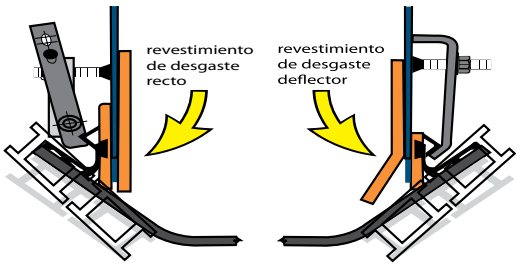


Figura 12.3

Izquierda: revestimiento de desgaste recto. Derecha: revestimiento de desgaste deflector.

Revestimiento de desgaste recto

El revestimiento de desgaste recto tiene la capacidad de impedir fuerzas de carga laterales en los sellos de faldeo sin atorar el chute y restringir el flujo de material. El revestimiento de desgaste recto se ha usado en todos los tamaños de bandas **(Figura 12.4)**. El beneficio real del revestimiento de desgaste recto es que proporciona una vida y una eficacia de sellado mejorada sin cerrar el área de carga eficaz. En una era donde se pide más y más producción con menos y menos recursos, es importante maximizar la capacidad del sistema utilizando el ancho completo del chute de carga y la banda transportadora. El revestimiento de desgaste recto es una buena opción para cumplir con los requerimientos actuales y futuros del flujo de la mayoría de los materiales a granel.

Figura 12.4

El revestimiento de desgaste recto mejora el sellado sin obstruir el área de carga eficaz.

El revestimiento de desgaste recto también es lo mejor para las bandas con puntos de carga múltiples, ya sea instalado en un punto de transferencia largo o a través de varias zonas de carga.

Revestimiento de desgaste espaciado

Una variación en la técnica de instalación del revestimiento de desgaste recto es el revestimiento de desgaste espaciado **(Figura 12.5)**. Esta técnica híbrida puede usarse en aplicaciones donde existe colección mecánica del polvo. Para ayudar en el sellado, los revestimientos no se instalan directamente en la pared del chute lateral, sino más bien un poco separados, 25 a 50 milímetros (1 a 2 pulgadas), de ella. El espacio entre el chute lateral y el revestimiento de desgaste se usa como un área de presión negativa. Los finos y el polvo en el ambiente en esta área pueden ser succionados desde este espacio por el sistema de colección del polvo del transportador.

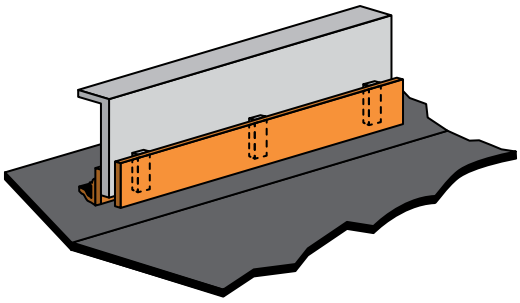


Figura 12.5

El revestimiento de desgaste espaciado incorpora un área abierta atrás del revestimiento donde puede aplicarse una colección del polvo.

Esta técnica es más adecuada para usarse en sistemas de transportadores nuevos, de modo que el requerimiento para una "distancia del borde de la banda libre" pueda diseñarse según las dimensiones de la zona de carga desde el principio sin reducir la capacidad portadora del transportador. Aunque las dimensiones de este espacio no son grandes, normalmente 25 a 50 milímetros (1 a 2 pulgadas), de espacio libre en cada lado del transportador, es importante al instalar un revestimiento de desgaste espaciado que éste se instale de manera que su borde superior esté muy por arriba de la altura de la pila de material en la zona de carga.

Revestimiento de desgaste deflector

El revestimiento de desgaste deflector incorpora una curva de modo que la mitad inferior del revestimiento se curva hacia adentro, hacia la mitad de la banda **(Figura 12.6)**. Este ángulo proporciona un área "libre" entre el faldeo de caucho y el revestimiento de desgaste. Esta área es útil, pues los finos que llegaron abajo del borde inferior del revestimiento de desgaste aún tienen un área en la banda en donde pueden viajar, no son expulsados automáticamente del sistema. Estas partículas son encerradas por la tira de sellado

Figura 12.6

El revestimiento de desgaste deflector crea un área libre entre el revestimiento y el sistema de faldón.

y tienen una ruta para viajar por la banda hacia el área de salida del punto de transferencia. Los finos que buscan la manera de desafiar el sello de caucho están relativamente libres de las fuerzas aplicadas; están aislados de la fuerza descendiente y externa de la carga del material.

La desventaja del revestimiento de desgaste deflector es que reduce el área transversal eficaz del área del chute lateral. Esto, a su vez, reduce el volumen de material que puede pasar por el punto de transferencia y, por lo tanto, puede necesitar ajustes en las dimensiones del chute o en el programa de operación del sistema para mantener una capacidad especificada. Esta consideración es especialmente importante en las bandas más pequeñas, menores de 750 milímetros (30 pulgadas) de ancho, o las bandas que funcionan casi al límite de su capacidad. Al reducir la sección transversal de la zona de carga, el revestimiento deflector también puede reducir el tamaño máximo de terrón permitido, lo que lleva a atascamientos de material.

Además, el revestimiento de desgaste deflector no debe usarse en zonas de carga que sufren impactos. En tales aplicaciones, el revestimiento enfrenta un mayor desgaste y la posibilidad de que piezas de material reboten de la banda y se atoren en el área inferior abierta del revestimiento deflector creando así el riesgo de abrasión en la banda. El revestimiento deflector también concentra el desgaste abrasivo del impacto de material en el área "curveada" y el "labio" del revestimiento. Si el desgaste se concentra en un lugar, éste puede crear una abertura donde pueden acumularse terrones de material, aumentando la posibilidad de raspar la banda **(Figura 12.7)**.

Revestimiento de desgaste cónico

El revestimiento de desgaste cónico generalmente es moldeado con acero molibdeno para usarse en aplicaciones de trabajo pesado. La sección transversal del molde es de forma trapezoidal para reducir el espacio entre la unión de la banda, revestimiento y sello de faldeo mientras que presenta suficiente grosor de desgaste donde el material se impacta o desliza a lo largo del área de faldeo. Para mantener el peso de los moldes individuales a un peso razonable para su manejo, se fabrican revestimientos de desgaste cónicos generalmente de 300 a 400 milímetros (12 a 16 pulgadas) de ancho. Puesto que los revestimientos de desgaste moldeados son pesados y suministrados en tramos cortos, es difícil instalarlos de modo que el borde inferior tenga una línea recta suave. Una mala instalación puede crear bolsas donde los materiales a granel pueden atraparse y desgastar la banda.

Materiales de revestimiento de desgaste

Los revestimientos de desgaste rectos y deflectores típicamente se suministran como hojas de material, a menudo de 1200 milímetros (48 pulgadas) de largo, 200 milímetros (8 pulgadas) de alto y 12 milímetros (1/2 o 0.5 pulgadas) de grosor. Los revestimientos moldeados generalmente son suministrados en piezas que miden 300 a 400 milímetros (12 a 16 pulgadas) de ancho, 200 a 500 milímetros (8 a 20 pulgadas) de alto y 25 a 75 milímetros (1 a 3 pulgadas) de grosor. Los revestimientos pueden suministrarse con orificios prebarrenados para simplificar la instalación en el lugar.

Existen varios materiales adecuados para usarse como revestimientos de desgaste **(Tabla 12.1)**.

Revestimiento de desgaste de acero dulce

El revestimiento de desgaste de acero dulce se usa comúnmente en materiales con muy baja abrasión o en bandas con cargas ligeras o pocas horas de operación. Los materiales como aserrín, virutas de madera y basura serían buenos ejemplos de material adecuado para revestimientos de desgaste de acero dulce. Además, los proyectos con demandas de costos iniciales bajos pero que requieren buenos resultados a corto plazo también son candidatos para revestimientos de desgaste de acero dulce.

Si el ambiente es húmedo o corrosivo, la alta tasa de corrosión del acero dulce puede agregar fricción adicional al cuerpo del material en la zona de carga.

Figura 12.7

El revestimiento deflector también concentra el desgaste abrasivo por el impacto del material en el área "doblada" y el "labio" del revestimiento.

El revestimiento de desgaste de acero dulce puede suministrarse en un patrón recto o deflector.

Revestimiento de desgaste con placa resistente a la abrasión

El revestimiento de desgaste con placa resistente a la abrasión (placa AR) proporciona una vida mucho más larga que el revestimiento de desgaste fabricado con acero dulce. La placa AR es un buen revestimiento de desgaste en general, capaz de manejar materiales más abrasivos como arena, minerales de roca dura y carbón. La vida de desgaste puede extenderse cinco a siete veces más que con acero dulce. La placa AR está disponible en estilos rectos o deflectores.

Revestimiento de desgaste con cara de cerámica

El revestimiento de desgaste con cara de cerámica es un buen revestimiento de desgaste a largo plazo para las bandas de operación continua que transportan material altamente abrasivo donde el impacto es mínimo. Una placa de apoyo de acero dulce forrada con bloques de cerámica es una buena opción en estos casos. Estos bloques de cerámica se pegan con adhesivos o soldadura de tapón al apoyo de acero dulce, generalmente a 100 milímetros (4 pulgadas) de la parte inferior de la placa. En las bandas con carga más pesada, los bloques de cerámica también pueden instalarse en una parte más alta de la placa de apoyo para reducir el desgaste.

Se ha demostrado que el revestimiento de desgaste con cara de cerámica funciona bien con virutas de madera y carbón. El revestimiento de desgaste con cara de cerámica puede suministrarse en estilos rectos y deflectores.

Siempre que los revestimientos tengan caras de materiales fundidos, ya sea cerámica o aleaciones como el acero de magnesio, debe tenerse mucho cuidado al alinear los bloques durante su instalación en la placa de acero. El borde inferior de la instalación debe colocarse con cuidado para evitar puntos de presión y "escalones" que puedan atrapar material.

Revestimiento de desgaste de acero inoxidable

El revestimiento de desgaste de acero inoxidable es una opción que está entre el acero dulce y la placa AR en cuanto a resistencia a la abrasión. La resistencia química del acero inoxidable a menudo se requiere en aplicaciones donde existe la posibilidad de corrosión en el acero dulce o la placa AR. El coeficiente de fricción entre el material a granel y el acero inoxidable varía significativamente y deben revisarse los requerimientos de potencia si se reemplaza con revestimientos de acero inoxidable. El revestimiento de desgaste de acero inoxidable puede suministrarse en estilos rectos y deflectores.

Tabla 12.1

Materiales del revestimiento de desgaste

Material del revestimiento	Costo inicial	Resistencia a la abrasión por deslizamiento	Resistencia al impacto	Resistencia a la temperatura	Calidad de baja fricción
Acero dulce	Bajo	B	B	MB	NR
Placa resistente a la abrasión	Medio	MB	B	MB	NR
Acero inoxidable	Alto	B	B	E	MB
Superposición de carburo de cromo	Medio	E	B	MB	MB
Caucho	Alto	B	E	NR	NR
Poliuretano	Alto	E	E	NR	B
UHMW	Medio	B	NR	NR	E
Losas de cerámica					
Losas de cantera	Bajo	B	NR	B	B
Losas vitrificadas	Bajo	MB	NR	MB	MB
Losas de basalto	Medio	MB	B	MB	B
Losas de alumina	Alto	E	B	E	B

Nota: Comparación del desempeño de posibles materiales del revestimiento de desgaste.
Clasificaciones: E–Excelente; MB–Muy bueno; B–Bueno; NR–No recomendado.

Superposición de carburo de cromo

La superposición de carburo de cromo es un material muy duro adecuado para transportadores que tienen altos niveles de abrasión. Por sí solo, el carburo de cromo es muy quebradizo, por lo que se superpone a una placa de apoyo que puede ser de acero dulce o inoxidable dependiendo de los requerimientos de la aplicación. La capa dura variará entre 53 y 65 de dureza "C" Rockwell; algunos materiales superpuestos se "endurecen" bajo el contacto con la carga, de modo que tienen una puntuación de 75 de dureza en la escala "C" de Rockwell. También llamada "placa enchapada", estos materiales están disponibles en dos designaciones: soldadura simple o doble. En aplicaciones de revestimiento de desgaste, normalmente se usa el grado de pasada de soldadura doble. Este material no es adecuado para altos impactos y se usa sólo en el estilo recto de revestimiento de desgaste.

Revestimiento de desgaste de plástico

Los revestimientos de desgaste de plástico son una innovación más reciente. Recientemente se han instalado revestimientos de desgaste fabricados con Polietileno de Peso Molecular Ultra Alto (UHMW) o uretano. En muchas de estas instalaciones, el revestimiento yace directamente sobre la banda para controlar materiales en polvo y extremadamente finos. Los orificios ranurados en los paneles del revestimiento permiten hacer ajustes para mantener el revestimiento de desgaste en contacto con la banda.

Las aplicaciones de UHMW como un revestimiento de desgaste tienen éxito contra polvos y finos como arena, ceniza voladora y polvo por horno de arco eléctrico (EAF). Además, gracias a que el UHMW es aceptado por la Administración de Alimentos y Fármacos de Estados Unidos, es adecuado para el uso con alimentos en polvo. Los revestimientos de uretano se usan con éxito en aplicaciones de minería de oro y procesamiento de minerales debido a su peso ligero y facilidad de instalación.

Los materiales plásticos se han aplicado sólo como revestimientos de desgaste rectos. La abrasión que se observaría en aplicaciones con un diseño deflector reduciría drásticamente la vida de servicio. Se debe cuidar no instalar revestimientos de plástico en condiciones que excedan la temperatura de servicio del material o que tengan una banda de alta velocidad, ya que podrían elevar la temperatura del revestimiento hasta el punto de ablandamiento, lo que acortaría la vida del material.

Revestimiento de desgaste para chutes curveados

Muchos de estos materiales también son adecuados para revestir chutes curveados cuando es necesario resistir al desgaste o reducir la fricción. Ejemplos incluirían losetas de cerámica o placa AR usadas como revestimiento en un chute curveado que maneja carbón o usar UHMW en un chute para virutas de madera.

El costo frente al valor del revestimiento de desgaste

Aunque el costo inicial de un revestimiento de desgaste debe ser una consideración significativa, es más importante que el material se seleccione en base a su desempeño y vida de servicio. Los factores a considerar incluyen:

A. Coeficiente de fricción
B. Resistencia a la adhesión del material
C. Resistencia al desgaste de abrasión por deslizamiento
D. Resistencia al desgaste de abrasión por impacto
E. Resistencia a la corrosión
F. Método de fijación
G. Costo de instalación
H. Costo de mantenimiento

Elegir el material correcto para el revestimiento de desgaste puede aumentar el costo inicial del punto de transferencia. No obstante, el uso de un material de revestimiento hecho específicamente para una aplicación debe producir un mejor retorno sobre la inversión al considerar la mano de obra para reemplazar revestimientos desgastados prematuramente y el tiempo para limpiar el material derramado.

APLICACIÓN DE LOS REVESTIMIENTOS DE DESGASTE

Aplicación de revestimientos de desgaste

Con la excepción de los revestimientos de desgaste de UHMW y uretano, todos los sistemas de revestimiento de desgaste deben

instalarse con un ángulo de alivio desde el área de entrada que se abre hacia el área de salida del punto de transferencia. La distancia por encima de la banda variará con el tamaño del producto. Al igual que con el acero del chute lateral, el propósito es que el revestimiento cree una abertura más grande hacia la salida de la zona de carga para impedir que el material quede atrapado.

Como se mencionó anteriormente, los revestimientos de desgaste de UHMW y uretano normalmente se instalan de manera que el borde inferior toque o descanse sobre la banda.

En el área de entrada, el espacio entre la banda y el borde inferior del revestimiento de desgaste generalmente está en el rango de 3 a 10 milímetros (1/8 a 3/8 de pulgada). La dimensión más cercana se especifica para materiales con partículas más pequeñas. En el extremo de la salida, la distancia típicamente será de 10 a 20 milímetros (3/8 a 3/4 de pulgada). De nuevo, la distancia más pequeña es para materiales más finos, mientras que la dimensión más grande es para materiales que contienen terrones más grandes. El soporte de la banda apropiado para eliminar el hundimiento y la vibración de la banda es esencial para conservar la banda con este espaciado angosto.

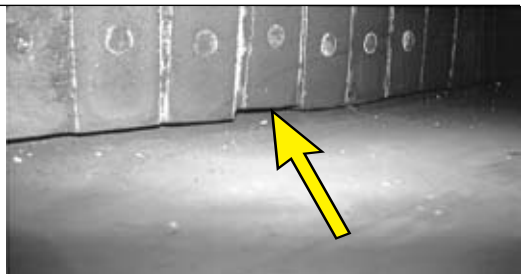


Figura 12.8

El revestimiento de desgaste mal alineado crea puntos de atrapamiento de material.

Figura 12.9

El revestimiento de desgaste debe instalarse en una línea recta que gradualmente se abre hacia la salida del punto de transferencia.

Una precaución: al unir piezas del revestimiento de desgaste, es imperativo que los bordes inferiores se alineen suavemente sin crear un "patrón dentado" **(Figura 12.8)**. Si los bordes inferiores no están exactamente alineados, se crearán puntos de atrapamiento. Luego el material transportado creará puntos de presión excepcionalmente altos en estas áreas que resultará en un derrame de material o, peor aun, cuñas de materiales se acumularán formando "dientes" que rasparán la banda. Para impedir estas acumulaciones, el borde inferior del revestimiento de desgaste debe ser recto, como si un cordel para marcar se extendiera desde la entrada a la salida del punto de transferencia **(Figura 12.9)**. De nuevo, el alivio del atrapamiento debe proporcionarse aumentando un poco la distancia desde la superficie de la banda hasta el borde inferior a medida que la banda se mueve hacia la salida del punto de transferencia.

Instalación del revestimiento de desgaste

La placa de desgaste puede aplicarse con métodos que incluyen pernos, soldadura o una combinación de ambos.

Los revestimientos de desgaste se instalan comúnmente con pernos avellanados que proporcionan superficies suaves en la cara interna del chute lateral. Estos pernos también permiten reemplazar fácilmente el revestimiento. Los revestimientos pueden soldarse en su lugar con la desventaja obvia

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Al instalar revestimientos de desgaste, es importante tener en cuenta que estos son paneles grandes generalmente de acero y pueden tener bordes filosos. Son pesados y usualmente complicados para manejar, especialmente cuando se intenta maniobrar para instalarlos en espacios confinados entre los chutes laterales en transportadores angostos. Deben usarse aparejos de elevación y equipo apropiado para contener los revestimientos mientras se termina la instalación.

Deben seguirse los procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación establecidos para la operación, las regulaciones de espacio reducido y otras políticas de seguridad apropiadas.

de ser difíciles de reemplazar. Si la instalación requiere que el revestimiento de desgaste se suelde en el lugar, debe tenerse cuidado de usar los materiales y técnicas de soldadura correctos que sean adecuados para el material del revestimiento.

Otra técnica de instalación requiere que el revestimiento de desgaste se suelde con soldadura de tapón desde afuera del punto de transferencia **(Figura 12.10)**. Con esta técnica, los orificios se barrenan o cortan a través de la pared de acero enchapado. Después, la parte posterior del revestimiento se suelda a la pared del chute. Este sistema proporciona una instalación sin cabezas de pernos u orificios abultados en la zona de carga que actúan como objetivos de la abrasión por material. El revestimiento proporciona su grosor total para el desgaste. Al final de la vida útil del revestimiento, el reemplazo puede realizarse cortando las soldaduras de tapón e instalando nuevos revestimientos usando los mismos orificios.

Al soldar el revestimiento en el lugar, debe tenerse cuidado de controlar el esfuerzo introducido al metal del revestimiento. La placa resistente a la abrasión, cuando se aplica como un revestimiento, debe aplicarse de la misma manera en que una persona colocaría un papel tapiz. Si una hoja de papel tapiz se coloca asegurando primero los cuatro bordes exteriores, se atraparían grandes burbujas de aire en el centro de la hoja. Una situación similar ocurre si una placa AR se instala de la misma forma, pero en vez de burbujas de aire atrapadas, se creará un esfuerzo residual en la placa que intentará escapar. Cuando la estructura empieza a flexionarse en la operación normal, estos esfuerzos pueden provocar grietas en el revestimiento de desgaste. Si no se detectan a tiempo, una gran sección del revestimiento puede desprenderse o la pared del chute se doblará.

Para evitar este esfuerzo, es importante usar técnicas de soldadura apropiadas. La "mejor práctica" aceptada se llama "soldadura hacia atrás". Requiere de una soldadura de puntos en la parte superior de la placa **(Figura 12.11)**. En cada soldadura, el cordón se regresa hacia el extremo soldado. La selección correcta de la varilla para soldar es imperativa para asegurar la fortaleza y durabilidad de la soldadura.

Debe ponerse atención a la fortaleza de la estructura del transportador al instalar los revestimientos por primera vez. A menos que se refuercen apropiadamente, la estructura de soporte puede ser demasiado débil para soportar el peso agregado de los revestimientos, lo que puede ocasionar un daño costoso y paros en producción.

Diseño del chute para el propósito de mantenimiento

Al igual que con cualquier compartimiento, es importante proporcionar una manera simple de inspeccionar el interior. Las puertas a través de la pared del chute o chute lateral deben incluirse como un mecanismo para inspeccionar la condición de los revestimientos.

Idealmente, el chute será suficientemente grande para permitir la entrada del personal a la plataforma para realizar el trabajo de instalación y reemplazo. Si el tamaño del transportador es de tal forma que no hay espacio para que trabaje el personal dentro del compartimiento del punto de transferencia, el sistema de chute lateral y revestimiento debe diseñarse de modo que todo el ensamblaje pueda abrirse, recostarse sobre la parte posterior o levantarse de la estructura. Esto permitiría el reemplazo del revestimiento y la reinstalación del ensamble de la pared con el mínimo paro en producción, inconveniencia y costo.

Sería de gran valor instalar anclas de manera permanente para el montaje en ubicaciones adecuadas sobre el chute lateral que permitan levantar y colocar las hojas del revestimiento de desgaste.

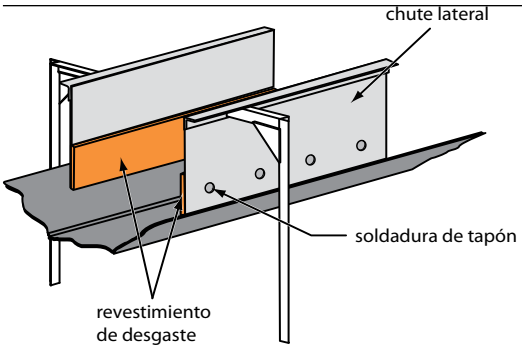


Figura 12.10

Los revestimientos de desgaste pueden instalarse desde afuera del chute lateral con soldadura de tapón.

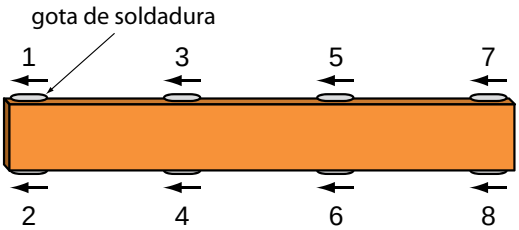


Figura 12.11

La soldadura hacia atrás es la "mejor práctica" para instalar revestimientos de desgaste, puesto que previene deformaciones.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

A. Revestimiento de desgaste

El chute lateral será equipado con un revestimiento de desgaste. Fijado al interior del chute lateral, este revestimiento protegerá al sistema de faldón del borde de las fuerzas de carga laterales provocadas por la carga del material.

B. Posición

El revestimiento de desgaste se colocará entre 3 a 10 milímetros (1/8 a 3/8 de pulgada) de la banda en el área de entrada y entre 10 a 20 milímetros (3/8 a 3/4 de pulgada) de la banda en el extremo de la salida del chute lateral del punto de transferencia.

C. Alineación

La parte inferior de los revestimientos se alineará exactamente para eliminar los bordes dentados que puedan atrapar el material.

D. Técnica de soldadura de tapón

El revestimiento de desgaste se instalará usando una técnica de soldadura de tapón para impedir la intrusión de orificios para los pernos en el material de revestimiento.

SELECCIÓN DE UN REVESTIMIENTO DE DESGASTE PARA UNA APLICACIÓN ESPECÍFICA

En resumen...

La selección del mejor material de revestimiento para una aplicación dada generalmente es específica a esa aplicación, dependiendo del material transportado y el sistema.

Algunas veces el material es seleccionado por los altos niveles de la organización, donde un ingeniero corporativo tiene algo de experiencia, positiva o negativa, con un revestimiento en especial y, por lo tanto, ordena (o prohíbe) el uso de un material específico. Otras veces, se elegirá la opción de mantener todos los materiales uniformes dentro de una planta, usar material existente o simplificar las órdenes futuras, aun en una aplicación donde el material especificado no es muy ideal.

Existen muchas referencias, artículos y proveedores especializados de materiales para revestimiento de desgaste que pueden ayudar a elegir un revestimiento para una aplicación específica. El personal de la planta generalmente sabe lo que se ha probado en una aplicación y conocerán su historial. Sabrán qué ha funcionado y, quizá lo más importante, qué ha fallado o qué se consideró con una vida demasiado corta, en una aplicación específica.

Esta memoria institucional es una herramienta valiosa para elegir un revestimiento. Pero no debe confiar en ella exclusivamente. El conocimiento previo debe compararse con registros exactos que muestren las fechas de instalación y el tonelaje transportado por un material de revestimiento específico en una ubicación específica. Llevar registros es la clave para validar la opción del material de revestimiento de desgaste.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Revestimientos de desgaste, el séptimo capítulo de la sección Cargar la banda, abordó su uso en un punto de transferencia con poco derrame. El siguiente capítulo, Sistemas de faldón del borde, concluye esta sección.

REFERENCIAS

12.1 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*. Naples, Florida.

12.2 El sitio web http://www.conveyorbeltguide.com es un valioso recurso que abarca muchos aspectos de las bandas.

12.3 Todos los fabricantes y la mayoría de los distribuidores de productos de transportadores pueden proporcionar una variedad de materiales sobre la construcción y el uso de sus productos específicos.

13

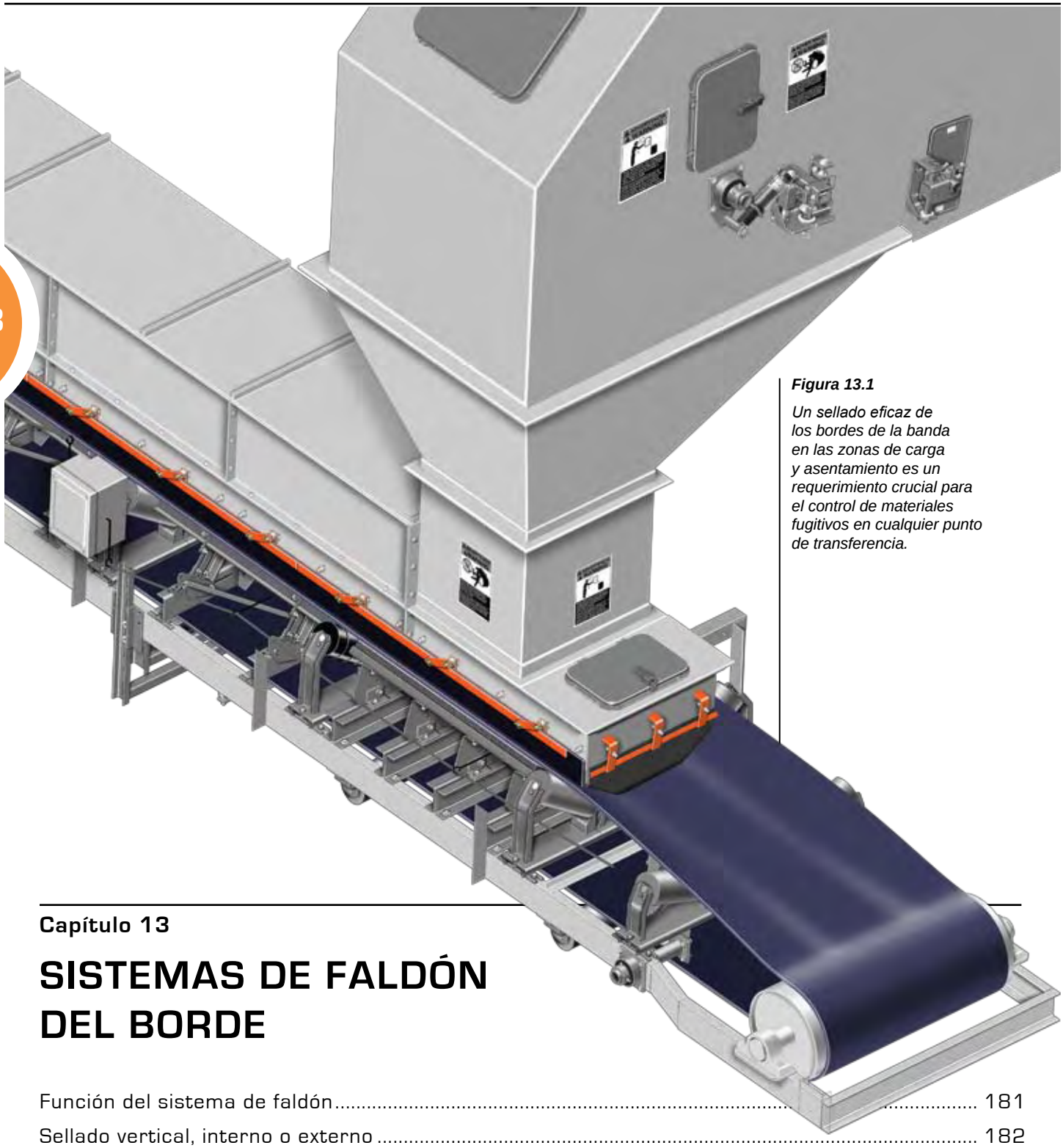


Figura 13.1

Un sellado eficaz de los bordes de la banda en las zonas de carga y asentamiento es un requerimiento crucial para el control de materiales fugitivos en cualquier punto de transferencia.

Capítulo 13

SISTEMAS DE FALDÓN DEL BORDE

Función del sistema de faldón 181
Sellado vertical, interno o externo 182
Consideraciones para un sellado exitoso 187
Cuestiones de seguridad 188
Instalación y mantenimiento 189
Especificaciones típicas 190
Temas avanzados 191
El último paso para el control de derrames 192

En este capítulo...

En este capítulo, concluimos la discusión sobre el sellado de la zona de carga de un punto de transferencia con un enfoque en los sistemas de faldón del borde. Se describen tres tipos principales de sistemas de faldón con las ventajas y las desventajas de cada uno junto con diferentes sistemas diseñados. Además, se discuten lineamientos para la selección, instalación, uso y mantenimiento de los sistemas del faldón del borde. El capítulo concluye con ecuaciones para calcular el consumo de energía adicional requerido.

Un requerimiento crucial en cualquier punto de transferencia diseñado para reducir derrames y tener una alta eficiencia es un sistema de faldón eficaz en los bordes de la banda **(Figura 13.1)**. El sello debe empezar en el área de carga y continuar hasta el final de la zona de asentamiento. Un sistema de faldón del borde, típicamente una tira de elastómero flexible, se instala en el exterior del chute lateral en ambos lados de la banda para cerrar el espacio entre las estructuras de acero y la banda en movimiento.

En vez de ser el primer paso en la prevención de derrames del transportador, el sello de chute lateral es la última oportunidad para controlar el material fugitivo e impedir que escape. El desempeño del sistema de faldón del borde de la banda mejora cuando se estabiliza la línea de la banda, con el soporte de la banda instalado apropiadamente y se controla la cantidad de fuga de material, con un sistema de revestimiento de desgaste instalado cerca de la banda. Un sistema de capas múltiples flexibles que incorpora un nivel de ajuste automático contiene el material eficazmente en un punto de transferencia y mejora la operación de la banda transportadora.

Un sistema de faldón del borde funcional requiere el uso de un soporte de la banda, chutes laterales, revestimientos de desgaste y un faldón **(Figura 13.2)**. Los sistemas de soporte para las bandas se discuten en el Capítulo 10, los chutes laterales en el Capítulo 11 y los revestimientos de desgaste en el Capítulo 12. Este capítulo se enfocará principalmente en el sello del chute lateral o de borde como el componente final más importante en el sellado de la zona de carga de un punto de transferencia para impedir el escape de partículas finas de material fugitivo.

FUNCIÓN DEL SISTEMA DE FALDÓN

Qué pueden y no pueden hacer los sistemas de faldón

En el pasado, un sistema de faldón del borde típico era una tira vertical de elastómero sujetada con abrazaderas a la parte exterior del acero del chute o chute lateral. La tira de sellado de caucho cerraba el espacio entre el acero y la banda, lo que típicamente medía de 25 a 50 milímetros (1 a 2 pulgadas) o más.

Se esperaba que esta tira de sellado de elastómero desempeñara una función casi milagrosa. Si la banda no tenía el soporte apropiado o un revestimiento de desgaste o su revestimiento estaba desgastado, el sello de borde de elastómero debía contener el peso total de la carga de material y al mismo tiempo intentar ajustar la trayectoria ondulada de la banda. Pedir que las tiras de sellado flexible por sí solas hagan más que contener el material ligero o el polvo en la banda es pedir lo inalcanzable. La carga de material desgastará rápidamente la tira de sellado o la alejará del chute lateral, permitiendo que se reanuden los derrames **(Figura 13.3)**.

En un intento por detener el escape de partículas, el personal de la planta ajusta continuamente las tiras de sellado hacia la banda; por lo tanto, se aumenta la presión del sellado, provocando varios resultados indeseados. El aumento de presión del sellado eleva los requerimientos de energía del

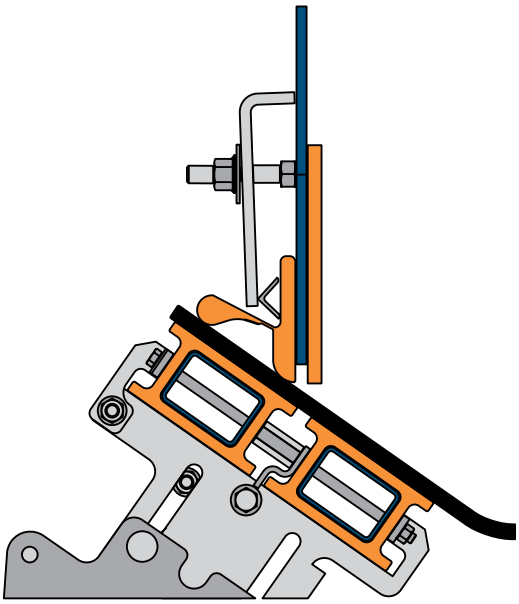


Figura 13.2

El sellado eficaz en el borde de la banda requiere del soporte de la banda, los revestimientos de desgaste, los chutes laterales y el sello de faldón.

transportador, algunas veces hasta el punto en que puede atascar la banda. El aumento de fricción provoca acumulación de calor que ablandará la tira de sellado de elastómero y acortará la vida útil de ésta, algunas veces prácticamente hasta derretir el sello. Este aumento de desgaste es más obvio en los puntos donde existe mayor presión, normalmente directamente arriba de los rodillos **(Figura 13.4)**.

En una banda que no está soportada apropiadamente en la zona de carga, la banda se hundirá entre los rodillos, permitiendo que el material quede atrapado entre el revestimiento de desgaste o el faldón y la banda. El material atrapado acelera bastante el desgaste de la banda y del sistema de faldón del borde, y aumenta el requerimiento de potencia de impulso.

Figura 13.3

Sin un sistema de faldón eficaz, el material se derramará por los lados de la banda, acortando la vida útil de los componentes y aumentando el trabajo de mantenimiento y limpieza.

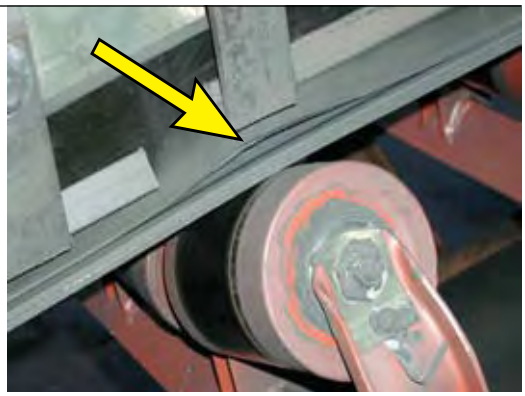


Figura 13.4

Con la alta presión, el sello se desgasta más rápidamente y de manera desigual. Un desgaste desigual, en forma ondulada, será más obvio directamente sobre los rodillos donde la presión es mayor.

Figura 13.5

Los primeros sellos de chute lateral fueron fabricados internamente de materiales disponibles fácilmente, como banda usada o cuerdas "gruesas". Estos sistemas de faldón primitivos eran empujados hacia los bordes de la banda o sostenidos en su posición por la gravedad.

Meta del sistema de faldón

La meta de cualquier sistema de faldón es contener los finos y el polvo del material transportado en la banda. Las características deseadas incluyen un área de contacto mínima entre el sello y la banda y mínima presión descendiente del sello, además de una vida útil razonable. Minimizar estos elementos reduce el arrastre contra el transportador, minimiza el desgaste de la banda y el sello y minimiza la energía adicional requerida para impulsar la banda.

El trabajo de sellar los bordes de una zona de carga de un transportador es desafiante. Incluso en los mejores puntos de transferencia con la banda alineada apropiadamente en una línea estable, el sistema de faldón enfrenta cierta cantidad de presión lateral y vibración debido a las variaciones en la carga y otras condiciones. El sistema de faldón debe diseñarse para adecuarse a estas fluctuaciones en el recorrido de la banda para formar un sello eficaz. El sello debe ser suficientemente áspero para soportar la abrasión de la banda y el impacto del empalme sin sufrir desgaste excesivo y sin entorpecer el empalme. El sistema de faldón debe ofrecer un mecanismo de ajuste simple para compensar el desgaste.

Ningún sistema de faldón puede soportar mucho tiempo el abuso de la carga de material. Si los sellos no están protegidos del flujo de material, tanto la eficacia como la vida útil de las tiras de sellado disminuirán. Con el impacto del material de carga sobre el sistema de faldón, el material fuerza hacia abajo la tiras de sellado sobre la banda, acelerando el desgaste del sello y la banda. El punto de transferencia debe construirse para evitar ambos impactos de la carga sobre los sellos y el flujo de material contra los sellos.

SELLADO VERTICAL, INTERNO O EXTERNO

Sistemas de faldón diseñados

Los primeros sellos de chute lateral fueron fabricados internamente con materiales fácilmente disponibles, como banda usada o

cuerdas "gruesas" **(Figura 13.5)**. Estos sistemas de faldón primitivos eran empujados hacia los bordes de la banda o sostenidos en su posición por la gravedad. Aunque eran baratos, estos sistemas no fueron muy exitosos. Empezaron a impregnarse con material que desgastaba la banda y carecían de un método fácil para ajustar el desgaste. Eventualmente, los resultados decepcionantes de estas técnicas caseras llevaron al deseo y al diseño de sistemas más eficaces.

Ahora, los modernos componentes del punto de transferencia diseñados han progresado de tiras de sellado que difícilmente contenían terrones de material a sistemas actuales que impiden el escape de finos y hasta el polvo. Varios de los sistemas de faldón diseñados ahora están disponibles comercialmente. En general, estos sistemas consisten en una tira larga de elastómero, sostenida contra el borde inferior del chute lateral por una serie de abrazaderas.

Para un sellado eficaz, es crítico que haya una distancia de la banda libre adecuada. La distancia de la banda libre, la cantidad de la banda fuera del chute lateral a ambos lados del transportador, proporciona el espacio disponible para el sistema de faldón **(Figura 13.6)**. Muy a menudo, con el propósito de colocar la mayor carga en la banda más angosta, se reduce la distancia de la banda libre. Esto invariablemente es a costa de la eficacia del sistema de faldón. *(Para más información sobre la distancia de la banda libre y el ancho de la banda eficaz, vea el Capítulo 11: Chutes laterales).*

Existen varios métodos diferentes para sellar los chutes laterales. Una manera simple de clasificar estos sistemas es describir dónde tiene contacto cada uno con la banda: algunos caen directamente del chute lateral, algunos se extienden hacia dentro del chute lateral y algunos sellan en la parte exterior del chute lateral.

Sellado vertical

Los sistemas de faldón vertical normalmente usan una sola tira de sellado de caucho **(Figura 13.7)**. A menudo, un proveedor ofrece un sistema de abrazaderas y otro proporciona la tira de caucho. Algunas veces se instala una tira de elastómero especialmente formada, otras veces se aplican tiras de caucho, o peor aún, banda usada **(Figura 13.8)**. El sistema de faldón seleccionado siempre debe ser menos resistente a la abrasión que el recubrimiento superior de la banda que está sellando.

Debe advertirse específicamente en contra de usar cualquier banda usada anteriormente o sobrante como un sello de faldeo. La banda usada normalmente es cargada con materiales abrasivos como arena, ceniza o finos durante sus años de servicio. Todas las bandas, nuevas o usadas, contienen un refuerzo de tela o cordones de acero que desgastarán la banda en movimiento, desgastando el recubrimiento

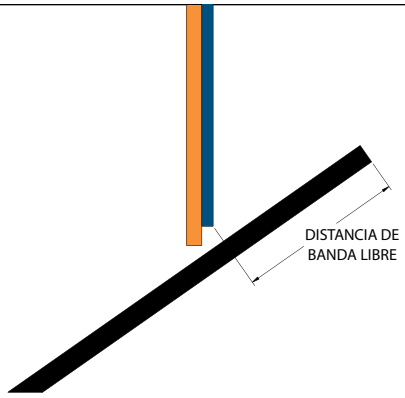


Figura 13.6

La distancia de banda libre, la cantidad de banda fuera del chute lateral en ambos lados del transportador, proporciona el espacio disponible para el sistema de faldón.

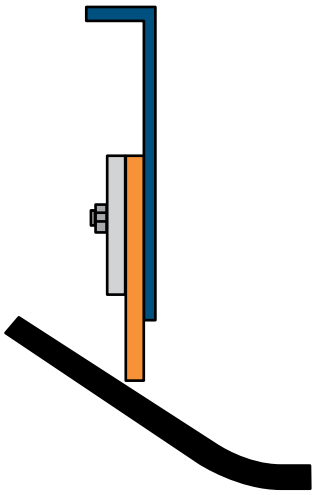


Figura 13.7

Los sistemas de faldón vertical normalmente usan una tira de caucho o elastómero que puede tener una forma especial exclusiva. Se usa un sistema de abrazaderas para sostener el caucho del chute lateral en su lugar.

Figura 13.8

Algunas veces se observan tiras de caucho o, peor aún, banda usada. Sin importar el material usado, el sistema de faldón siempre debe ser menos resistente a la abrasión que el recubrimiento superior de la banda.

superior protector, lo que conlleva a una falla prematura y reemplazos costosos.

Otro tipo de sistema de faldón vertical usa una serie de bloques de sellado entrelazados que se instalan fuera del chute lateral sobre una placa de montaje especial. Los bloques entrelazados pueden moverse hacia abajo (hacia la banda) pero resistir el movimiento ascendente **(Figura 13.9)**. Estos bloques pueden ajustarse fácilmente hacia la banda usando sólo un martillo; no obstante, cada bloque debe ajustarse individualmente y el ajuste excesivo es un problema común. Cuando se ajustan demasiado, estos bloques fácilmente pueden atascar una banda.

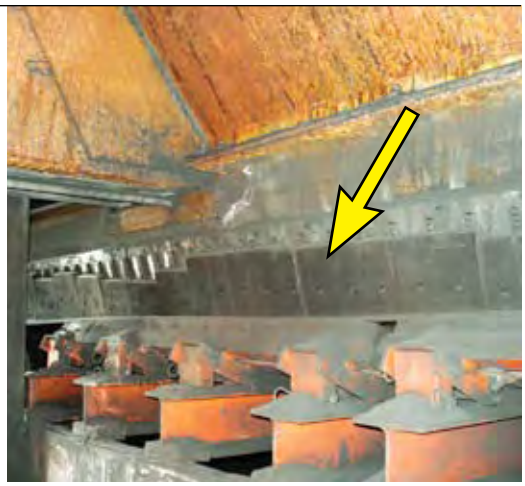


Figura 13.9

Una clase de sistemas de faldón es fácil de ajustar puesto que está formado por segmentos. Una serie de bloques de sellado modulares se instalan afuera del chute lateral en una placa de montaje especial que permite que los bloques entrelazados se muevan hacia abajo (hacia la banda) pero resisten el movimiento ascendente.

Las ventajas principales de los sellos de chute lateral rectos de arriba y abajo o verticales son:

A. Bajo costo

B. Requerimientos de distancia angosta entre la banda y el borde (distancia de la banda libre)

C. Pueden ajustarse solos

Las desventajas principales de los sellos de chute lateral rectos de arriba y abajo o verticales son:

A. A menudo son difíciles de ajustar acertadamente

B. Es fácil ajustarlos demasiado lo que provoca un desgaste prematuro

C. Propensos a atrapar material que conlleva a provocar daños en la banda

D. Susceptibles a la fuga del polvo y los finos

Un tercer tipo de sistema de faldón del borde vertical, diseñado para superar muchas de las desventajas asociadas con el sellado recto de arriba y abajo, es el sistema de faldón flotante. Este sistema usa tiras de sellado montadas al chute lateral de acero en brazos conectores independientes de rotación libre **(Figura 13.10)**. Los conectores permiten que la tira de sellado flote sobre la banda, reaccionando a los cambios de la banda mientras continúa en contacto sellado con la banda **(Figura 13.11)**. Este diseño permite al sistema de faldón ajustarse usando sólo su propio peso para compensar el desgaste. La función de autoajustado permite a este tipo de sistema de faldón superar los obstáculos provocados por las inconsistencias en la línea de la banda debido a un soporte de banda inapropiado o sobrecargas de material.

Figura 13.10

Un sistema de faldón del borde que se clasificaría como recto de arriba y abajo es el sistema de faldón flotante. Este sistema usa tiras de sellado montadas al chute lateral de acero en brazos conectores de rotación libre independientes.

Figura 13.11

Este sistema permite al sistema de faldón ajustarse automáticamente usando su propio peso para compensar el desgaste o variaciones en el recorrido.

Sellado interno

Algunos sistemas de faldón se sujetan con abrazaderas en la parte exterior del chute con la tira de elastómero curveada hacia abajo del acero. Con estos tipos de sistemas, el sello se forma en la parte interior del chute lateral. Puesto que el sello yace en el interior, el revestimiento de desgaste debe espaciarse suficientemente por arriba de la banda para permitir algo de libre movimiento vertical del sello **(Figura 13.12)**. Estos sistemas internos

han tenido algo de éxito en los transportadores que transportan materiales ligeros y esponjosos, materiales no abrasivos como, por ejemplo, negro de carbón. Los sistemas de faldón internos también son útiles como una solución temporal en las bandas que tienen una distancia de faldón del borde limitada, donde la falta de banda fuera del acero del chute lateral limita el espacio disponible para aplicar un sistema de faldón. Estos sistemas algunas veces son útiles en áreas con alta presión en el chute interno, por ejemplo debajo de un botadero de vagón de tren, donde, cuando se aplica apropiadamente, el material cargado en el sello serviría para ayudar en el sellado. Debe tenerse en cuenta que el sello puede desgastarse rápidamente y el material atrapado bajo el sello tendería a desgastar de manera prematura el recubrimiento superior de la banda.

Algunas veces el sellado interno se aplica debido a una banda con un problema de desalineamiento severo, puesto que sería menos probable que la banda se desalinee con este tipo de sistema. En esta situación, sería mejor resolver los problemas de desalineamiento en vez de aplicar un sello para resolver el problema. *(Vea el Capítulo 16: Alineación de la banda).*

El beneficio ofrecido por la protección del revestimiento de desgaste puede neutralizarse cuando el sistema de faldón se extiende hacia atrás del chute lateral, colocando la tira de sellado dentro del revestimiento de desgaste **(Figura 13.13)**. La tira de sellado se raspa con la carga de material y el material puede atraparse más fácilmente en la banda.

Las ventajas principales de los sistemas de sellado de chute lateral interno son:

A. Se ajustan automáticamente
B. Manejan materiales ligeros y esponjosos, y materiales no abrasivos
C. Requieren distancia de borde limitada (distancia de la banda libre)
D. Manejan alta presión en el chute interno
E. Funcionan con bandas severamente descentralizadas

Las principales desventajas de los sellos de chute lateral internos son:

A. Vida más corta del sello debido a que se encuentra en el flujo de material
B. Propensos a atrapar material bajo el faldón de sellado, ocasionando el desgaste prematuro de la banda
C. Reducción del área de carga de la banda debido al efecto "arcoiris" **(Figura 13.14)**

Figura 13.12

Algunos sistemas de faldón están sujetados con abrazaderas a la parte exterior del chute con la tira de sellado curveada hacia atrás debajo del acero para formar un sello en la parte interior de la pared del chute. Puesto que el sello yace en el interior, el revestimiento de desgaste debe espaciarse suficientemente por arriba de la banda para permitir cierto libre movimiento vertical del sello.

Figura 13.13

El beneficio ofrecido por la protección del revestimiento de desgaste es un poco neutralizado cuando el sistema de faldón se extiende hacia atrás por debajo de la pared del chute para colocar la tira de sellado en la parte interior del compartimiento de acero. Dentro del revestimiento de desgaste, la tira de sellado puede dañarse fácilmente con las fuerzas de la carga de material.

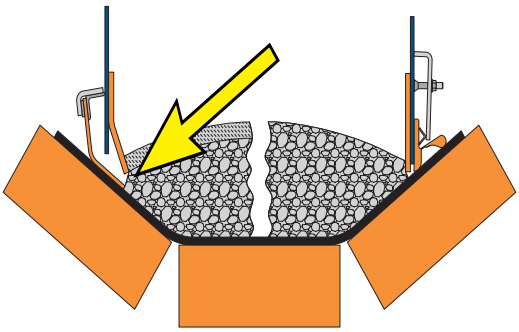


Figura 13.14

Los sellos de chute lateral internos reducen el área utilizable de la banda ocupando el espacio donde podría transportarse la carga. Debido al efecto "arcoiris" en los bordes del área de carga, la capacidad se reduce en todo el ancho de la banda.

Un híbrido de estos sistemas combina el sistema de faldón vertical flotante, descrito anteriormente en la sección sobre sellado vertical, con una tira de caucho en forma de "L" **(Figura 13.15)**. La base de la "L" de caucho se extiende hacia adentro, debajo del acero del chute lateral y el revestimiento de desgaste, hacia los materiales a granel. Este sistema de faldón de una sola pieza sirve como sello de material (terrón) y sello del polvo. La "base" de caucho mejora la resistencia del sello a la presión lateral de la carga de la banda y aumenta el rango de desalineamiento de la banda que puede tolerar el sistema de faldón.

Figura 13.15

Un híbrido de estos sistemas combina el sistema de faldón vertical flotante, descrito anteriormente en la sección de sellado vertical, con una tira de caucho en forma de "L". La base de la "L" de caucho se extiende hacia adentro, debajo del acero del chute lateral y el revestimiento de desgaste, hacia los materiales a granel.

Figura 13.16

La variación final en los sistemas de faldón son aquellos sistemas que sellan por la parte exterior del acero del chute lateral.

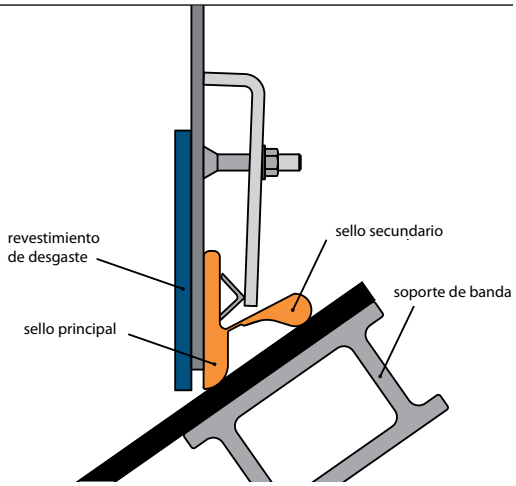


Figura 13.17

Los sistemas de faldón de capas múltiples incorporan dos capas: una tira primaria que se empuja suavemente hacia la banda para contener la mayoría de las partículas y una tira secundaria que descansa sobre el borde exterior de la banda para contener todos los finos o el polvo que se empujan por abajo del revestimiento de desgaste y la tira primaria.

Este tipo de sistema es especialmente útil en puntos de transferencia donde el revestimiento de desgaste es instalado a 25 milímetros (1 pulgada) o más por arriba de la banda. Este espaciado se usa para impedir que la banda se dañe por elevarse contra el revestimiento de desgaste y es una práctica común en algunas industrias donde los transportadores y las condiciones no son ideales, como explotación de carbón y producción de agregados.

Este sistema híbrido permite que el sello flote sobre la banda, elevándose y cayendo con cualquier movimiento de la banda, incluyendo el pase del empalme. La presión de aplicación baja reduce el desgaste de la banda y la tira de sellado.

Sellado externo

Las variaciones finales de los sistemas de faldón del borde son sistemas que sellan en la parte exterior del acero del chute lateral **(Figura 13.16)**. El diseño más eficaz combina la eficacia del sello de capas múltiples con la simplicidad de los sistemas de tira individual.

Cuando los trabajadores de mantenimiento del transportador se preparan para realizar actividades en clima frío, usan varias capas de ropa, ya que saben que es mejor ponerse prendas (camiseta, camisa, sudadera y chaqueta) que usar sólo una prenda gruesa. El mismo concepto puede usarse en el sellado de un punto de transferencia: es mejor trabajar con varias capas delgadas que con una capa gruesa de uso general. En un sello, la primera capa es proporcionada por el revestimiento de desgaste instalado dentro del chute. Extendiéndose hacia abajo cerca de la banda, el revestimiento de desgaste mantiene las partículas grandes de material muy alejadas del borde de la banda. *(Vea el Capítulo 12: Revestimientos de desgaste).* La siguiente capa es proporcionada por el sistema de faldón.

Los diseños de capas múltiples incluyen elastómeros resistentes de una sola tira fabricados con un alerón moldeado que sirve como un sello secundario **(Figura 13.17)**. Este estabilizador o tira secundaria, normalmente forma uno o más canales que capturarían los finos y los transportarían con cuidado a lo largo

de la banda antes de depositarlos de nuevo en el cuerpo principal del material.

El sello principal del sistema está sujetado con abrazaderas contra la parte exterior del conjunto de chutes que se extienden verticalmente hacia abajo y que tocan ligeramente la banda. Se aplica una presión ligera sobre la banda y la abrazadera aplica fuerza horizontalmente hacia el chute y no hacia abajo sobre la banda. Puesto que la fuerza de la abrazadera es horizontal, la tira principal contiene el material sin aplicar alta presión en la banda, puesto que aumentaría el desgaste y el consumo de energía del transportador. Esta tira principal encerrará la mayoría del material que ha escapado del revestimiento de desgaste.

Como un estabilizador, el sello secundario requiere sólo la fuerza de su propia elasticidad para proporcionar presión de sellado y, por lo tanto, funcionará mucho tiempo sin la necesidad de un ajuste.

Instalar el diseño de una sola pieza preferido es un procedimiento simple: se desenrolla el sello a la longitud apropiada, se corta y se fija al chute lateral usando un sistema de abrazaderas. Un sello de una sola pieza evita uniones innecesarias y el manejo de varias piezas. Los sistemas de faldón deben proporcionarse en diferentes grosores para manejar diferentes aplicaciones de trabajo y en diferentes materiales, para manejar diferentes necesidades como grado alimenticio, alta temperatura y aplicaciones subterráneas.

Las ventajas del sellado externo son:

A. Larga duración, puesto que se coloca lejos del flujo de material y es protegido por el chute lateral y el revestimiento de desgaste
B. Puede ajustarse automáticamente
C. Requiere de baja presión de sellado debido al diseño de sello de "laberinto" o de capas múltiples
D. Se adapta a los sistemas de abrazaderas existentes

Las desventajas del sellado externo son:

A. Requiere mayor distancia del borde de la banda (distancia de la banda libre)
B. Vulnerable a daños si se desalinea la banda desde abajo del sello

CONSIDERACIONES PARA UN SELLADO EXITOSO

Requerimientos de distancia del borde

Debe tenerse cuidado al seleccionar un sistema de faldón del borde para que éste se ajuste al área disponible entre el borde de la banda y el chute lateral de acero. Las tiras de sellado no deben extenderse hacia el borde de la banda, puesto que aumenta el riesgo de dañar el sello o la banda en caso de que ésta se descentralice.

En general, se recomiendan 115 milímetros (4.5 pulgadas) fuera del acero del chute lateral en cada lado de la zona de carga como la distancia mínima requerida para establecer un sello eficaz. *(Para más información sobre la distancia del borde, vea el Capítulo 11: Chutes laterales, especialmente la Tabla 11.1).*

Sellos de bordes y desalineamiento de la banda

Todos los sistemas del faldón son vulnerables a daños por el desalineamiento de la banda. Si la banda se descentraliza desde abajo de un lado del chute lateral, la tira de sellado sin soporte cuelga hacia abajo de la línea de la banda **(Figura 13.18)**. Cuando la banda regresa a su posición centrada, el sello se raspará por el contacto con el borde de la banda en movimiento o se doblará hacia atrás a una posición anormal y se romperá o desgastará. Cualquiera de estas situaciones representa un mayor riesgo de derrame. Las claves para evitar daños al faldón son proporcionar una distancia del borde adecuada y controlar la alineación de la banda. *(Vea el Capítulo 16: Alineación de la banda).*

Figura 13.18

Si la banda se descentraliza por abajo de un lado del chute lateral, la tira de sellado sin soporte (verde) cuelga hacia abajo de la línea de la banda ocasionando daños al sello y derrames.

Sistema de faldón y desgaste del recubrimiento de la banda

Un proyecto de investigación publicado en el diario *Manejo de sólidos a granel* en 1995, examinó en qué medida la limpieza de la banda diseñada y los sistemas de faldón aumentaron o disminuyeron el desgaste de la banda *(Referencia 13.1)*. Este estudio probó la abrasión de varios sistemas de faldón del borde contra las bandas de transportadores típicos. Las conclusiones del estudio reportaron que usar sistemas de limpieza de la banda y de sellado más sofisticados con mantenimiento adecuado pueden extender la vida útil de la banda transportadora. Aunque el desgaste de la banda es introducido por estos dispositivos, la cantidad de desgaste es aproximadamente la mitad de la tasa esperada cuando la banda corre por acumulaciones de material fugitivo derivadas de la falta o la falla de los sistemas de limpieza y de sellado.

Evitar surcos en la banda

Es un error común pensar que el sistema de faldón debe ser "más suave" que el recubrimiento de la banda para asegurar que el sello se desgaste primero que la banda. Es posible fabricar sellos de materiales con un amplio rango de dureza y resistencia al desgaste que son apropiados para los faldones. Para impedir que las tiras de sellado desgasten la banda, las tiras de sellado deben fabricarse de materiales con una resistencia a la abrasión más baja que el recubrimiento superior de la banda, asegurando así que el sello se desgastará antes que el recubrimiento de la banda. La resistencia de abrasión no se mide con un shore, una clasificación de dureza, sino más bien con un índice de abrasión como, por ejemplo, las clasificaciones de Pico, Deutches Instit für Normung (DIN) o Taber.

Muchas bandas se desgastan a lo largo del área de faldeo a una distancia establecida en cualquier borde de la banda **(Figura 13.19)**. A menudo se culpa al sistema de faldón por este desgaste; sin embargo, muy a menudo este desgaste no es provocado por la abrasión con la tira del sellado. Más bien, estos surcos se inician con el atrapamiento de finos y terrones pequeños de material entre el revestimiento y la banda. Este material atrapado empieza a rasguñar la superficie de la banda y gradualmente desgasta el recubrimiento superior. Este material atrapado muy a menudo se observa en las bandas que no tienen un soporte de banda apropiado o en transportadores donde la carga de material empieza mientras la banda está en transición *(ver Capítulo 6: Antes de la zona de carga)*, ya que los cambios en la forma de la banda facilitan el atrapamiento de material debajo del chute lateral. Cuando se quiera determinar la causa de un surco en la banda, es importante

Figura 13.19

Muchas bandas se desgastan a lo largo del área de faldeo a una distancia establecida desde cualquiera de los bordes de la banda.

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Es importante seguir los procedimientos establecidos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación antes de realizar cualquier trabajo en las tiras de sellado del borde o cualquier otro elemento en la banda transportadora o cerca de ella. Deben seguirse los lineamientos del fabricante para los intervalos de inspección y procedimientos de mantenimiento.

Las tiras de sellado nunca deben elevarse mientras la banda está corriendo, puesto que esto colocará al trabajo en una proximidad cercana a la banda en movimiento. Esta acción también puede permitir que terrones, finos o polvo sean expulsados desde el punto de transferencia hacia el trabajador.

Se recomienda que se coloquen guardas en el área del punto de transferencia a ambos lados del transportador. Las guardas impedirán que el personal no capacitado ajuste las tiras de sellado o quede atrapado en los numerosos puntos de presión de la zona de transferencia.

inspeccionar los transportadores y los chutes ubicados sobre el transportador afectado para buscar fugas y derrames.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Lineamientos de instalación

Un sistema de faldón debe formar una tira continua a lo largo de los lados del chute lateral de acero. Si se emplean uniones a tope de extremo a extremo simples para empalmar tramos de tiras de sellado, el material eventualmente pasa entre las superficies adheridas y se fuga. Una unión entrelazada o superpuesta es mejor para prevenir este derrame. Una mejor solución es usar tiras de sellado disponibles como una tira continua sin la necesidad de una sutura o unión.

Con todos los sistemas de faldón del borde, es una buena idea redondear el borde de ataque del sello en la cola del transportador donde la banda entra a la parte posterior de la zona de carga **(Figura 13.20)**. Presentar un borde redondeado a la banda en movimiento reduce la posibilidad de que un alineador mecánico de la banda pueda atrapar la tira y desgarrarla o jalarla fuera del chute.

Mantenimiento del sistema de faldón

Cuando se especifica un sistema de faldón, es prudente considerar su mecanismo para ajustar y reemplazar el caucho desgastado. A medida que corre un transportador, el calor generado por la fricción de la banda contra el sello del faldeo se combina con la naturaleza abrasiva de los finos de material para erosionar la tira de sellado. Para contrarrestar este desgaste, la tira de sellado debe ajustarse periódicamente hacia abajo contra la banda.

Aplicar demasiada presión descendiente al sistema de faldón resulta en requerimientos de energía adicionales para mover la banda, además de un desgaste adicional en la banda y el sello.

Si los procedimientos para el servicio del caucho del faldeo son inconvenientes o complicados, es muy probable que se presenten tres consecuencias dañinas:

A. Ajustes inexistentes

Nunca se hace un ajuste, de modo que las tiras de sellado del faldeo se desgastan, las aberturas se abren y se reanudan las fugas.

B. Ajustes poco frecuentes

El ajuste se realiza con muy poca frecuencia, de modo que los derrames ocurren de manera intermitente.

C. Ajustes excesivos

La persona de mantenimiento o el operador del transportador, para compensar que no realizó ajustes regulares, ajustará demasiado el sello. Aplicar demasiada fuerza descendiente sobre la banda, es un riesgo de daño a la banda o de entorpecimiento de un empalme, desgarrando la sección entera del faldón de sellado.

Para evitar estos problemas, los procedimientos de mantenimiento del sello de chute lateral deben ser tan libres de complicaciones, herramientas y paros en producción como sea posible.

Los sistemas de faldón que descansan suavemente sobre la banda, usando un poco más que la presión de su propio peso o la tensión integrada en el diseño, pueden minimizar la necesidad de ajuste por parte de mantenimiento.

Algunos sistemas de faldón de capas múltiples proporcionan una función de ajuste automático, puesto que la memoria elastomérica mantiene la presión del sellado. A medida que los tramos del faldón de sello secundario se desgastan, la elasticidad natural del faldón de elastómero la mantiene hacia abajo sobre la banda manteniendo la eficacia del sello.

Figura 13.20

Con todos los sistemas de faldón del borde, es una buena idea redondear el borde de ataque del sello en la cola del transportador donde la banda entra a la parte posterior de la zona de carga.

13

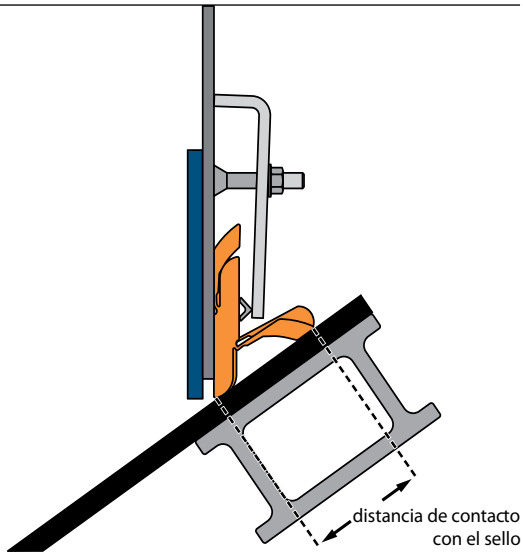
ESPECIFICACIONES TÍPICAS

A. Diseño de bajo mantenimiento

Un sistema de sellado de chute lateral debe instalarse en el punto de transferencia del transportador para eliminar el derrame de material y proporcionar un sello del polvo positivo en los lados de la zona de carga. Este sistema de faldón debe tener un diseño de bajo mantenimiento que proporcione un sello eficaz sin aplicar presión descendiente sobre la banda.

Figura 13.21

La distancia de contacto con el sello es el ancho del borde de la banda en contacto con el faldón.



B. Revestimientos de desgaste

Se recomienda que se instalen revestimientos de desgaste apropiados en la parte interna del chute y el chute lateral para proteger al sistema de faldón de las fuerzas de la carga lateral del material.

C. Función de ajuste automático

Para reducir los intervalos de mantenimiento, el sistema de faldón debe diseñarse para que se ajuste automáticamente con el sistema flexionándose para mantener la eficacia del sellado en respuesta al desgaste o cambios en la línea de recorrido de la banda.

D. Una sola tira extendida en toda la longitud

La tira de sellado debe suministrarse en una sola tira larga extendida (en cada lado del transportador) para proporcionar un sello continuo sin suturas.

E. Severidad de la aplicación

Al seleccionar un sistema de sellado de chute lateral, es importante que coincida con la severidad de la aplicación. Los factores como la velocidad de la banda, la carga de material y la distancia de la banda libre deben revisarse para asegurar que la aplicación reciba un sistema adecuado **(Tabla 13.1)**.

Tabla 13.1

Guía de selección comparativa típica para el sello del chute lateral

Características básicas de los sistemas de faldón	Tipo de sistema de faldón		
	Sellado interno	Sellado vertical	Sellado externo
Puede sacrificar la capacidad de la carga	Sí	No	No
Distancia de banda libre recomendada (afuera del chute lateral)	≥ 115 mm (4.5 pulgadas)	≥ 115 mm (4.5 pulgadas)	≥ 115 mm (4.5 pulgadas)
Distancia de contacto con el sello **(Figura 13.21)**	≥ 38 mm (1.5 pulgadas)	≤ 51 mm (2 pulgadas)	≈ 75 mm (3 pulgadas)
Requiere revestimiento de desgaste	Sí	Sí	Sí
Distancia del revestimiento de desgaste por encima de la banda	≥ 25 mm (1 pulgada)	≤ 25 mm (1 pulgada)	≤ 25 mm (1 pulgada)

TEMAS AVANZADOS

Diseños especiales de sistemas de faldón

Algunas circunstancias especiales requieren sistemas de faldón en combinación o híbridos. En caso de una banda de alimentador plana donde existe material muy fino bajo alta presión, comúnmente se usa una variación del sellado externo en la manera recta convencional.

Requerimientos de energía de los sistemas de faldón

Para mantener eficazmente el material sobre la banda, los sistemas de faldón deben ejercer alguna presión contra la banda. Esta presión aumentará el arrastre contra la banda y; por lo tanto, aumentará el consumo de energía del transportador. El requerimiento de energía adicional es directamente dependiente de la longitud y el ancho del sello y la presión aplicada al sello para mantenerlo en contacto con la banda. Es independiente del ancho de la banda.

La Asociación de Fabricantes de Bandas Transportadoras (CEMA) *(Referencia 13.2)* proporciona una fórmula para calcular el arrastre del sello de chute lateral de faldón de caucho genérico instalado a ambos lados de un punto de transferencia **(Ecuación 13.1)**.

La tensión (**Ecuación 13.1**) se relaciona con la energía adicional requerida para impulsar la banda transportadora (**Ecuación 13.2**).

Nota: esta resistencia es adicional al arrastre de la carga de material contra los chutes laterales/los revestimientos de desgaste.

En instalaciones de prueba y situaciones en el campo, se ha detectado que muchos sistemas de sellado de chute lateral pueden ajustarse hacia abajo sobre la banda con niveles muy altos de fuerza. En estos casos, debe medirse la tensión real para evitar subestimar el arrastre real sobre la banda. Se han medido en campo las aproximaciones razonables para los requerimientos de arranque y las fuerzas resultantes **(Tabla 13.2) (Ecuaciones 13.1** y **13.2)**.

Los requerimientos de energía de operación son normalmente de la mitad a dos tercios de los requerimientos de la energía de arranque. Si se conocen las condiciones reales, los requerimientos de energía reales o la tensión pueden medirse o calcularse y usarse en estas ecuaciones.

Fuerza entre la banda y la tira de sellado con diferentes sistemas de faldón — *Tabla 13.2*

Fuerza normal eficaz (F_{SS}) entre la banda y el sello	F_{SS}	
	Unidades	
	Métricas	Imperiales
Tipo de faldeo	N/m	lb_f/pies
Losa de caucho: Caucho SBR—60 a 70 Shore D	45	3
Caucho plano de ajuste automático: Sistema de faldeo de ajuste automático de Martin Engineering *MARTIN® BOCO™* o similar	78	5.25
Multibarrera de 1 pieza: Sistema de faldeo de 1 pieza de Martin Engineering *MARTIN® APRON SEAL™* o similar	30	2
Multibarrera de 1 pieza para trabajo pesado: Sistema de faldeo de trabajo pesado de 1 pieza de Martin Engineering *MARTIN® APRON SEAL™* o similar	50	3.3

13

EL ÚLTIMO PASO PARA EL CONTROL DE DERRAMES

En resumen...

En vez de ser el primer paso para resolver los derrames del transportador, el sello de chute lateral es la última oportunidad para controlar el material fugitivo e impedir que escape. Entre mejor se realice el trabajo con el soporte de la banda y los sistemas de revestimiento de desgaste para contener el material y mantenerlo alejado del borde, mejor será el desempeño del sistema de faldón del borde de la banda. Un sistema de capas múltiples flexibles que incorpore algún nivel de ajuste automático encierra el material de manera eficaz en un punto de transferencia y mejora la operación de la banda transportadora. Una inspección y un mantenimiento periódico extenderán la vida útil, reducirán los daños, mejorarán el desempeño y aumentarán la satisfacción. Esto asegurará que una operación reciba el valor óptimo por su inversión en un sistema de faldón diseñado.

Ecuación 13.1

Cálculo para la tensión agregada a la banda debido al sello de chute lateral

$$\Delta T_{ss} = n \cdot \mu_{ss} \cdot F_{ss} \cdot L$$

Dado: *El faldeo de losa de caucho instalado en ambos lados por 6 metros (20 pies) de banda.* ***Calcular:*** *La tensión agregada a la banda debido al sello de chute lateral.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
ΔT_{ss}	Tensión agregada a la banda debido al sello de chute lateral.	newtons	libras-fuerza
n	Número de sellos de chute lateral	2	2
μ_{ss}	Coeficiente de fricción *(Según 575-2000 DE CEMA)*	0.5 – UHMW 1.0 – Poliuretano 1.0 – Caucho	0.5 – UHMW 1.0 – Poliuretano 1.0 – Caucho
F_{ss}	Fuerza normal entre la banda y el sello por longitud	45 N/m *(Tabla 13.2)*	3 lb_f/pies *(Tabla 13.2)*
L	Longitud de la sección de faldeo del transportador	6 m	20 pies
Métrico: $\Delta T_{ss} = 2 \cdot 1 \cdot 45 \cdot 6 = 540$ **Imperial:** $\Delta T_{ss} = 2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 20 = 120$			
ΔT_{ss}	Tensión agregada a la banda debido al sello de chute lateral.	540 N	120 lb_f

Ecuación 13.2

Cálculo de energía adicional requerida para impulsar la banda

$$P = \Delta T_{ss} \cdot V \cdot k$$

Dado: *Faldeo de losa de caucho instalado en ambos lados por 6 metros (20 pies) de banda. La banda viaja a 3 metros por segundo (600 pies/min).* ***Calcular:*** *La energía agregada al impulso debido al sello de chute lateral.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
P	Energía agregada a la transmisión por banda	kilowatts	caballos de fuerza
ΔT_{ss}	Tensión agregada a la banda debido al sello de chute lateral *(Calculado en la* ***Ecuación 13.1****)*	540 N	120 lb_f
V	Velocidad de la banda	3 m/s	600 pies/min
k	Factor de conversión	1/1000	1/33000
Métrico: $P = \frac{540 \cdot 3}{1000} = 1.6$ **Imperial:** $P = \frac{120 \cdot 600}{33000} = 2.2$			
P	Energía agregada a la transmisión por banda	1.6 kW	2.2 hp

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre los Sistemas de faldón del borde concluye la sección Cargar la banda y la discusión sobre el sellado de la zona de carga de un punto de transferencia para impedir el escape de partículas finas y material fugitivo. El siguiente capítulo da inicio a la sección relacionada con el trayecto de retorno de la banda con una discusión sobre la limpieza de la banda; los siguientes dos capítulos continúan esa sección con información sobre los arados para protección de las poleas y la alineación de la banda.

REFERENCIAS

13.1 Swinderman, R. Todd, Martin Engineering. (Octubre–Diciembre 1995). "Belt Cleaners, Skirting and Belt Top Cover Wear," *Bulk Solids Handling*. Clausthal-Zellerfeld, Alemania: Trans Tech Publications.

13.2 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). "'Universal Method' for Belt Tension Calculation." En *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*, pp. 104–129. Naples, Florida.

SECCIÓN 3

TRAYECTO DE RETORNO DE LA BANDA

- Capítulo 14 196
  LIMPIEZA DE LA BANDA

- Capítulo 15 244
  ARADOS PARA PROTECCIÓN DE LAS POLEAS

- Capítulo 16 252
  ALINEACIÓN DE LA BANDA

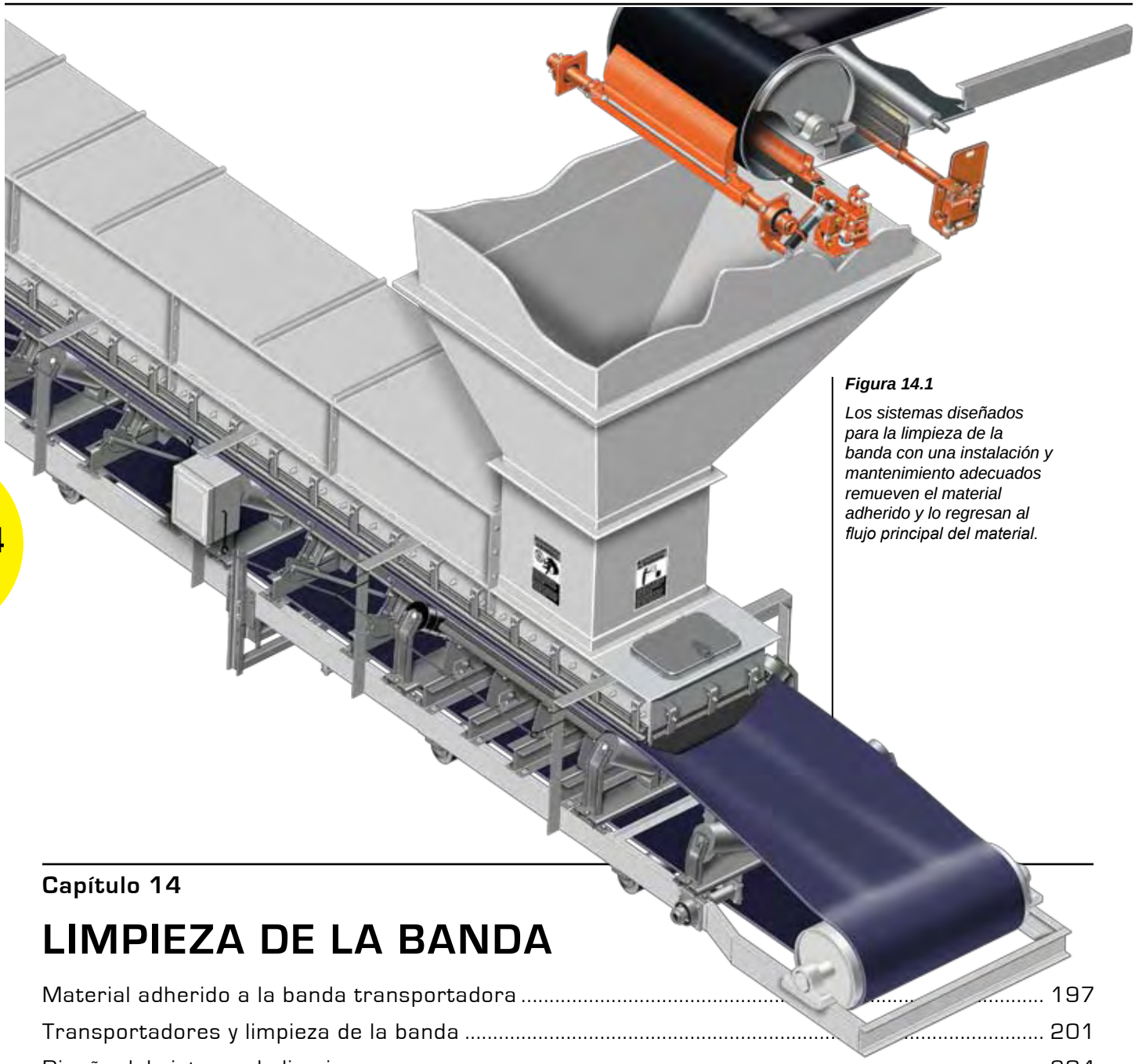


Figura 14.1

Los sistemas diseñados para la limpieza de la banda con una instalación y mantenimiento adecuados remueven el material adherido y lo regresan al flujo principal del material.

14

Capítulo 14

LIMPIEZA DE LA BANDA

Material adherido a la banda transportadora 197
Transportadores y limpieza de la banda 201
Diseño del sistema de limpieza 204
Selección de un sistema de limpieza de la banda 208
Metodología de sistemas para la limpieza de la banda 210
Presión de la hoja a la banda 221
Instalación más limpia 223
Mantenimiento del sistema 228
Evaluación del desempeño del limpiador de la banda 230
Especificaciones típicas 232
Temas avanzados 233
Cuestiones de seguridad 241
Beneficios del control del material adherido 241

En este capítulo...

En este capítulo, nos enfocamos en distintos tipos de limpiadores de la banda: su diseño, aplicaciones, instalación y mantenimiento. Discutimos la naturaleza y costo del material adherido, el uso de los limpiadores de la banda para reducir el material y los métodos para evaluar su desempeño. En Temas avanzados, ofrecemos ecuaciones para determinar la energía adicional necesaria al usar limpiadores de la banda.

El proceso normal del transporte de material a granel en una banda resulta en la separación de la carga en una capa de partículas finas húmedas que se quedan sobre la banda, material más seco y grueso sobre las partículas finas y los terrones más grandes hasta arriba. Los terrones, la mayoría del material más grueso y algunas de las partículas finas se descargan en el trayecto normal; una porción de las partículas gruesas y finas se quedarán adheridas a la banda. Conocido como material adherido, este material de residuo se transporta en la banda hasta que regresa a la polea de cola. A medida que estas partículas se secan, pierden cohesión y adhesión y luego se desprenden por los rodillos de retorno y las poleas deflectoras. La mayoría del material eventualmente se cae de la banda, apilándose debajo de la banda; se acumula en los rodillos de retorno, poleas y estructura del transportador; o se convierte en polvo en el ambiente.

La limpieza de los materiales fugitivos, como el material adherido, se asocia con muchos accidentes graves. La remoción del material adherido que se acumula en el equipo y en el suelo puede ser agotadora para los empleados y el equipo, y a menudo requiere equipos de personas y equipo o servicios costosos como cargadores y camiones cisterna aspirantes.

Si se instalan y se les da mantenimiento adecuado a los sistemas diseñados para la limpieza de la banda se pueden justificar económicamente para remover el material adherido y regresarlo al flujo principal del material **(Figura 14.1)**.

MATERIAL ADHERIDO A LA BANDA TRANSPORTADORA

Material adherido como material fugitivo

El material adherido es un material que se adhiere a la banda más allá del punto de descarga de la polea de cabeza, constituye gran parte del material fugitivo presente en cualquier sistema del transportador. Al igual que en el derrame en el punto de transferencia, el material adherido presenta serios problemas para los sistemas del transportador, creando consecuencias en el mantenimiento, tiempo de parada y eficacia de la planta. Estos problemas se presentan como acumulaciones del material fugitivo, causando desalineamiento de la banda, vida reducida de la banda, fallas prematuras de los componentes y otros problemas que generan paros en producción en el transportador y reparaciones costosas. Las acumulaciones del material fugitivo en el suelo o como nubes de polvo en el aire representan riesgo de incendio y explosiones; riesgos de resbalones, tropiezos y caídas y riesgos para la salud. También se pueden convertir en un imán de atención no deseada de los vecinos y autoridades reguladoras. Sin importar en donde caiga, el material adherido es una causa principal e indicador de ineficacias en los transportadores.

Para controlar el daño y el gasto que el material adherido genera, se instalan los sistemas de limpieza de la banda de los transportadores. Típicamente, los sistemas de limpieza de la banda son uno o más raspadores montados cerca de la polea de descarga (cabeza) para remover las partículas finas residuales cuando pasan alrededor de la polea de cabeza **(Figura 14.2)**.

La naturaleza del material adherido

El material adherido es típicamente la carga de la banda en su peor estado. Las partículas son normalmente más pequeñas y con un mayor contenido de humedad que el material transportado en general. La vibración de la

Figura 14.2

Los sistemas típicos de limpieza de la banda tienen uno o más raspadores montados cerca de la polea de descarga (cabeza) para remover las partículas finas residuales.

banda a medida que pasa sobre los rodillos crea una acción de asentamiento. Las partículas más finas, junto con el exceso de humedad, se filtran al fondo de la pila donde pueden crear una mezcla adhesiva que se adhiere a la banda. Al removerse de la banda, esta mezcla se adherirá a otras superficies, incluyendo el sistema de limpieza de la banda y las paredes verticales del chute **(Figura 14.3)**. Cuando se dejan secar, estas acumulaciones se pueden endurecer como el concreto y reducir la eficacia de la limpieza de la banda, dañar la banda u otro equipo y causar problemas de obstrucción del chute **(Figura 14.4)**.

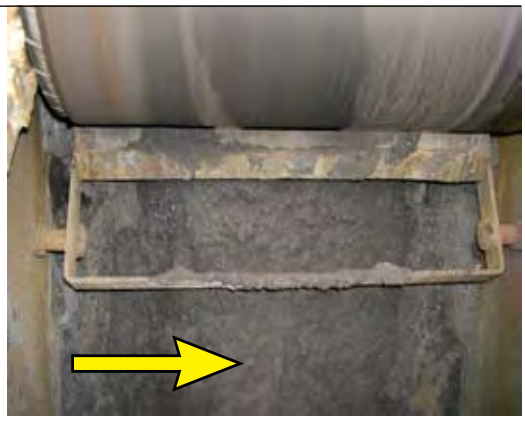


Figura 14.3

Al removerse de la banda, el material adherido se puede pegar a otras superficies, incluyendo el sistema de limpieza de la banda y las paredes verticales del chute.

Figura 14.4

Dejándolas secar, las acumulaciones del material adherido se pueden endurecer como el concreto y reducir la eficacia de la limpieza de la banda, dañar la banda u otro equipo y causar problemas de obstrucción del chute.

Figura 14.5

El material adherido liberado se acumula en los rodillos, creando componentes no esféricos que causan la descentralización de la banda.

El costo del material adherido

El material adherido es a menudo un problema más molesto y costoso que el derrame en el punto de transferencia. Como se puede caer en cualquier punto a lo largo del retorno del transportador, el material adherido fugitivo requerirá que equipos de limpieza trabajen en toda la longitud del transportador. Esto hace su remoción más extensiva y costosa que la limpieza de derrames más concentrada.

El material adherido liberado se acumula en los rodillos, creando componentes no esféricos que contribuyen al desalineamiento de la banda **(Figura 14.5)**. Se abre camino hacia los rodamientos, aumentando la fricción y causando fallas en los rodamientos. Una importante compañía minera alemana de lignito calculó que reemplazaba el 12 por ciento de los rodillos de retorno en sus operaciones de cada año. Aproximadamente el 30 por ciento de esos reemplazos fueron causados por el desgaste en el aro de soporte o en la cara del rodillo, desgaste que se originó por la liberación de material a lo largo de la línea de la banda.

Como el material adherido se acumula de manera dispareja en los componentes de rodamiento del transportador, ocasiona desalineamiento de la banda, causando derrame de material y carga ladeada de los transportadores. El desalineamiento de la banda transportadora acorta la vida de la banda, causa costos excesivos de mano de obra por mantenimiento y limpieza, tiempos de parada no programados y riesgos de seguridad.

Medir la cantidad del material adherido

Para comprender mejor el problema del material adherido, se debe cuantificar la cantidad del material que se adhiere a la banda y se transporta. Cuando el problema se puede cuantificar, es más fácil determinar qué tan eficaces son los sistemas de limpieza de la banda, y qué esfuerzos son necesarios, en cuanto a sistemas adicionales de limpieza y programaciones mejoradas de mantenimiento de limpieza. El material adherido se mide como el peso seco del material en gramos por metro cuadrado (onzas/pies^2) de la porción de la superficie de la banda que transporta el material. La industria del manejo de materiales a granel de Australia ha sido líder en el diseño y uso de sistemas para evaluar con exactitud la cantidad del material adherido en una banda determinada. Estos sistemas se han usado para

evaluar el éxito del equipo de limpieza de la banda, para ayudar en el diseño de nuevo equipo y para monitorear los contratos de desempeño de limpieza de la banda.

Existen varias maneras de determinar la cantidad del material adherido. Se puede colectar una pequeña muestra de una sección de la banda, usando una espátula para raspar manualmente el material adherido de la banda detenida (bloqueada). Al raspar un área medida, colectar el material en un recipiente o en una hoja de plástico, y después pesar el material, se puede calcular un valor para el material adherido por área de unidad. Una desventaja de este método es que en el proceso de parar la banda, cambiarán la cantidad y el tipo del material adherido.

Un método desarrollado por el pionero en limpieza de las bandas Dick Stahura utilizó un recipiente de colección del material adherido con las hojas raspadoras **(Figura 14.6)**. Este recipiente fue diseñado para sostenerse contra el lado de retorno de la banda en movimiento para remover el material residual y colectarlo en el recipiente. Debido a cuestiones de seguridad, este método ha sido automatizado, resultando en un indicador del material adherido desarrollado por Newcastle Research Associates, Ltd, de la Universidad de Australia (comúnmente conocido como el Grupo TUNRA) para el grupo de Tecnología en Transportadores Internacional (ICT por sus siglas en inglés). Este Indicador del material adherido de ICT tiene la capacidad de tomar una muestra del ancho entero de la banda usando un sacamuestras que atraviesa la banda a una velocidad constante en una cantidad de tiempo predeterminada **(Figura 14.7)**.

Estos métodos de prueba dan una visión general de los niveles del material adherido y desempeño de limpieza en un intervalo de tiempo determinado. Los cambios en las especificaciones del material, la producción total o las condiciones climáticas pueden alterar dramáticamente la cantidad del material que queda en la banda; por lo tanto, se debe implementar un programa para determinar el material adherido periódicamente.

Cálculos del material adherido

Al aceptar esta muestra como cantidad promedio del material adherido o tomando varias muestras y sacando un promedio de ellas para obtener resultados más exactos, es posible determinar la cantidad media del material adherido presente en la banda y la variación esperada como la desviación estándar **(Figura 14.8)**.

Una aparentemente modesta cantidad de un gramo (0.035 onzas) del material adherido removido de una sección de la banda indica que habría una cantidad considerable del material adherido que aún permanece en la banda, material que podría ser liberado de la banda

Figura 14.6

El pionero de limpieza de las bandas Dick Stahura desarrolló un recipiente de colección del material adherido con las hojas raspadoras.

Figura 14.7

El Indicador del material adherido de ITC usa un sacamuestras que atraviesa la banda a una velocidad constante en una cantidad de tiempo predeterminada.

Figura 14.8

Al aceptar esta muestra como cantidad promedio del material adherido o tomando varias muestras y sacando un promedio de ellas para obtener resultados más exactos, es posible determinar la cantidad media del material adherido presente en la banda y la variación esperada como la desviación estándar.

para después acumularse debajo de esta banda **(Figura 14.9)**.

Este gramo del material colectado del transportador sería la misma cantidad que el material que hay en los paquetitos de edulcorante artificial de las mesas de muchos restaurantes. Sin embargo, con la longitud, ancho y velocidad vistas en los transportadores modernos, esta pequeña cantidad de material adherido se convierte en toneladas de material que permanecen en la banda cada año. Esto entonces se caerá de la banda a lo largo del retorno del transportador, contaminando el equipo y creando un desorden que toma tiempo, dinero y esfuerzo en arreglar.

El gramo de material usado en el ejemplo anterior representa una pequeña cantidad de material adherido e indicaría que esta banda ya está limpia. Más típicamente, la medición real del material de las bandas transportadoras muestra el material adherido en el rango de 7 a 250 gramos por metro cuadrado (0.2 a 7.3 onzas/1.2 yarda^2). Este material se convierte en polvo en el ambiente y/o se acumula en pilas debajo del transportador o se acumula cerca de los componentes de rodamiento.

Una medición más "científica" sería sacar una muestra de la banda justo después del punto de descarga y después sacar una muestra justo antes de que entre en la zona de carga del transportador. Además de mostrar cuánto material se adhiere a la banda después de la descarga, esto daría una medición de cuánto material adherido se cae de la banda durante el trayecto de retorno. No sólo se pierde este material para el proceso, sino que este material adherido se acumula en los rodillos de retorno y crea futuros problemas de mantenimiento.

Figura 14.9

Hasta una modesta cantidad del material adherido dejado en la banda se puede acumular en pilas significativas debajo del transportador.

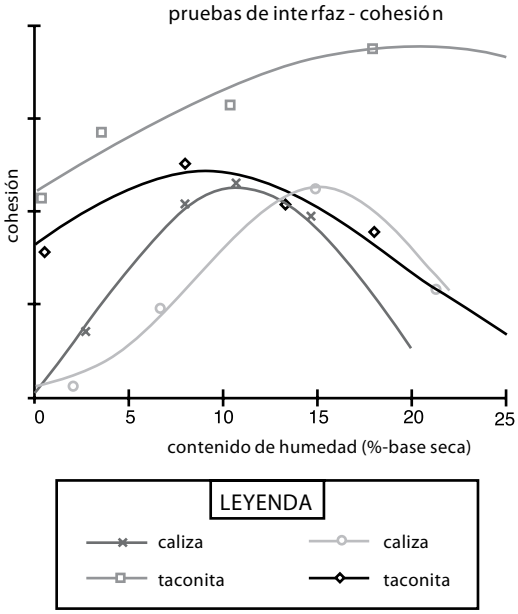


Figura 14.10

Las pruebas muestran que la cohesión y la adhesión aumentan a medida que aumenta la humedad hasta que se haya aplicado la suficiente humedad para empezar a fluidizar el material y reducir la cohesión. La variación exacta en adhesión y cohesión con el contenido de humedad variará de un material a otro y de sitio en sitio. Nota: El contenido de humedad es el % de pérdida de peso entre el material húmedo y el material después de que se ha secado.

Analizar el material

Es útil hacer pruebas del material a granel para determinar cómo se comportará en la banda. Esta conducta depende de una gran cantidad de parámetros: densidad aparente, fricción de interfaz, cohesión de interfaz, adhesión de interfaz y las condiciones de la banda misma. Las pruebas han mostrado que en la mayoría (si no es que en todos) de los materiales, la cohesión (quedar pegados a sí mismos) y la adhesión (quedar pegados a la banda) aumentan a medida que aumenta la humedad. Esta conducta ocurre hasta un punto crítico, como se muestra en la curva con forma de campana, hasta que se haya aplicado la suficiente humedad para empezar a transformar el material en líquido y reducir la cohesión **(Figura 14.10)**. La variación exacta en adhesión y cohesión con el contenido de humedad variará de un material a otro y de sitio en sitio.

Se pueden omitir las pruebas para determinar la adhesión de un material a la banda, ya que se pueden encontrar matemáticamente con los valores de fricción y cohesión. Se puede determinar una presión de limpieza óptima usando estos resultados y los datos específicos de los limpiadores de la banda (ángulo de limpieza, perfil de la hoja y composición de la hoja). Se usan técnicas avanzadas de modelado para predecir el número de limpiadores de la banda en una presión determinada de la hoja a la banda necesaria para remover la capa del material adherido de la banda transportadora. *(Vea el Capítulo 25: Ciencia del material, para más información sobre las pruebas en el material a granel).*

Lo más importante que se debe recordar es que eventualmente el transportador verá "el peor caso de material" durante la vida de la banda.

TRANSPORTADORES Y LIMPIEZA DE LA BANDA

El auge de los sistemas diseñados para la limpieza de las bandas

Durante muchos años, los limpiadores de la banda eran hechizos, a menudo un pedazo de caucho, una pieza sobrante de la banda usada o un pedazo de madera incrustado en la estructura o sostenido contra la banda por un contrapeso **(Figura 14.11)**. Estos sistemas comprobaron ser poco manejables, complejos y generalmente ineficaces. Los requerimientos de operación de las plantas necesitaban el uso de transportadores más anchos, rápidos, con canales más profundos y para cargas más pesadas. Estos requerimientos llevaron al desarrollo de los sistemas diseñados de limpieza para las bandas para proteger la inversión de la planta extendiendo la vida de servicio de las bandas costosas y otros componentes del transportador. Estos sistemas usualmente consisten de un soporte estructural (bastidor), elemento de limpieza (hoja) y un tensionador.

Los sistemas de limpieza están diseñados para reducir los requerimientos de espacio al permitir que el limpiador se instale en el chute de descarga. Al simplificar el reemplazo de la hoja, se minimiza el tiempo de mantenimiento y los requerimientos de mano de obra. Al incorporar materiales avanzados como plásticos, cerámica y carburo de tungsteno, la vida de servicio de la hoja se extiende aun más, reduciendo los requerimientos de mantenimiento. Al diseñar el borde de la hoja y mejorar los dispositivos de tensión que sostienen el borde de limpieza contra la banda, mejora el desempeño de limpieza. Con el uso de los sistemas de limpieza diseñados, la masa adhesiva de partículas finas y humedad que viajan en el lado de retorno de la banda pueden removerse casi por completo.

Monitorear el desempeño del limpiador

La capacidad para medir el material adherido permite el desarrollo de una especificación de desempeño de la limpieza de la banda para instalaciones de manejo de material y materiales a granel determinados. Una especificación completa detallará el desempeño requerido en términos del material adherido promedio de las instalaciones. Se debe solicitar al proveedor que diseñe, abastezca, instale, encargue y mantenga el sistema de limpieza de la banda, garantizando que no se excedan los niveles promedio del material adherido.

Después de que se instala el sistema de limpieza de la banda, se deben realizar pruebas del material adherido para evaluar el desempeño del sistema de limpieza de la banda. Un programa continuo de pruebas y gestión de registros dará información sobre los requerimientos periódicos de mantenimiento y proporcionará los datos para el mantenimiento del sistema de limpieza y oportunidades de mejoramiento.

Al monitorear el desempeño de limpieza de la banda a través de una prueba del material adherido, la planta puede evaluar los ahorros de la mejora usando sistemas de limpieza más eficientes.

Los programas de análisis del desempeño y mantenimiento, implementados por los departamentos internos, rara vez se ven como prioridad, debido a los abrumadores desafíos que por otra parte se le presentan a la planta. La manera más fácil de obtener resultados de una inversión en el equipo es otorgando un contrato de servicio a un especialista en el abastecimiento, instalación, mantenimiento y análisis de los sistemas de limpieza de las bandas.

Diseñar transportadores para una limpieza eficaz

Al considerar la construcción de transportadores nuevos, es deseable incluir en los requisitos de diseño una especificación para el desempeño del limpiador de la banda. Esta

Figura 14.11

Durante muchos años, los sistemas de limpieza de la banda fueron hechizos.

especificación debe incluir una asignación de la cantidad de material adherido medido en gramos por metro cuadrado (onzas/pies^2) que pasan por el sistema de limpieza. Los dueños de la planta deben exigir, y los ingenieros deben diseñar, sistemas de transportador con sistemas de limpieza adecuados para asegurar que el material adherido se mantenga por debajo del nivel especificado en el contrato. Se recomienda al diseñador del sistema del transportador incluir el espacio adecuado para la instalación y mantenimiento del sistema de limpieza de la banda y a incluir componentes en el transportador que sean compatibles con el objetivo de una limpieza de la banda eficaz.

Un problema común en el empleo de los dispositivos de limpieza de la banda sucede cuando no se da el espacio suficiente en el diseño para el bastidor principal y el alojamiento para un sistema múltiple de limpieza de la banda adecuado. Esto comúnmente sucede porque los ingenieros de los transportadores no toman en cuenta la verdadera naturaleza del material transportado, particularmente cuando está en su peor condición. Los ingenieros de los transportadores deben diseñar para que haya espacios y acceso según las recomendaciones de la Asociación de Fabricantes de Equipos para Transportadores (CEMA), y el diseño debe permitir que el fabricante del limpiador de la banda adapte y monte el sistema adecuado, incluyendo perforar el chute después del erguimiento e instalación de la banda.

La clave para una limpieza de la banda eficaz es adaptar la hoja a la banda. Es lógico que mientras mejor adaptada esté la hoja al perfil de la banda, mejor limpiará. Se debe evitar cualquier cosa que dificulte el contacto de la hoja con la banda a medida que se mueve por el limpiador de la banda en el diseño de un sistema de transportador. Estos factores incluyen poleas jaula de ardilla, poleas ovales y recubrimientos calorífugos mal seleccionados y mal instalados. Cualquier pulsación o vibración de la superficie de la banda disminuye la eficacia de limpieza y afecta negativamente la vida de la banda.

Los empalmes vulcanizados son el método preferido de empalme de la banda para proporcionar un desempeño óptimo del sistema de limpieza de la banda. Los alineadores mecánicos mal instalados pueden engancharse en los limpiadores de la banda y causar que salten o vibren. Los empalmes mecánicos siempre deben empotrarse adecuadamente según las recomendaciones del fabricante para evitar daño innecesario al limpiador y al empalme.

Después de instalar un limpiador de la banda, se requiere una inspección periódica, ajuste y mantenimiento para mantener un desempeño eficaz. Al igual que los limpiadores deben diseñarse para una durabilidad y mantenimiento sencillo, los mismos transportadores deben diseñarse para permitir un servicio fácil, incluyendo espacios de acceso.

Rotaciones de la banda

Para eliminar problemas causados por una banda sucia en contacto con los rodillos de retorno, una banda transportadora puede girarse 180 grados después de pasar por el punto de descarga. Esta "rotación" voltea el lado de carga de la banda hacia arriba y pone la superficie limpia de la banda en contacto con los rodillos de retorno **(Figura 14.12)**. En teoría, el material adherido debe permanecer en la banda a medida que se mueve por el trayecto de retorno. La banda debe voltearse de nuevo 180 grados cuando entra en la sección de la cola para posicionar adecuadamente el recubrimiento superior al entrar en la zona de carga. La distancia requerida para lograr la rotación de 180 grados de la banda es de 12 a 20 veces el ancho de la banda a ambos lados del transportador.

Las rotaciones requieren una estructura y rodillos especiales usando un espacio vertical adicional debajo del transportador. Como consecuencia, las rotaciones usualmente son justificables sólo en transportadores terrestres largos.

Otra preocupación es que el material adherido se seque y se vaya al ambiente en el trayecto de retorno.

Figura 14.12

Para eliminar problemas causados por una banda sucia en contacto con los rodillos de retorno, una "rotación" del transportador pone la superficie limpia de la banda en contacto con los rodillos.

El acto de girar la banda causa que el lado sucio de la banda se ponga en contacto con los rodillos de rotación. Como esto ocurre en el punto donde la alineación de los rodillos y la limpieza son más cruciales, el material fugitivo aquí es particularmente problemático. Para minimizar el material adherido que se libera cuando la banda gira, se debe instalar un sistema de limpieza eficaz en la descarga del transportador. A menudo es más rentable instalar un sistema de limpieza avanzado como una caja de lavado que instalar un sistema de rotación.

Bandas y limpiadores de la banda

La condición de la banda tendrá una influencia dramática en el desempeño del sistema de limpieza de la banda. Es difícil limpiar una banda que se ha resquebrajado, deshilachado, descamado o perforado debido a la exposición a los elementos, ataque químico o desalineación de la banda. La limpieza de la banda se puede dificultar por patrones en la superficie de la banda como aquellos vistos en las bandas de cloruro de polivinilo (PVC). En ambos casos, el único método eficaz para remover material residual es lavar la banda.

Algunos fabricantes de bandas continúan la mala costumbre de grabar en relieve los números de identificación y logos corporativos en los recubrimientos superiores de las bandas **(Figura 14.13)**. Es fácil apreciar el valor de mercadotecnia de esta práctica. Sin embargo, es igual de fácil reconocer las dificultades que estos emblemas de los recubrimientos de las bandas pueden crear para la limpieza y sellado eficaz de los sistemas del transportador. Una mejor práctica es ponerle la marca a las bandas en el lado inferior del recubrimiento.

Las bandas de cables de acero muestran en su superficie el patrón de los cables escondidos dentro del caucho. Esto da el efecto de rayas fuertes y suaves en la banda. Para remover las "rayas", se aumenta la presión de la limpieza más allá de lo que es necesario, por lo que se acelera el desgaste en el recubrimiento de la banda y en las hojas limpiadoras.

Todos los métodos de limpieza de la banda y todos los materiales de las hojas desgastarán el recubrimiento superior en cierto grado. Por lo menos un fabricante de bandas incorpora un factor de este desgaste en el diseño del recubrimiento superior. Por lo general se acepta que es mejor que la banda se desgaste lentamente instalando sistemas de limpieza de la banda en lugar de desgastarla rápidamente arrastrándola a través de suciedad y por rodillos atascados o dañados que aparecen cuando no se limpia la banda. En realidad, un sistema de limpieza bien diseñado tiene un efecto mucho menos negativo en la vida del recubrimiento de la banda que la carga del material en la banda. La selección del recubrimiento superior debe ser gobernada por las consideraciones de la carga del material en lugar de las preocupaciones sobre la limpieza de la banda.

A veces una banda transportadora que está generalmente en "buenas condiciones" se dañará por una estría longitudinal lo que hace que los métodos convencionales de limpieza sean menos eficaces. Este daño longitudinal pudo surgir de muchas fuentes, incluyendo un pedazo de material o hierro incrustado en la banda. Para mejorar la eficacia de limpieza, la estría se puede arreglar aplicando un parche de uretano para rellenarla. Este compuesto de parchado puede requerir ser reaplicado varias veces durante la vida de la banda. La limpieza localizada con una cuchilla flotante, limpiador de cepillo o un dispositivo alterno también puede ser una solución para que la banda se mantenga en servicio más tiempo.

El impacto de la limpieza en la vida de la banda

Vale la pena considerar la pregunta de cuánto reducirá la vida de servicio de una banda el uso de un sistema diseñado para limpieza de la banda contra la banda en movimiento. Los mecanismos de desgaste dependen mucho de la cantidad de calor generado en la hoja y en el recubrimiento superior. Las observaciones

Figura 14.13

Algunos fabricantes de bandas estampan en relieve los logotipos corporativos en los recubrimientos superiores de la banda, creando problemas en la limpieza y sellado de los sistemas del transportador.

de campo indican, particularmente en las hojas de materiales elastoméricos, que el índice más alto de desgaste para la hoja y la banda sucede cuando no hay material en la banda.

"Belt Cleaners and Belt Top Cover Wear, ("Limpiadores de la banda y desgaste del recubrimiento superior de la banda") un estudio de investigación hecho por R. Todd Swinderman y Douglas Lindstrom, ha examinado la cuestión de si los limpiadores de la banda afectan negativamente la vida de la banda *(Referencia 14.1)*. Los resultados de este estudio mostraron un limpiador de la banda que puede causar desgaste a la banda, pero el índice de desgaste fue aún menor que permitir a la banda pasar por el material adherido abrasivo sin el beneficio de los limpiadores.

Se reportaron resultados semejantes en un estudio que comparó la vida de la banda y fallas de la banda en plantas que usaron sistemas diseñados de limpieza y sellado que en plantas que no usaron estos sistemas. Realizada en India, esta encuesta revisó más de 300,000 horas de operación en 213 bandas en plantas que manejan lignito, caliza y mineral de hierro. Este estudio mostró que las instalaciones que usaban los sistemas diseñados de limpieza y sellado tenían bandas que duraban un promedio de 150 por ciento más (y que requerían sólo el 50 por ciento más de mano de obra) que las bandas de las plantas que no estaban equipadas con sistemas diseñados de limpieza y sellado. Esta encuesta de plantas en operación hace eco de la investigación de laboratorio que indica que aunque los sistemas de limpieza sí desgastan el recubrimiento de la banda, el resultado final es "mientras más limpia esté la banda, más durará".

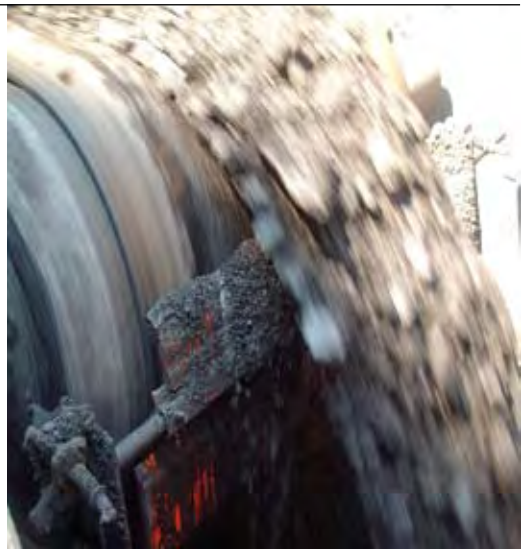


Figura 14.14

Para minimizar la liberación del material adherido en la planta, la limpieza de la banda debe llevarse a cabo lo más hacia adelante posible en el trayecto de retorno del transportador.

DISEÑO DEL SISTEMA DE LIMPIEZA

Los fundamentos de los sistemas de limpieza eficaces

Los fundamentos para la instalación de un sistema de limpieza de la banda eficaz incluyen los siguientes criterios: muy hacia adelante, fuera del flujo del material y con riesgo mínimo para la banda.

Muy hacia adelante

Para minimizar la liberación del material adherido en la planta, la limpieza de la banda debe llevarse a cabo lo más hacia adelante posible en el trayecto de retorno del transportador **(Figura 14.14)**. Típicamente, por lo menos se instala un limpiador en un punto en el que la banda esté en contacto con la polea de cabeza. Normalmente, este limpiador se instala en la cara de la polea de cabeza, justo abajo del punto en el que el material sale de la banda. Esta posición, llamada posición primaria, proporciona una ventaja significativa en que el material adherido se regresa inmediatamente al flujo de material. Esto reduce el potencial para su liberación en los componentes de rodamiento y en el ambiente de la planta. Con los limpiadores tensionados contra la banda y esta aún contra la polea de cabeza, el control de la presión de la hoja a la banda es más preciso. La polea de cabeza proporciona una superficie firme contra la cual montar el limpiador.

Utilizar el espacio disponible y montar el primer limpiador en lo que se considera la posición primaria crea más espacio para la instalación de uno o más limpiadores en las posiciones secundaria y terciaria. Al igual que el limpiador primario, mientras más hacia adelante esté instalado el limpiador, menor será la probabilidad de que escape el material adherido y menor la necesidad de dispositivos como placas deflectoras o transportadores carroñeros para regresar el material recuperado al flujo.

Fuera del flujo de material

Es importante que los limpiadores se instalen fuera del flujo del material y que el material que se limpió de la banda no se adhiera ni se acumule en las hojas o en la estructura **(Figura 14.15)**.

Un limpiador instalado en la trayectoria del material puede experimentar un desgaste prematuro en el bastidor de soporte y la parte

trasera de las hojas, haciendo que sea necesario cambiar las hojas antes de que el borde de limpieza esté desgastado. La colocación preferida de un limpiador en la posición primaria implica instalar el limpiador de manera que la punta de la hoja esté debajo de la línea central horizontal de la polea.

Un limpiador instalado fuera de la trayectoria del material aún puede acumular material que se adhiere a sus superficies exteriores. Los limpiadores deben diseñarse para minimizar la probabilidad de adhesión del material. Esto se logra evitando las superficies planas y cavidades que puedan capturar material y utilizando materiales antiadherentes para una construcción más limpia. En un ambiente adecuado, el agua atomizada en la superficie de la banda, o en los limpiadores, ayuda a suavizar el material y a minimizar la acumulación de material. *(Vea el Capítulo 24: Sistemas de lavado de la banda).*

Con riesgo mínimo para la banda

Una consideración esencial en la selección de un dispositivo de limpieza es minimizar cualquier riesgo de que el limpiador pueda dañar a la banda o a un empalme, los mismos sistemas que debe proteger. Los sistemas de limpieza de la banda deben diseñarse para que la hoja sea capaz de retirarse de la banda cuando un empalme, una sección dañada de la banda u otro tipo de obstrucción se transporta por el limpiador con la banda. Los sistemas de tensión del limpiador, particularmente en el limpiador primario donde el ángulo de ataque es más intenso, deben incluir un mecanismo para proporcionar alivio del choque por el impacto del empalme.

Un limpiador primario agresivo con mucha presión de limpieza tendrá la tendencia a desgastar más rápidamente el recubrimiento superior de la banda. Estos limpiadores proporcionan inherentemente un aumento en el riesgo de engancharse en un empalme protuberante o en una aleta de la banda.

Se debe tener cuidado al elegir un material adecuado para poner en contacto con la banda. Los materiales como tiras de la banda usada nunca se deben aplicar como material de limpieza de la banda o sellado, porque pueden contener cables de acero o partículas finas abrasivas. Estos materiales incrustados causan un desgaste excesivo del recubrimiento superior de la banda.

Principios de diseño del limpiador de la banda

Aunque hay disponibles otros sistemas de limpieza de la banda, más notablemente los cepillos y sistemas neumáticos, la mayoría de los limpiadores de la banda son limpiadores de hoja: usan una hoja para raspar el material de la superficie de la banda. Estos dispositivos requieren una fuente de energía, como un resorte, reserva de aire comprimido o un elemento elastomérico torcido, para sostener el borde de limpieza contra la banda. La hoja que directamente se pone en contacto con la banda está sujeta a desgaste abrasivo; debe reajustarse periódicamente y eventualmente reemplazarse para mantener el desempeño de limpieza.

Cobertura de la banda

Típicamente, las hojas de un limpiador no cubren el ancho completo de la banda, porque típicamente no se usa el ancho completo de la banda para transportar material. CEMA especifica la cobertura mínima de la hoja basada en el ancho de la banda **(Tabla 14.1)**.

Varios fabricantes de limpiadores de la banda tienen su propio estándar de cobertura típica de la hoja. Muchos fabricantes permiten más de la mínima cobertura, pero raramente el ancho de la hoja debe ser igual o mayor que el ancho de la banda.

Para mejorar la limpieza, el ancho de transporte del material en la banda debe observarse o calcularse e igualarse con el ancho del limpiador.

En algunos casos, un ancho de hoja mayor que la carga de material en la banda puede llevar a patrones de desgaste no deseados. La sección

Figura 14.15

Los limpiadores de la banda se deben instalar fuera del flujo del material.

Tabla 14.1

Cobertura mínima de la hoja del limpiador de la banda

Tamaños de banda en estándar métrico* (mm)		Tamaños de banda en estándar imperial (pulg.)	
Ancho de la banda	Cobertura mínima del limpiador	Ancho de la banda	Cobertura mínima del limpiador
300	200	18	12
500	330	24	16
650	430	30	20
800	530	36	24
1000	670	42	28
1200	800	48	32
1400	930	54	36
1600	1070	60	40
1800	1200	72	48
2000	1330	84	56
2200	1470	96	64
2400	1600	108	72
2600	1730	120	80
2800	1870		
3000	2000		
3200	2130		

*Modelado según CEMA; *Las mediciones métricas se basan en los tamaños métricos estándar de la banda, no en conversiones de tamaños imperiales.*

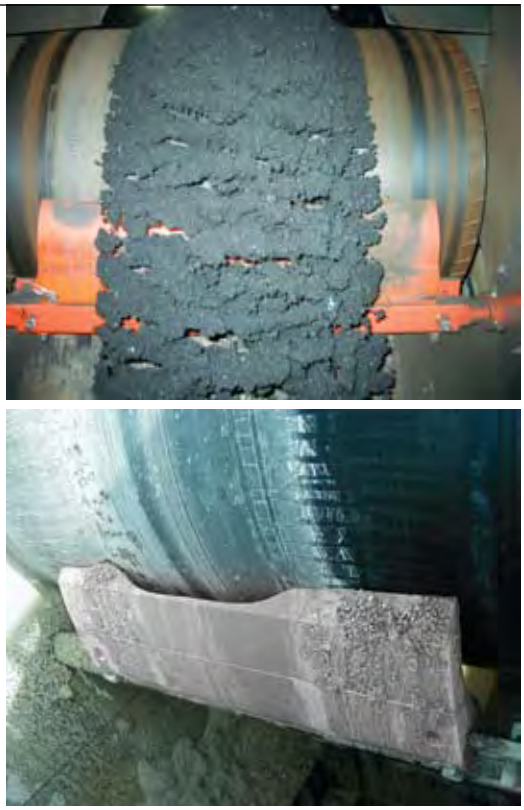


Figura 14.16

Arriba: en una situación donde la hoja es más ancha que el flujo de lmaterial, el centro de la hoja podría desgastarse más rápido que los bordes exteriores.

Abajo: a medida que se desgasta el centro de la hoja, permite que el material pase dentro de la punta; los bordes exteriores se mantendrán lejos del material y no se desgastarán.

central de la hoja se desgastará más rápido que la porción de la hoja en la sección exterior de la banda, porque hay más material de carga abrasiva en el centro. La porción exterior de la hoja de limpieza entonces sostendrá la sección central de la hoja lejos de la banda. El material adherido puede entonces fluir entre la banda y la hoja, acelerando el desgaste en esta sección central de la hoja **(Figura 14.16)**.

El material en la banda también da lubricación y un efecto de enfriado para la hoja; por lo tanto, se debe tener cuidado para evitar cubrir gran parte de la banda. Sin este efecto de lubricación, la acumulación de calor en el borde exterior puede causar que la hoja falle y/o dañe la banda.

Reducir la cobertura de la hoja en la banda puede ayudar a aliviar el problema del calor. Sin embargo, se debe tener cuidado al reducir la cobertura de la hoja, especialmente en una banda ahuecada. Si la banda se curva sobre el borde de la hoja limpiadora, queda expuesta al borde afilado de la hoja. Algunos limpiadores usan una hoja más flexible y no metálica en sus bordes exteriores para evitar este problema. Otra solución es aplanar la banda con el uso de rodillos de sujeción **(Figura 14.17)**.

En algunas aplicaciones, la hoja debe ser tan ancha como la banda o más ancha. Un limpiador usado como escurridor de caucho puede requerir el ancho completo de la banda para cubrir todas las áreas húmedas. Algunos materiales como las cenizas sueltas tienden a esparcirse en la banda o fluyen horizontalmente en el limpiador de la banda. En este caso, si la hoja no se extiende a la anchura máxima, el material se puede acumular entre la banda y eje de soporte del limpiador, donde puede endurecerse y dañar la banda.

Segmentos de una sola hoja u hojas múltiples

Un diseño de hojas múltiples con resorte individual o soporte de elastómero en cada hoja de limpieza individual mantendrá cada hoja con la tensión adecuada de limpieza contra la banda y a la vez permitirá a cada hoja ceder a una presión más baja que la fuerza aplicada total del dispositivo tensionador. Dicho de otra manera, las hojas angostas pueden coincidir mejor contra la banda, seguir cambios en el contorno de la superficie, alejarse de la superficie de la banda para el paso de los empalmes y regresar

a una posición de limpieza más fácilmente que una sola hoja monolítica. Esto significa que un diseño de hojas múltiples será más eficiente y seguro que el limpiador y la banda.

Los nuevos avances en uretano han mejorado la capacidad de los limpiadores primarios de una sola hoja para mantener contacto con la banda.

Hay una cantidad de materiales usados como hojas limpiadoras, que van desde caucho a uretano y de aceros suaves a inoxidables. Hay hojas disponibles con insertos de carburo de tungsteno o rellenos como cuentas de vidrio para mejorar la resistencia a la abrasión y el desempeño de limpieza.

Los fabricantes de limpiadores han extendido el rango de los materiales de uretano disponibles para mejorar el desempeño en condiciones específicas, incluyendo una resistencia mejorada a la abrasión, el calor, los químicos o la humedad. En algunos casos, la combinación única de características en una aplicación específica requiere un programa de pruebas comparativo para determinar el mejor material para esa aplicación.

Ángulo de ataque

El ángulo de ataque de las hojas de limpieza contra la banda es un tema de importancia. Generalmente hablando, hay dos alternativas: las hojas de rastrillo positivo (o descamación) y las de rastrillo negativo (o raspado) **(Figura 14.18)**. Con un rastrillo positivo, las hojas están opuestas a la dirección del trayecto de la banda **(Figura 14.19)**; con un ángulo de limpieza de rastrillo negativo, las hojas están inclinadas en la dirección de la trayectoria, típicamente en un ángulo de 3 a 15 grados del vertical dependiendo del tipo de empalme **(Figura 14.20)**. Se dice que las hojas instaladas en una posición vertical, o perpendicular a la banda, en el punto de instalación tienen un ángulo de rastrillo cero.

Las hojas de metal en una posición de rastrillo positivo se afilan rápidamente como una cuchilla por el movimiento de la banda y pueden causar un daño costoso si se desalinean. Las hojas de rastrillo positivo están sujetas ocasionalmente a una vibración de alta frecuencia que causa que las hojas "vibren" repetidamente punzando sus bordes afilados en el recubrimiento.

Figura 14.17

Una solución para una banda que se curva sobre el borde del limpiador es aplanar la banda con el uso de rodillos de sujeción.

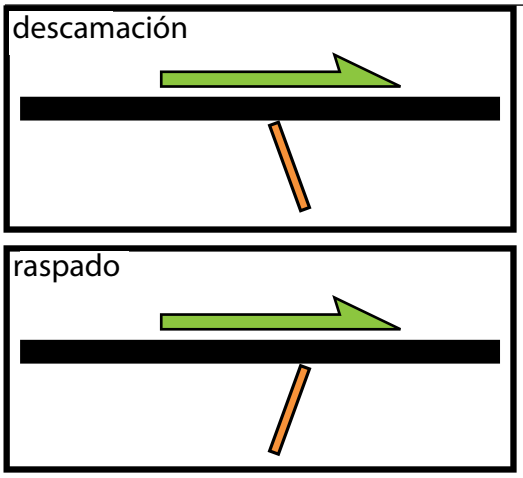


Figura 14.18

El ángulo de ataque de las hojas de limpieza contra la banda es un tema de importancia. Generalmente hablando, hay dos ángulos de ataque para la limpieza de la banda: las hojas de rastrillo positivo (o descamación) y las de rastrillo negativo (o raspado).

Figura 14.19

Las hojas con un rastrillo positivo están opuestas a la dirección del trayecto de la banda.

Figura 14.20

Las hojas con un ángulo de limpieza de rastrillo negativo están inclinadas en dirección del trayecto.

Las hojas de rastrillo negativo permiten que el material se acumule en el borde inclinado de limpieza, lo que puede forzar la hoja lejos de un contacto de limpieza eficaz; sin embargo, todos los limpiadores de la banda, sin importar el ángulo de ataque, están sujetos a una acumulación que no está presente en la limpieza y servicio regular **(Figura 14.21)**. Con una hoja de rastrillo negativo, los bordes ascendentes de la hoja limpiadora no se asirán a la superficie de la banda, aún si se sostiene contra la banda con exceso de presión.

Una opinión general es que un rastrillo positivo es aceptable en los limpiadores primarios, que se aplican con presiones muy bajas contra la banda. Sin embargo, es aconsejable usar las hojas de rastrillo negativo en ubicaciones secundarias y terciarias donde las presiones de limpieza de la hoja a la banda y el uso de las hojas de metal presentan más riesgo para la banda, los empalmes y el limpiador mismo.

SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA DE LA BANDA

Seleccionar un limpiador de banda para una aplicación determinada requiere la evaluación de un número de factores. Lo siguiente es la información básica que un proveedor necesitaría para recomendar un sistema de limpieza de banda adecuado:

A. Ancho y velocidad de la banda

B. Ancho de la carga en la banda

C. Diámetro de la polea

D. Características del material (incluyendo tamaño de los terrones, contenido de humedad, temperatura, abrasión y corrosión)

E. Longitud del transportador

La longitud del transportador es una variable significativa, ya que la acción ondulante de la banda a medida que se mueve sobre los rodillos causa que las partículas finas se asienten en el material y se compacten en la banda. En los transportadores terrestres largos, este efecto puede ser significativo. Por este motivo, los transportadores más largos son casi siempre más difíciles de limpiar que las bandas cortas.

Las bandas cortas que pueden caminar vacías por largos períodos de tiempo pueden sufrir problemas con el calor generado por el limpiador de la banda. Una hoja en contacto con la banda creará calor debido a la fricción de la banda contra la hoja. Las bandas que pueden caminar por largos períodos de tiempo sin carga pueden provocar que se acumule calor en la hoja y en el mecanismo que sujeta la hoja, reduciendo la vida de la hoja o dañando el alineador. Si la banda es corta, el recubrimiento superior de la banda podría no disipar el calor y se degradará. Un limpiador de banda dotado con alta tensión contra la banda agravará este problema al punto en el que la hoja se puede pegar a la banda cuando la banda se detiene.

Las variables adicionales que pueden afectar el mejor desempeño del sistema seleccionado y por lo tanto deben revisarse en la selección de un sistema de limpieza incluyen:

A. El espacio disponible para instalación y servicio

B. La posibilidad de cambios en las características del material (por ejemplo, de húmedo y pegajoso a seco y polvoriento)

C. Temperaturas extremas severas

D. Cortes, perforaciones, rasgaduras o resquebrajamientos en la superficie por la edad o abuso

E. Empalmes mecánicos numerosos, no empotrados o dañados

F. La vibración de la banda, por la acumulación de material en las poleas de cabeza y otros componentes de rodamiento, hace que el limpiador se mantenga en contacto con la banda

G. Material que se adherirá o enredará al dispositivo de limpieza

Figura 14.21

Las hojas de rastrillo negativo permiten que el material se acumule en el borde inclinado de limpieza, lo que puede forzar la hoja lejos de un contacto de limpieza eficaz; sin embargo, todos los limpiadores de la banda, sin importar el ángulo de ataque, están sujetos a una acumulación que no está presente en la limpieza y servicio regular.

H. Acumulación de material en la placa deflectora

Otras consideraciones en el desarrollo de la propuesta de un proveedor y la evaluación de esa propuesta incluyen:

A. Nivel de desempeño de limpieza deseado/requerido
B. Nivel de mantenimiento requerido/disponible
C. Nivel de experiencia en la instalación requerido/disponible
D. Precio inicial contra el costo de propiedad
E. Registros del fabricante (incluyendo capacidades de servicio y garantías de desempeño)

Existe un número de "atajos" disponibles para empatar el sistema de limpieza de la banda con una aplicación, incluyendo los sistemas de selección en línea que analizan las características del material y las especificaciones del transportador para dar una recomendación para un limpiador de banda.

Información requerida para especificar un sistema de limpieza

En una ponencia presentada en la Reunión Anual de la Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración (SME por sus siglas en inglés) en 2004, R. Todd Swinderman enumeró la información básica que tenía que proporcionar un consumidor final al solicitar una propuesta para un sistema de limpieza de la banda y la información que debía proporcionar un fabricante de sistemas de limpieza en una propuesta al consumidor final.

La solicitud del usuario para la propuesta debe incluir:

A. Horas de operación del sistema del transportador
B. Índice de toneladas por hora del sistema
C. Porcentaje del tiempo que el transportador transporta material mientras está en funcionamiento
D. Marca y descripción de la banda: ancho de la banda, edad, condición y centralización
E. Velocidad de la banda y si es unidireccional o inversa; si es inversa, el porcentaje de uso en cada dirección
F. Temperatura, humedad y otras condiciones ambientales o de operación que puedan afectar la operación de la vida del equipo limpiador de la banda
G. Especificación de material según el CEMA STANDARD 550 *Classification of Bulk Solids Standard* (ESTÁNDAR de CEMA 550 *Estándar de clasificación de sólidos a granel)*
H. Nivel de limpieza de la banda que se va a obtener en gramos por metro cuadrado (onzas/pies^2) en la porción de carga del trayecto de retorno de la banda
I. Diámetro de la polea y condición del recubrimiento calorífugo, tipo y grosor de la polea

La propuesta del proveedor del equipo debe incluir:

A. Recomendación para que el sistema adecuado satisfaga el nivel requerido de desempeño de limpieza del usuario
B. Constancia de la vida útil promedio y costo de las partes desgastadas
C. Asignación para cambios en el desempeño de limpieza con el tiempo, a medida que cambian las condiciones de la banda o del material a granel
D. Método de prueba, equipo de prueba y la ubicación de referencia que se va a usar para medir el desempeño; equipo de prueba diseñado para producir resultados respetables que sean representativos del ancho y longitud totales de la banda; documentación del método de prueba y equipo de prueba para que las pruebas se puedan repetir
E. Instrucciones de instalación
F. Procedimientos e intervalos de mantenimiento requerido
G. Garantía del desempeño
H. Términos y condiciones de pago

¿Un limpiador adecuado para todos los transportadores?

Una revisión del mercado muestra que hay muchos diseños que compiten por los sistemas de limpieza. Esto plantea la pregunta: ¿por qué la industria no se ha conformado con un diseño exitoso que pueda dar resultados aceptables en todas las aplicaciones?

Un ingeniero de una compañía minera importante escribió un resumen de los diferentes

limpiadores de la banda instalados en sus operaciones:

> Debido a los diversos materiales con sus enormes diferencias en propiedades físicas así como las diversas condiciones ambientales en la minería a cielo abierto, no existe en la actualidad un limpiador de la banda universalmente aplicable, que pudiera cumplir con los requisitos de todas las situaciones sin problemas.

Este escritor hablaba únicamente de las minas de lignito a cielo abierto de la compañía en Alemania. Sin duda esta es una aplicación desafiante, pero es sólo uno del sinnúmero de ambientes que deben soportar los limpiadores de la banda. El universo de las aplicaciones de los limpiadores de la banda tan amplio, incluyendo grandes variedades de materiales, condiciones y sistemas del transportador, que requiere de una gran cantidad de opciones diferentes.

El problema es proporcionar un sistema de limpieza que se adapte a la mayoría de estas situaciones. De hecho, uno de los problemas para desarrollar un sistema de limpieza universal es que cada fabricante de equipo, cada ingeniero del transportador y una gran cantidad de personal de mantenimiento tiene sus propias ideas sobre cómo limpiar adecuadamente una banda transportadora. Con tantas variables en las aplicaciones, cada uno de estos diseños ha logrado algún nivel de éxito.

Los ingenieros o trabajadores de mantenimiento de las plantas que diseñan e instalan un limpiador de la banda diseñado por ellos mismos se acercarían a diario para asegurarse de que estuviera funcionando adecuadamente. Al poner mucha atención al limpiador, ajustar periódicamente la tensión de la hoja a la banda y derribar cualquier acumulación del material, el diseñador se aseguraría de que su desempeño igualara a muchos de los sistemas de limpieza comerciales que hay en la actualidad. El elemento clave que permitió que este sistema lograra un desempeño de limpieza aceptable fue probablemente el nivel superior de servicio. Sin importar el diseño de un limpiador de la banda, todos los sistemas de limpieza de la banda funcionarán mejor si se les da mantenimiento regular.

Sistemas de limpieza para materiales "del peor caso"

Los sistemas de limpieza del transportador no deben diseñarse para corresponder únicamente con los desafíos limitados de condiciones "normales" de operación. En lugar de ello, deben diseñarse para enfrentarse a las peores aplicaciones posibles con las que puedan encontrarse. Si 99 por ciento del tiempo el material transportado está seco, seguramente llegará un día en que el material se vuelva húmedo y pegajoso, y el sistema de limpieza puede no ser adecuado para este desafío. Este único suceso podría costar varias veces más de lo que se "ahorró" al diseñar para las condiciones "normales" de operación. Con un sistema de limpieza diseñado para condiciones "del peor caso", el sobre diseño probablemente dará el beneficio de una mejor vida útil y una reducción en los requerimientos de servicio cuando opera en condiciones normales. Cuando las condiciones cambian para mal, el sistema de limpieza puede hacerle frente al desafío.

Se requiere algo de trabajo para analizar el material en sus peores condiciones, pero cualquier fabricante de sistemas de limpieza de la banda sofisticados habrá realizado ya esas pruebas para comprender las conductas del material y proporcionará el mejor producto para manejar muchas condiciones de operación diferentes.

METODOLOGÍA DE SISTEMAS PARA LA LIMPIEZA DE LA BANDA

La necesidad de un sistema

La tecnología de punta en la limpieza de las bandas recomienda que se debe dar más de una "pasada" a la banda para poder remover material adherido segura y eficazmente. Al igual que afeitarse, es más seguro y eficaz dar una serie de pasadas suaves sobre la superficie que una acometida de ángulo agresivo y alta presión "de una sola vez".

Usualmente es más eficaz instalar un sistema limpiador múltiple, compuesto de un limpiador primario y por lo menos un limpiador secundario **(Figura 14.22)**. El limpiador primario se instala en la polea de cabeza usando poca presión de la hoja a la banda para remover la capa superior y la mayoría del material adherido. Esto permite que el limpiador secundario, tensionado con una presión óptima de limpieza de la banda, realice una última remoción precisa de partículas finas adheridas sin estar sobrecargado con una

gran cantidad del material adherido. A los dos estilos de limpiadores se les dan diferentes responsabilidades en la tarea de limpiar la banda y por lo tanto están diseñados y construidos de manera diferente. Muchos transportadores pueden ser tratados con el sistema dual de limpieza **(Figura 14.23)**; sin embargo, existen aplicaciones que necesitarán limpiadores de la banda adicionales para lograr una remoción máxima del material adherido en todas las condiciones **(Figura 14.24)**.

La frase "sistemas limpiadores múltiples" puede referirse a cualquier combinación, que va desde el sistema comúnmente visto del limpiador primario y limpiador secundario a sistemas más sofisticados que incluyen uno o más prelimpiadores y uno o más limpiadores secundarios o terciarios. Un sistema del transportador con una polea de cabeza grande permite la instalación de más de un prelimpiador en la posición de limpiador primario. Cuando es necesario tener una banda muy limpia, los limpiadores primarios y secundarios pueden sustituirse con un sistema de lavado de la banda que incorpora aspersores de agua, limpiadores de la banda y secadores que "escurren" la banda. *(Vea el Capítulo 24: Sistemas de lavado de la banda).*

Además de proporcionar una mejor limpieza, un sistema limpiador múltiple aumenta el tiempo entre las sesiones de servicio requeridas. Dos limpiadores, cada uno aplicado con una presión un poco menor de la hoja a la banda, deben extender más la vida de la hoja limpiadora que un limpiador aplicado con más presión para proporcionar el único beneficio de limpieza.

Un sistema limpiador múltiple exitoso es aquel que se adapta a la estructura del transportador, logra el nivel deseado de limpieza y minimiza los requerimientos de mantenimiento.

Limpiadores primarios

El limpiador primario, a veces llamado el prelimpiador o la racleta, se instala en la cara de la polea de cabeza justo debajo de la trayectoria del material que se descarga de la banda **(Figura 14.25)**. Esta posición permite que el material removido de la banda caiga con la carga principal a medida que sale de la banda, minimizando cualquier sobrecarga de la placa deflectora u otro sistema de recuperación.

Figura 14.22

Un sistema limpiador múltiple, compuesto de un limpiador primario y por lo menos un limpiador secundario, es a menudo el sistema más eficaz.

Figura 14.23

Muchos transportadores pueden limpiarse satisfactoriamente con un sistema dual de limpieza.

Figura 14.24

Algunas aplicaciones necesitarán limpiadores de la banda adicionales para lograr la máxima remoción del material adherido.

Los prelimpiadores que tienen poca presión de la hoja, pero un ángulo de ataque agresivo, se instalan para esquilar las partículas gruesas de la capa del material adherido **(Figura 14.26)**. Esto elimina la mayoría del material adherido y permite que el limpiador secundario remueva el material subyacente adicional.

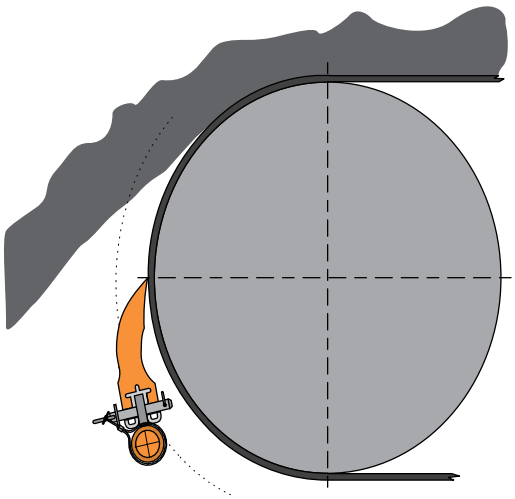


Figura 14.25

El limpiador primario, a veces llamado el prelimpiador o la racleta, se instala en la cara de la polea de cabeza justo debajo de la trayectoria del material que se descarga de la banda.

Figura 14.26

Los prelimpiadores, con un ángulo de ataque agresivo pero presión baja de la hoja esquilan la parte superior de la capa del material adherido.

Figura 14.27

En lugar de bloquear el trayecto del material, un prelimpiador desvía el material lejos de la banda para regresarlo al flujo principal del material.

La hoja del limpiador primario debe instalarse en posición de rastrillo positivo, inclinada contra el movimiento de la banda y la polea, típicamente a un ángulo entre 30 y 45 grados a una línea tangente con la superficie de la banda en el punto de contacto. En lugar de bloquear el trayecto del material, un prelimpiador desvía el material lejos de la banda para que pueda regresar al flujo principal del material o moverse hacia abajo a la parte trasera del limpiador en la descarga **(Figura 14.27)**. Usar este ángulo de ataque bajo, en combinación con las hojas prelimpiadoras de elastómero aplicadas con presión ligera contra la banda, resulta en poco desgaste para la hoja y la superficie de la banda. Si el ángulo de ataque fuera mayor (por ejemplo, un ángulo de rastrillo cero o posición de rastrillo negativo), se requeriría más presión para sostener la hoja contra la acometida del material. El aumento de presión aumenta el riesgo de daño a la banda.

Para minimizar el riesgo a la banda, el empalme y el limpiador hasta por una hoja poco tensionada sostenida en una posición de rastrillo positivo, los prelimpiadores usualmente usan las hojas de un elastómero flexible como uretano o caucho en lugar de metal. Una presión de la hoja a la banda de aproximadamente 14 kilopascales (2 libras$_f$/pulg.^{2}) combina un desempeño de limpieza con seguridad para la banda. Esta poca presión de la hoja a la banda significa que el sistema podrá mitigar (esto es, alejar la hoja de la banda) cuando una obstrucción, como un empalme mecánico pase por el borde limpiador, de esta manera reduciendo el riesgo de daño. Adecuadamente aplicada, la presión de limpieza mejora la vida de la hoja y reduce el desgaste de la banda. Muy poca presión permite que el material se deslice entre la hoja y la banda, donde puede quedar atrapado y desgastarlos a ambos. Demasiada presión acelera el desgaste y aumenta la energía requerida para mover la banda.

Para poder lograr un nivel aceptable de limpieza con un solo prelimpiador (sin soporte de otro limpiador secundario o limpiadores adicionales), típicamente sería necesario tensionar la hoja contra la banda con una mayor presión de la hoja a la banda de la que se recomendaría para preservar la vida de la banda.

Las características de un prelimpiador incluyen el área de desgaste, limpieza de ángulo constante y limpieza de área constante.

Área de desgaste

Una propiedad que debería definirse en cualquier prelimpiador es la cantidad de material de una hoja que puede ser desgastada por la banda. Esto se llama área de desgaste. Esta área se puede encontrar estableciendo la hoja y la polea de cabeza en un paquete de software de dibujo. La distancia de montaje, el centro de rotación de la hoja y el diámetro de la polea se deben basar en las especificaciones del fabricante. La hoja es girada en la polea de cabeza al 100 por ciento de la vida útil y se calcula el área de interferencia **(Figura 14.28)**. Esta área de desgaste permite la comparación de los diseños de las hojas, porque la vida de la hoja no es una función de la cobertura de la banda ni los anchos individuales de la hoja.

Limpieza de ángulo constante

Para superar el problema de que cambie el ángulo de la hoja cuando ésta se desgasta, un limpiador de la banda radialmente ajustado puede incorporar una hoja curva específicamente diseñada. A este diseño se le ha llamado "CARP" por las siglas en inglés de Presión Radial de Ángulo Constante. Con un diseño de la hoja "CARP", el ángulo de limpieza permanece igual durante toda la vida de la hoja. Este diseño de "ángulo constante" tiene la ventaja obvia de mantener la eficacia del limpiador durante la vida de servicio de la hoja.

Limpieza de área constante

Muchas hojas de limpiador nuevas tienen una punta con una pequeña área de contacto con la banda que permite que la hoja se desgaste rápidamente, para un buen ajuste con la banda, sin importar el diámetro de la polea de cabeza.

A medida que se desgastan las hojas limpiadoras, aumenta el área de superficie de la hoja que toca la banda. Esto causa una reducción en la presión de la hoja a la banda y una correspondiente disminución en la eficacia de limpieza. Por lo tanto, el tensionador del sistema requiere ajuste (volver a tensionar) para proporcionar la presión adicional para un desempeño constante de limpieza. Sería mejor diseñar limpiadores que no sufren de este aumento gradual de área de la hoja a la banda **(Figura 14.29)**. Cuando se combina con el diseño del tensionador, el principio CARP descrito anteriormente ha comprobado ser capaz de disminuir el cambio en el área durante la vida útil de la hoja.

Limpiadores secundarios

Los limpiadores secundarios se definen como cualquier limpiador localizado en la posición secundaria del trayecto de retorno de la banda **(Figura 14.30)**. La posición secundaria inicia justo después del punto donde la banda pierde contacto con la polea de cabeza y termina justo antes de que la banda se encuentre con la polea deflectora. Este lugar está aún dentro de la placa deflectora o chute de descarga, permitiendo que el material adherido removido regrese al flujo principal del material por gravedad.

A medida que el prelimpiador realiza la primera limpieza por encima, el limpiador secundario se dedica a realizar la limpieza

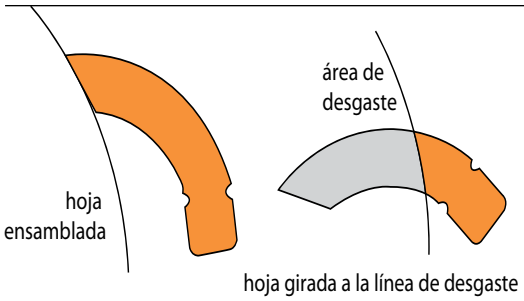


Figura 14.28

El área de desgaste de una hoja prelimpiadora de elastómero es un indicador de la vida de la banda.

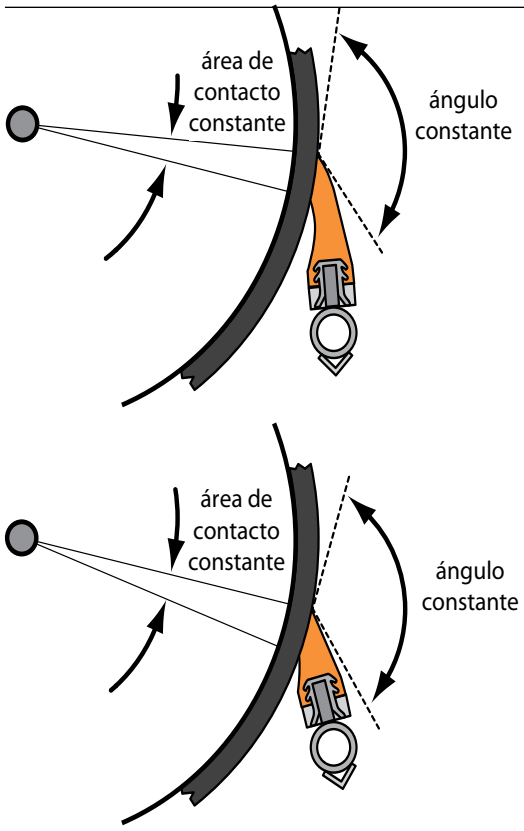


Figura 14.29

Una hoja de Presión Radial de Ángulo Constante (CARP) está diseñada para mantener el ángulo de limpieza en todas las etapas de su vida. A medida que se desgastan las hojas limpiadoras, el área de superficie de la hoja que toca la banda debe permanecer constante .

a fondo del material que ha pasado por el limpiador primario. Se puede requerir de más de un limpiador secundario para lograr el nivel deseado de limpieza.

Es importante el posicionamiento de los limpiadores adicionales. Mientras más cerca se realice la remoción del material adherido del punto de descarga del transportador, menor será el riesgo de problemas con la acumulación de partículas finas en la placa deflectora. La mejor posición para un limpiador secundario es en donde tiene contacto con la banda una distancia corta, de 50 a 100 mm o de 2 a 4 pulgadas, más allá de donde la banda se separa de la polea de cabeza **(Figura 14.31)**. Esto permite que el limpiador secundario raspe contra una superficie firme para una remoción del material más eficaz.

Si los miembros estructurales del transportador, las limitaciones del espacio o malos empalmes mecánicos imposibilitan la instalación de un limpiador en la posición preferida, los limpiadores secundarios se deben montar donde el material regresa al flujo de material: esto es, donde el material que se limpió cae dentro del chute. Pero si se instala un limpiador secundario en una posición donde su presión contra la banda cambia la línea de trayecto, el desempeño de limpieza será menos eficaz **(Figura 14.32)**. En este caso, aumentar la presión sirve únicamente para alterar más la línea de la banda, sin mejorar el desempeño de limpieza. Se deben instalar rodillos de sujeción u otros dispositivos para mantener una línea estable de la banda.

El ángulo de ataque de la hoja limpiadora secundaria a la banda es una consideración importante. Las hojas de punta de metal o cerámica en una posición de rastrillo positivo se afilan extremadamente por el movimiento de la banda. Estas hojas afiladas aumentan el riesgo de que un ajuste hecho por un operador no capacitado pueda resultar en demasiada presión o en que se aplique el ángulo incorrecto para que el limpiador se libere rápidamente de las obstrucciones de la banda como los empalmes mecánicos. El resultado podría ser daño a la banda, al empalme o al mismo limpiador. En consecuencia, cuando se presentan o anticipan obstrucciones o empalmes mecánicos, se recomienda que las hojas secundarias se pongan en el ángulo de la dirección del trayecto de la banda, un ángulo de rastrillo negativo, en lugar de oponerse a la banda en una posición de rastrillo positivo. Las pruebas indican que un ángulo de 7 a 15 grados en la dirección del trayecto de la banda mantiene la eficacia de limpieza y a la vez permite el paso más fácil de obstrucciones **(Figura 14.33)**.

Una banda en movimiento no presenta una superficie constante ni uniforme. Las hojas angostas e independientes que están suspendidas individualmente tienen el mejor potencial de permanecer en contacto mientras la superficie

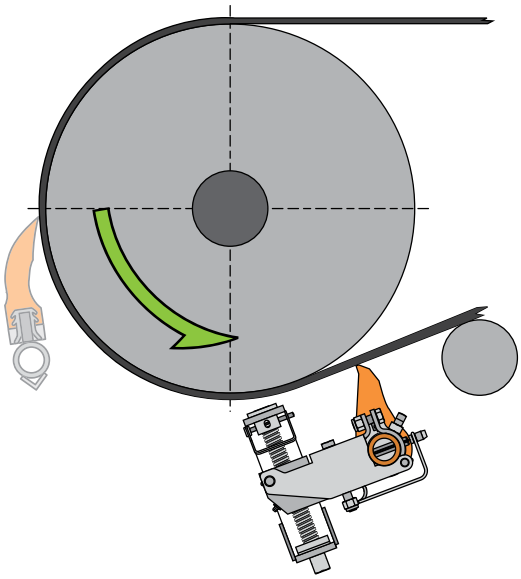


Figura 14.30

Los limpiadores secundarios se definen como todos aquellos que estén ubicados en el área que inicia justo después del punto donde la banda pierde contacto con la polea de cabeza y hasta el punto anterior a que la banda se encuentre con la polea deflectora.

Figura 14.31

La mejor posición para un limpiador secundario es en donde entra en contacto con la banda una distancia corta, de 50 a 100 mm (2 a 4 pulg.), más allá de donde la banda se separa de la polea de cabeza.

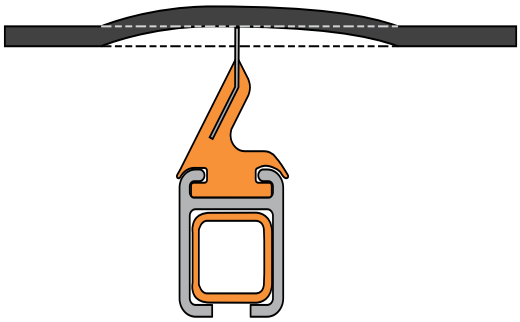


Figura 14.32

El desempeño de limpieza será menos eficaz si se instala un limpiador secundario en una posición donde su presión cambie la línea de trayecto de la banda.

cambiante de la banda pasa por el borde de limpieza. También es beneficioso si estas hojas individuales pueden girar, o moverse de lado a lado para ajustarse instantáneamente a los contornos cambiantes de la superficie de la banda. Las investigaciones indican que un limpiador formado por una línea de hojas individuales e independientes cada una de 75 a 200 milímetros (3 a 8 pulg.) de ancho es adecuado para una limpieza secundaria eficaz.

El estudio del Buró de Minas, *Basic Parameters of Conveyor Belt Cleaning (Parámetros básicos de la limpieza de las bandas transportadoras)*, señala que el desgaste inicial de la hoja ocurre en los bordes donde se juntan las hojas individuales *(Referencia 14.2)*. Las pruebas mostraron que el material pasaría a través de los espacios entre las hojas adyacentes y lentamente alargarían estos espacios. Este pasaje, a su vez, aceleraba el desgaste de la hoja y permitía que pasara más material. Para minimizar este desgaste erosivo, se puede usar un patrón de la hoja traslapada, creada por un patrón alterno de brazo largo/brazo corto **(Figura 14.34)**. Esto evita las "tiras" de material adherido en la banda creadas por aberturas entre las hojas. Alternativamente, se pueden instalar dos limpiadores con las hojas en una línea en el desfase de las aberturas.

Las hojas limpiadoras secundarias pueden ser de un material duro, cerámica o carburo de tungsteno, por ejemplo, que resisten la acumulación del calor que surge de la fricción contra la superficie de la banda. Algunas operaciones prefieren evitar la aplicación de una hoja de metal contra la banda, por lo que se ha desarrollado una gran variedad de fórmulas de uretano para limpiadores secundarios.

Un diseño del limpiador secundario aplica la resilencia natural, o "elasticidad" del elastómero usado en las hojas para reducir la necesidad de un ajuste del limpiador. Estas hojas de uretano son forzadas contra la banda, por lo que se "flexionan" en la dirección de la trayectoria de la banda **(Figura 14.35)**. Con el tiempo la resilencia de la hoja continúa empujando la punta de la hoja contra la banda, aún mientras la hoja se está desgastando por el movimiento de la banda y el material. Esto hace que las hojas sean autoajustables y por lo tanto reduce la necesidad de servicio de seguimiento para un ajuste **(Figura 14.36)**.

Limpiadores terciarios

Los limpiadores terciarios a veces se aplican para una limpieza final. La ubicación terciaria de los limpiadores se considera normalmente como el área que está después de la polea deflectora y fuera del chute de descarga **(Figura 14.37)**. Esta ubicación está fuera del área que permite un retorno fácil del material al flujo del material principal, que requiere el uso de un chute auxiliar o un transportador carroñero. Puede haber limpiadores múltiples aplicados en este lugar para lograr los resultados requeridos por la operación **(Figura 14.38)**.

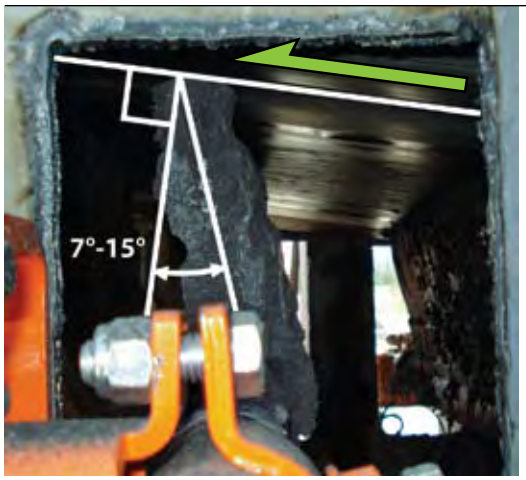


Figura 14.33

Un rastrillo de ángulo de 7 a 15 grados en la dirección del trayecto de la banda mantiene una eficacia de limpieza mientras que permite un pase más fácil de las obstrucciones.

Figura 14.34

Para evitar "tiras" de material adherido creado por aberturas entre las hojas, se puede usar un patrón de la hoja traslapada, creado por un patrón alterno de brazo largo/brazo corto.

Figura 14.35

Este limpiador incorpora las hojas de uretano que son forzadas contra la banda, por lo que se "flexionan" en la dirección del trayecto de la banda.

Figura 14.36

Con el tiempo la resilencia de la hoja de uretano continúa empujando la punta de la hoja contra la banda, aún mientras la hoja se está desgastando por el movimiento de la banda, haciendo que la hoja se auto ajuste.

Figura 14.37

La ubicación de limpiadores terciarios es el área que está después de la polea deflectora y fuera del chute de descarga.

Figura 14.38

Puede haber limpiadores múltiples instalados fuera del área que permiten un retorno fácil del material al flujo del material principal, que requiere el uso de un chute auxiliar o un transportador carroñero.

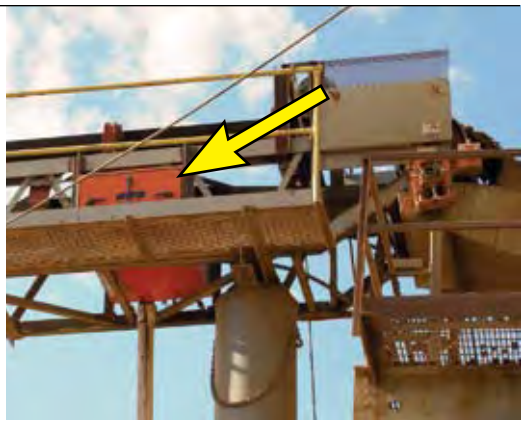


Figura 14.39

Los limpiadores especializados y los sistemas de lavado de la banda a menudo se localizan en la posición terciaria.

El limpiador terciario normalmente se usa para limpiar el agua y partículas pequeñas que pasan alrededor o entre las hojas del limpiador secundario. Los limpiadores especializados y cajas de lavado o los limpiadores de estilo secundario adicionales a menudo se localizan en la posición terciaria **(Figura 14.39)**. Las hojas secadoras que remueven la humedad (del material o la humedad aplicada en el curso de la limpieza de la banda), se instalan típicamente en la posición terciaria **(Figura 14.40)**.

Un problema que puede verse con los limpiadores terciarios es la acumulación de calor. Si la banda está limpia o seca antes de que llegue al limpiador terciario, la hoja del limpiador terciario puede acumular calor, permitiendo que el material de la hoja o alineador de la hoja destruyan o dañen la superficie de la banda. Un sistema múltiple de limpieza debe revisarse cuidadosamente para eliminar esta posibilidad. El uso de un aspersor fino de agua para lubricar la banda y reducir la fuerza del material adherido es muy eficaz para aumentar la eficacia del limpiador terciario y los intervalos de mantenimiento. *(Vea el Capítulo 24: Sistemas de lavado de la banda).*

Hacer coincidir un limpiador con una aplicación

La creciente sofisticación del diseño de limpiadores de la banda ha permitido el desarrollo de sistemas de limpieza que conforman las necesidades de cada aplicación específica o especializada. Estos diseños alternativos incluyen materiales especializados para una construcción más limpia, como uretanos, diseñada para condiciones de alta temperatura, alta humedad o alta abrasión. Además, existe una gran variedad de sistemas de limpieza diseñados para hacer frente a desafíos especiales, que van desde transportadores ligeros de grado alimentario hasta aplicaciones de minería de trabajo pesado.

Limpiadores de la banda de grado de minería

Los altos volúmenes del material, las velocidades rápidas, las bandas anchas y las poleas de gran diámetro vistas en muchas operaciones representan desafíos especiales para los sistemas de limpieza de la banda. La remoción de la sobrecarga en algunas minas de lignito en Alemania presentan transportadores con anchos de la banda de hasta 3200 milímetros (126 pulg.), operando a velocidades

de 10.5 metros por segundo (2067 pies/min). Para soportar estas condiciones de maltrato, se han desarrollado sistemas de limpieza de las bandas de trabajo extra pesado de grado de minería **(Figura 14.41)**. Estos sistemas están marcados por bastidores enormes para soportar terrones grandes y altos volúmenes de material, hojas enormes para proporcionar más vida útil y sistemas de tensionamiento durables para reducir la necesidad de mantenimiento del sistema **(Figura 14.42)**.

La alta velocidad de estos transportadores dificulta el uso eficaz de los limpiadores secundarios. Las velocidades de operación más altas y la resultante vibración de estas bandas, combinadas con una presión más alta de la hoja a la banda típica de un limpiador secundario, producen un mayor desgaste y riesgo para la banda y el limpiador. Como resultado, estas aplicaciones pueden tener dos prelimpiadores en la polea de cabeza; las poleas son normalmente lo suficientemente grandes para permitir esta práctica **(Figura 14.43)**.

Rompe costras

En aplicaciones como el manejo de mineral triturado en minas de cobre y otras rocas duras o en el transporte de sobrecarga en las minas de lignito, las partículas de material húmedo pueden filtrarse al fondo de la carga transportada y pegarse a la banda con tal fuerza de adhesión que este material se negará a ser lanzado del transportador en la descarga. En lugar de esto, el material parecido a un pegamento, se adherirá a la banda a medida que pasa por la polea en una capa de 75 a 100 milímetros (3 a 4 pulgadas) de grueso. Esta costra de material puede abrumar rápidamente a un sistema de limpieza convencional, causando un mal desempeño de limpieza y una disminución en la vida del limpiador y arriesgando la productividad del sistema entero de manejo del material.

Para superar este problema, algunas operaciones instalan un "rompe costra". Este borde de limpieza se instala en la polea de cabeza justo debajo de la trayectoria del material. Aquí sirve como racleta para limitar la cantidad del material que pasa al prelimpiador convencional que está instalado justo debajo **(Figura 14.44)**. Fabricado de placas de metal cubiertas de cerámica, el borde de limpieza del rompe costra se instala para que esté cerca de la banda, pero sin tocarla. De esta manera, se reduce la cantidad del material que llega

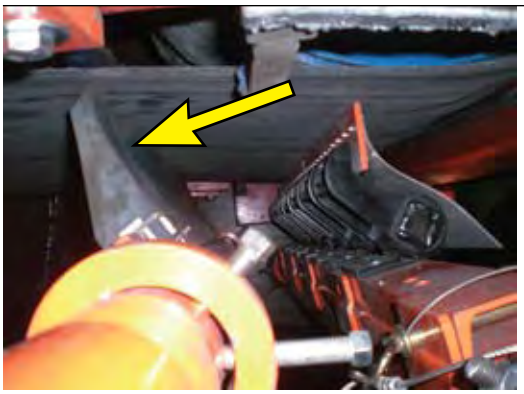


Figura 14.40

Las hojas secadoras que remueven la humedad de la banda típicamente se instalan en la posición terciaria.

Figura 14.41

Para soportar condiciones de maltrato, se han desarrollado sistemas de grado de minería de trabajo pesado.

Figura 14.42

Los limpiadores de la banda de grado de minería están marcados por bastidores de trabajo pesado, las hojas enormes que proporcionan una máxima vida útil y sistemas de tensión durables.

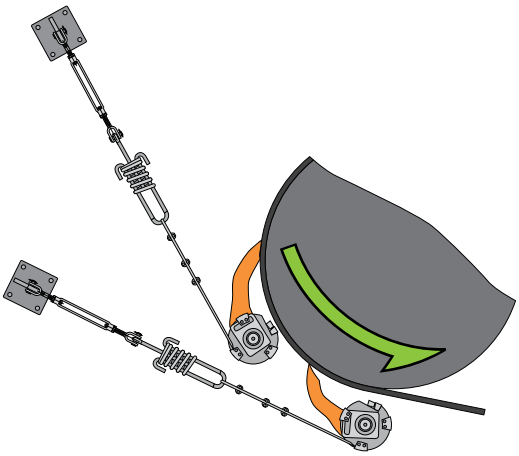


Figura 14.43

Para evitar el uso de limpiadores secundarios en las bandas de alta velocidad/alta vibración, algunas operaciones pueden usar dos prelimpiadores en poleas de cabeza grandes.

Figura 14.44

Un rompe costra sirve como racleta para limitar la cantidad del material que pasa al prelimpiador convencional que está instalado justo debajo.

Figura 14.45

Los limpiadores de la banda reversibles han sido desarrollados para transportadores que viajan en dos direcciones o tienen una reversa considerable.

Figura 14.46

Típicamente, los limpiadores de la banda reversibles están diseñados con una hoja que se instala perpendicular a la banda y es capaz de desviar una modesta cantidad (7 a 15 grados) en ambas direcciones del movimiento de la banda.

Figura 14.47

Su instalación y tensión vertical permiten que las bandas reversibles se instalen en las bandas unidireccionales en espacios angostos donde los limpiadores secundarios con un diseño de barra de arrastre no cabrían.

al prelimpiador y que podría pasar detrás del prelimpiador para dañar (o sobrecargar) al limpiador secundario. Con el "rompe costra" instalado antes del prelimpiador del transportador, los limpiadores convencionales pueden mejorar la limpieza y una mayor vida de la hoja.

Limpiadores para las bandas reversibles

Algunos transportadores corren en dos direcciones o tienen una reversa considerable, por lo que es crítico que los limpiadores de estos sistemas trabajen bien en ambas direcciones de operación, o por lo menos que no se dañen con la reversa de la banda. Se han desarrollado limpiadores especializados en las bandas reversibles **(Figura 14.45)**. Estos limpiadores usualmente se instalan perpendiculares a la banda y se tensionan verticalmente en la superficie de la banda. Típicamente, los limpiadores están diseñados con una hoja que es capaz de desviar una cantidad modesta (de 7 a 15 grados) en ambas direcciones del movimiento de la banda **(Figura 14.46)**.

Por supuesto que los limpiadores reversibles también se pueden instalar en las bandas de una dirección. Una característica de los limpiadores de la banda reversible que alientan su uso en las bandas no reversibles es su instalación y tensión vertical. Esta característica permite que el limpiador reversible se instale en espacios angostos donde no cabrían los limpiadores secundarios que tienen un diseño de barra de arrastre **(Figura 14.47)**.

Sistemas de limpieza de grado alimentario

Algunos sistemas de limpieza están diseñados especialmente para poleas pequeñas y velocidades más bajas de la banda comunes en las plantas procesadoras de alimentos. Fabricados en materiales de grado alimentario y capaces de soportar el frecuente ciclo de lavado y químicos de limpieza de su operación, estos sistemas son ideales para las aplicaciones del procesamiento de alimentos **(Figura 14.48)**.

Limpiadores para las bandas de chevrones

Las bandas con rebordes, separadores o chevrones se usan para transportar materiales que se deslizarían hacia atrás cuando la carga se mueve en una pendiente. Estos elementos

elevados representan problemas cuando se intenta remover el material adherido. Se requieren limpiadores de la banda que utilizan hojas con "dedos" que tienen la capacidad de pasar sobre las obstrucciones para limpiar las bandas de tipo chevron **(Figura 14.49)**. Este diseño puede limpiar chevrones/rebordes/separadores de hasta 20 milímetros (0.75 pulg.) de altura **(Figura 14.50)**.

Limpiadores para las bandas de relieves

Las bandas que tienen separadores y/o paredes laterales que manejan materiales pegajosos son muy difíciles de limpiar. La forma más común de limpiar estas bandas es azotar la banda con un vibrador lineal o con un limpiador tipo brazo batidor giratorio cuando la banda está al revés y horizontal en el trayecto de retorno. Estos sistemas requieren mantenimiento frecuente y son parcialmente eficaces.

Limpiadores de polea

Es posible que el material fugitivo caiga en el lado limpio de la banda durante su trayecto de retorno y que este material fugitivo después se acumule en las poleas deflectoras o de cambio de dirección del transportador. Para mantener la centralización de la banda, es necesario instalar dispositivos de limpieza de poleas. Para limpiar el material adherido de una polea, se monta un raspador con una hoja de elastómero ligeramente debajo de la línea central horizontal de la polea a un lado de la polea alejada de la banda **(Figura 14.51)**. Esto permitirá que el material removido caiga en un receptáculo o en un área accesible para su remoción.

Limpiadores de cepillo giratorio

Los sistemas de limpieza compuestos de un cepillo giratorio aplicado contra la banda se pueden usar eficazmente en materiales secos **(Figura 14.52)**. Estos sistemas pueden ser de rueda libre (girados por el movimiento de la banda), pero son más eficaces cuando son accionados por un motor eléctrico. Los limpiadores de cepillo a menudo encuentran problemas con materiales pegajosos o húmedos que se acumulan en las cerdas del cepillo **(Figura 13.53)**. Se puede instalar un brazo batidor o un cepillo para ayudar en la limpieza del material que se acumula en las cerdas.

Limpiadores neumáticos (cuchilla flotante)

Figura 14.48

Diseñados para tamaños de polea y velocidades de la banda típicas de industrias de procesamiento de alimentos, los limpiadores de la banda de grado alimentario son ideales para las aplicaciones del procesamiento de alimentos.

Figura 14.49

Se requieren limpiadores que utilizan las hojas con "dedos" que tienen la capacidad de pasar sobre obstrucciones para limpiar las bandas de tipo chevron.

Figura 14.50

Los "dedos" permiten que las hojas del limpiador de la banda limpien eficazmente los chevrones/rebordes/separadores. Nota: Foto tomada debajo del transportador.

Figura 14.51

Para remover el material adherido de una polea, se monta un limpiador de la banda con una hoja de elastómero ligeramente debajo de la línea central horizontal de la polea a un lado de la polea alejada de la banda.

Un sistema de limpieza de cuchilla flotante dirige una corriente de aire presurizado comprimido o producido por un ventilador para esquilar el material adherido **(Figura 14.54)**. Las cuchillas flotantes se pueden montar en las posiciones primaria, secundaria o terciaria. Estos limpiadores son importantes porque no hacen contacto con la banda.

Figura 14.52

Los sistemas de limpieza compuestos de un cepillo giratorio aplicado contra la banda se pueden usar eficazmente en materiales secos.

Figura 14.53

Los limpiadores de cepillo a menudo encuentran problemas con materiales pegajosos o húmedos que se acumulan en las cerdas del cepillo.

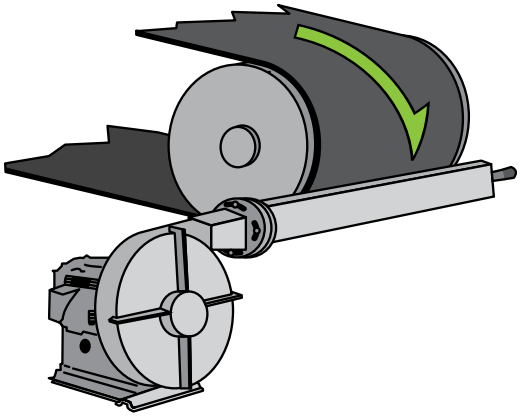


Figura 14.54

Un sistema de limpieza de cuchilla flotante dirige una corriente de aire presurizado comprimido o producido por un ventilador para esquilar el material adherido.

Un sistema de cuchilla flotante puede ser eficaz en la remoción de materiales secos y a veces se usa con materiales muy húmedos con poca adhesión en aplicaciones como plantas de limpieza de carbón. Cuando se usan en materiales secos, como alúmina, estos sistemas son parte de una estación de colección del polvo, la cuchilla flotante sopla el polvo hacia una cubierta colectora del polvo. Los sistemas de cuchilla flotante se pueden usar para secar las bandas que se hayan mojado por la humedad del material o por agua que se haya añadido para mejorar la eficacia de limpieza de la banda, como en un sistema de la caja de lavado. *(Vea el Capítulo 24: Sistemas de lavado de la banda para una discusión más minuciosa y detallada sobre los sistemas de la caja de lavado).*

Las desventajas de los sistemas de cuchilla flotante incluyen el gasto continuo de proporcionar aire a la cuchilla y problemas con la conexión de los tomacorrientes de aire. En materiales secos, pueden crear polvo en el ambiente adicional. Con los materiales húmedos, se acumularán salpicaduras en las paredes del chute.

El uso de agua en la limpieza de las bandas

En muchas aplicaciones, el aumento del nivel de humedad del material adherido está directamente relacionado con el aumento de adhesión a la banda; por lo tanto, aumenta la dificultad de manejar y remover el material. Este efecto se ve con aumentos en el contenido de humedad hasta un nivel específico, único en cada material, en cuyo punto la adhesión entonces desaparece. Por lo tanto, el uso de agua es una ventaja importante en la limpieza de las bandas transportadoras que manejan casi cualquier material.

El uso de una simple barra de aspersión justo detrás del limpiador primario o enfrente del limpiador secundario hará mucho para mejorar el proceso de limpieza **(Figura 14.55)**. Una pequeña cantidad de agua rociada en la banda dirigida hacia el lado inferior de la hoja inmediatamente después del prelimpiador actuará como un agente de liberación, humedeciendo la banda y el material y reduciendo la adhesión en la mayoría de las superficies. También sirve como enfriador para las hojas del limpiador secundario para evitar la "cocción" del material. Como ventaja, la vida de las hojas limpiadoras se puede extender por la

acción lubricante del agua.

En las bandas que pueden ir vacías por largos períodos de tiempo, las hojas de los limpiadores de la banda generarán calor debido a la fricción entre la superficie de la banda y la punta de la hoja. Mientras mayor sea la velocidad de la banda, más rápidamente se genera el calor. El uso de aspersión de agua para lubricar la banda eliminará este problema reduciendo la fricción y enfriando la hoja.

Estas barras de aspersión pueden no requerir la aplicación de mucho más que un rocío sobre la superficie de la banda. Cualquier exceso de agua que queda en la banda después de los limpiadores secundarios puede removerse con el uso de una "hoja escurridora de agua" de uretano suave como sistema de limpieza terciario **(Figura 14.56)**.

Los resultados obtenidos por la correcta aplicación de agua en los sistemas de limpieza de las bandas justifican su consideración en la mayoría de las operaciones de manejo de materiales. En una ponencia presentada en la Conferencia Internacional de Ingeniería de Carbón en Australia, J.H. Planner reportó que la adición de aspersión de agua a varios sistemas de limpieza convencionales aumentaba la eficacia de limpieza desde el rango del 85 por ciento hasta el rango de 95 por ciento *(Referencia 14.3). (Vea el Capítulo 24: Sistemas de lavado de la banda).*

PRESIÓN DE LA HOJA A LA BANDA

Presión óptima de limpieza

Un factor clave en el desempeño de cualquier sistema de limpieza es su capacidad de sostener la fuerza requerida para mantener el borde de limpieza contra la banda. La presión de la hoja a la banda debe ser controlada para lograr una limpieza óptima con un mínimo índice de desgaste de la hoja.

Existe la idea errónea generalizada de que mientras más fuerte esté el limpiador tensionado contra la banda, limpiará mejor. Las investigaciones han demostrado que esto no es verdad. Un estudio realizado en 1989 por el Centro de Investigación de las Ciudades Gemelas del Buró de Minas de EE.UU. examinó el problema de la presión de la hoja a la banda para ofrecer el mejor nivel de limpieza sin aumentar el desgaste de la hoja, el daño a la banda y/o los requerimientos de energía del transportador. Esta investigación está publicada en *Basic Parameters of Conveyor Belt Cleaning (Parámetros básicos de limpieza de las bandas transportadoras) (Referencia 14.2).* El estudio evaluó la eficacia de limpieza y las características de desgaste de varias hojas de acero sosteniéndolas perpendicularmente sobre una banda en funcionamiento con cantidades medidas de presión para remover una mezcla humedecida de arena/cal. El estudio descubrió que la cantidad de material adherido y el desgaste de la hoja disminuyen a medida que la presión se eleva hasta una presión de la hoja óptima. El estudio estableció esta presión secundaria óptima de la hoja a la banda de 76 a 97 kilopascales (11–14 libras$_f$/pulg.^{2}) de presión de la hoja a la banda **(Figura 14.57)**. El aumento de presión más allá de este índice aumenta la fricción de la hoja a la banda, acortando así la vida de la hoja y aumentando el consumo de energía sin mejorar el desempeño de limpieza. Una hoja sobre-tensionada normalmente muestra desgaste acelerado pero parejo; algunas marcas de decoloración o "quemaduras" y las partículas del material adherido del recubrimiento superior de la banda cocidas en la banda.

Figura 14.55

El uso de una simple barra de aspersión justo atrás del limpiador primario o enfrente del limpiador secundario mejorará el proceso de limpieza.

Figura 14.56

Cualquier exceso de agua que queda en la banda después de los limpiadores secundarios puede removerse con el uso de una "hoja secadora de agua" de uretano suave como sistema de limpieza terciario.

Operar un limpiador de la banda debajo de esta presión óptima proporciona una limpieza menos eficaz y puede causar un rápido desgaste de la hoja. Desde lejos, puede parecer que un limpiador de la banda que apenas toca la banda está funcionando, mientras que en realidad, el material está pasando entre la hoja y la banda a gran velocidad. Este pasaje de material entre la banda y la hoja crea canales de desgaste disparejo en la cara de la hoja. A medida que el material continúa pasando entre la hoja y la banda, estos canales aumentan en tamaño, desgastando la banda rápidamente. Una hoja que ha estado infratensionada normalmente mostrará un borde serrado con líneas de desgaste en la superficie de desgaste.

El estudio realizado por el Buró de Minas también reportó que la eficacia de limpieza disminuyó con el tiempo por el desgaste disparejo de la hoja. Los surcos que se desgastan en el borde de la hoja permiten que pase el material adherido que no puede eliminarse aumentando la presión de contacto de la hoja a la banda. El reporte observó: "una vez que la superficie de la hoja está dañada, ningún nivel realista de presión de la hoja a la banda permitirá que la hoja se ajuste a la superficie de la banda para una limpieza adecuada".

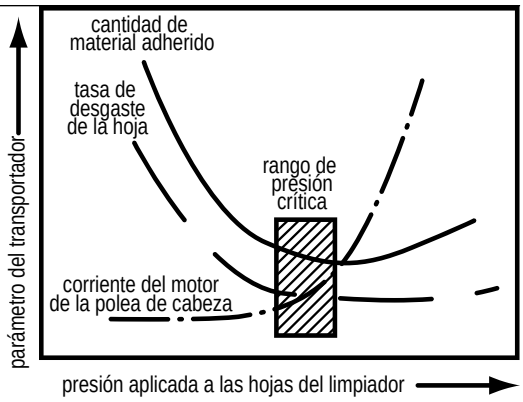


Figura 14.57

El estudio descubrió que la cantidad de material adherido y desgaste de la hoja disminuyen a medida que aumenta la presión de la hoja, hasta una presión de contacto de la hoja a la banda óptima de 76 a 97 kilopascales (11–14 libras$_f$/pulg.^{2}).

Figura 14.58

Cada vez son más los sistemas sofisticados de tensión que incluyen sistemas diseñados de suspensión con tuberías al abastecimiento de aire comprimido de la planta.

Figura 14.59

Los sistemas de tensión deben permitir que el borde de limpieza se aleje de la banda para dar el paso a los empalmes mecánicos y otras obstrucciones.

Sistemas/dispositivos de tensión

La presión de limpieza de la hoja a la banda es mantenida por un dispositivo de tensión. Estos tensionadores van en sofisticación desde contrapesos de bloques de concreto y abrazaderas para apretar los acoplamientos de reserva y sistemas diseñados de suspensión con tuberías al abastecimiento del aire comprimido de la planta **(Figura 14.58)**. El motivo para elegir un tensionador eficaz depende de la especificación del transportador así como de las preferencias de la planta.

Todos los sistemas de tensión deben diseñarse para permitir que el borde de limpieza se aleje de la banda para dar el paso a los empalmes mecánicos y otras obstrucciones. Los tensionadores deben elevarse automáticamente para minimizar el riesgo de lesiones personales o daño al equipo si las hojas son jaladas por obstrucciones o agujeros en la banda **(Figura 14.59)**.

Un dispositivo de tensión debe ser diseñado para ser compatible con el limpiador para proporcionar una presión constante de la hoja a la banda durante la vida de la hoja. Cuando se requiera ajustar y volver a tensar, el tensionador debe permitir que este mantenimiento se realice de manera simple, sin requerir herramientas o más de un trabajador.

Algunos limpiadores usan la resilencia de una hoja de uretano, cuando está comprimida y sujetada, para proporcionar la presión de limpieza **(Figura 14.60)**. Cuando se instalan, estas hojas se desvían al ser forzadas contra la banda. A medida que la banda se desgasta, se mantiene "erguida" para mantener la presión de limpieza. Como la hoja misma provee la presión de limpieza y la capacidad de amortiguación de vibraciones, el limpiador no necesita un

tensionador convencional. En lugar de ello, el juego de piezas es forzado contra la banda, y el bastidor se traba en su posición, comprimiendo ligeramente las hojas para establecer la presión inicial de la hoja a la banda.

Ajuste lineal o radial

Existen teorías rivalizantes por el ajuste del limpiador de la banda. Hay limpiadores ajustados linealmente que son empujados hacia arriba (en una línea) contra la banda, y limpiadores radialmente ajustados que se instalan con un bastidor como eje y girados a su posición **(Figura 14.61)**.

Los limpiadores ajustados radialmente tienen varias ventajas prácticas sobre el diseño lineal. Son mas sencillos de instalar, se pueden ajustar de un lado de la banda y pueden girarse lejos de la banda con más facilidad para absorber las vibraciones inherentes al movimiento de la banda y del paso de los empalmes.

Los limpiadores ajustados linealmente generalmente requieren acceso a ambos lados para dar un ajuste parejo **(Figura 14.62)**. Por esto, los tensionadores de estos limpiadores a menudo tienen alguna forma de ajuste eléctrico, como una bolsa de aire, que se puede controlar a distancia. Los tensionadores lineales mantienen un ángulo de limpieza constante a medida que se desgasta la hoja y se pueden diseñar para permitir que el limpiador se retire fácilmente para su mantenimiento sin quitar el tensionador.

Además, algunos sistemas híbridos incorporan la tensión vertical con un mecanismo radial de alivio **(Figura 14.63)**.

Mantener el ángulo de las hojas contra la banda es importante para asegurar una limpieza eficaz. Si el ángulo de contacto se altera por el desgaste de la hoja, el desempeño del limpiador "decaerá" de manera semejante. Un limpiador de la banda bien diseñado debe controlar el ángulo de limpieza durante su vida útil.

INSTALACIÓN MÁS LIMPIA

Un ingrediente crítico en el desempeño de cualquier sistema de limpieza de la banda es su instalación. Una instalación inadecuada tendrá un efecto negativo en el desempeño del limpiador; reducirá la vida de la hoja y la eficacia de limpieza. Se deben seguir las instrucciones de instalación del fabricante al pie

Figura 14.60

Algunos limpiadores usan la resilencia de una hoja de uretano para proporcionar la presión de limpieza.

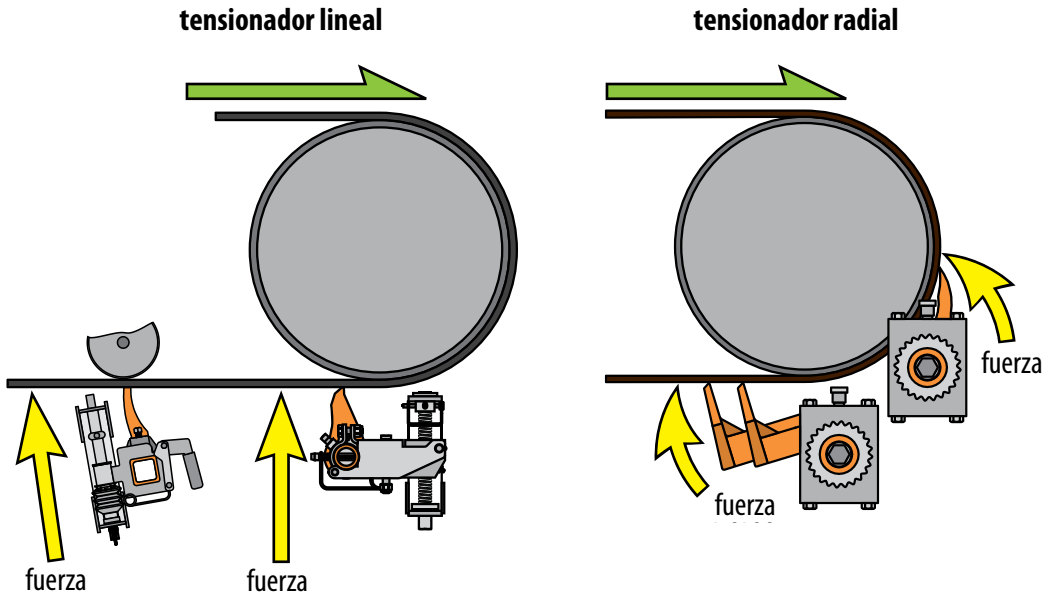


Figura 14.61

Los limpiadores linealmente ajustados se empujan (en una línea) contra la banda; los limpiadores radialmente ajustados se giran en posición con el bastidor como eje.

de la letra.

Las consideraciones que afectan la posición de instalación de un limpiador de la banda incluyen:

A. Diseño del limpiador

Figura 14.62

Los limpiadores ajustados linealmente generalmente requieren acceso a ambos lados de la banda para dar un ajuste parejo.

Figura 14.63

Algunos sistemas híbridos incorporan una tensión vertical con un mecanismo radial de alivio.

Figura 14.64

Colocar el limpiador a la distancia adecuada de la banda ayuda a evitar los "jalones", en los que la banda jala al limpiador y le da la vuelta hasta invertirlo, lo que usualmente resulta en un bastidor doblado.

B. Tensionador y requerimientos de montaje

C. Atornillar o soldar el limpiador en su lugar

D. Instalación en la pared del chute o colgado de un larguero

E. Posición de las vigas estructurales, los rodamientos y los propulsores

Sin importar la marca del limpiador de la banda, el factor crítico en la instalación del limpiador es que el bastidor de soporte del limpiador sea instalado en la distancia correcta de la superficie de la banda. Colocar el limpiador a la distancia adecuada de la banda ayuda a evitar problemas de "jalones", en los que la banda jala al limpiador hacia ella y le da la vuelta hasta invertirlo, lo que usualmente resulta en un bastidor doblado **(Figura 14.64)**. Mantener la dimensión adecuada coloca a las hojas en el ángulo correcto de ataque contra la banda para una mejor limpieza, desgaste adecuado de la hoja y una vida más larga. La distancia correcta variará de limpiador a limpiador.

Se recomienda ampliamente que el fabricante instale y dé mantenimiento a los limpiadores de la banda en aplicaciones nuevas y adaptadas, porque la mayoría de los problemas de desempeño con los nuevos sistemas de limpiadores se deben primero, a una instalación inadecuada y segundo, a falta de mantenimiento. Contratar al fabricante (o a contratistas aprobados por el fabricante) para la instalación asegura una instalación adecuada y un desempeño continuo.

Solución de problemas en la instalación de limpiadores

Si un sistema no está funcionando adecuadamente, pero las hojas no muestran un desgaste excesivo y el tensionador está puesto correctamente, puede haber otros problemas. Estos problemas pueden incluir:

A. El bastidor de soporte no está paralelo a la polea.

B. El limpiador no está instalado a la distancia adecuada de la superficie de la banda.

C. La presión aplicada al limpiador está cambiando la línea de la banda.

D. Las hojas no están centradas en la banda.

Cualquiera de estos factores impedirá la capacidad de un limpiador de remover el material adherido. Se deben revisar los

operadores o el manual de instalación del limpiador para determinar las acciones correctivas adecuadas.

Aleteo de la banda y limpieza de la banda

El aleteo de la banda puede crear problemas en la limpieza de la banda. El aleteo es una oscilación de la banda y se ve más a menudo en el lado de baja tensión (retorno) del transportador. Esta vibración se ha medido con amplitudes tan grandes como 25 milímetros (1 pulg.). El movimiento puede ser tan fuerte que destruye los limpiadores de la banda o los arados y acorta la vida de los rodamientos de los rodillos de retorno. La amplitud de la vibración puede dificultar que las hojas se mantengan en contacto con la banda, reduciendo por lo tanto los efectos de limpieza. Para controlar el aleteo de la banda, se puede variar el espaciamiento o se puede usar un rodillo de sujeción para tratar de silenciar a la banda.

"Taloneo" del prelimpiador

Los prelimpiadores están diseñados para que la punta de la hoja se ponga primero en contacto con la banda. A medida que se desgasta, el limpiador primario normalmente gira en la banda para mantener el contacto entre la hoja y la banda. Sin embargo, pueden surgir problemas cuando una hoja prelimpiadora de elastómero se monta muy cerca de la banda. Un limpiador primario instalado de esta manera, sin importar el diseño de la hoja, hará que el talón de la punta de la hoja se ponga primero en contacto con la banda. Este "taloneo" crea una abertura entre la banda y la punta de la hoja **(Figura 14.65)**. El material transportado se junta en esta abertura, y la acumulación aleja a la hoja de la banda. Una vez que la hoja está alejada de la banda, entonces pasan cantidades más grandes de material entre la banda y la hoja, aumentando enormemente el desgaste en la hoja y la banda y disminuyendo la eficacia de limpieza. La solución es mantener la distancia de instalación adecuada, para que el borde principal de la hoja se ponga primero en contacto con la banda.

El problema con la sobretensión

La eficacia de limpieza óptima resulta de la combinación del ángulo de raspado adecuado y de la tensión correcta contra la banda. Como se observó en la ponencia del Buró de Minería *Basic Parameters of Conveyor Belt Cleaning (Parámetros básicos de limpieza de las bandas transportadoras)*, el aumento de la presión de la hoja a la banda de un limpiador no mejora necesariamente el desempeño de limpieza *(Referencia 14.2)*. El aumento en la presión puede reducir la eficacia de limpieza y acortar la vida útil. Aun cuando se instala adecuadamente, si un prelimpiador de elastómero está sobretensionado, la fuerza cambia de toda el área de contacto hacia el talón de la hoja. Esto resulta en una situación de "mini taloneo" y con frecuencia puede causar que la hoja se desgaste en una aleta delgada en la punta que puede reducir la eficacia de limpieza **(Figura 14.66)**.

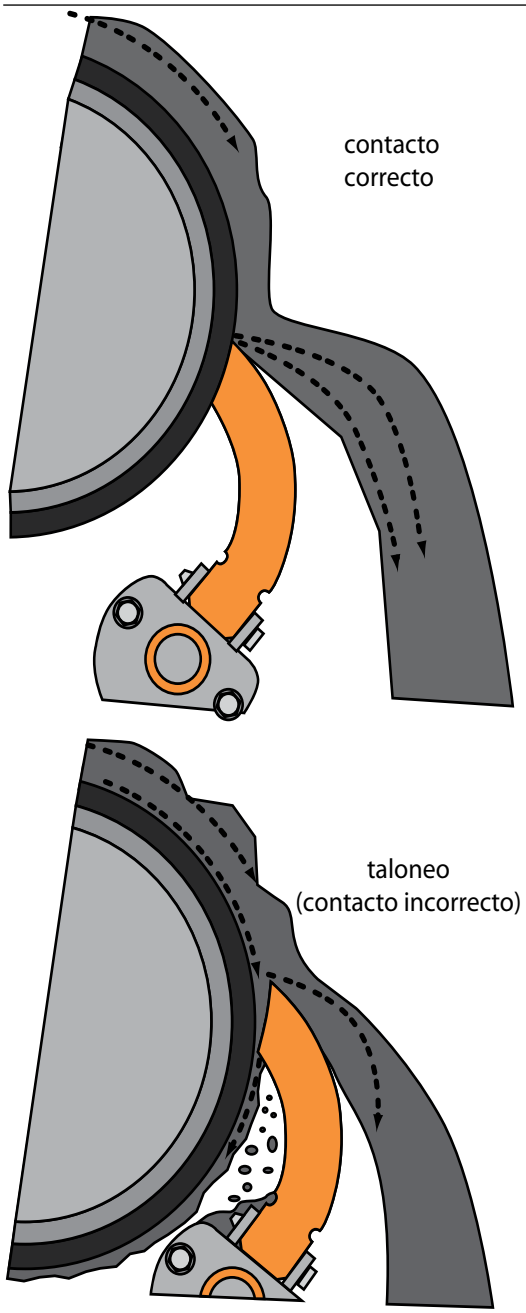


Figura 14.65

"El taloneo" (cuando el talón de la hoja del prelimpiador se pone primero en contacto con la banda) crea una abertura entre la banda y la punta de la hoja; el material se reunirá en esta abertura y alejará a la hoja de la banda.

Figura 14.66

Cuando un prelimpiador de elastómero está sobretensionado, la fuerza cambia del área total de contacto hacia el talón de la hoja. Esto puede causar que la hoja se desgaste en una aleta delgada en la punta reduciendo la eficacia de limpieza

Figura 14.67

Si un limpiador secundario está sobre-tensionado, su ángulo de limpieza puede ser cambiado al punto en el que el material adherido se queda atrapado entre la hoja y la banda, empujando la banda hacia arriba y reduciendo la presión eficaz de limpieza.

Figura 14.68

No es inusual que el material adherido se adhiera a la superficie de un revestimiento vertical de baja fricción.

Figura 14.69

Un limpiador encapsulado en una acumulación pegajosa o seca de material no podrá funcionar adecuadamente.

Si un limpiador secundario está sobretensionado, su ángulo de limpieza puede ser cambiado hasta el punto en el que el material adherido se quede atrapado en la región con forma de cuña entre la hoja y la banda **(Figura 14.67)**. Esto creará una acumulación de material que empujará la banda hacia arriba y reducirá la presión eficaz de limpieza. El material pasará entre la hoja y la banda, resultando de nuevo en una mala eficacia de limpieza y en un mayor desgaste de la hoja y la banda.

Manejar el material despejado de la banda

El hecho de que el material adherido se adhiera a la banda después del punto de descarga indica que tiene características diferentes del resto de la carga transportada. Las partículas son más finas y tienen el mayor contenido de humedad, por lo que tienen diferentes calidades de flujo de aquellas típicas en el cuerpo principal del material. No es inusual que el material adherido se adhiera a la superficie de un revestimiento vertical de baja fricción **(Figura 14.68)**. Aun después de su remoción de la banda, el material adherido presenta problemas en la captura, manejo y eliminación.

Por las características del material adherido, es usualmente mejor ubicar los limpiadores de la banda tan cerca del punto de descarga como sea posible. Regresar tanto material adherido como sea posible al flujo principal de material reduce la necesidad de manejar este material problemático fuera del proceso. El material fugitivo pegajoso que se transporta más lejos en la banda puede acumularse en el chute o ser manejado por placas deflectoras o transportadores carroñeros, aumentando así los costos y la complejidad del sistema de manejo de material. Para asegurar un desempeño de limpieza eficaz, se debe evitar la acumulación de material en el limpiador o en la placa deflectora. Un limpiador que se encapsula en una acumulación pegajosa o seca de material no podrá funcionar adecuadamente **(Figura 14.69)**.

Reunir y regresar el material adherido al cuerpo principal del material puede representar una seria complicación para el diseño de chutes de descarga. Idealmente, el chute de descarga principal del transportador es lo suficientemente grande para que el material despejado de la banda pueda caer por el mismo chute, donde se reúne con el flujo principal de material. Pero

en muchos casos, se deberán añadir chutes o sistemas auxiliares.

Placas deflectoras

En los transportadores donde los sistemas de limpieza están posicionados para que el material que sea removido de la banda no regrese al cuerpo principal del material, usualmente se requiere una placa deflectora o un chute para partículas finas. Esta es una parte separada del chute de descarga que dirige el material adherido removido al flujo principal de material. Esta placa auxiliar debe ser lo suficientemente grande y debe estar diseñada con un ángulo de pared suficientemente pronunciado para asegurar que el material caiga lejos del sistema de limpieza y evite el encapsulamiento del limpiador de estos materiales pegajosos. Es aconsejable instalar una placa deflectora con un ángulo lo más vertical posible y alinearla con un material de baja fricción como un polietileno de Peso Molecular Ultra Alto (UHMW por sus siglas en inglés). Puede ser útil incorporar promotores de flujo para ayudar a mover el material adherido lejos de los limpiadores.

Una manera de resolver el problema de la acumulación de una placa deflectora es crear un subsuelo dinámico dentro de la placa. Esto se puede lograr montando una hoja de plástico liso, de baja fricción y resistente a la abrasión como polietileno UHMW, paralela al suelo de la placa con un extremo sin asegurar, para que la hoja se pueda mover fácilmente. Un vibrador se monta en esta hoja, proporcionando una acción dinámica para prevenir la acumulación de material **(Figura 14.70)**. Como esta hoja vibradora está aislada del chute de compensación de acero por un amortiguador de caucho, hay muy poca fuerza aplicada a la estructura que cause fatiga a los materiales **(Figura 14.71)**.

Un sistema alternativo podría incluir una cortina flexible o una hoja de caucho usada como revestimiento de la placa, que es periódicamente "pateada" con la descarga por

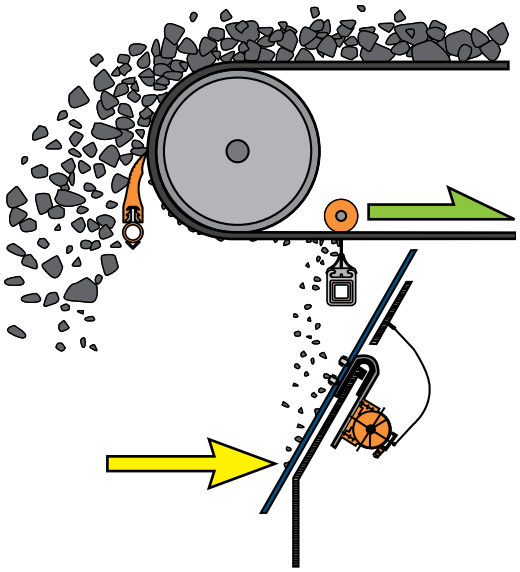


Figura 14.70

Un vibrador eléctrico puede ser montado a una hoja de plástico de baja fricción para crear una placa deflectora vibradora.

Figura 14.71

Al aislar esta hoja vibradora del chute de compensación de acero con un amortiguador de caucho, hay muy poca fuerza aplicada a la estructura que cause fatiga a los materiales.

Figura 14.72

Se pueden usar un arado eléctrico o transportadores de empuje para mover el material despejado de la banda de regreso al flujo principal de material. (Transportador Drip-N-Ram patentado y fotografía por cortesía de S&S Concepts, Inc. [Referencia 14.4])

un cañón de aire. Esto flexiona el revestimiento, causando que cualquier material adherido se caiga. *(Vea el Capítulo 9: Promotores de flujo).*

Se debe proporcionar acceso a la placa deflectora para que el personal pueda limpiar las acumulaciones y lavarla periódicamente para evitar obstrucciones.

Transportadores carroñeros

Cuando una placa deflectora separada es poco práctica, puede ser beneficioso tener un transportador carroñero **(Figura 14.72)**. Este es un transportador auxiliar más pequeño, instalado debajo del sistema principal, que regresa lo que se limpió al flujo principal del material. Los transportadores de tornillo, transportadores con cadenas raspadoras, transportadores eléctricos, de arado hidráulico o de empuje y los transportadores vibratorios se usan comúnmente como sistemas carroñeros **(Figura 14.73)**.

Una ventaja de los transportadores carroñeros es que permiten la colocación de varios limpiadores de la banda terciarios en un lugar más conveniente para su mantenimiento. El material despejado de la banda puede ser transportado, aun cuesta arriba, de vuelta al chute principal. La principal desventaja de estos sistemas es que representan la adición de otra pieza de equipo mecánico que debe limpiarse y recibir mantenimiento periódicamente.

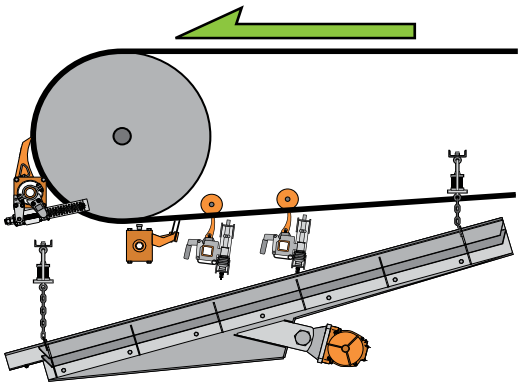


Figura 14.73

Los transportadores vibradores a menudo se ven como sistemas carroñeros.

Figura 14.74

Después de instalar un limpiador de la banda, se requiere una inspección periódica, ajuste y mantenimiento.

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

La importancia del mantenimiento

Hasta el sistema de limpieza de la banda mejor diseñado y más eficaz requiere mantenimiento y ajuste con regularidad, o su desempeño se deteriorará con el tiempo. Un mantenimiento adecuado de los sistemas de limpieza de la banda reduce el desgaste de la banda y de las hojas limpiadoras, previene el daño y asegura una acción eficaz de limpieza. La falta de mantenimiento en los sistemas de limpieza de la banda no sólo impide una limpieza eficaz sino que también arriesga considerablemente al sistema del transportador.

Los diseñadores de transportadores y fabricantes de limpiadores deben diseñar su equipo para simplificar estas actividades vitales de mantenimiento. Los requerimientos y procedimientos de mantenimiento deben revisarse durante el proceso de selección de un sistema limpiador. La planeación anticipada de un servicio de limpieza permitirá que las actividades de mantenimiento se realicen rápidamente y se traducirá en una limpieza de la banda mejorada y paros en producción mínimos. Las tareas de servicio que son simples y "amigables" tienen más probabilidad de realizarse con constancia.

Después de instalar un limpiador de la banda, se requiere una inspección periódica, ajuste y mantenimiento **(Figura 14.74)**. Al igual que los limpiadores deben diseñarse para una durabilidad y mantenimiento sencillo, los transportadores deben diseñarse para permitir un servicio fácil, incluyendo espacios de acceso. Los elementos que se pueden incorporar a un sistema de limpieza de la banda para mejorar los procedimientos de mantenimiento incluyen:

A. Un acceso adecuado para el servicio con amplios accesos y espacios para el trabajo, según las recomendaciones de CEMA

B. Ventanas de acceso con puertas fáciles de operar instaladas a ambos lados de la polea, en línea con el eje de los limpiadores de la banda

C. Elementos de limpieza que se deslicen hacia fuera y hacia dentro sin requerir la remoción del bastidor

D. Componentes, incluyendo las hojas y el bastidor, que resistan la corrosión y el maltrato

E. Componentes que permitan el rápido desempeño del servicio requerido, que se puedan ajustar o reemplazar con herramientas de mano simples sin esperar a un equipo de mantenimiento con herramientas eléctricas para realizar el trabajo

Los sistemas de montaje de mandril que permiten un posicionamiento deslizante del juego de piezas del limpiador ofrecen la oportunidad de un servicio más rápido **(Figura 14.75)**. Algunas plantas han hecho arreglos para que este servicio se realice mientras la banda está funcionando, asumiendo que el comité otorgue las aprobaciones reglamentarias y de seguridad adecuadas y que se dé la capacitación adecuada al personal.

Todas las reglas de seguridad aplicables se deben seguir cuando se realizan los procedimientos de mantenimiento del sistema de limpieza. Sólo personal capacitado y certificado que sigue las prácticas adecuadas de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación debe ser considerado para estas prácticas.

Consejos para el mantenimiento de limpiador de la banda

Si la gerencia y personal de la planta dedican su energía y atención a dar mantenimiento al desempeño del limpiador, se les recompensará con una limpieza más eficaz. Usualmente es mejor asignar un mantenimiento del sistema de la banda al personal de la planta o a contratistas especializados, porque entonces ellos tendrán el compromiso de dar mantenimiento al sistema.

El problema es que la mayoría de las inspecciones nunca se realizan, y cuando se hacen, son inspecciones "de pasada" hechas por personas que no están capacitadas sobre qué buscar o cómo dar mantenimiento a los limpiadores. La mayoría de los gerentes sentirán que es una tarea que se debe hacer internamente; la verdad es que el mantenimiento de limpiadores nunca es prioridad; por lo tanto, se hace raras veces. El uso de contratistas especializados externos asegura que el mantenimiento del limpiador de la banda se haga adecuadamente. Los contratistas especialistas a menudo observan otros problemas que se están desarrollando y pueden evitarse en el sistema del transportador o sus componentes.

Aunque el fabricante proporciona instrucciones específicas de mantenimiento para cada limpiador y tensionador, existen procedimientos regulares y de rutina que deben realizarse en intervalos específicos.

Se deben seguir los procedimientos recomendados por el fabricante y los procedimientos de seguridad local requeridos cuando se realiza el mantenimiento en los sistemas de limpieza de la banda.

Diariamente: remover el material acumulado en el limpiador

Cuando la banda está detenida, limpiar cada material que se haya acumulado entre las hojas limpiadoras y la banda o el que se haya acumulado en los brazos de los limpiadores secundarios. A menudo, una rotación del limpiador lejos de la banda seguido por unos golpes de las hojas en la banda detenida despegará este material. En otras condiciones, un enjuague rápido con una manguera o con un atomizador de alta presión removerá la acumulación y permitirá la inspección de las hojas.

Semanalmente: revisar el desempeño del limpiador

Revisar el trabajo del sistema de limpieza. El material adherido que queda en la banda podría indicar que hay hojas desgastadas o una tensión no adecuada.

Semanalmente: revisar el desgaste de la hoja

Inspeccionar el desgaste en los elementos

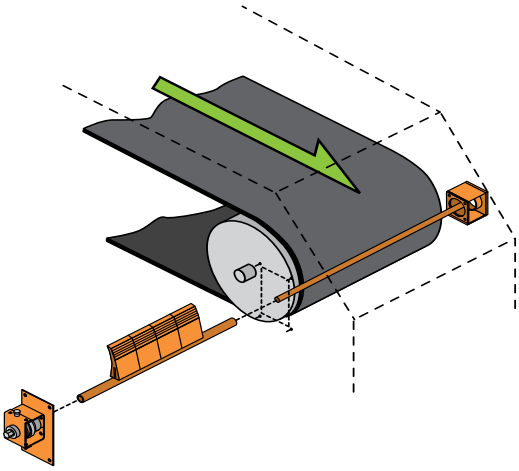


Figura 14.75

Los sistemas de montaje de mandril que permiten un posicionamiento deslizante del juego de piezas del limpiador ofrecen la oportunidad de un servicio más rápido.

de limpieza Algunas marcas de las hojas incorporan una línea visible de desgaste; para otras, se necesitará una revisión del manual para asegurar los límites de un desgaste seguro y eficaz.

Semanalmente: revisar el ajuste del tensionador

El elemento más crítico para preservar el desempeño del limpiador es mantener el borde de limpieza tensionado contra la banda. A medida que las hojas se desgastan, puede tener que ajustarse el tensionador para acomodar la longitud más corta de la hoja. El manual de cada tensionador debe proporcionar instrucciones específicas para retensionar.

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL LIMPIADOR DE LA BANDA

Mejorar el desempeño del limpiador de la banda

Existe un número de tácticas que pueden aplicarse para mejorar el desempeño del sistema de limpieza de la banda de una planta. Un programa general para mejorar el desempeño de limpieza de la banda puede incluir:

A. Seguir las instrucciones del fabricante

Asegurar que los sistemas se instalen y se les dé mantenimiento según las recomendaciones del fabricante. Observar el intervalo de mantenimiento recomendado.

B. Estandarizar y sistematizar

Estandarizar a una marca o estilo de limpiador en todos los transportadores de una planta y/o todas las plantas de una compañía simplificará los procedimientos y minimizará las piezas de repuesto. Si hay diferentes bandas y materiales en la operación, considere adoptar una plataforma de limpieza a nivel de la planta que permita cambiar el limpiador según la aplicación o a medida que cambian las propiedades del material a granel. Algunos fabricantes ofrecen plataformas de limpieza de tipo cartucho que facilitan la adaptación mientras que se minimiza el número de sistemas de bastidores y tensionadores. Además, las prácticas de mantenimiento del limpiador se pueden sistematizar, ya sea gestionándolas dentro de la planta o subcontratando el mantenimiento con un contratista especializado, para mejorar la ejecución y la rendición de cuentas.

C. Elevar el estándar

Mejore continuamente los requerimientos de rendimiento. Espere una planta limpia y exija un buen desempeño. Encuentre un proveedor que garantice su producto y trabaje con ellos para comprender el proceso de limpieza. Implemente medidas de desempeño de limpieza, como pruebas a la vida de las hojas para mejorar la selección de las hojas o pruebas de material adherido para revisar el desempeño. Considere instalar limpiadores adicionales en transportadores problemáticos.

Otra estrategia para optimizar una instalación más limpia es hacer investigaciones. Ahora es posible analizar los sistemas de limpieza para identificar la presión de la hoja a la banda que optimiza tanto la eficacia de la limpieza y la vida de la hoja. Para facilitar la optimización, algunos limpiadores de la banda transportadora están marcados con porcentajes de desgaste moldeados en las hojas; se han desarrollado sistemas de tensión que proporcionan presión constante y de resorte.

El proceso de optimización consiste en establecer la presión de limpieza en un nivel determinado y registrar la longitud de tiempo y/o la cantidad total de material transportado que le toma a la hoja llegar al indicador del 25 por ciento de desgaste. Entonces se ajusta la presión y se usa el limpiador hasta que se desgasta al siguiente indicador de desgaste del 25 por ciento. La eficacia de limpieza también se debe medir, usando los métodos cuantitativos discutidos anteriormente en este capítulo o mediciones cualitativas visuales. De esta manera, la planta puede determinar qué presión proporciona la vida más larga de la hoja mientras se mantiene una eficacia de limpieza aceptable.

Los resultados variarán de aplicación en aplicación, y hasta de transportador en transportador dentro de la misma planta. Una mina alemana de lignito descubrió que una presión de limpieza más alta resultaba en una vida más larga de la hoja; una operación semejante reportó que las presiones más bajas resultaban en una vida más larga de la hoja mientras que mantenían niveles aceptables de limpieza.

Objetivos para la limpieza de la banda

La limpieza de la banda es un proceso, y al igual que cualquier otro proceso, los resultados siguen una curva **(Figura 14.76)**. La cantidad de material removido es proporcional a la cantidad de "esfuerzo" puesto en él. Este "esfuerzo" podría ser dinero, presión de limpieza, número de limpiadores o una combinación de éstos.

Esta curva de proceso de limpieza se puede mostrar en una gráfica donde el esfuerzo de remover el material adherido para cierto porcentaje de limpieza se mide contra el costo de la cantidad del material adherido (incluyendo limpieza, mantenimiento, reemplazo de rodillos y el valor del material perdido). En algún punto de la curva, el gasto de instalar, operar y dar mantenimiento a sistemas de limpieza adicionales es mayor que el costo de dejar el material restante en la banda transportadora **(Figura 14.77)**.

Los costos para un sistema de limpieza de la banda que pudieran lograr un nivel de limpieza del "100 por ciento" probablemente superarían los beneficios del sistema. Una cantidad significativa del material adherido que permanece en la banda después de pasar por los sistemas de limpieza con un alto nivel de limpieza permanecerán en la banda hasta el trayecto de retorno del transportador. Este material aún seguirá en la banda cuando el transportador vuelva a entrar a la zona de carga. En consecuencia, podría no valer la pena el gasto de limpiarlo todo.

Aún más importante, para limpiar "100 por ciento" con solo un raspado mecánico, los limpiadores tendrían que ser aplicados con tanta presión que pondrían en peligro el recubrimiento de la banda. Y sin importar la eficacia del sistema de limpieza, algo del material adherido permanecerá en la banda atrapado en pequeños resquebrajamientos y surcos de la superficie de la banda. Por lo tanto, es imposible alcanzar una limpieza de "100 por ciento".

Es mejor tener objetivos de limpieza de la banda que sean razonables y alcanzables para la operación de la planta. Con una selección adecuada del equipo y mantenimiento continuo, los objetivos razonables permitirán que una planta muestre mejoras adecuadas y un rendimiento de la inversión. Los sistemas de limpieza deben ser diseñados, instalados y mantenidos para cumplir con los requerimientos de operación con un nivel aceptable de material adherido.

Desarrollar un estándar para el desempeño del sistema de limpieza de la banda

La cantidad del material adherido que permanece en una banda depende más de las características del material a granel y los parámetros físicos del sistema del transportador que de su tonelaje del material transportado u otros factores. R. Todd Swinderman propuso un estándar basado en desempeño para la limpieza de la banda en una ponencia presentada en la Reunión Anual de la Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración (SME) *(Referencia 14.4)*. El objetivo de esta propuesta fue sugerir un método estándar para la especificación de sistemas de limpiador de la banda basado en las expectativas del usuario y en el desempeño del equipo con el tiempo. Su ponencia que propuso tres niveles de desempeño de limpieza se detalla a continuación. *(Vea el Capítulo 31: Medidas de desempeño de la escala de Swinderman).*

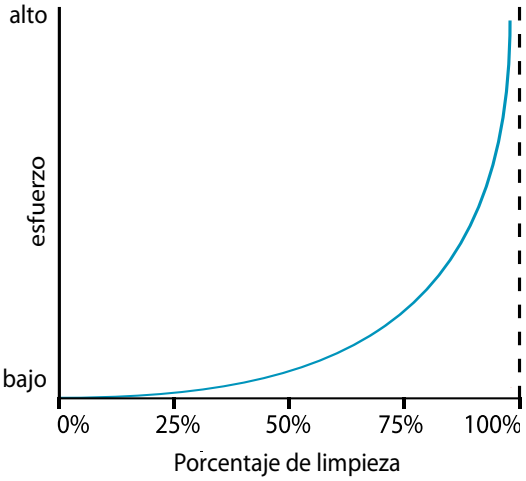


Figura 14.76

La limpieza de la banda es un proceso, y al igual que cualquier otro proceso, los resultados siguen una curva.

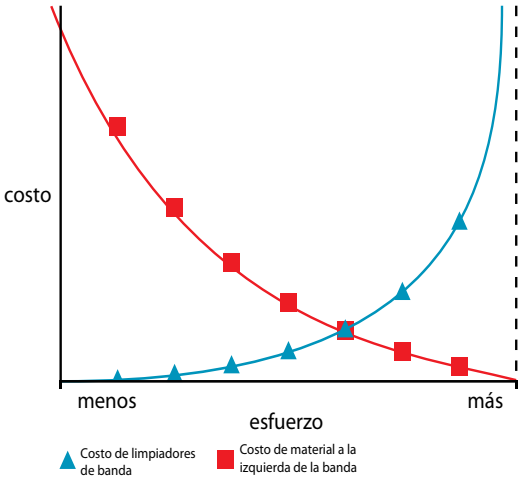


Figura 14.77

En algún punto de la curva en disminución que representa la cantidad del material removido y el costo de ese material adherido, el costo de instalación y mantenimiento de sistemas de limpieza adicionales es mayor que el costo de dejar el material restante en la banda.

La limpieza de Nivel I se especifica generalmente cuando las inquietudes sobre el material adherido no son críticas. Los sistemas de limpieza asociados normalmente con el logro del desempeño de Nivel I son los sistemas del limpiador sencillos o dobles con hojas de una pieza que reciben poco o un mantenimiento normal. Es probable que se requiera una limpieza frecuente del material adherido que cae del retorno del transportador. El Nivel I se especificaría para materiales que son fáciles de remover de la banda, en operaciones que transportan pequeños tonelajes de material, en plantas de operaciones intermitentes o donde el material adherido puede limpiarse y devolverse al proceso.

La limpieza de Nivel II se especifica generalmente cuando el material adherido es una inquietud pero no crea un problema significativo de seguridad o en el medio ambiente. Los sistemas de limpieza normalmente asociados con el desempeño de Nivel II pueden ser sistemas de limpiadores múltiples con las hojas segmentadas que reciben mantenimiento en los intervalos especificados por el fabricante. La limpieza de Nivel III se especificaría en operaciones de alto volumen, en operaciones donde el material derramado es de valor moderado o donde la limpieza manual debajo de los transportadores una vez a la semana es aceptable.

La limpieza de Nivel III se especifica generalmente cuando las inquietudes sobre el material adherido son críticas. Estas inquietudes van desde seguridad hasta medio-ambiente y contaminación del producto. Los sistemas de limpieza asociados normalmente con el logro del desempeño de Nivel III son los sistemas de limpiadores múltiples en conjunto con por lo menos un aspersor de agua de bajo volumen. Los materiales a granel difíciles de limpiar pueden requerir el uso de un sistema de la caja de lavado con limpiadores múltiples usando una combinación de aspersores de agua de bajo volumen para lubricar los limpiadores y aspersores de alto volumen para que fluya libremente la caja de lavado y la tubería de descarga. El desempeño de Nivel III se especificaría cuando se requiere una prevención de derrame, la contaminación de la carga de la banda es una inquietud, el material a granel que tiene un alto valor por tonelada, o donde la limpieza debajo de los transportadores es aceptable una vez al mes.

La ponencia de Swinderman observó que mientras más alto es el nivel de limpieza deseado, más sofisticado tendrá que ser el sistema de limpieza y mejor tendrá que ser su desempeño de limpieza **(Tabla 14.2)**.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

A. En general

a. Es importante diseñar sistemas de limpieza de la banda transportadora para los problemas presentados por las condiciones del material del "peor caso", en lugar de condiciones "normales" de operación. Esto permitirá que los sistemas de limpieza manejen mejor los cambios en los materiales.

b. Los limpiadores de la banda deben instalarse tan cerca de la descarga de material como sea posible, asegurando una limpieza eficaz dando soporte a

Tabla 14.2 **Nivel medio del material adherido permitido en la parte limpia de la banda**

Nivel de limpieza	Nivel I	Nivel II	Nivel III
Nivel medio del material adherido (peso seco g/m²)	250	100	10
Nivel medio del material adherido (peso seco onzas/pies²)	0.82	0.33	0.03

Notas:

1. Debido a que las condiciones ambientales y de operación varían, el nivel de limpieza está basado en la media de una distribución estándar que será única para cada transportador y material a granel. Por lo tanto, la media de las mediciones de todos los sistemas semejantes que transportan materiales a granel semejantes en una planta se debe usar para medir el total del desempeño de limpiadores de la banda.

2. El factor de material adherido (Cb_f), el porcentaje del material que finalmente cae de la banda y se acumula debajo del transportador, ha sido medido a un promedio de 75% del material adherido medido al Nivel I, 50% al Nivel II y 25% al Nivel III (Referencia 14.5).

los elementos de limpieza contra una superficie firme.

c. Los limpiadores de la banda deben instalarse fuera de la trayectoria del material y posicionarse para que los materiales despejados no se puedan acumular en las hojas y en las estructuras.

d. Los sistemas de limpieza de la banda deben diseñarse para proporcionar una cobertura menor que el ancho total de la banda para permitir variaciones menores en la alineación de la banda y aportar un contacto óptimo de la hoja a la banda.

e. Cada polea de cabeza debe tener un sistema de limpieza de la banda que consista en (como mínimo) un limpiador primario y un limpiador secundario con preparaciones para la adición de limpiadores terciarios.

f. Los sistemas de limpieza deben estar diseñados para permitir mantenimiento y procedimientos simples de reemplazo de la hoja. Se debe llevar a cabo un mantenimiento periódico según las recomendaciones del fabricante para mantener los limpiadores de la banda operando a su máximo desempeño.

B. Limpiadores primarios

a. Los limpiadores primarios realizan la limpieza inicial por encima. Deben estar diseñados con hojas flexibles (elastómero) y dispositivos de tensión de ajuste radial.

b. Los limpiadores primarios deben instalarse en la cara de la polea de cabeza justo abajo de la trayectoria del material, utilizando un ángulo de limpieza del rastrillo positivo.

c. Las hojas del limpiador primario deben incorporar un ángulo de limpieza constante y diseño de área.

d. Los prelimpiadores deben estar diseñados para usarse en las bandas unidireccionales y reversibles.

e. Las bandas reversibles deben tener un prelimpiador en cada polea de descarga.

C. Limpiadores secundarios

a. Los limpiadores secundarios remueven la mayoría del material que pasa por las hojas del prelimpiador. Las hojas de reemplazo secundarias deben estar en contacto con la banda justo al pasar el punto donde la banda pierde contacto con la polea de cabeza. Alternativamente, los limpiadores pueden localizarse detrás de la polea de cabeza con un rodillo de sujeción arriba de las hojas. El rodillo de sujeción debe tener un mínimo de 100 milímetros (4 pulg.) de diámetro.

b. Las hojas del limpiador secundario deben estar diseñadas para estar en contacto con la banda en una posición de rastrillo negativo.

c. Las hojas deben estar hechas de carburo de tungsteno o un material semejante resistente a la abrasión.

d. En las bandas unidireccionales, los limpiadores deben ajustarse con un dispositivo de tensión de ajuste radial, y en las bandas reversibles con un tensionador a resorte vertical.

e. Las bandas reversibles deben tener un limpiador secundario instalado tan cerca como sea posible de cada polea terminal (descarga).

D. Limpiadores terciarios

a. Se debe planear espacio en el diseño de las zonas de carga del transportador para la posible adición de limpiadores terciarios.

b. Los limpiadores terciarios deben usar una placa deflectora o transportador carroñero por separado para regresar el material adherido al flujo principal del material.

E. Otros

a. Debe haber disponibilidad de los servicios necesarios (agua, electricidad, aire comprimido) en puntos convenientes para la instalación del limpiador de la banda.

b. Los espacios y accesos según las recomendaciones de CEMA deben incluirse en el diseño del transportador.

TEMAS AVANZADOS

Limpiadores de la banda y requerimientos de energía

La aplicación de limpiadores de la banda aumenta el arrastre contra la banda y aumenta el consumo de energía de un transportador **(Ecuaciones 14.1** y **14.2)**.

Un estudio de R. Todd Swinderman publicado en *Bulk Solids Handling (Manejo de sólidos a granel)* ha examinado cuánta energía consume

la aplicación de un limpiador de la banda de la energía motriz total de un transportador *(Referencia 14.6)*. El requerimiento de energía se calcula para el ancho de la banda que entra en contacto con el limpiador. En la mayoría de los casos las hojas no entran en contacto con el ancho total de la banda transportadora.

El estudio considera una banda de 900 milímetros (36 pulg.) de ancho moviéndose a velocidades de 0.5; 2.0; 3.5 y 5.0 metros por segundo (100, 400, 700 y 1000 pies/min.). La cobertura de la hoja de los limpiadores contra la banda es de 762 milímetros (30 pulg.). El consumo de energía añadido a la energía motriz de la banda por la tensión de varios tipos de limpiadores de la banda va desde 0.14 a 3.8 kilovatios (0.2 a 5.1 hp) **(Tabla 14.3)**.

Una aplicación se calcula usando un programa de software computacional de ingeniería de transportadores que está disponible en el mercado. Las especificaciones usadas en el programa son: una banda de 1200 milímetros (48 pulg.) de ancho, operando a 3.0 metros por segundo (600 pies/min.), transportando 1350 toneladas de carbón por hora (1500 st/h) en una distancia de 90 metros (300 pies) en una pendiente de 14 grados. El peso de la banda está especificado como de 22.3 kilogramos

14

Ecuación 14.1

Cálculo de la tensión agregada a la banda por el limpiador de la banda

$$\Delta T_{BC} = l_{BC} \cdot \mu_{BC} \cdot F_{BC}$$

Dado: *Una banda de 900 milímetros (36 pulg.) de ancho tiene un limpiador en la polea de cabeza. El limpiador ejerce una fuerza de 0.088 newtons por milímetro (0.5 libras$_f$/pulg.) en la banda, y el coeficiente de fricción es 0.6.* ***Calcular:*** *La tensión agregada a la banda por el limpiador.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
ΔT_{BC}	La tensión agregada a la banda por el limpiador	newtons	libras-fuerza
μ_{BC}	Coeficiente de fricción	0.6	0.6
F_{BC}	Fuerza normal entre la banda y el limpiador por longitud del limpiador	0.088 N/mm	0.5 libras$_f$/pulg.
l_{BC}	Longitud de la hoja limpiadora	900 mm	36 pulg.

Métrico: $\Delta T_{BC} = 900 \cdot 0.6 \cdot 0.088 = 47.5$

Imperial: $\Delta T_{BC} = 36 \cdot 0.6 \cdot 0.5 = 10.8$

ΔT_{BC}	La tensión agregada a la banda por el limpiador	47.5 N	10.8 libras$_f$

Ecuación 14.2

Cálculo del consumo de energía agregado a la energía motriz de la banda

$$P = \Delta T_{BC} \cdot V \cdot k$$

Dado: *Un limpiador de la banda agrega 47.5 newtons (10.8 libras$_f$) de tensión a una banda que viaja 3 metros por segundo (600 pies/min.).* ***Calcular:*** *El consumo de energía agregado a la energía motriz por el limpiador.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
P	Consumo de energía agregado a la energía motriz de la banda	kilovatios	caballos de fuerza
ΔT_{BC}	Tensión agregada a la banda por el limpiador *(Calculada en la **Ecuación 14.1**)*	47.5 N	10.8 libras$_f$
V	Velocidad de la banda	3 m/s	600 pies/min.
k	Factor de conversión	1/1000	1/33000

Métrico: $P = \dfrac{47.5 \cdot 3}{1000} = 0.14$

Imperial: $P = \dfrac{10.8 \cdot 600}{33000} = 0.2$

P	Consumo de energía agregado a la energía motriz de la banda	0.14 Kw	0.2 hp

por metro (15 libras$_m$/pies), y los rodillos están espaciados cada 600 milímetros (24 pulg.). Este transportador requeriría una energía motriz de 107 kilovatios (143 hp).

Si hubiera 1.2 kilogramos por metro cuadrado (0.25 libras$_m$/pies^2) de material adherido en la banda, esto equivaldría a 10.9 toneladas por hora (12 st/h) de carga. Por sí misma esta carga adicional requeriría muy poca energía adicional para transportar: una energía adicional de 1 kilovatio (1.3 hp), para un total de 108 kilovatios (144 hp). Los problemas del transportador no surgen de la energía consumida por el peso del material adherido, sino del impacto en los alineadores del transportador por este material adherido a medida que se libera en el ambiente.

Un solo conjunto de rodillos de impacto paralizados requeriría aproximadamente 1.2 kilovatios (1.6 hp) de energía adicional. Un conjunto de rodillos atascados puede demandar tanto como 0.27 kilovatios (0.36 hp) de energía adicional. Este estudio también observa que una capa de material adherido de 25 milímetros (1 pulg.) en un solo rodillo de retorno puede añadir tanto como 0.32 kilovatios (0.43 hp) a los requerimientos de energía motriz del transportador.

Estos requerimientos de energía adicional para los problemas que surgen del material fugitivo deben compararse con los requerimientos de energía de un típico sistema dual de limpieza. Continuando con el ejemplo anterior, por una banda de 1200 milímetros (48 pulg.) que viaja a 3 metros por segundo (600 pies/min.) e incorpora un sistema dual de limpieza, el requerimiento de energía sería de 1.3 kilovatios (1.7 hp) para el prelimpiador y de 2.1 kilovatios (2.8 hp) para el limpiador secundario.

El consumo combinado de energía adicional de 3.4 kilovatios (4.5 hp) requerido para el uso de un sistema limpiador múltiple eficaz representa un aumento de sólo tres por ciento sobre los 107 kilovatios (143 hp) requeridos para el transportador sin limpiadores. Esta "penalización de energía del transportador" aplicada por el sistema de limpieza de la banda es sólo un poco mayor que la energía consumida a razón de 0.27 kilovatios (0.36 hp) por un solo conjunto de rodillos atascados o de 0.32 kilovatios (0.43 hp) requeridos por 25 milímetros (1 pulg.) de acumulación del material en un solo rodillo de retorno.

Como lo observó Swinderman, las consecuencias por no instalar ni dar mantenimiento adecuado a los limpiadores de la banda eficaces comprueba ser una fuga muy grande de energía motriz del transportador a través de la fricción añadida causada por los rodillos con acumulaciones de material o rodamientos atascados.

Limpieza de la banda y control del polvo

El material adherido es una fuente importante de polvo en el transportador. Este polvo se crea cuando el lado sucio de la banda interactúa con los rodillos y las poleas de la banda. Los limpiadores de la banda reducen enormemente la generación de polvo en general en el transporte de materiales a granel, porque reducen la cantidad total del material transportado en el trayecto de retorno de la banda. Como los diseños del limpiador de la banda han mejorado, el nivel general del polvo que se origina como material adherido se ha

14

Tabla 14.3

Consumo de energía agregado al requerimiento de energía motriz del transportador por varios tipos de limpiadores de la banda

	Velocidad de la banda, m/seg. (pies/min.)			
	0.5 (100)	2 (400)	3.5 (700)	5 (1000)
Tipo de la hoja	Kw (hp)	Kw (hp)	Kw (hp)	Kw (hp)
Prelimpiador de la hoja de uretano	0.14 (0.2)	0.52 (0.7)	0.97 (1.3)	1.34 (1.8)
Limpiador secundario de la hoja de metal	0.22 (0.3)	0.89 (1.2)	1.57 (2.1)	2.24 (3.0)
Limpiador secundario de la hoja de uretano	0.37 (0.5)	1.49 (2.0)	2.68 (3.6)	3.80 (5.1)

Nota: *Todas las pruebas realizadas usan la tensión proporcionada por Martin Engineering para la presión de la limpieza recomendada*

reducido al punto en el que los limpiadores de la banda se han convertido en un método pasivo crítico de control del polvo. Este tema avanzado ofrecerá un método para estimar la reducción del polvo que potencialmente puede ser liberado de la banda hacia el medio ambiente.

Contenido de humedad y tamaño de las partículas

El nivel de polvo del material a granel está relacionado con la velocidad del aire, tamaño de la partícula y cohesión **(Figura 14.78)**.

Varios factores influyen el nivel de polvo de un material a granel determinado. Los factores más importantes para esta discusión son el contenido de humedad y el tamaño de partícula. Generalmente, el contenido adicional de humedad aumenta el tamaño y cohesión de las partículas del material. A medida que aumentan el tamaño y la cohesión de las partículas, aumenta el índice de nivel del polvo. Una disminución en el nivel del polvo se ve en niveles de humedad tan bajos como 2.5 por ciento; la mayoría de los materiales que tengan un contenido de humedad del 16 por ciento o más tendrán un índice de nivel del polvo que sea eficazmente cero. El tamaño de las partículas es también una variable significativa, los materiales a granel con partículas de más de 100 micras (0.0039 pulg.) tienen un índice de nivel del polvo muy bajo *(Referencia 14.7)*. En general, si el material adherido tiene, en promedio, más del 16 por ciento de humedad, y el tamaño de las partículas es mayor a 100 micras (0.0039 pulg.), se puede esperar muy poca reducción del polvo de la limpieza de la banda.

El material adherido tiene usualmente un alto contenido de humedad, porque la acción ondulante de la banda causa que las partículas finas y la humedad se muevan hacia la superficie de la banda. El contenido típico de humedad del material adherido es de 15 a 50 por ciento. La distribución del tamaño de las partículas del material adherido depende de dónde se mide y del tipo del limpiador de la banda usado. Si hay limpiadores de la banda múltiples, el tamaño de las partículas del material adherido que pasan por cada limpiador sucesivo se harán más pequeñas **(Tabla 14.4)**. Para un sistema dual típico, el tamaño promedio de las partículas que pasan por un prelimpiador de las hojas de elastómero es de aproximadamente 1000 micras (0.0039 pulg.), con un rango de 1 micra (3.93×10^{-5} pulg.) a 5 milímetros (0.2 pulg.). El tamaño promedio de las partículas que pasan por un segundo limpiador de las hojas duras de metal será de aproximadamente 50 micras (0.00196 pulg.), con un rango de 1 micra (3.93×10^{-5} pulg.) a 250 micras (0.0098 pulg.).

Bandas que viajan vacías

Es evidente que debe existir un conjunto de baja humedad y tamaño pequeño de las partículas para que el polvo sea liberado del material adherido. La mayoría de las veces, el material adherido tiene el contenido suficiente de humedad para aglomerar las partículas más pequeñas, pegándose a la banda y evitando la liberación del polvo. Una gran cantidad del

Figura 14.78

Relación en la creación de polvo en el ambiente

$$\text{Polvo generado} \;\alpha\; \frac{\text{Velocidad del aire}}{\text{Tamaño de las partículas} \bullet \text{Cohesión}}$$

Tabla 14.4

Características del material adherido que pasa por el sistema de limpieza			
Sistema de limpieza de la banda	Limpiadores de la banda desactivados	Prelimpiador de la hoja de uretano activado	Prelimpiador (con la hoja de uretano) y limpiador secundario de la hoja de metal activados
Tamaño de las partículas	Partículas grandes, pequeñas y finas (de 10 mm a 1 micra)	Partículas pequeñas y finas (de 5 mm a 1 micra)	Partículas finas (de 250 micras a 1 micra)
Contenido de humedad	Contenido de humedad más bajo (~15%)	Contenido de humedad más alto (~30%)	Muy húmedo (~50%)

Notas: *Material transportado: caliza triturada, 200 mm (8 pulg.) menos. Velocidad de la banda: 2 m/seg. (394 pies/min.). Tiempo de colección por cada muestra: 30 segundos*

polvo generado por los limpiadores de la banda y los componentes descendentes, como los rodillos y poleas deflectoras, ocurre cuando se permite a la banda caminar por largos períodos de tiempo sin materiales transportados. Si la banda viaja el tiempo suficiente sin carga, el material adherido de la banda se seca, y su tamaño de partículas se reduce por el contacto con los componentes de rodamiento. Bajo estas condiciones, la mayoría del material adherido se liberará en el ambiente en forma de polvo. Por supuesto, hay excepciones, como cuando se manejan materiales muy secos como alúmina; sin embargo, en carbones y la mayoría de los minerales, la limpieza de la banda reduce enormemente el polvo generado, removiendo la mayoría del material adherido de la banda.

Un caso se demuestra por el sistema del transportador de carbonera en una planta de energía a carbón. La planta dejaba estos transportadores caminando cuando no estaba cargando carbón activamente. Cuando el carbón no se cargaba, el polvo en el ambiente disminuía y el aire se limpiaba. Sin embargo, después de viajar sin carga el tiempo suficiente para que se secara el material que estaba en la banda, el nivel del polvo en el aire aumentaba de nuevo. Cuando la banda estaba vacía, el material adherido se secaba y se desprendía de la banda hacia el aire por los rodillos de retorno, los limpiadores de la banda y otros componentes. Cuando empezaba de nuevo la carga de los transportadores, el nivel de polvo disminuía de hecho, porque la carga contenía humedad incidental y químicos de supresión del polvo **(Figura 14.79)**.

Aunque este ejemplo no representa resultados de antes y después de la instalación de los limpiadores de la banda, sí demuestra que los períodos de mayor generación de polvo corresponden a las veces en las que el transportador viajaba sin carbón en la banda. Una de las cosas que se pueden deducir de estos resultados es que cuando la banda viaja vacía, el material adherido eventualmente se seca. El material adherido seco entonces se convierte en polvo en el ambiente, y la mayoría de este polvo es liberado en un corto período de tiempo cuando el contenido de humedad del material adherido probablemente alcance un bajo valor crítico. Es evidente que se habría logrado una ventaja significativa en el control de polvo si la planta hubiera apagado el transportador cuando no estaba transportando carbón. Cuando se permite que la banda viaje vacía, el material adherido se seca y tanto el limpiador como los rodillos de retorno de la banda se llevan el material fino seco de la banda.

Estimar el polvo que evitó la limpieza de la banda

Probablemente, el polvo creado dentro del

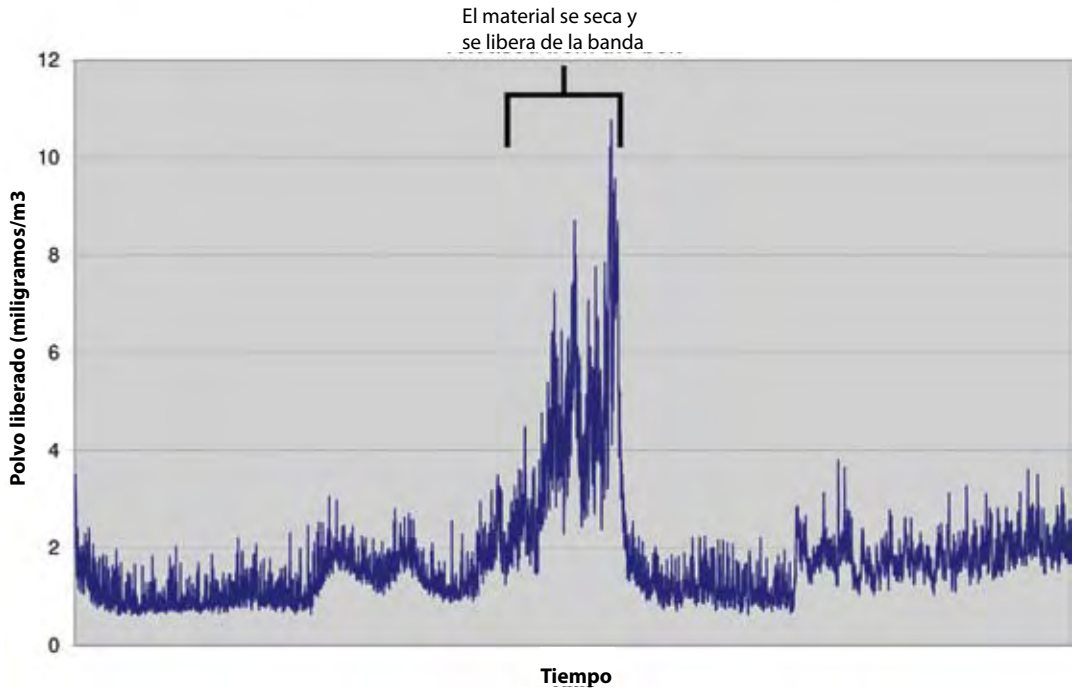


Figura 14.79

Las emisiones del polvo de un descargador de la banda en una planta de energía aumentaron por un intervalo de tiempo después de que la banda viajó descargada por el tiempo suficiente para permitir que el material adherido se secara y se desprendiera de la banda.

chute es manejado por los sistemas de control del polvo activos o pasivos del transportador; la cantidad del polvo generado por la banda en el trayecto de retorno es directamente proporcional al material adherido en la banda. Las condiciones cambian continuamente en el manejo de materiales a granel, dificultando el cálculo de un valor preciso del polvo creado por el proceso de transporte o evitado por la limpieza de la banda. Calcular la cantidad de polvo que podría liberarse requiere un número de suposiciones y estimaciones; sin la real aplicación de datos específicos, es básicamente un ejercicio teórico. Bajo las mismas suposiciones y estimaciones, se puede demostrar que instalar un sistema de limpieza de la banda suficiente, darle mantenimiento adecuado y no permitir que la banda viaje vacía por largos períodos de tiempo resultará en una reducción significativa del polvo que potencialmente escapa del transportador.

Un problema de muestra

Un transportador típico de una aplicación de minería o generadora de energía sin un sistema de limpieza instalado tendrá material adherido en un promedio de 500 gramos por metro cuadrado (1.6 onzas/pies^2) en la superficie de la banda que lleva la carga. La adición de un sistema dual de limpieza con una instalación y mantenimiento adecuados reducirá el material adherido a menos de 100 gramos por metro cuadrado (0.3 onzas/pies^2). Los sistemas más avanzados (que usan más limpiadores o una estación de lavado de la banda), pueden reducir el material adherido a 10 gramos por metro cuadrado (0.03 onzas/pies^2). Mientras que 10 gramos por metro cuadrado (0.03 onzas/pies^2) puede parecer un valor alto, debe considerarse que una sola rasgadura en la superficie de la banda que sea de 0.14 milímetros (0.006 pulg.) de ancho y 0.14 milímetros (0.006 pulg.) de profundidad puede contener 10 gramos (0.4 onzas) de material (con una gravedad específica de 1.0) por metro (3 pies) de longitud de la banda. Se puede asumir, basándose en el nivel de limpieza, que del 25 al 75 por ciento del material adherido que queda en la banda después de la limpieza está "oculto" en la banda en resquebrajamientos, orificios y la aspereza general de la superficie *(Referencia 14.4)*.

Los otros factores primarios necesarios para hacer una estimación de la generación del polvo de la limpieza de la banda son la velocidad de la banda y las horas de operación. Para reducir el número de cálculos y tablas requeridas, se usa una velocidad de la banda estándar de 1 metro por segundo (200 pies/min.); otras velocidades de la banda se pueden extrapolar linealmente, por ejemplo, una velocidad de la banda de 3 metros por segundo (600 pies/min.) significa tres veces los valores de 1 metro por segundo (200 pies/min.).

Cálculos de muestra

Suposiciones

Las suposiciones **(Tabla 14.5)** se basan en los valores típicos del material adherido y experiencia en la medición del desempeño de los sistemas de limpieza de la banda bajo una amplia variedad de condiciones en minería de carbón y de rocas duras. Siendo conservadores, se asume que el índice del nivel de polvo es de 100 por ciento y que todo el material adherido en este ejemplo es de 100 micras (0.0039 pulg.) o menos; por lo tanto, todo el material adherido es polvo en el ambiente potencial. Los Niveles I, II y III representan las categorías estándar para el material adherido que apenas corresponden a 1 limpiador, 2 limpiadores y 3 limpiadores o un sistema de lavado de la banda, respectivamente.

Tabla 14.5 **Suposiciones de ejemplo**

Suposiciones	Nivel de limpieza de la banda			
	Sin limpiadores	Nivel I	Nivel II	Nivel III
Material adherido g/m^2 (onzas/pies^2)	500 (1.6)	250 (0.8)	100 (0.3)	10 (0.03)
Factor de material adherido	88%	75%	50%	25%
Tamaño de partículas µm (pulg.)	100 (0.004) menos	100 (0.004) menos	100 (0.004) menos	100 (0.004) menos
Ancho de la banda despejada	67%	67%	67%	67%
Velocidad de la banda m/seg. (pies/min.)	1.0 (200)	1.0 (200)	1.0 (200)	1.0 (200)

Definiciones

Las siguientes definiciones se usan para dar una explicación de las suposiciones:

A. Material adherido

El material adherido es el peso seco del material que se adhiere a la banda después de que se descarga. La cantidad de material adherido de la banda se puede medir usando un calibrador de material adherido y procedimientos de laboratorio subsecuentes. Si se conocen las propiedades de adhesión del material a granel, se puede hacer una mejor estimación de la cantidad de material adherido en la banda *(Referencia 14.8)*. Sin limpiadores implicados, la suposición de este ejemplo es que el material adherido será de 500 gramos por metro cuadrado (1.639 onzas/pies^2) de superficie despejada.

B. Factor de material adherido

El factor de material adherido es el porcentaje estimado de material adherido que será desprendido del descenso de la banda de los limpiadores de la banda por componentes como rodillos de retorno y poleas deflectoras. Mientras más limpio esté el rodillo, menor será el porcentaje de material adherido que caerá de la banda, ya sea porque el material adherido restante está capturado en los resquebrajamientos y daños de la banda o porque las partículas tienen la suficiente fuerza adhesiva para permanecer en la superficie de la banda.

C. Tamaño de la partícula

En este ejemplo, se asume que el 100 por ciento del material adherido es lo suficientemente pequeño para convertirse en polvo en el ambiente. En la práctica real, se puede realizar un análisis de tamiz para determinar el porcentaje de las partículas del material adherido que sean lo suficientemente pequeñas para convertirse en potencial polvo en el ambiente y los resultados de los cálculos multiplicados por el porcentaje de partículas menores de 100 micras (0.0039 pulg.).

D. El ancho de la banda despejada

Sólo una porción de la banda está en contacto con el material a granel, y esto es el ancho que debe limpiarse del material adherido. La suposición es que la "norma general" de CEMA de espacio de dos tercios de ancho de la banda para el chute lateral es una estimación razonable para esta variable. El ancho real se puede medir y usar en lugar de esta suposición.

E. Velocidad de la banda

La velocidad de la banda es la velocidad de la banda en metros por segundo (pies/min.). Se usa un valor de 1.0 metros por segundo (200 pies/min.) en este ejemplo. Los resultados de otras velocidades de la banda se pueden extrapolar multiplicando la velocidad real de la banda en metros por segundo (pies/min.). La misma extrapolación es posible con el período de tiempo (de minutos a horas, días, semanas, etc.) y el ancho de la banda porque la relación con las cantidades de material adherido generado es lineal.

Ecuación

Los cálculos pueden determinar la cantidad de polvo potencial generado por el material adherido **(Ecuación 14.3)**. Se pueden hacer cálculos adicionales para varios anchos de la banda y niveles de desempeño, el resto de las variables permanecen iguales **(Figura 14.80)**. Como se puede ver en el ejemplo anterior, la reducción en el polvo potencial es de 89 por ciento instalando un sistema que logrará una limpieza de Nivel II. Típicamente, un sistema que logre un desempeño de limpieza de Nivel II consiste en por lo menos un prelimpiador y un limpiador secundario, ambos seleccionados y medidos adecuadamente para la aplicación. La carga de polvo se puede determinar calculando la cantidad del aire que fluye a través del punto de transferencia por minuto y añadiendo el polvo generado por minuto *(Referencia 14.9)*.

Conclusión

Una fuente principal de polvo son los transportadores que viajan vacíos por largos períodos de tiempo. A medida que la banda camina vacía, el material adherido se seca y se libera más fácilmente en el ambiente por el contacto con componentes como los rodillos de retorno y las poleas deflectoras. Al reducir el material adherido, los sistemas diseñados para la limpieza de las bandas reducen significativamente la cantidad potencial de polvo liberado en el sistema del transportador y en el ambiente. La instalación y mantenimiento adecuados de los limpiadores de la banda dentro

del alojamiento de contención son críticos para mantener la eficacia de limpieza y mitigar la generación del polvo. Si hay mediciones reales disponibles para las variables críticas, se puede calcular una estimación de ingeniería razonable del polvo liberado por la banda después de la limpieza de la banda.

Ecuación 14.3

Calcular el polvo potencial generado

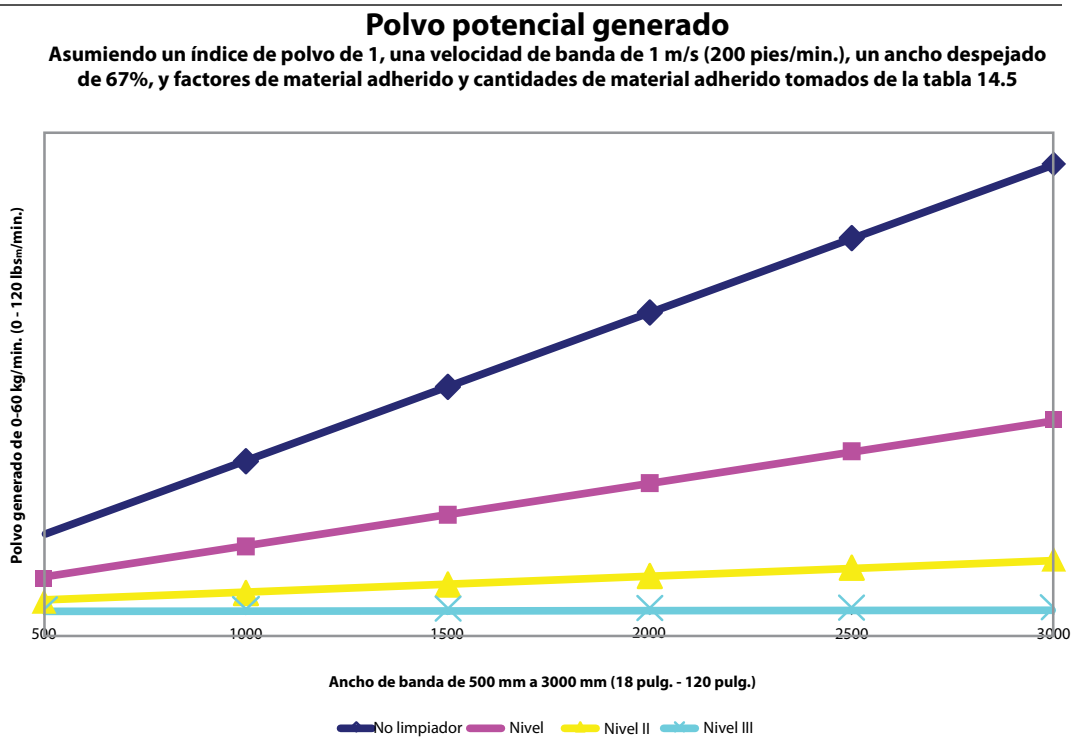
$$DG = BW \cdot Cb_f \cdot DI \cdot BS \cdot WC \cdot Cb \cdot k$$

Dado: *Una banda de 1500 milímetros (60 pulg.) de ancho transporta material a una velocidad de 1.0 metros por segundo (200 pies/min.). El factor del material adherido es 88 por ciento, el índice del polvo es 100 por ciento y el ancho despejado es 67 por ciento. El nivel del material adherido sin limpiadores es de 500 gramos por metro cuadrado (1.639 onzas/pies²).* ***Calcular:*** *El polvo potencial generado.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
DG	Polvo generado	kilogramos por minuto	masa en libras por minuto
BW	Ancho de la banda	1500 mm	60 pulg.
Cb_f	Factor de material adherido	0.88 (88%)	0.88 (88%)
DI	Índice de nivel del polvo	1.0 (100%)	1.0 (100%)
BS	Velocidad de la banda	1.0 m/s	200 pies/min.
WC	Ancho despejado	0.67 (67%)	0.67 (67%)
Cb	Material adherido	500 g/m²	1.639 onzas/pies²
k	Factor de conversión	0.00006	0.00521
Métrico: $DG = 1500 \cdot 0.88 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.67 \cdot 500 \cdot 0.00006 = 26.5$			
Imperial: $DG = 60 \cdot 0.88 \cdot 1 \cdot 200 \cdot 0.67 \cdot 1.639 \cdot 0.00521 = 60.4$			
DG	Polvo generado	26.5 kg/min.	60.4 $libras_m$/min.

Figura 14.80

Polvo potencial generado por diferentes anchos de banda y niveles de limpieza.



CUESTIONES DE SEGURIDAD

El no instalar los sistemas adecuados de limpieza de la banda ni darles mantenimiento es a menudo la causa raíz de muchos de los accidentes que ocurren cuando el personal limpia alrededor de los transportadores en movimiento.

Se debe tener mucho cuidado cuando se observan o se inspeccionan los sistemas de limpieza de la banda. Se recomienda que sólo personal capacitado y calificado instale y dé mantenimiento a los sistemas de la banda y otros sistemas relacionados. El manual del fabricante usualmente da información importante, y los grupos industriales como CEMA proporcionan información de seguridad y señalizaciones de advertencia.

Un análisis de seguridad previo al trabajo, comúnmente llamado JSA (por sus siglas en inglés), se debe completar antes de la instalación o mantenimiento de los limpiadores de la banda o la limpieza de cualquier acumulación del material fugitivo. Algunos temas que se cubren en JSA son:

A. Se deben seguir los procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación.

B. No se deben intentar procedimientos de mantenimiento o ajuste mientras el transportador está en funcionamiento sin un estricto cumplimiento con las reglamentaciones nacionales, estatales, locales e internas.

C. Los limpiadores de banda instalados en posiciones elevadas o sobre áreas peligrosas, como la carga de barcazas en un río, pueden requerir precauciones especiales como sistemas de protección de caídas.

D. El mantenimiento de los limpiadores de la banda en áreas cerradas requiere que se sigan procedimientos de espacios confinados.

E. Los chutes a menudo contienen equipo, como dispositivos promotores de flujo y muestrarios, que pueden arrancar automáticamente. Todos los dispositivos deben estar bloqueados / etiquetados / suspendidos / comprobados por separado desde el accionamiento principal del transportador para evitar lesiones a los empleados.

F. Los limpiadores de la banda a menudo se localizan en áreas que están sujetas a acumulaciones de materiales fugitivos y a acumulaciones de grasa, agua o basura que pueden crear peligros de resbalones y tropiezos. Estas acumulaciones deben ser removidas antes de empezar los procedimientos de mantenimiento.

G. Los rótulos de advertencia que ya no son legibles deben reemplazarse.

H. Se deben seguir los procedimientos recomendados por el fabricante y los procedimientos de seguridad local requeridos cuando se realiza el mantenimiento en los sistemas de limpieza de la banda.

BENEFICIOS DEL CONTROL DEL MATERIAL ADHERIDO

En resumen...

Los limpiadores de la banda vienen en una variedad de tipos y materiales y se deben seleccionar para adecuarse a la aplicación y a las condiciones del material. Para una limpieza eficaz, la selección debe ser lograda por especialistas experimentados con su diseño y las características del material que se va a transportar.

Cuando se seleccionan, instalan y mantienen adecuadamente, los sistemas diseñados para limpieza de las bandas pueden ser eficaces para reducir el material adherido. La reducción de derrames y polvo, a su vez, reduce el mantenimiento y los accidentes, muchos de los cuales ocurren cuando los trabajadores están limpiando materiales fugitivos. La reducción del material adherido también protege contra daños a la banda y a los componentes del transportador, extendiendo su vida de servicio y evitando más derrames causados por el desalineamiento de la banda.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Limpieza de la banda, el primer capítulo de la sección Trayecto de retorno de la banda, discutió maneras de remover material adherido para prevenir que el material fugitivo se caiga de la banda en el trayecto de retorno. Los dos siguientes capítulos, Arados para protección de las poleas y Alineación de la banda, continúan esta sección y describen métodos adicionales para reducir los derrames.

REFERENCIAS

14.1 Swinderman, R. Todd and Lindstrom, Douglas, Martin Engineering. (1993). "Belt Cleaners and Belt Top Cover Wear," *National Conference Publication No. 93/8*, págs. 609–611. Ponencia presentada en The Institution of Engineers, Australia, 1993 Bulk Materials Handling National Conference.

14.2 Rhoades, C.A.; Hebble, T.L.; and Grannes, S.G. (1989). *Basic Parameters of Conveyor Belt Cleaning*, reporte de investigaciones 9221. Washington, D.C: Bureau of Mines, US Department of the Interior.

14.3 Planner, J.H. (1990). "Water as a means of spillage control in coal handling facilities." In *Proceedings of the Coal Handling and Utilization Conference: Sydney, Australia*, págs. 264–270. Barton, Australian Capital Territory, Australia: Institution of Engineers, Australia.

14.4 Swinderman, R. Todd, Martin Engineering. (2004). "Standard for the Specification of Belt Cleaning Systems Based on Performance." *Bulk Material Handling by Conveyor Belt 5*, págs. 3–8. Editado por Reicks, A. y Myers, M., Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME).

14.5 Martin Supra Engineering. (2008) *CarrybackTtest/Sum/SBM-001-SBW-05-2008*. Reporte no publicado para P.T. Martin Supra Engineering: Newmont, Indonesia.

14.6 Swinderman, R. Todd, Martin Engineering. (Mayo 1991). "The Conveyor Drive Power Consumption of Belt Cleaners," *Bulk Solids Handling*, págs. 487–490. Clausthal-Zellerfeld, Germany: Trans Tech Publications.

14.7 Wood, J. P. (2000). *Containment in the Pharmaceutical Industry*. Informa Health Care.

14.8 Roberts, A.W.; Ooms, M.; and Bennett, D. *Conveyor Belt Cleaning – A Bulk Solid/Belt Surface Interaction Problem*. University of Newcastle, Australia: Department of Mechanical Engineering.

14.9 Swinderman, R. Todd; Goldbeck, Larry J.; and Marti, Andrew D. (2002). *Foundations 3: The Practical Resource for Total Dust & Material Control*. Neponset, Illinois: Martin Engineering.

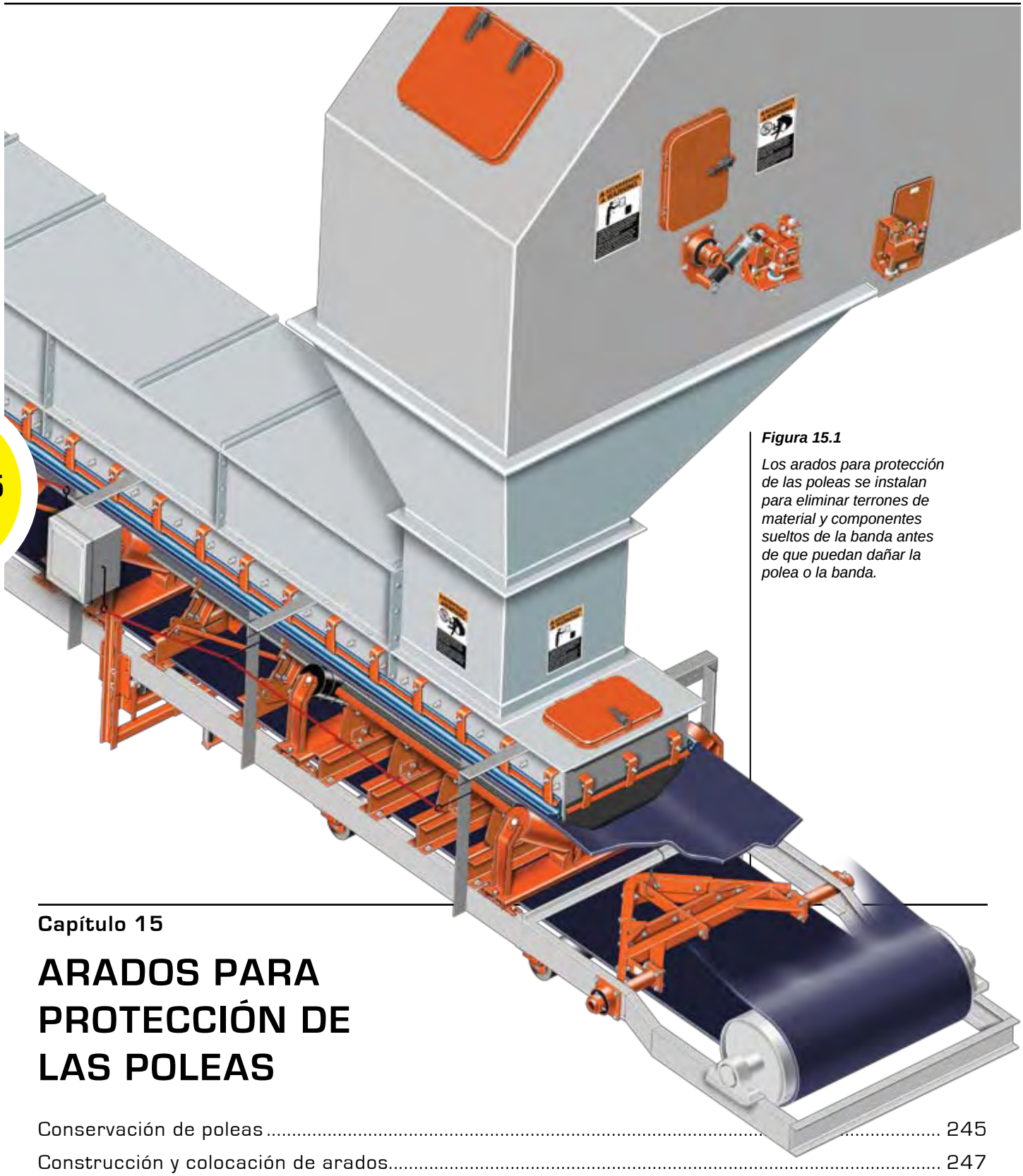


Figura 15.1

Los arados para protección de las poleas se instalan para eliminar terrones de material y componentes sueltos de la banda antes de que puedan dañar la polea o la banda.

Capítulo 15

ARADOS PARA PROTECCIÓN DE LAS POLEAS

Conservación de poleas 245
Construcción y colocación de arados 247
Especificaciones típicas 249
Cuestiones de seguridad 250
Temas avanzados 250
Protección de poleas como un seguro barato 251

En este capítulo...

Este capítulo examina el uso de arados para protección de las poleas como una forma de "seguro" de bajo costo contra daños a la banda y las poleas. Explica la necesidad de dichos arados y el daño que puede ocurrir sin ellos junto con las consideraciones que deben tenerse en cuenta al seleccionar y colocar arados para protección de las poleas.

Los arados para protección de las poleas son dispositivos que bloquean cualquier terrón grande o componentes del transportador sueltos como, por ejemplo, rodamientos de rodillos, hojas del limpiador de banda u otro pedazo de hierro que quede atrapado entre la banda y la polea de cola u otras poleas donde pueden dañar la polea o la banda **(Figura 15.1)**. Los arados de protección, aunque no están diseñados como limpiadores de banda, pueden retirar materiales fugitivos con una raspadura simple de baja presión que dirige el material hacia afuera de la banda de retorno de la misma forma en que un quitanieves limpia una calle.

A medida que la banda transportadora regresa desde su punto de descarga (típicamente la polea de cabeza) a su zona de carga, pasará por varias poleas. Estos componentes rodantes del lado de retorno incluyen la polea de ajuste, las poleas deflectoras y justo antes de que la banda llegue a la zona de carga, la polea de cola. Ocasionalmente durante su recorrido de retorno, la banda colectará y transportará un terrón de material derramado, pedazo de hierro o hasta un componente del transportador suelto a la polea de cola en el lado no portador de la banda. Si estos objetos no se retiran de la banda, pueden quedar atrapados entre la polea y la banda provocando daños a estas dos. Es por eso que los arados para protección de las poleas, comúnmente llamados arados de cola, se instalan cerca de la cola del transportador, su ubicación de montaje más prevalente **(Figura 15.2)**.

CONSERVACIÓN DE POLEAS

Amenazas a la polea y el transportador

El atrapamiento de cualquier objeto entre la banda y la polea puede dañar significativamente el sistema del transportador **(Figura 15.3)**. Cuando material fugitivo queda atrapado entre la banda y la polea, es muy probable que una o más fallas ocurran:

A. Degradación del material fugitivo

Si el material falla, se desintegrará en finos y será transportado entre la banda y la polea. El material atrapado en este lugar puede hacer que la banda resbale contra la polea provocando que la cara inferior no portadora de la banda se desgaste. Aun partículas pequeñas y finos pueden desgastar y tallar la superficie interna de la banda que es menos durable y más fácil de dañar. Además, el material que se acumula en las poleas de cola provocarán el desalineamiento de la banda que a su vez puede dañar el borde de la banda y/o la estructura del transportador.

B. Falla de la banda

Cualquier material atrapado entre la polea y la banda tiene el potencial de salir a la fuerza por el recubrimiento superior de la banda, especialmente si el material es un terrón con bordes afilados. Este material crea una superficie de banda desigual y puede ser un punto de inicio para rasgaduras longitudinales y en el perfil, orificios o gubias en el borde a lo largo de la banda transportadora.

Figura 15.2

La ubicación más común de los arados para protección de las poleas es en la cola del transportador.

Figura 15.3

El atrapamiento de material entre la polea y la banda puede dañar la polea y/o la banda.

C. Falla de la polea

Si el material y la banda no fallan, es muy probable que se dañe la cara de la polea de cola. Una polea dañada conlleva a una desalineación o daño de la banda y desplazamiento de poleas.

El problema más dañino que surge del material atrapado entre la banda y la polea de cola es el hecho de que puede convertirse en un fenómeno repetitivo. Una vez que una pieza de material llega a una polea, puede quedar atorada entre la banda y la polea, ser transportada alrededor de la rotación de la polea y después expulsada hacia el lado de retorno de la banda. Una vez ahí, viajará de nuevo hacia la polea para ser consumida otra vez **(Figura 15.4)**. En esencia, si inicialmente no logra romper algo, el terrón seguirá intentándolo hasta que ocurra una falla o éste se retire de la banda. Si el material es suficientemente fuerte, podría destruir toda la sección de la polea de cola de un transportador y dañar la banda.

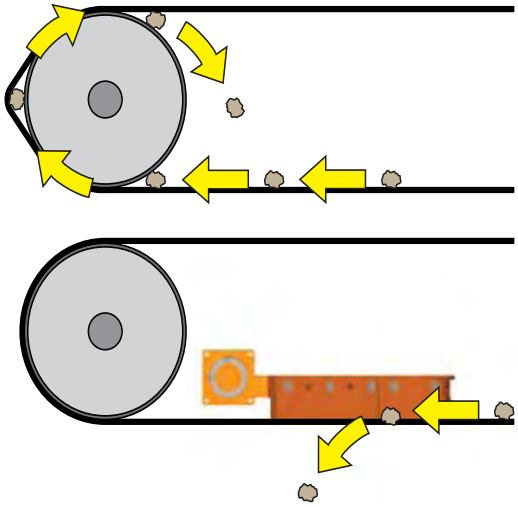


Figura 15.4

Arriba: Un terrón capturado entre la polea y la banda puede ser transportado alrededor de la polea y expulsado de nuevo a la banda para quedar atrapado otra vez.

Abajo: Un arado para protección de las poleas retirará los terrones de la banda para impedir que sean capturados.

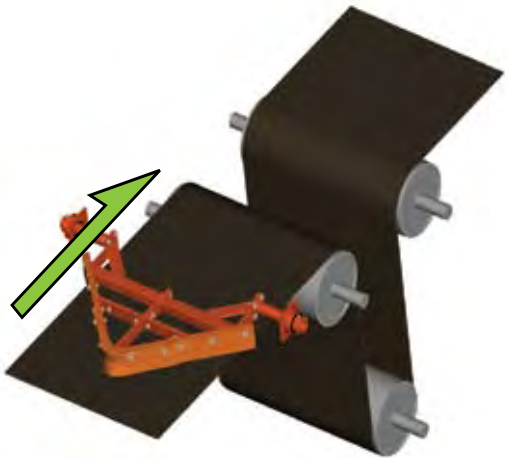


Figura 15.5

Generalmente instalados en la polea de cola, los arados también pueden instalarse para proteger las poleas de ajuste u otras poleas.

Evitar daños a la polea

En un sistema de transportador, donde la estabilidad es clave para el control del material fugitivo, cualquier daño a la banda o polea puede afectar de manera adversa el desempeño del sistema. Al eliminar las fuentes posibles de daños al transportador, todo el sistema se mejora y los riesgos de polvo y derrames se reducen drásticamente.

La protección básica contra este material atrapado entre la banda y la polea es el control de la carga. La trayectoria correcta y la altura de descarga del material, junto con la relación entre la velocidad del material de carga y la velocidad de la banda en movimiento son factores que ayudan a asentar la carga, reducir la agitación y minimizar el derrame de material. Mantener una alineación apropiada de la banda también se requiere para reducir derrames que pueden descargar material sobre el lado de retorno de la banda.

Un método adicional disponible para impedir que la carga caiga sobre el retorno de la banda es encerrar o cubrir la banda de retorno con una cubierta. En transportadores largos, esto puede convertirse en una propuesta costosa; por lo tanto, la cubierta raras veces se aplica en lugares aparte de las proximidades a la zona de carga. Aun si se aplica la cubierta a todo el recorrido de un transportador, el material puede acumularse en la parte superior de la cubierta y eventualmente derramarse sobre el recorrido de retorno del transportador creando la necesidad de un dispositivo de protección de poleas.

En instalaciones ideales, y sin importar otras precauciones, aún existe la posibilidad de que los componentes perdidos o material transportado se derramen sobre la parte interna de la banda. Por lo tanto, existe la necesidad de un sistema para prevenir que estos elementos dañen los componentes rodantes del transportador. Estos arados para protección de las poleas generalmente se instalan en la polea de cola; no obstante, dependiendo de las características del material específico y el transportador individual, también pueden ser útiles para proteger la polea de ajuste u otras poleas **(Figura 15.5)**.

Éste es un trabajo para un arado

Un arado para protección de las poleas retira los materiales fugitivos con un raspado simple de baja presión que dirige el material hacia fuera de la banda de la misma forma en que un quitanieves limpia una calle. En lugar de limpiar los finos de la banda, la misión principal de un arado es bloquear terrones grandes o componentes del transportador sueltos como, por ejemplo, rodamientos de rodillos, hojas del limpiador de banda u otro pedazo de hierro, impidiendo que entren a la polea de cola donde pueden dañar la banda **(Figura 15.6)**.

Un arado que se instala por encima de la banda captura un terrón de material contra la banda y genera un riesgo de abrasión y daños a la superficie con la posibilidad de rasgar la banda. Los arados para protección de las poleas son diseñados para flotar sobre la superficie de la banda, usando ya sea el peso del arado o un mecanismo tensionador para sostener el arado con un poco de presión, 13 a 20 kilopascales (2 a 3 lbs_f/pulgadas^2) contra la banda. Estos arados se fabrican con una construcción de trabajo pesado y suficientemente altos para impedir que materiales de rápido movimiento pasen por arriba del arado.

¿Más que terrones?

Si una banda está transportando cantidades significativas de finos o lodo en su superficie interior, debe tomarse el paso adicional de instalar un sistema de limpieza en la banda de retorno. A costa de consumir potencia de impulso adicional en el transportador, este sistema proporcionaría una eliminación eficaz de material, reduciendo el riesgo del resbalamiento de banda y la acumulación de material en la polea.

Un arado para la protección de poleas utilizado para limpiar finos de la banda debe ubicarse en una posición como, por ejemplo, justo debajo del punto de carga, para raspar el derrame hacia afuera de la banda y descargar el material donde pueda colectarse fácilmente. Debe tenerse cuidado al descargar materiales fugitivos en el área de la polea de cola pues puede crear otros problemas incluyendo la acumulación de material abajo del transportador. Al igual que con cualquier limpiador de banda, el material retirado que se acumula abajo del transportador puede llevar a un desgaste prematuro del recubrimiento superior de la banda.

CONSTRUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE ARADOS

Construcción de arados

Los dispositivos de protección de poleas generalmente son diseñados como un arado lineal o en V usando un armazón de acero con una hoja de caucho, uretano o plástico que dirige cualquier material fugitivo hacia fuera de la banda. Para impedir que terrones grandes "brinquen" el arado y se queden atrapados en la suspensión del arado, en la estructura del transportador o entre la banda y la polea, los arados deben ser tan altos como los terrones más grandes transportados con una altura mínima de 100 milímetros (4 pulgadas). En el caso de bandas de alta velocidad, puede ser ventajoso aumentar la altura del arado a la mitad de la altura total de la polea que está protegiendo. Es ventajoso cubrir el "espacio interior" del arado para impedir que el material quede atrapado en el mismo arado.

El arado debe incluir un cable de seguridad, el cual se uniría a un punto arriba y en frente de su borde de ataque. En caso de una falla en el montaje, este cable impediría que el arado viaje hacia la polea y provoque el daño que el arado intenta prevenir.

En las bandas transportadoras que viajan en una sola dirección, el limpiador de la banda de retorno generalmente es un arado en "V" **(Figura 15.7)**. La punta de la "V" está hacia la polea de cabeza de modo que cualquier material suelto transportado en la superficie interior de la banda se desviaría hacia afuera del transportador por los lados del arado.

Si la banda tiene una operación de reversa o sufre un retroceso significativo, el dispositivo instalado debe ser un arado diagonal que proporciona protección de limpieza en

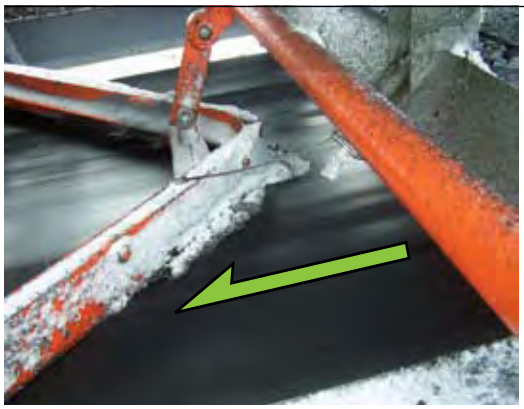


Figura 15.6

Un arado en V se instala de modo que la punta de la "V" esté hacia la polea de cabeza, desviando el material sostenido en la banda fuera de ésta con una acción de raspado a baja presión.

ambas direcciones **(Figura 15.8)**. Los arados diagonales normalmente se instalan a lo ancho de la banda en un ángulo de 45 grados hacia la dirección del recorrido **(Figura 15.9)**. Si la banda opera en dos direcciones, donde cualquier polea puede servir como la polea de cola, entonces debe instalarse un arado diagonal en cada extremo del transportador.

Colocación de la protección de poleas

Los arados deben ubicarse con cuidado de modo que el material retirado de la banda no cree un peligro a medida que cae o donde se acumula.

Así como es importante tener un rodillo sobre un limpiador de banda secundario que proporciona presión hacia abajo para impedir que el limpiador empuje la banda hacia arriba, también es importante tener uno o dos rodillos de presión abajo de la instalación del arado para la protección de poleas. En este caso, la misión es impedir que el arado cambie la línea de la banda empujándola hacia abajo de modo que el material pueda pasar debajo de la hoja. Dependiendo del espacio disponible, esto puede ser un solo rodamiento de rodillo colocado directamente abajo del arado o un par de rodillos de retorno, uno instalado antes del arado y otro después de éste.

Al igual que cualquier otro componente del transportador que estará en contacto con la banda, instalar un dispositivo de protección de poleas aumentará la fricción contra la banda en movimiento. Por lo tanto, este arrastre aumentará los requerimientos de potencia de impulso del transportador.

En la sexta edición de *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS* (*BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL)*, la Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas Transportadoras (CEMA) ofrece una configuración recomendada de 2 libras fuerza por pulgada de ancho de banda como la fuerza normal para la presión del arado a la banda. (El equivalente métrico es 0.35 newtons por milímetro de ancho de banda). Esta presión puede convertirse en consumo de energía usando las fórmulas **(Ecuación 15.1)**.

Figura 15.7

Un arado en V se usa en bandas que viajan en una sola dirección.

Figura 15.8

En transportadores reversibles, un arado diagonal proporcionará protección de limpieza para ambas direcciones de la operación.

Figura 15.9

Los arados diagonales se instalan a lo ancho de la banda en un ángulo de 45 grados hacia la dirección del recorrido.

Consideraciones de selección para la protección de poleas

Al especificar un dispositivo de protección de poleas, existen varios factores que deben considerarse. Un arado debe:

A. Suministrar una presión firme pero flexible

Una presión firme pero flexible permitirá al dispositivo limpiar la superficie de la banda. El propósito de este dispositivo es retirar el material eficaz y eficientemente para ajustarse automáticamente y adecuarse al desgaste de su hoja y fluctuaciones en el movimiento, velocidad y ruta de la banda.

B. Montarse de manera segura

El arado debe montarse firmemente para poder minimizar el riesgo de separarse de su instalación y poner en peligro los componentes del transportador que debe proteger. La instalación debe incluir un cable de seguridad para proteger al sistema del transportador en caso de que falle la instalación del arado **(Figura 15.10)**.

$$P = BW \cdot f_c \cdot V \cdot f \cdot k$$

Dado: *Un arado de uretano en una banda de 900 milímetros (36 pulgadas) viajando a 3 metros por segundo (600 pies/min).* ***Calcular:*** *La energía agregada al propulsor debido al arado.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
P	Consumo de energía añadido a la energía motriz de la banda	kilowatts	caballos de fuerza
BW	Ancho de banda	900 mm	36 pulgadas
f_c	Carga por ancho de banda (Según CEMA)	0.35 N/mm	2 lb_f/pulgadas
V	Velocidad de la banda	3 m/s	600 pies/min
f	Coeficiente de fricción *(Según el ESTÁNDAR 575-2000 DE CEMA)*	0.5 (UHMW) 1.0 (Uretano) 1.0 (Caucho)	0.5 (UHMW) 1.0 (Uretano) 1.0 (Caucho)
k	Factor de conversión	1/1000	1/33000

Métrico: $P = \dfrac{900 \cdot 0.35 \cdot 3 \cdot 1}{1000} = 0.945$

Imperial: $P = \dfrac{36 \cdot 2 \cdot 600 \cdot 1}{33000} = 1.3$

P	Consumo de energía añadido a la energía motriz de la banda	0.945 kw	1.3 hp

Ecuación 15.1

Consumo de energía de un arado para protección de las poleas

C. Diseñarse para una instalación fácil

El arado debe ser fácil de instalar para minimizar los paros en producción del sistema durante el procedimiento de instalación. Por ejemplo, el dispositivo debe ajustarse a la estructura del transportador sin requerir modificaciones extensas al dispositivo o a la estructura.

D. Diseñarse con una hoja durable y de fácil reemplazo

Para poder proporcionar una vida de servicio larga y permitir un mantenimiento rápido, la hoja debe fabricarse de un material adecuado para soportar las condiciones de la aplicación y debe fijarse de modo que pueda retirarse y reemplazarse fácilmente cuando se desgaste.

E. Ser de fácil acceso

El arado debe instalarse en un área donde pueda observarse durante la operación y sea fácil de mantener.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

Uno o más arados para protección de las poleas de baja presión deben colocarse en el lado de retorno de la banda para retirar material fugitivo antes de que quede atrapado entre la banda y un componente rodante según las siguientes especificaciones:

A. Presión flexible

Si un dispositivo está diseñado para tener contacto con la superficie de la banda, el diseño debe permitir que el arado o el limpiador "flote" por la superficie de la banda con una presión firme pero flexible.

B. Cable de seguridad

El dispositivo debe tener un cable de seguridad para proteger la banda y la polea en caso de ocurrir una falla inesperada en el montaje.

Figura 15.10

Una cadena de seguridad proporciona protección en caso de que falle el montaje del arado.

15

C. Hoja reemplazable

El diseño debe incorporar una hoja de caucho, plástico o uretano que sea fácil de reemplazar.

D. Cobertura de la banda total

La hoja del arado debe proporcionar una cobertura total de la banda para impedir que los terrones de material eviten el arado por los extremos.

E. Ubicación

El arado debe ubicarse de manera que el material limpiado de la banda pueda expulsarse de manera segura del transportador sin golpear el larguero, otros componentes o los pasillos; debe ubicarse en un lugar que sea seguro y conveniente para la limpieza.

F. Transportadores unidireccionales

En los transportadores unidireccionales, debe instalarse un arado en "V" entre el último rodillo de retorno y la polea de cola. Pueden requerirse dispositivos adicionales para proteger otras poleas o limpiar el recubrimiento inferior de la banda.

G. Transportadores reversibles

En los transportadores reversibles, deben instalarse arados de retorno diagonal en ambos extremos del transportador y montarse a lo ancho de la banda en un ángulo de 45 grados.

TEMAS AVANZADOS

El impacto causado por un terrón de material u otros objetos transportados en la banda puede ser bastante grande si están presentes condiciones como altas velocidades de banda y tamaños de terrones grandes. Estas grandes fuerzas de impacto deben considerarse al seleccionar el equipo, especialmente en vista de la demanda continua de aumentar las velocidades de la banda.

La única variable que puede controlar el diseñador de un arado es la constancia del resorte (k) en ese componente. Esta variable es la habilidad de la hoja del arado para absorber, amortiguar o desviar un terrón en movimiento sin provocar daños. De la misma manera que dejar caer un huevo sobre un colchón (en vez de un piso de concreto) reduce la fuerza de impacto, el uso de materiales "más suaves" en las hojas y la incorporación de resortes u otros elementos flexibles en el montaje del arado aumenta la posibilidad de que el arado soporte las fuerzas de impacto del terrón. Como un ejemplo, un terrón de material que pesa 2.25 kilogramos (5 lbs_m) y viaja en una banda que se mueve a 3 metros por segundo (600 pies/min) golpeará un arado con una fuerza de 815 newtons (183 lbs_f). No obstante, si ese terrón que viaja a la misma velocidad golpea un arado equipado con una hoja que tiene dos veces las propiedades de absorción de impacto, lo golpeará con una fuerza de sólo 199 newtons (45 lbs_f). Esta fuerza reducida del impacto

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Puesto que los arados para protección de la polea de cola se colocan en el recorrido de retorno o en el lado no portador de la banda y casi cerca de la polea de cola, a menudo están confinados y en lugares casi inaccesibles. Esto hace que sea difícil proporcionar mantenimiento y hasta son un riesgo de seguridad para el personal que realiza la inspección.

Las cuestiones de seguridad son muy importantes cuando el transportador está en operación. Es importante que se tenga mucho cuidado para evitar enredarse en el equipo de rodamiento al desempeñar una inspección.

No debe intentar realizar los procedimientos de servicio mientras el transportador está funcionando. Deben seguirse los procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación adecuados antes de trabajar en los transportadores o sus componentes para asegurarse de que la banda no se mueva.

Deben colocarse avisos de advertencia en todas las ubicaciones de arados indicando puntos de atrapamiento. También debe tenerse cuidado ya que el arado puede lanzar objetos de la banda.

resulta en requerimientos más bajos para la fuerza del arado lo cual a su vez reduce el costo del equipo.

Comprender estas fuerzas de impacto, en combinación con nuevas innovaciones en el diseño, permite que una operación adecúe más la aplicación al diseño del arado para la protección de poleas. Esto permite una selección más rentable de un sistema de protección que cumple con los requerimientos de desempeño. Un fabricante de arados debe ser capaz de calcular las fuerzas de impacto en las aplicaciones y determinar el arado adecuado para la protección de las poleas. Puede haber objetos más pesados que pueden golpear el arado como, por ejemplo, los dientes de cangilones de cargadores y rodillos del transportador caídos, pero la gran mayoría de los impactos estarían dentro de las capacidades de fuerza del arado.

PROTECCIÓN DE POLEAS COMO UN SEGURO BARATO

En resumen...

Aunque la mayoría de los dispositivos de protección de poleas son dispositivos bastante simples, algunas innovaciones demuestran las ventajas de usar sistemas diseñados en vez de raspadores caseros. A través de las innovaciones en el diseño y la construcción, los arados para protección de las poleas están disponibles para proporcionar los beneficios de un sistema diseñado que al mismo tiempo minimizan la inversión inicial **(Figura 15.11)**. Estos sistemas diseñados pueden proporcionar una solución a largo plazo que proporciona ahorros a través de un desempeño mejorado, vida de servicio extendida y reducción de gastos de mantenimiento en lugar de los falsos ahorros de una unidad casera. Con el uso de sistemas de diseño asistidos por computadora actuales para desarrollar nuevos transportadores, los arados diseñados pueden colocarse durante una fase temprana del proceso de diseño del transportador. Los sistemas diseñados garantizan que haya espacio para instalar, operar, inspeccionar y mantener un arado para protección de las poleas.

Figura 15.11

Los limpiadores de arados para protección de las poleas están diseñados para ofrecer ahorros a través de un desempeño mejorado, vida de servicio extendida y reducción en los gastos de mantenimiento.

Instalados entre una polea y el rodillo de retorno más cercano, los dispositivos de protección de poleas representan una forma de "seguro" de bajo costo cuando se comparan con los gastos de bolsillo de mantenimiento del transportador, daños y posibles reemplazos prematuros de la banda y/o polea.

Mirando hacia adelante...

Al buscar métodos para el control de polvo y derrames, dos temas se han abordado que se relacionan con el Trayecto de retorno de la banda: Limpieza de la banda y, en este capítulo, los Arados para protección de las poleas. El tercer y último capítulo de esta sección abordará la Alineación de la banda.

REFERENCIAS

15.1 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*. Naples, Florida.

15.2 El sitio web http://www.conveyorbeltguide.com es un valioso recurso que abarca muchos aspectos de las bandas.

15.3 Todos los fabricantes y la mayoría de los distribuidores de productos de transportadores pueden proporcionar una variedad de materiales sobre la construcción y el uso de sus productos específicos.

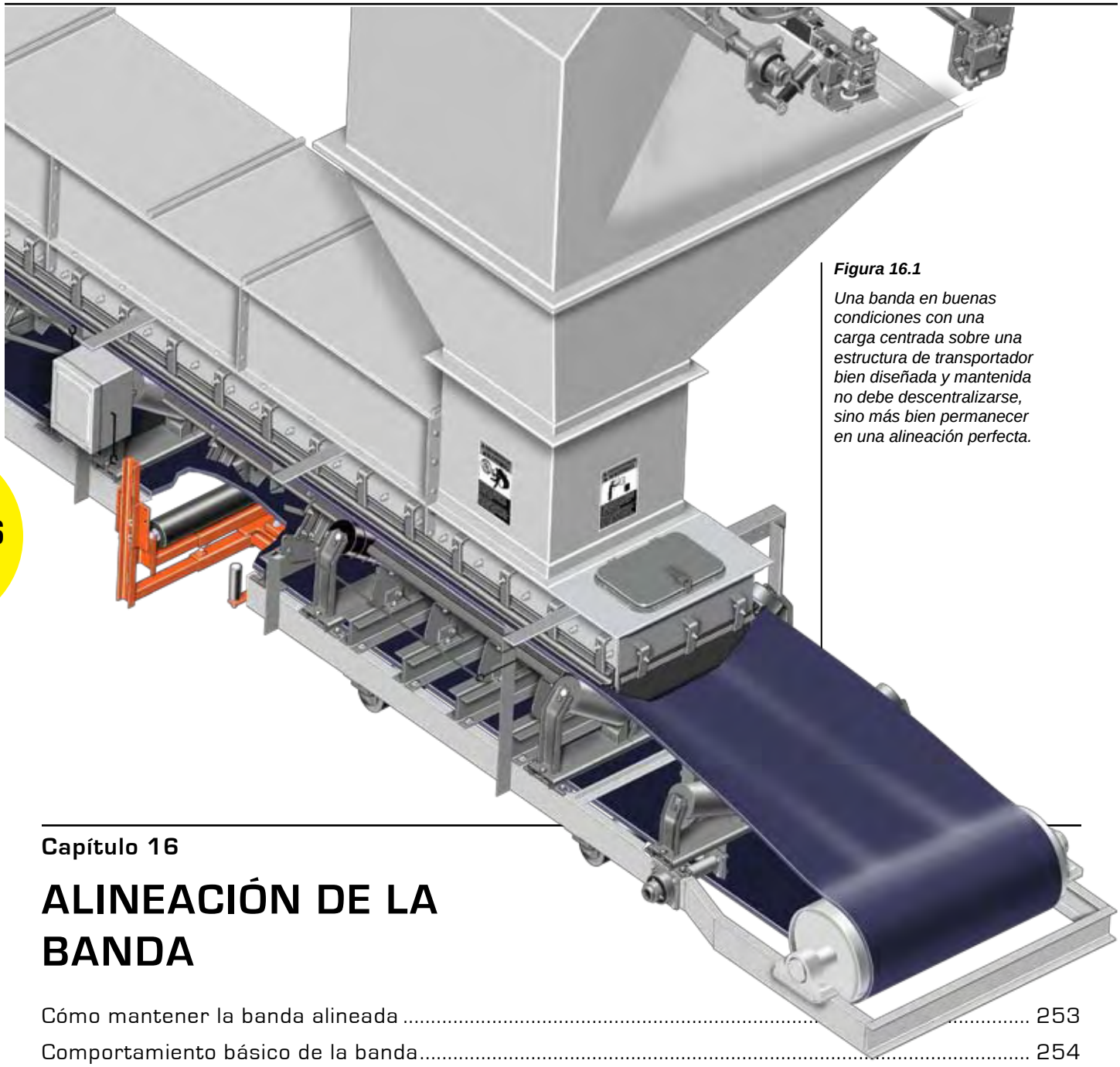


Figura 16.1

Una banda en buenas condiciones con una carga centrada sobre una estructura de transportador bien diseñada y mantenida no debe descentralizarse, sino más bien permanecer en una alineación perfecta.

16

Capítulo 16

ALINEACIÓN DE LA BANDA

Cómo mantener la banda alineada 253
Comportamiento básico de la banda 254
Causas de desalineamiento 256
Investigación del problema: la inspección 260
Alineación de la banda 261
Equipos para alinear la banda 265
Instalación de dispositivos de alineación de banda 273
Cuestiones de seguridad 274
Mantenimiento del sistema 274
Especificaciones típicas 275
Temas avanzados 275
Bandas en el mundo real 277

En este capítulo...

En este capítulo, nos enfocamos en la alineación de la banda y su relación con los materiales fugitivos: causas del desalineamiento así como también las técnicas para alinear la banda. Además, discutimos los usos de los alineadores para alinear la banda y la instalación de dispositivos para alinear la banda. Por último, se proporcionan ecuaciones para calcular el consumo de energía de los alineadores de banda.

En un mundo ideal, una banda estaría en buenas condiciones, con la carga centrada y la estructura del transportador estaría bien diseñada y mantenida; bajo esas condiciones, la banda no se descentralizaría, sino que permanecería en una alineación perfecta **(Figura 16.1)**.

No obstante, las bandas que se desalinean de la trayectoria deseada son un hecho cotidiano en muchas operaciones de manejo de materiales a granel. Una banda transportadora que se descentraliza puede provocar derrames de material, fallas en los componentes y daños costosos a la banda y estructuras **(Figura 16.2)**. Una banda que corre hacia un lado de la estructura puede reducir enormemente su vida de servicio, puesto que se desgasta uno o ambos bordes, se estira o se dobla sobre sí misma **(Figura 16.3)**. Una banda descentralizada puede topar con los chutes de acero y miembros estructurales hasta que la banda, otros componentes y estructuras de acero se dañen, a menudo sin poder repararse **(Figura 16.4)**. Peor aún, los problemas del desalineamiento de la banda han contribuido a fatalidades.

En muchos sentidos, la alineación adecuada de la banda es un precursor, además de un requerimiento fundamental, para resolver muchos de los problemas de material fugitivo discutidos en este libro. En este capítulo, discutiremos muchos de los problemas que provocan que una banda se descentralice y sugerimos soluciones a esto.

CÓMO MANTENER LA BANDA ALINEADA

Muchos términos se usan al discutir el tema del desalineamiento de la banda. Los términos centralización y alineación a menudo se usan de manera intercambiable al igual que sus contrapartes desalineamiento y desalineación. Aquí, la alineación se define como un procedimiento para hacer que la banda del transportador se alinee (o recorra) sobre la línea central de la estructura de un transportador, tanto vacía como totalmente cargada. El desalineamiento puede definirse como la tendencia de la línea central de la banda a salirse de la línea central de la estructura del transportador, mientras que la desalineación es la cantidad que la banda se descentraliza.

La alineación de la banda debe controlarse antes de poder eliminar los derrames, si la banda se descentraliza hacia un lado, o de un lado a otro, a medida que pasa por la zona de carga, el material se escapa más fácilmente por abajo del sello de chute lateral en cualquiera de los lados o en ambos lados **(Figura 16.5)**. El desalineamiento de la banda

Figura 16.2

Una banda transportadora que se descentraliza por debajo del sistema de faldón puede provocar el derrame de material, falla de componentes y daños costosos a su banda y estructuras.

Figura 16.3

Una banda que corre hacia un lado de la estructura puede reducir enormemente su vida de servicio, puesto que desgasta uno o ambos bordes, se estira o se dobla sobre sí misma.

Figura 16.4

Una banda descentralizada puede topar con los chutes de acero y miembros estructurales hasta que la banda, otros componentes y estructuras de acero se dañen, a menudo sin poder repararse.

se controla "alineando la banda" e instalando componentes diseñados para limitar o corregir el desalineamiento.

Cuando una banda se descentraliza, puede provocar el derrame de material en grandes cantidades. Estas pilas de derrame pueden provocar peligros de tropiezos. Si un transportador de techo se descentraliza, puede llover material de cualquier tamaño sobre los trabajadores. El potencial de causar una lesión a un trabajador y todos los costos asociados indicaría que es conveniente para la operación resolver el problema del desalineamiento de las bandas **(Figura 16.6)**.

Figura 16.5

La alineación de la banda debe controlarse antes de poder eliminar los derrames.

Figura 16.6

Cuando una banda se descentraliza, puede provocar el derrame de material en grandes cantidades.

COMPORTAMIENTO BÁSICO DE LA BANDA

Sin importar las causas, el desalineamiento es innecesario. Es un problema que puede controlarse o, mejor aún, corregirse. Comprender los patrones básicos del comportamiento de la banda y abordar un conjunto de procedimientos para alinear cuidadosamente la estructura y los componentes del transportador para corregir las fluctuaciones en la trayectoria de la banda puede, en muchos casos, prevenir el desalineamiento de la banda.

El comportamiento de la banda se basa en principios simples. Estos sirven como los lineamientos para alinear la banda, lo cual es el proceso de ajustar la estructura del transportador, los componentes rodantes y las condiciones de la carga para corregir cualquier tendencia de la banda a salirse del centro.

La regla fundamental de la alineación de una banda transportadora es esta: la banda se moverá hacia el lado que tiene más fricción o el lado que alcanza la fricción primero **(Figura 16.7)**. Cuando un lado de la banda se encuentra con esa fricción, ese lado de la banda se mueve más lentamente. El otro lado de la banda se mueve más rápidamente y ocurre un desbalance de fuerzas que gira la banda hacia el lado que se mueve más lentamente.

Por ejemplo, si un conjunto de rodillos se instala en un ángulo a lo ancho de los largueros, la banda se moverá hacia el lado que alcanza primero. Si un extremo del conjunto de rodillos es más alto que el otro, la banda subirá al lado más alto (puesto que a medida que la banda se apoya sobre los rodillos, toca primero el lado más alto).

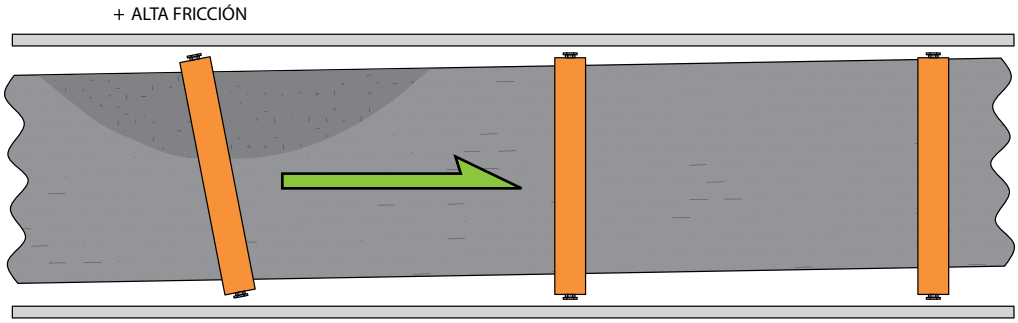


Figura 16.7

La regla fundamental de la alineación de una banda transportadora es que la banda se mueve hacia el lado de mayor fricción de la banda.

Esto puede demostrarse simplemente colocando un lápiz redondo sobre una superficie plana como, por ejemplo, una mesa. Si un libro se coloca sobre el lápiz y se empuja con cuidado alejándose del experimentador, el libro cambiará hacia la izquierda o derecha dependiendo de qué extremo del lápiz esté más cerca de la persona que está empujando el libro: es decir, el extremo que el libro está tocando primero **(Figura 16.8)**. Esta regla básica es verdadera para los rodillos planos y los conjuntos de rodillos de canalización.

Además, los rodillos de canalización ejercen una poderosa fuerza de alineación. Con su configuración canalizada, una porción de cada borde de la banda se mantiene en alto. Una fuerza gravitacional se ejerce sobre esa porción elevada. Si la banda no está centrada en el conjunto de rodamientos, la fuerza en el borde más alto será mayor que la fuerza en el otro lado encaminando la banda hacia el centro del conjunto de rodillos de canalización. Esta fuerza de alineación gravitacional es tan pronunciada que los transportadores a granel generalmente dependen de ella como su principal influencia de alineación.

Otra regla constante de la alineación de la banda es que dicha alineación en cualquier punto dado es más afectada por los rodillos y otros componentes previos (los lugares por donde ya pasó la banda) que los componentes posteriores (por los que la banda aún no pasa). Esto significa que en cualquier punto con desalineamiento visible, la causa está en un punto por donde la banda ya pasó. Por lo tanto, deben aplicarse medidas correctivas cierta distancia antes del punto de desalineamiento visible **(Figura 16.9)**.

Con estas reglas básicas en mente, los operadores y el personal de mantenimiento pueden hacer los ajustes al transportador que alinearán la trayectoria de la banda.

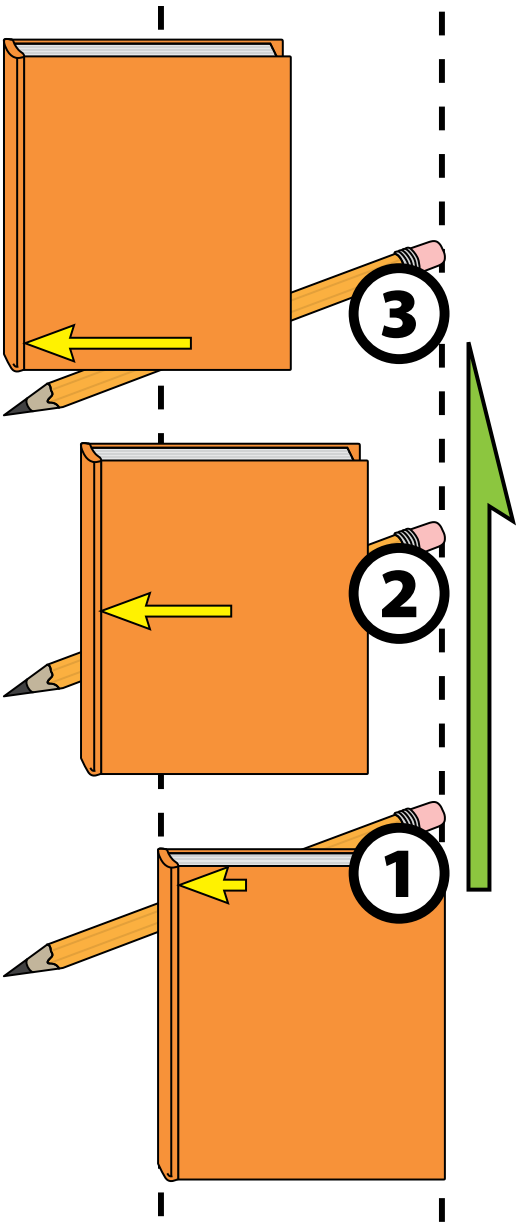


Figura 16.8

La regla básica de la alineación de banda puede demostrarse colocando un libro sobre un lápiz redondo. Cuando se empuja, el libro cambiará hacia la izquierda o derecha dependiendo de qué extremo del lápiz esté más cerca de la persona que empuja el libro: es decir, el extremo que el libro está tocando primero.

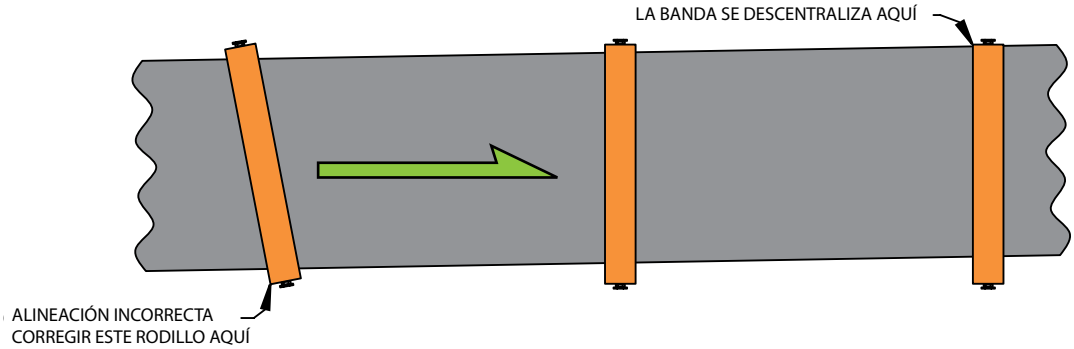


Figura 16.9

Puesto que el desalineamiento se lleva a cabo después del punto de la causa, deben aplicarse medidas correctivas cierta distancia antes del punto de desalineamiento visible.

CAUSAS DE DESALINEAMIENTO

El problema evitable del desalineamiento de la banda

Para alinear apropiadamente un transportador, el primer paso es inspeccionar el sistema existente para comprender el estado de la estructura y los componentes, y determinar las causas del desalineamiento.

Como Clar Cukor observó en la monografía sin fecha de Georgia Duck (ahora Fenner Dunlop) sobre *Alineación (Referencia 16.1)*:

> El problema de la alineación debe abordarse desde un punto de vista de sistemas. La banda puede estar defectuosa; sin embargo, es más probable que solamente reaccione a un defecto estructural o desajuste en el sistema...[Una banda transportadora] es flexible y si se diseña, fabrica y corta apropiadamente, "irá a donde la encamina" el sistema del transportador en la manera que fue diseñado y construido. La banda transportadora sirve como un indicador y así debe considerarse.

El desalineamiento de la banda puede ser causado por varios problemas. Los factores que contribuyen a un desalineamiento de la banda incluyen la desalineación de los componentes de la banda, el desalineamiento de la carga, la acumulación de material fugitivo en los componentes rodantes, empalmes de la banda defectuosos, daños estructurales causados por operadores de equipo pesado distraídos, el hundimiento del piso y muchos otros. Además estos problemas pueden ocurrir en combinación, complicando enormemente el proceso de corrección.

A pesar de la complejidad de estos problemas, es posible resolverlos. Los componentes desalineados pueden enderezarse, los chutes pueden rediseñarse para llevar la carga en el centro de la banda, las acumulaciones de material pueden prevenirse o retirarse, los empalmes de la banda pueden mejorarse y los operadores pueden capacitarse. El desafío se presenta al identificar cuál de la lista larga de posibilidades es la causa específica de los problemas de una banda. Una vez que se identifica la causa del desalineamiento, ésta puede corregirse.

Causas de desalineamiento

En muchos casos, la causa del desalineamiento puede determinarse por la forma que adopta el desalineamiento. Cuando todas las porciones de una banda se desalinean en cierta parte de la longitud del transportador, la causa probablemente está en la alineación o nivelación de la estructura del transportador, rodillos o poleas en esa área. Si una o más secciones de la banda se desalinean en todos los puntos a lo largo del transportador, es más probable que la causa esté en la construcción de la banda, en el empalme o en la carga de la banda. Si la banda se descentraliza cuando está llena y después se alinea en el centro cuando está vacía o vice versa, la causa generalmente es una carga descentralizada o una acumulación en el chute que crea diferentes situaciones de carga.

Las causas más comunes del desalineamiento pueden dividirse en tres grupos: desperfectos en la banda o sus empalmes, en la estructura del transportador, los componentes o el ambiente y desperfectos en la carga de material.

Desperfectos en la banda o sus empalmes

A. Banda
   a. La banda está curveada, arqueada o ahuecada.
   b. Hay defectos o daños en el armazón (capas o cuerdas) de la banda.
   c. El borde o el recubrimiento de la banda está dañado.
   d. Existe degradación de la banda por la exposición a la intemperie o a químicos.

B. Manufactura y aplicación
   a. La banda no es adecuada para la estructura o la aplicación.
   b. La banda tiene una "curva" o "combadura" desde su proceso de manufactura.
   c. La banda no se almacenó correctamente.

C. Empalmes
   a. Hubo una mala instalación de un empalme vulcanizado o mecánico, resultando en un empalme que no se adaptó a la banda.
   b. Una banda se formó con varias piezas unidas en los extremos equivocados, resultando en una sección curveada o torcida.

c. Se empalmaron diferentes tipos, grosores o anchos de banda.

d. La banda tiene empalmes que están dañados o desechos.

Desperfectos en la estructura, componentes o ambiente del transportador

A. Estructura

a. La estructura no se alineó exactamente durante su construcción.

b. La estructura se asentó a un lado debido a un hundimiento en el piso.

c. La estructura se ha dañado debido a chutes atascados, incendios o colisiones con equipo móvil.

B. Componentes

a. Los componentes rodantes (rodillos y poleas) no están alineados en los tres ejes.

b. El ajuste de gravedad está desalineado.

c. Los rodamientos de rodillos se han atorado o retirado.

d. La acumulación de material o el desgaste ha alterado el perfil de los rodillos o poleas.

C. Ambiente

a. El transportador está sometido a vientos fuertes.

b. La acumulación de lluvia, escarcha o hielo y nieve alteró la fricción en un lado de la banda.

c. Un lado del transportador está expuesto al sol.

Desperfectos en la carga de material

A. La carga no está centrada en la banda receptora.

B. La carga está segregada con terrones grandes en un lado de la banda.

C. Existe una carga intermitente sobre una banda alineada para una carga constante.

Algunas veces una combinación de estos problemas producirá un desalineamiento de la banda y la causa raíz no será evidente. No obstante, si se observa un número suficiente de revoluciones de la banda, el patrón de recorrido de la banda generalmente se volverá claro y se revelará la causa del desalineamiento. Cuando un patrón no se revela, las causas usuales por el desalineamiento de la banda son una banda descargada que no se canaliza bien o una banda que se carga de manera desigual.

Desalineamiento debido a desperfectos en los empalmes o la banda

Un empalme de la banda inapropiado es una causa significativa de desalineamiento. Si la banda no se empalma correctamente, la banda se descentralizará de un lado a otro en la estructura del transportador. Esto generalmente puede observarse en la polea de cola. La banda se descentralizará tantas veces como el empalme llegue a la polea de cola, sólo para regresar a su posición original después de pasar el empalme. Si el empalme es defectuoso, puede anular todos los esfuerzos para alinear la banda. La solución es volver a instalar correctamente el empalme en la banda. *(Vea el Capítulo 5: Introducción a los transportadores—Empalme de la banda).*

Una segunda causa significativa del desalineamiento de la banda es una banda ahuecada. Una banda ahuecada tiene mala alineación debido a las diferencias de fricción a medida que se coloca en los rodillos de canalización. La forma ahuecada de la banda casi siempre es el resultado de un encogimiento desigual entre los recubrimientos superior e inferior de las bandas de tela. El calor, los químicos, los ángulos de canalización y la sobretensión también pueden provocar que se ahueque la banda. Este problema generalmente puede evitarse manteniendo la relación de aspecto apropiado entre los grosores del recubrimiento superior e inferior: generalmente 3:1 o menos. En algunos casos, la banda se ahuecará a medida que cambian las propiedades del caucho del recubrimiento superior como resultado de maduración o exposición a químicos. Una banda ahuecada es difícil de centrar consistentemente, puesto que la centralización depende de la fricción entre la banda y los componentes rodantes. Si la banda está tan dañada que se reduce el área de contacto, la capacidad de los componentes de mantener la banda en línea también se reduce.

Aunque los defectos de manufactura en la banda o los desperfectos de los componentes a menudo se culpan por muchos problemas de alineación de la banda, la mayoría de estos problemas pueden atribuirse a la aplicación inadecuada de la banda. Una banda que no es adecuada para la aplicación generalmente tendrá mala alineación sobre la estructura.

Desalineamiento debido a problemas con la estructura o componentes

Para poder mantener la banda corriendo en forma recta, la estructura debe erigirse apropiadamente y corregirse en caso de dañarse. La mayoría del daño estructural ocurre cuando la estructura del transportador es golpeada por un equipo móvil. El daño estructural también puede ocurrir como el resultado de corrosión o un asentamiento de los cimientos.

Es igual de importante que los componentes se instalen y mantengan correctamente en relación con la banda para un recorrido de banda confiable. Una fuente principal de desalineamiento de la banda son los sistemas de ajuste de gravedad que están desalineados o que tienen demasiado movimiento de lado a lado u holgura. La polea de ajuste, como todas las otras poleas principales, debe permanecer alineada con la banda a lo largo del recorrido del ajuste, sino la banda se descentralizará.

Los componentes rodantes tienen un efecto descentralizante significativo sobre la banda. Los componentes rodantes que se han trabado o están inoperantes debido a la acumulación de material o aquellos con acumulaciones de material que alteran su circunferencia pueden ser los contribuyentes principales de una alineación de banda irregular. Por lo tanto, los puntos de transferencia deben diseñarse, construirse y mantenerse para prevenir el derrame de material. Debe instalarse un sistema de limpieza de banda con limpiadores múltiples eficaz para prevenir el material adherido. Si es necesario, los limpiadores pueden instalarse para limpiar poleas deflectoras, de ajuste y otras poleas. *(Vea el Capítulo 14: Limpieza de la banda).*

Figura 16.10

Una banda que no se carga en el centro se descentralizará, arriesgando dañar la banda y la estructura.

Desalineamiento debido a condiciones ambientales

Fuertes vientos en un lado del transportador pueden proporcionar fuerza suficiente para mover la banda de su línea central o incluso levantar la banda de los rodillos. La solución es instalar anillos de retención conocidos como "anillos de viento" sobre el transportador para mantener la banda en su lugar, proporcionar un rompevientos en el lado que sopla el viento o encerrar todo el transportador.

En caso de que la lluvia, hielo o nieve soplen sobre un lado del transportador, el resultado sería una diferencia en la fricción de los rodillos. Esta diferencia puede ser suficiente para empujar las bandas con carga ligera fuera de su trayectoria correcta. Un desalineamiento de la banda también se puede dar cuando el sol calienta en la mañana un lado de la banda. Una solución sería alguna forma de recubrimiento para el transportador.

En algunos casos, el diseño del transportador no es suficientemente fuerte para soportar vientos laterales y todo el transportador se balanceará de un lado a otro con vientos fuertes. La trayectoria de una banda también puede verse influida enormemente por un pequeño cambio en la polea de ajuste debido a un viento de costado.

Desalineamiento por desperfectos de la carga

El desalineamiento que surge por problemas en la carga es fácil de detectar puesto que la banda correrá en una posición cuando está cargada y en otra posición cuando no esté cargada **(Figura 16.10)**. Esta observación puede confundirse en transportadores más viejos donde los años de ajustes realizados para "arreglar" la trayectoria de la banda han alterado la alineación natural de la banda.

El centro de gravedad de la carga buscará el punto más bajo de los rodillos de canalización **(Figura 16.11)**. Cuando la banda no tiene la carga centrada, el peso de la carga empuja la banda fuera del centro hacia el lado de carga más ligero del transportador. Esto puede corregirse con disposiciones apropiadas del chute de carga o a través del uso de deflectores, rejillas o fondos de chutes que pueden ajustarse para corregir la colocación de la carga sobre la banda. *(Vea el Capítulo 8: Chutes de transferencia convencionales).*

Desalineamiento en bandas reversibles

Los transportadores reversibles pueden ser una fuente especial de frustración. Cuando la dirección de la banda se revierte, las áreas de tensión en la banda cambian de lugar en relación con la polea motriz y el área de carga. Imagine tener un transportador que tiene un sistema motriz de cabeza y al encender un interruptor, se convierte en un sistema motriz de cola. Cuando el lado superior de la banda está corriendo hacia la polea motriz, el lado ajustado de la banda está en la parte superior. No obstante, cuando la banda se revierte y el lado superior se aleja de la polea motriz, el lado ajustado ahora está en la parte inferior. El lado de carga del transportador en realidad cambia de ser jalado a ser empujado. Una banda que se empuja es inherentemente más inestable que una banda que se jala; por lo tanto, es más difícil de alinear.

Esto representa problemas especialmente difíciles porque todos los componentes ahora contribuyen de manera diferente a los problemas de alineación. La banda puede funcionar bien en una dirección y descentralizarse cuando se revierte debido a que diferentes conjuntos de rodillos y poleas controlan la dirección de la banda. Para poder resolver este tipo de problema, el sistema debe inspeccionarse para determinar cuáles componentes están desalineados. Las correcciones deben realizarse según se requiera para hacer que todos los componentes rodantes se alineen.

Otros problemas encontrados y agravados por las bandas reversibles se relacionan con la carga descentrada, los puntos de carga múltiples y la carga de diferentes materiales sobre la misma banda. La carga descentralizada puede agravar enormemente los problemas de alineación en las bandas reversibles, especialmente si la carga se aplica más cerca de un extremo del transportador que de otro. Esto puede corregirse con un diseño apropiado de chutes de carga o a través del uso de deflectores ajustables, rejillas o fondos de chutes que pueden ajustarse para corregir la colocación de la carga sobre la banda.

Los materiales diferentes sobre la misma banda reversible también pueden causar problemas. Suponga que la banda se ha "centralizado" con un material con una densidad aparente específica. Ahora, revierta la dirección del recorrido e introduzca un material con una densidad aparente diferente y todos los ajustes de alineación aplicados anteriormente pueden ser erróneos. Para poder resolver este tipo de problema, debe realizarse una inspección de la estructura para determinar si el contrapeso de la polea de ajuste es insuficiente o si los componentes están desalineados y deben hacerse las correcciones según se requiera.

Problemas con transportadores ambulantes

Los sistemas de transportadores que se mueven (como excavadora de rueda de cangilones, apiladores móviles o descargador de bandas) son influidos enormemente por la estructura del riel sobre la cual se montan. Por ejemplo, si un riel es más alto o más bajo en un punto dado que el punto paralelo en el otro riel, el transportador ambulante puede inclinarse o balancearse (algunas veces varios milímetros o pulgadas en estructuras altas) resultando en problemas de desalineamiento de la banda.

Muchas veces este problema se descuida cuando se intenta encontrar la causa del desalineamiento de la banda y el daño resultante. La parte "móvil" del sistema puede estacionarse en un área donde los rieles están nivelados cuando se realiza una inspección. Después los resultados de la inspección mostrarían que todo está alineado; sin embargo, cuando el sistema ambulante se mueve a un lugar diferente, la banda se descentraliza debido a que la estructura de soporte no está nivelada.

Los sistemas de rieles también deben revisarse para comprobar una alineación paralela. La alineación incorrecta puede causar que las ruedas portadoras "rueden" sobre la parte interior o exterior del riel provocando el mismo efecto que cuando un punto del riel está más arriba que su contraparte opuesta.

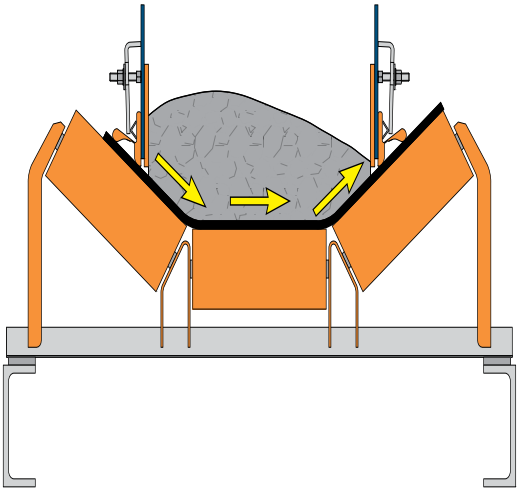


Figura 16.11

Cuando la banda no tiene la carga centrada, el peso de la carga empuja la banda fuera del centro hacia el lado de carga más ligero del transportador.

INVESTIGACIÓN DEL PROBLEMA: LA INSPECCIÓN

El primer paso y el más importante en la alineación de un transportador es revisar y alinear la estructura. La mejor manera de empezar este proceso es realizando una inspección detallada de las condiciones existentes y los criterios originales del diseño. Esto permite realizar correcciones medidas regresando el sistema a las especificaciones originales en vez de adoptar un método no planeado de "hoy vamos a ajustar los rodillos un poco más".

El método tradicional para revisar la alineación ha sido estirar un alambre de piano de un extremo del transportador al otro y usar este alambre como una línea base para tomar las medidas y evaluar la alineación. No obstante, este método tiene varios problemas potenciales. Por ejemplo, el alambre es vulnerable a cambios en su línea. Los cambios en las temperaturas del ambiente desde el calor del sol o hasta el peso del mismo alambre pueden estirarlo, cambiando así la línea. Otro problema es que no hay una manera exacta de medir un ángulo de 90 grados con un alambre. Si el alambre se mueve cuando se toca al colocar una regla o escuadra sobre él, se arruina la precisión de las mediciones subsecuentes.

Actualmente, alta tecnología en forma de rayos de luz de un nivel láser fijado en forma paralela a la estructura del transportador proporciona una referencia sin obstrucciones y repetible para la alineación de los componentes de la estructura del transportador **(Figura 16.12)**.

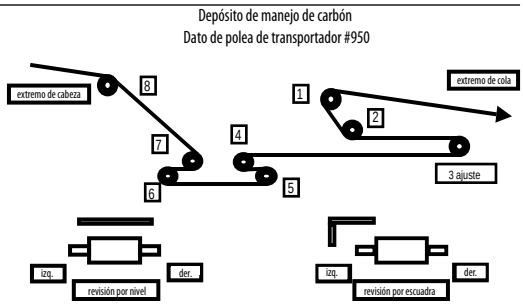
Esta tecnología de inspección láser evita los problemas que se encuentran con la vieja técnica del "alambre de piano". El láser genera un rayo perfectamente recto con un rango eficaz de 150 metros (500 pies) con configuraciones múltiples que permiten una distancia ilimitada. Para revisar los objetos instalados en ángulos a la línea base, pueden usarse prismas para doblar el rayo. Con un nivel láser, el personal de inspección ya no intenta medir una línea perpendicular pues ya se ha creado una. Puesto que un rayo láser no puede tocarse, no puede moverse accidentalmente al anotar sus lecturas.

La mayoría de las operaciones no tienen el equipo y la pericia para realizar correctamente una inspección con láser. Por lo tanto, es conveniente para la operación contratar a un contratista o servicio especializado con el equipo y la experiencia para realizar esta inspección. Un contratista especializado realizará la inspección con láser en la banda, apuntará una serie permanente de valores de comparación o puntos de alineación, creará un reporte detallado y ofrecerá recomendaciones en cuanto a cómo corregir los principales problemas de alineación.

El reporte debe indicar cuáles componentes están desalineados y por cuánto, de modo que el personal de mantenimiento de la planta o el contratista especializado pueda ajustar estos componentes y mejorar la alineación de la banda **(Figura 16.13)**. Al realizar inspecciones repetidas al mismo transportador a intervalos regulares, anualmente por ejemplo, la gerencia de la planta puede proporcionar una revisión regular de las condiciones de la estructura del transportador. La inspección indicará si la estructura se está deteriorando o si se están presentando otras circunstancias como, por ejemplo, un hundimiento del suelo abajo del transportador o un cambio en la masa del contrapeso. Esta información puede usarse para

Figura 16.12

Un rayo de luz de un nivel láser proporciona una referencia sin impedimentos y repetible para la alineación de los componentes de la estructura del transportador.



			Nivel				Escuadra	
Número de polea		Lado izq.		Lado der.		Lado izq.		Lado der.
1		0.000		0.000		0.125		0.000
2		0.000		0.000		0.000		0.000
3		0.000		0.000		0.000		1.125
4		0.000		0.000		0.000		0.000
5		0.000		0.000		0.000		0.500
6		0.000		0.000		0.000		0.000
7		0.000		0.000		0.000		0.000
8		0.000		0.000		0.000		0.000

Para "Nivel" un número positivo indica cuál lado es más alto.
Para "Escuadra" un número positivo indica cuál lado está más hacia adelante.

Figura 16.13

El reporte de la inspección láser debe indicar cuáles componentes están desalineados y por cuánto, de modo que el personal de mantenimiento de la planta o el contratista especializado pueda ajustar estos componentes y mejorar la alineación de la banda.

prevenir detenciones o paros inesperados y pérdidas de producción subsecuentes alertando al personal de ingeniería y mantenimiento de la planta sobre los problemas a medida que estos se desarrollan.

ALINEACIÓN DE LA BANDA

Hacer que la banda se alinee en el centro de la estructura y los componentes del transportador es un proceso de ajustar los rodillos y las condiciones de carga para corregir cualquier tendencia de la banda a salirse de la trayectoria deseada. El primer paso es alinear la estructura con la línea central teórica de la banda, como se identificó en la inspección del sistema. Una vez alineada la estructura, todas las poleas y rodillos deben alinearse de modo que estén nivelados y cuadrados con la línea central. Luego debe ponerse atención a que la banda corra de manera centrada.

Al alinear una banda, sólo una persona debe estar a cargo del procedimiento. Cuando más de una persona ajusta el transportador al mismo tiempo, puede llevar a "correcciones" en conflicto que hacen más difícil corregir la trayectoria de la banda. Es importante que se lleven registros, anotando las áreas de problema del transportador y detallando los pasos correctivos que se tomaron. Esto prevendrá, o al menos identificará, los problemas que surgen de corregir, volver a corregir, sobrecorregir y contracorregir cuando los problemas regresen a un área específica.

Procedimiento para alinear

A continuación se muestra un proceso paso a paso para alinear la banda y así corregir los problemas de carga y alineación de componentes.

Determinar las áreas de tensión de la banda

Los ajustes a los componentes en las áreas de baja tensión tienen el mayor impacto para corregir la trayectoria de la banda. Al identificar y empezar en las áreas de baja tensión, el proceso de alineación puede tener el mayor impacto con la menor cantidad de cambios. En las áreas de alta tensión, existe demasiada tensión en la banda para que los ajustes relativamente menores tengan un impacto significativo en la trayectoria de la banda. La tensión de la banda generalmente es más alta en la polea motriz **(Figura 16.14)**. El área de menor tensión variará dependiendo de la ubicación de las poleas deflectoras y de ajuste. Las áreas de baja tensión son totalmente dependientes del transportador en particular y deben identificarse en cada aplicación. Puede consultar *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS (BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL), sexta edición* de la Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas Transportadoras (CEMA) o un ingeniero de transportadores experimentado para obtener información adicional.

Es importante asegurarse de que el peso del ajuste esté aplicando la tensión correcta requerida por la banda actual y las clasificaciones de capacidad. Si la polea de ajuste tensiona inadecuada o inapropiadamente la banda, es muy probable que tenga variaciones severas en su trayectoria.

Determinar lugares de desalineamiento

Es mejor si la inspección para buscar el desalineamiento empieza con el primer componente rodante directamente después del área de mayor tensión (típicamente donde la banda abandona la polea motriz) pues la tensión generalmente será menor en esa área y continúa a lo largo de la trayectoria de la banda hasta un punto donde la banda está visiblemente descentrada.

Es importante recordar que la alineación de la banda en cualquier punto dado es más afectada por los rodillos y otros componentes anteriores (los lugares por donde ya ha pasado la banda) que los componentes posteriores (por donde la banda aún no ha pasado). Esto significa que donde hay desalineamiento visible, la causa del desalineamiento está en un punto que la banda ya pasó.

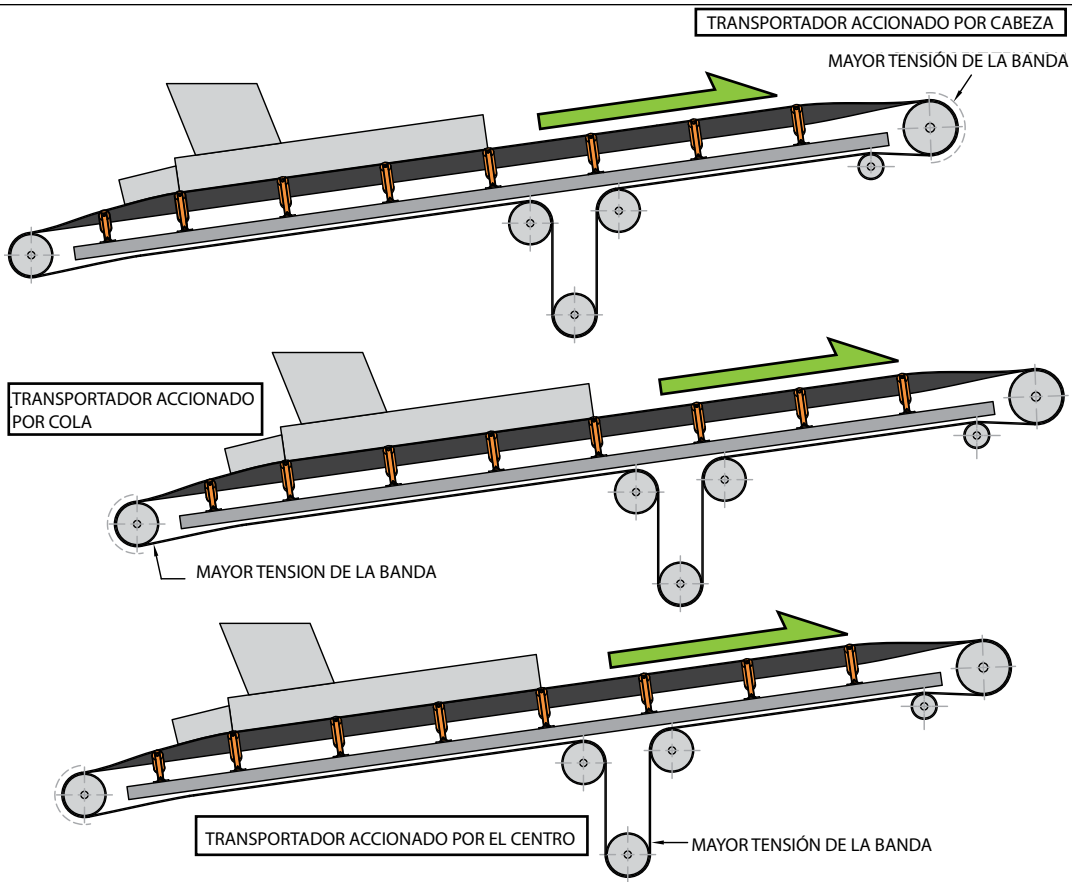
Por lo tanto, deben aplicarse medidas correctivas en los puntos por los que la banda pasa antes del área de desalineamiento visible. El movimiento de un rodillo generalmente tiene su mayor efecto de alineación en un área de 5 a 8 metros (15 a 25 pies) posteriores.

Alineación de la banda

El transportador debe bloquearse / etiquetarse / suspenderse / comprobarse antes de hacer cualquier ajuste a los componentes o a la tensión de la banda para corregir el desalineamiento.

Figura 16.14

La tensión de la banda generalmente es más alta cuando la banda entra a la polea motriz; las áreas de tensión baja variarán dependiendo del lugar de las poleas deflectoras y de ajuste. Para alinear una banda, inicie la inspección del desalineamiento directamente atrás del área de mayor tensión (donde la banda abandona la polea motriz).



16

Para corregir la trayectoria de la banda, es necesario empezar en las áreas de menor tensión y recorrer el transportador haciendo ajustes a los rodillos para mover la banda de nuevo hacia el centro. Después, siguiendo la ruta de la banda desde la polea conducida hacia el siguiente componente rodante en secuencia, la trayectoria de la banda puede corregirse ajustando los rodillos, un lugar a la vez.

Figura 16.15

La técnica más básica para alinear una banda es cambiar el eje del rodillo con respecto a la trayectoria de la banda comúnmente llamado "golpear los rodillos".

Empezando con el primer o segundo conjunto de rodillos antes de un punto donde la banda está visiblemente descentralizada, el rodillo debe torcerse en una dirección opuesta a la desalineación. Luego, el transportador debe reiniciarse para revisar la alineación de la banda en funcionamiento. El transportador necesita arrancar para evaluar el efecto de la corrección, pero es importante esperar dos o tres revoluciones completas de la banda antes de realizar más ajustes.

Es mejor cambiar sólo un rodillo a la vez puesto que girar rodillos adicionales puede provocar una sobrecorrección o correcciones en conflicto. Si la observación muestra que la trayectoria de la banda se ha sobrecorregido, la trayectoria debe restaurarse regresando el rodillo a su posición original en vez de cambiar rodillos adicionales.

La banda debe alinearse vacía en todo el transportador, asegurándose especialmente de que la banda esté centrada a medida que entra a la zona de carga y zona de descarga.

Técnicas para alinear la banda

La técnica de alineación más básica es ajustar los rodillos. Alinear una banda usando los rodillos de retorno y de apoyo se logra cambiando el eje del rodillo con respecto a la trayectoria de la banda. Esto se llama comúnmente "golpear los rodillos" puesto que la base del rodillo se cambia con el golpe de un martillo **(Figura 16.15)**.

Alinear una banda cambiando la posición de uno o más rodillos es lo mismo que conducir una bicicleta con sus manubrios **(Figura 16.16)**. Cuando jala un extremo de los manubrios (o el rodillo) hacia usted, la bicicleta (o banda) gira en esa dirección. Esto es según la regla básica para la alineación de la banda: la banda se dirigirá al lado del rodillo que toque primero.

Este principio de dirección de manubrios es lógico pero sólo si la banda tiene buen contacto con los tres rodillos canalizados. Por lo tanto, antes de alinear una banda es necesario revisar para asegurarse de que la banda esté bien canalizada en todos los puntos a lo largo del lado de carga aun cuando no esté cargada. Si la banda no se "sienta" en el canal, puede haber un problema en la compatibilidad con la estructura **(Figura 16.17)**. Una banda que es demasiado gruesa e inadecuada para cierto transportador nunca podrá centrarse correctamente.

Los ajustes a los rodillos deben ser pequeños. Una investigación de la Universidad de Newcastle en Australia ha demostrado que una vez que se tuerza un rodillo después de cierto punto, éste no corregirá más la trayectoria de la banda, puesto que la banda se desliza por el rodillo como un carro derrapándose por el hielo *(Referencia 16.2)*.

Obviamente, tal cambio en los rodillos es eficaz sólo para una dirección de recorrido de la banda. Un rodillo cambiado que tiene una influencia correctiva cuando la banda corre en una dirección muy probablemente dirigirá mal la banda cuando el transportador está corriendo en la dirección opuesta.

Para transportadores unidireccionales, cambiar la posición de los rodillos tiene beneficios en la alineación de la banda. No obstante, también tiene sus desventajas. Debe ser obvio que una banda pueda correr de manera recta con la mitad de los rodillos golpeados hacia un lado y la otra mitad golpeados en la dirección opuesta, pero esto sería a costa de aumentar la fricción rodante entre la banda y los rodillos. Los rodillos girados en direcciones diferentes en un esfuerzo para alinear la banda crean fricción adicional, lo que resulta innecesariamente en un aumento de desgaste en el recubrimiento inferior de la banda y un aumento en el consumo de energía.

Los ajustes deben hacerse únicamente en los rodillos y nunca en las poleas. Las poleas deben mantenerse niveladas con su eje en 90 grados hacia la trayectoria de la banda deseada.

Otras técnicas para centrar la banda

Otro método para centrar la banda es inclinar un poco los rodillos de apoyo, hasta dos grados, en la dirección del recorrido de la banda. La fricción de la banda sobre los rodillos jaula de ardilla crea una fuerza de centrado que se dirige a la línea central de la banda. Esto puede solucionarse simplemente insertando arandelas de metal planas debajo del

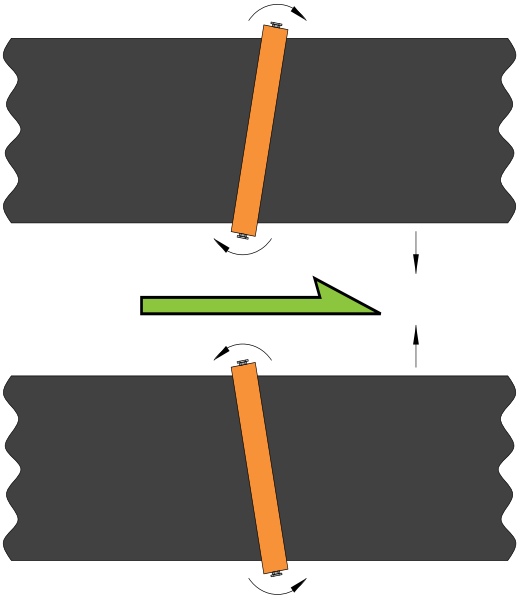


Figura 16.16

La alineación de una banda cambiando la posición de uno o más rodillos es lo mismo que conducir una bicicleta. Cuando jala un extremo de los manubrios (o el rodillo) hacia usted, la bicicleta (o banda) gira en esa dirección.

Figura 16.17

Para que una banda se centralice bien, debe canalizarse bien a lo largo del lado de carga del transportador. Si la banda no se "sienta" en el canal, es posible que jamás se alinee correctamente.

lado posterior del marco del rodillo. Muchos fabricantes de rodillos integran esta inclinación en sus productos. Al igual que con "golpear" los rodillos, hay un límite en la eficacia de esta técnica y aumenta el consumo de energía del transportador y el desgaste del recubrimiento inferior de la banda y los rodillos **(Figura 16.18)**.

Un método no aconsejable para centrar la banda a medida que se acerca a la polea de cola es torcer un poco en direcciones opuestas **(Figura 16.19)** o elevar los extremos opuestos de los dos rodillos de retorno más cercanos a la polea de cola **(Figura 16.20)**. La teoría es que este desalineamiento inducido deliberadamente en direcciones opuestas produce fuerzas competitivas que trabajan para centrar la banda. Aunque esto puede parecer razonable de forma abstracta, la aplicación práctica resulta problemática. Este método incorpora inestabilidad a un sistema cuando la meta para una operación óptima es la estabilidad. Puede argumentarse que es suficiente problema cuadrar el sistema para que corra de manera centrada, sin agregar dos variables más en la forma de rodillos desalineados deliberadamente.

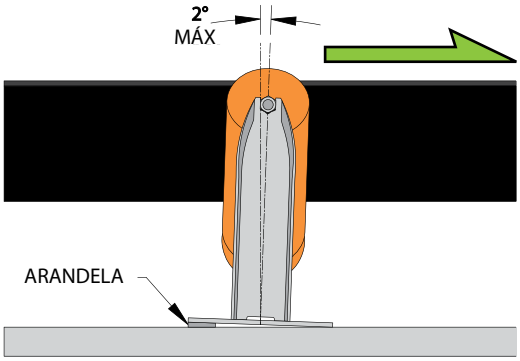


Figura 16.18

Inclinar los rodillos de apoyo insertando arandelas de metal planas debajo del lado posterior del rodillo aumentará la fuerza de centrado.

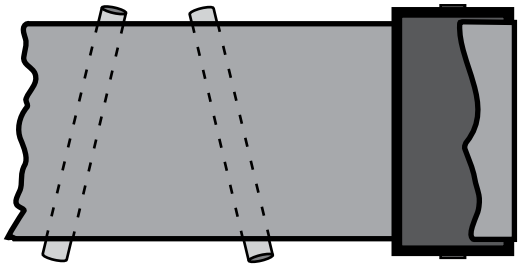


Figura 16.19

Un método no aconsejable para centrar la banda a medida que se acerca a la polea de cola es torcer un poco los dos rodillos de retorno más cercanos en direcciones opuestas.

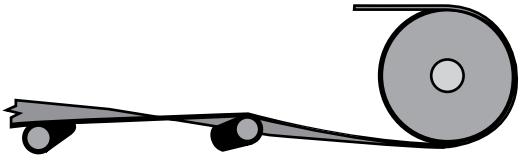


Figura 16.20

Elevar los extremos opuestos de los dos rodillos de retorno más cercanos a la polea de cola no es un método aconsejable para ayudar a centrar la banda.

Alineación de la banda en el arranque de nuevos transportadores

Si un nuevo sistema de transportador se ha diseñado y construido en conformidad con una práctica de ingeniería e instalación lógicas, la banda probablemente se centrará en el arranque sobre una trayectoria cercana a la deseada. Puede haber variaciones mínimas en la estructura ideal que resulta en una alineación imperfecta de la banda; sin embargo, en estas circunstancias, las variaciones deben ser relativamente menores de modo que la banda pueden operarse sin causar daños el tiempo suficiente para llevar a cabo un procedimiento de alineación.

El primer movimiento de la banda a través de un transportador nuevo debe ser lento e intermitente, de modo que cualquier tendencia de la banda a descentralizarse pueda reconocerse de inmediato y detenerse la banda antes de que provoque daños. Las primeras alteraciones deben realizarse en los puntos donde la banda está en peligro inmediato de sufrir daños. Una vez que la banda esté libre de puntos de peligro, puede seguirse la secuencia convencional para la alineación de la banda que se mencionó previamente.

No poner la suficiente atención en el arranque puede crear problemas, incluyendo un descarrilamiento serio y daños al borde, arrugamiento o doblez de la banda, derrames y daños a los componentes del transportador. Para el arranque del transportador, deben colocarse observadores en los lugares donde pueda esperarse un problema o donde la banda está en mayor riesgo, cuando entra al chute de descarga y de carga. Estos "observadores" deben tener una radio, teléfono o, como mínimo, un interruptor de paro de emergencia con cuerda de emergencia que sea fácil de alcanzar.

En casos severos, puede ser necesario apagar el transportador, hacer cualquiera de los ajustes indicados y volver a posicionar la banda antes de empezar un nuevo arranque.

Alineación de las bandas de reemplazo

Una banda nueva, ya sea una banda nueva en un transportador nuevo o una banda de reemplazo en un sistema establecido, a menudo tiene que "asentarse" gradualmente como un

par de zapatos nuevos. Es relativamente raro jalar una banda nueva sobre un transportador existente, empalmarla, presionar el botón de arranque del transportador y hacer que la banda se alinee en el centro de la estructura. Todos los sistemas nuevos deben funcionar por varias horas antes de la alineación final de la banda para probar los rodillos y estirar la banda.

Algunas bandas nuevas tenderán a correr hacia un lado en una o más porciones de su tramo debido a una combadura permanente o una distribución desigual temporal de tensión debido al almacenamiento, manejo o instalación de la banda. En muchos casos, operar la banda bajo tensión durante un período de asentamiento corregirá esta condición. Cargar la banda al 60 por ciento de su capacidad ayudará a la banda a ajustarse al transportador.

La estructura del transportador puede no ser neutral a la banda nueva, especialmente en el caso de una banda nueva sobre un transportador existente. Si se han hecho varios ajustes de alineación con el tiempo para corregir el desalineamiento de la banda anterior, es posible que estos ajustes deban deshacerse para permitir la alineación correcta de la banda nueva.

Alineación de las bandas de alimentadores

Las bandas de alimentadores generalmente son bandas cortas, de alta tensión y movimiento lento que usan rodillos planos o rodillos de colección en el lado de carga. Un empalme cuadrado es crítico para alinear estas bandas y las poleas de cabeza y de cola deben alinearse perfectamente. La alineación puede hacerse sólo en el lado de retorno o flojo de la banda debido a la construcción y cargas altas en el lado de carga. Si es necesario, un solo dispositivo de alineación puede colocarse en el centro del retorno donde hay algo de holgura en la banda para permitir que funcione el dispositivo de alineación.

Alineación de bandas reversibles

Ninguna de las técnicas como golpear o inclinar los rodillos es eficaz en las bandas reversibles. Cualquier corrección realizada para alinear una banda reversible en una dirección tendrá el efecto de desalineamiento opuesto cuando la banda se revierte. Esto hace que las bandas reversibles sean uno de los desafíos de alineación de banda más difíciles. Por lo tanto, todos los rodillos y poleas deben estar perfectamente alineados y el empalme debe cuadrarse para hacer el sistema tan limpio y neutral como sea posible. Deben instalarse únicamente dispositivos de alineación diseñados para bandas reversibles.

EQUIPOS PARA ALINEAR LA BANDA

La mayoría de los transportadores necesitan alguna corrección en su alineación para responder ante un desalineamiento de la banda inesperado o inducido por el ambiente. Además hay ocasiones cuando el procedimiento de alineación no es exitoso para proporcionar una solución a largo plazo para un problema de desalineamiento. Como resultado, la operación debe repetir el procedimiento de alineación con frecuencia (algunas veces diariamente) o instalar alguna forma de sistema mecánico de alineación de la banda para reducir este requerimiento. Las soluciones de alineación diseñadas son dispositivos que detectan la posición de una banda y, a través de un mecanismo o cambio de geometría, ajustan activamente la trayectoria de la banda.

Interruptores de desalineación de la banda

Aunque no es un dispositivo correctivo, un interruptor de desalineación de la banda es un sistema de alineadores que ofrece un poco de control sobre la descentralización de la banda. Estos interruptores son sensores electromecánicos que envían una señal cuando son activados por la banda descentralizada. Estos interruptores se instalan en intervalos a lo largo de la longitud del transportador en ambos lados de la banda cerca del límite exterior del recorrido de banda seguro. Cuando la banda se mueve demasiado hacia cualquier dirección, empuja un brazo de palanca para activar un interruptor o enviar una señal interrumpiendo el circuito de potencia del transportador, deteniendo la banda de modo que el operador tenga la oportunidad de hacer las correcciones **(Figura 16.21)**. En muchos casos, el personal de la planta necesitará recorrer el transportador para reestablecer manualmente el interruptor antes de poder iniciar de nuevo la operación. Algunos dispositivos tienen la habilidad de enviar varias señales: la primera es una alarma que indica una cantidad preestablecida de desalineamiento de la banda y la segunda señal corta la potencia motriz debido a un problema de alineación más grave.

Por supuesto, la activación de un interruptor de desalineación de la banda es una señal indicativa de que algo anda mal en el sistema del transportador. Es como una luz roja en el panel de instrumentos de un auto que se enciende cuando el motor está demasiado caliente. Es posible ignorar esta luz, reestablecer el interruptor y continuar con las operaciones del transportador, pero tanto la luz de advertencia del auto como el interruptor de desalineación del transportador pueden servir como una advertencia de que puede haber problemas más serios, más costosos y posiblemente catastróficos. Los paros del transportador pueden ser una molestia y muy costosos, cada pausa crea paros y pérdidas de producción. Los interruptores de desalineación de la banda no son una solución al problema de bandas desalineadas sino más bien un indicador de un problema severo.

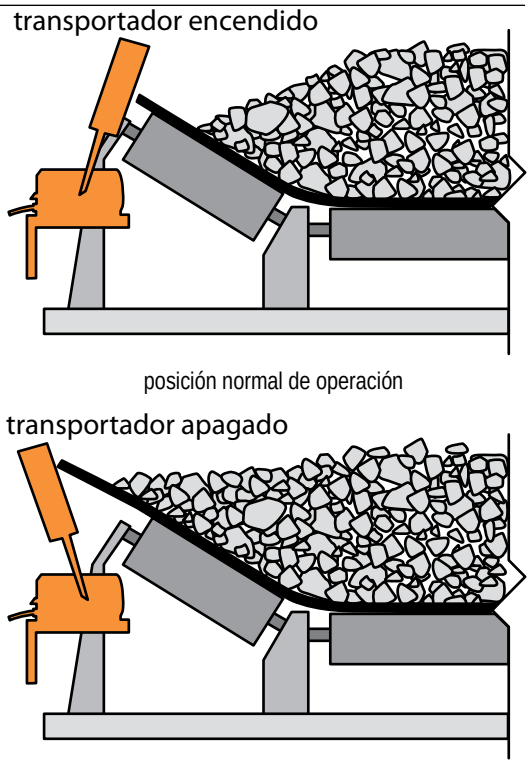


Figura 16.21

Cuando la banda se mueve demasiado hacia cualquiera de las dos direcciones, el interruptor de desalineación activará un interruptor o enviará una señal interrumpiendo el circuito de potencia del transportador que detiene la banda.

Figura 16.22

El primer impulso puede ser instalar algún tipo de barrera para mantener la banda alejada de los obstáculos.

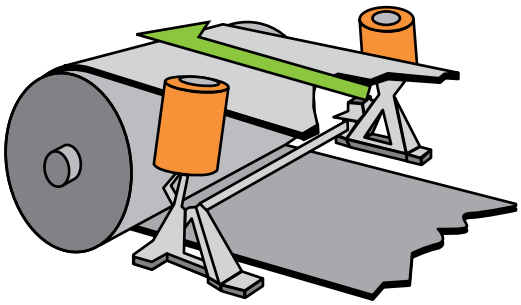


Figura 16.23

Las guías de borde verticales colocan un carrete o un rodamiento en un armazón simple cerca del borde de la banda para mantenerla lejos de la estructura del transportador.

Soluciones de alineación pasivas

Guías de borde verticales

El primer impulso al ver una banda descentralizada puede ser instalar algún tipo de barrera para mantener la banda recta o al menos mantenerla alejada de los obstáculos **(Figura 16.22)**. Una versión de este método simple para problemas de alineación menores es la guía de borde vertical **(Figura 16.23)**. Estos dispositivos colocan un carrete o rodillo en un armazón simple cerca del borde de la banda. Las guías de borde verticales se instalan en una posición aproximadamente perpendicular a la trayectoria de la banda para mantener el borde de la banda alejado de la estructura del transportador. Estas guías laterales no centralizan la banda. En vez de prevenir el desalineamiento de la banda, desempeñan una función para controlar daños, permitiendo que la banda golpee una superficie rodante en vez de un acero estructural inquebrantable. Las guías de borde verticales son más eficaces en instalaciones de bandas cortas de baja tensión donde la banda puede ser obligada a conservar su posición a través de fuerza bruta en el borde de la banda. Las guías de borde verticales pueden crear daños a la banda o estructura cuando la banda se eleva sobre la guía hacia la estructura o la guía provoca que la banda ruede sobre sí misma. Las guías de borde verticales no deben usarse para compensar problemas de desalineación persistentes. No son especialmente eficaces en bandas muy delgadas.

Rodillos en "V"

Otra adición de alineadores que puede ayudar a remediar el desalineamiento de la banda es la instalación de rodillos en "V" en el retorno de la banda; estos se están volviendo populares

en transportadores largos de alta tensión. Hay dos versiones disponibles: rodillos en "V" tradicionales **(Figura 16.24)** y rodillos en "V" invertidos **(Figura 16.25)**. Ambos sistemas forman la banda en un canal para ayudar a dirigirla hacia el centro. Dependen de una fuerza de centrado para corregir la trayectoria de la banda transportadora, de modo que aplican un esfuerzo agregado a la banda que puede resultar en daños. Estos sistemas son más costosos y requieren un poco más de mantenimiento que un rodillo de retorno convencional.

Poleas "coronadas"

Las poleas que tienen diámetros más grandes en el centro que en los bordes algunas veces se usan para proporcionar un efecto de centrado **(Figura 16.26)**. Además estas poleas "coronadas" operan con el principio de alineación básico. Puesto que la porción elevada de la polea (la corona) toca primero la banda, dirige la banda hacia el centro. Las secciones exteriores de la banda en ambos lados producen una fuerza que la conduce hacia el centro. Si la banda está centrada, estas fuerzas se eliminan entre sí. Si la banda se desalinea y descentraliza hacia un lado de la polea, la fuerza de fricción será mayor en ese lado actuando para empujar la banda de regreso al centro.

Las poleas coronadas son más eficaces en transportadores con bandas cortas de baja tensión. Con bandas de cable de acero o de alta tensión, se obtiene poco efecto de dirección en la corona de la polea. Esto se debe a que la fuerza de centrado creada es más pequeña en magnitud que las fuerzas de desalineamiento y la mayoría de la fuerza de contacto entre la banda y la polea está en los bordes exteriores de la polea debido a la transición de la banda. Las poleas coronadas son más eficaces donde hay un tramo largo sin soporte, cuatro veces el ancho de la banda o más, al acercarse a la polea. Puesto que este espaciado a menudo no es posible en el lado de carga del transportador, el uso de poleas de cabeza coronadas es relativamente ineficaz y puede no valer la pena el esfuerzo que produce en la banda. Son un poco más eficaces cuando se usan como una polea de cola del transportador. *(Vea el Capítulo 6: Antes de la zona de carga).* Otro problema con las poleas coronadas es que pueden crear una limpieza de banda ineficaz debido a que la hoja del limpiador no se acopla apropiadamente con toda la superficie de la banda.

Soluciones dinámicas de alineación

Existen varios sistemas dinámicos de alineación de la banda: sistemas que al activarse mueven un componente para corregir la trayectoria de la banda. Estos sistemas de alineación de la banda están diseñados para "alinearse automáticamente". Eso significa que la fuerza de la banda descentralizada provoca que un rodillo se reposicione solo, creando una acción de guía que dirige a la banda de regreso al centro.

Al igual que al ajustar rodillos fijos, la fuerza correctiva de un rodillo torcido alcanza un límite a medida que aumenta el ángulo oblicuo del rodillo. Todos los alineadores eventualmente alcanzarán este límite. Es más eficaz estimular correcciones rápidas de ángulo bajo en el desalineamiento de la banda que esperar un ángulo más grande.

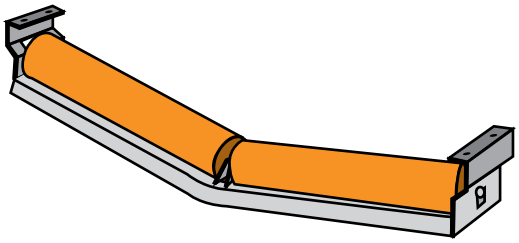


Figura 16.24

Los rodillos en "V" tradicionales forman un canal para mantener la banda centrada.

Figura 16.25

Aunque se instalaron en un intento de mantener alineado el recorrido de retorno de la banda, los rodillos en "V" invertidos representan un riesgo de daño para la banda.

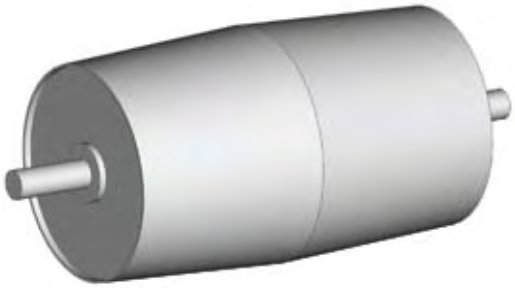


Figura 16.26

Algunas veces se usan poleas con una "corona" o diámetros más grandes en el centro que en los bordes para proporcionar un efecto de centralización.

Muchas soluciones de alineación incluyen los elementos de su propia destrucción. Debido a que están diseñadas para moverse y proporcionar una influencia correctiva en la trayectoria de la banda, son especialmente vulnerables a las acumulaciones de material fugitivo. Las pilas de derrames pueden bloquear su rango de movimiento o atascar el cojinete del pivote **(Figura 16.27)**. Esto puede atascar el rodillo satelital de la banda en una posición donde funciona como un rodillo de "desalineación". Ahora empuja la banda fuera de la alineación correcta, creando (o empeorando) el problema que debía corregir. Para corregir el ahora sistema desalineado, el personal de mantenimiento puede amarrar el rodillo satelital en (aproximadamente) la posición correcta **(Figura 16.28)**. En tal caso, cuando una solución de alineación no es capaz de funcionar correctamente, es mejor retirarla en vez de solo "amarrarla".

Figura 16.27

Las pilas de derrame pueden bloquear el rango de movimiento del rodillo satelital o atascar su cojinete de pivote.

Figura 16.28

Para corregir un sistema desalineado, algunas veces un rodillo satelital se "amarra" para asegurarlo en lo que se cree es la posición correcta. Pero los cambios en las condiciones probablemente producirán una posición incorrecta.

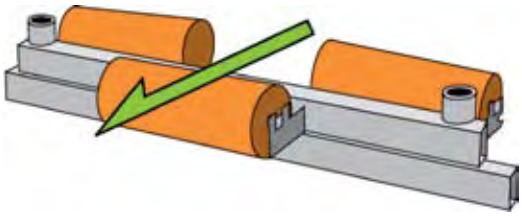


Figura 16.29

El rodillo satelital de alineación tiene un rodillo de apoyo sobre un cojinete en un pivote central con rodillos guía verticales montados a ambos lados de la banda en línea con el rodillo.

Todos estos sistemas funcionan con la desventaja de ser "posteriores al hecho": corrigen un desalineamiento después de que ha ocurrido. Cierta cantidad de desalineamiento debe ocurrir antes de llevar a cabo la corrección requerida. Pero estos sistemas funcionan como una forma de seguro contra un problema que puede volverse tan severo que la banda sufre daños costosos antes de que se descubra y corrija el desalineamiento.

Rodillos satelitales de alineación

El diseño de alineador de banda más sencillo, el rodillo satelital de alineación, tiene un rodillo de apoyo en un armazón montado sobre un cojinete de pivote central **(Figura 16.29)**. Los rodillos guía verticales que actúan como sensores de la trayectoria de la banda están montados en ambos lados de la banda en línea con el rodillo, con su línea central corriendo a través del punto de pivote del rodillo. El movimiento de la banda contra cualquiera de estos rodillos de sensor provoca que se mueva el rodillo en la dirección de la desalineación de la banda. Esto gira todo el rodillo. Siguiendo la regla básica de alineación de que la banda siempre se mueve hacia el lado que toca primero, el rodillo pivotante dirige la banda descentralizada hacia la trayectoria correcta.

Sin embargo, estos rodillos satelitales de alineación casi no tienen punto de apoyo. Requieren de una fuerza considerable en el borde de la banda en movimiento para crear una corrección. Con este diseño, la banda se descentraliza de lado a lado; la acción correctiva es causada cuando la banda literalmente golpea con fuerza un lado u otro. Cuando se lleva a cabo la acción correctiva, el rodillo puede "arrancar" con tal fuerza que la banda se dirige hasta el otro lado de la estructura; la banda, a su vez, entra en contacto con el rodillo en el otro lado del rodillo satelital que corrige la trayectoria de la banda hacia la otra dirección. Puesto que el rodillo satelital tiene un solo punto de pivote central, el movimiento de la banda hacia un lado lleva el rodillo guía opuesto a un contacto duro y de compresión contra la banda, lo cual puede causar daños al borde. La banda

transportadora puede mantenerse en movimiento constantemente, de un lado a otro, arriesgando dañar el borde y maltratar el cojinete del pivote.

Alineadores de rodillos satelitales frontales

El diseño de alineador de banda más común tiene un rodillo de apoyo (o conjunto de canalización) sostenido en un armazón que se monta en un cojinete de pivote central **(Figura 16.30)**. Los rodillos guía se montan sobre brazos cortos y se colocan de 25 a 75 milímetros (1 a 3 pulgadas) de la banda en ambos lados. Los rodillos se colocan antes del rodillo giratorio, por ello, la designación de los alineadores de rodillos satelitales frontales **(Figura 16.31)**. Algunos diseños inclinan un poco el eje del pivote en la dirección del recorrido de la banda para mejorar la sensibilidad del alineador. Los alineadores de rodillos satelitales frontales están disponibles y diseñados para usarse en el lado superior (de carga) de la banda y en el lado inferior (de regreso) de ésta.

El movimiento de la banda transportadora contra cualquier rodillo guía provoca que el rodillo de alineación gire corrigiendo la trayectoria de la banda de regreso al centro. De nuevo, a medida que la banda se mueve hacia el lado que toca primero, el rodillo pivotante dirige la banda descentralizada hacia la trayectoria correcta.

Los rodillos del sensor instalados en brazos cortos antes del rodillo de alineación tienen un poco más de punto de apoyo que los rodillos satelitales de alineación, pero aún requieren de una fuerza considerable en el borde de la banda para provocar una corrección. Por lo tanto, este diseño de alineador sufre de todos los problemas de retraso, compresión y material fugitivo del rodillo satelital de alineación.

El alineador de rodillos satelitales frontales es el rodillo satelital más popular y más común. Es suministrado como equipo original en la mayoría de los transportadores nuevos vendidos. Normalmente se instala en intervalos de aproximadamente 30 metros (100 pies) en los lados de carga y retorno.

Sin embargo, en el campo estos alineadores comúnmente presentan dos condiciones insatisfactorias. La primera condición es que se "congelan" debido a acumulaciones de material y corrosión del pivote central **(Figura 16.32)**. Este problema puede resolverse con un mejor mantenimiento o un punto de pivote de mejor calidad. La segunda condición es que se "amarran", se sujetan en su lugar con una cuerda o alambre, de modo que el dispositivo de alineación es el equivalente a un rodillo "golpeado" **(Figura 16.33)**. La razón por la que están "amarrados" se origina en el diseño.

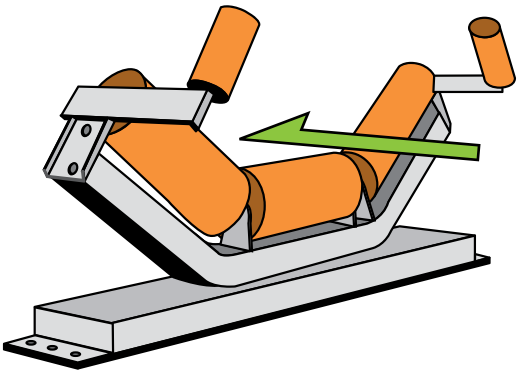


Figura 16.30

El diseño de alineación de banda más común, el alineador de rodillos satelitales frontales, tiene un rodillo central montado sobre un cojinete en un pivote; los rodillos guía se colocan en brazos cortos a ambos lados antes del rodillo de posicionamiento.

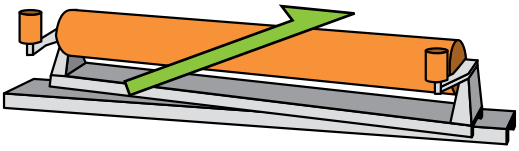


Figura 16.31

En un alineador de rodillos satelitales frontales, los rodillos guía se montan en brazos cortos antes del rodillo pivotante.

Figura 16.32

Los alineadores de banda de rodillos satelitales frontales están sujetos a la acumulación de material que pueden "congelar" los alineadores en su lugar.

Figura 16.33

Para controlar el movimiento errático, los alineadores de banda a menudo se "amarran" o sujetan en su lugar con una cuerda o alambre.

Los rodillos del sensor se balancean en un arco sobre el pivote central; por lo tanto, los rodillos deben tener el suficiente espacio entre ellos para no pinchar la banda cuando los rodillos alcancen posiciones extremas. A medida que el pivote se fija en una posición debido a la acumulación de material, la falta de mantenimiento o la corrosión, el rodillo no reaccionará hasta que la banda se ha desalineado una distancia equivalente a este ancho de espaciado. Por consiguiente, el rodillo sobrealinea y, por lo tanto, se convierte en un sistema de control inestable. Los rodillos a menudo sobreactúan, produciendo resultados impredecibles y como resultado a menudo son "amarrados".

Alineador de retorno de tensión por resorte

El alineador de retorno de tensión por resorte es una versión mejorada de los alineadores de rodillos satelitales frontales **(Figura 16.34)**.

Figura 16.34

El alineador de retorno de tensión por resorte usa sólo un rodillo de sensor que está en contacto continuo con la banda.

Figura 16.35

El alineador de retorno de tensión por resorte incorpora un resorte en su punto de pivote.

Figura 16.36

Los alineadores de banda con pivote múltiple usan un sistema multiplicador de torque que suministra una ventaja mecánica para mejorar la corrección de la trayectoria de la banda.

Este sistema retira un rodillo de sensor e incorpora un resorte en el pivote **(Figura 16.35)**. Este resorte mantiene al único rodillo de sensor restante en contacto con el borde de la banda en todo momento. A medida que la banda se descentraliza hacia cualquier dirección, el rodillo compensará girando y alineando la banda.

Estos alineadores de rodillos frontales cargados con un resorte tienden a tener los rodillos de sensor instalados en brazos largos antes del rodillo de alineación. Esto crea más punto de apoyo y una mayor ventaja mecánica al convertir el desalineamiento de la banda en un torque de alineación. No hay un retraso en la reacción de este alineador debido a que el rodillo de sensor está en contacto constante con la banda. Además no hay compresión debido a que sólo hay un rodillo de sensor. Debido a la acción constante de "afinar" el rodillo, es más difícil que el material fugitivo se acumule hasta el punto de impedir la acción pivotante del dispositivo de alineación.

Una desventaja de este alineador es el hecho de que no puede funcionar con un conjunto de rodillos de canalización. Además, debido a que el único rodillo está en contacto constante con la banda, este rodillo está sujeto a reemplazos más frecuentes que aquellos en los alineadores de rodillos satelitales frontales.

Alineadores de banda de pivotes múltiples

Existe otro sistema de alineación de banda que usa la fuerza de la banda descentralizada para posicionar un rodillo de alineación y así corregir la trayectoria. Este dispositivo usa un pivote múltiple, un sistema multiplicador de toque para suministrar una ventaja mecánica y mejorar la corrección de la trayectoria de la banda **(Figura 16.36)**.

Este estilo de dispositivo de alineación transfiere el movimiento de desalineamiento al rodillo de alineación a través de una unión paralela única **(Figura 16.37)**. Esto requiere menos fuerza para iniciar la corrección y a medida que dirige necesita menos fuerza para girar la banda. La alineación de la banda se convierte en una afinación continua, activa y precisa de la trayectoria de la banda. Este diseño está disponible en modelos para el lado canalizado (o lado de carga) o el lado de retorno del transportador **(Figura 16.38)**.

Este dispositivo de alineación con pivote múltiple usa rodillos guía que se instalan muy cercanos, 6 milímetros (1/4 de pulgada), a la banda **(Figura 16.39)**. Con los rodillos instalados en el borde de la banda, el dispositivo puede detectar movimientos más pequeños de la banda y hacer correcciones después de desalineaciones muy leves. En vez de esperar a una fuerza descentralizante poderosa, el dispositivo de alineación de banda con pivote múltiple se ajusta reaccionando a fuerzas menores y proporcionando correcciones continuas y precisas del rodillo de dirección.

Los rodillos del sensor del alineador con pivote múltiple usan brazos más largos para aumentar la distancia de los rodillos guía al rodillo de alineación. Esto permite que el brazo de torque de la unidad actúe como un multiplicador de fuerza, aumentando la ventaja mecánica de la acción de guía. Como resultado, este sistema de alineación de banda puede corregir la trayectoria de la banda con la mitad de la fuerza requerida para los rodillos satelitales convencionales.

A diferencia de otros dispositivos de alineación, el dispositivo de pivote múltiple se instala de manera que la banda cruza el rodillo de dirección antes de alcanzar los rodillos guía **(Figura 16.40)**. Esto significa que los rodillos guía ajustan la trayectoria de la banda "corregida" en vez de la trayectoria de la banda descentralizada. El resultado es un rodillo que trabaja continuamente para prevenir que la banda se aleje demasiado de la trayectoria correcta. El diseño de pivote múltiple permite a los rodillos moverse perpendicularmente a la línea central de la estructura mientras dirigen el rodillo de alineación al ángulo apropiado, en vez de girar y pinchar el borde de la banda.

Variaciones de los alineadores de banda de pivote múltiple

Varios fabricantes han creado una leve modificación al dispositivo de alineación de banda de pivote múltiple **(Figura 16.41)**. Estos usan la misma geometría de amplificación de fuerza pero el rodillo se desliza lateralmente además de girar. Con el sistema de rodillo deslizante, el rodillo de sensor debe superar la resistencia a girar así como también a la fuerza de fricción de intentar mover un rodillo por debajo de una banda. Esto disminuye en gran parte la fuerza de dirección general de este sistema de alineación.

Alineadores sin pivote

Los fabricantes han desarrollado rodillos satelitales en donde el rodillo de dirección también sirve como el rodillo de sensor. Con este diseño, existe un cojinete en el centro del rodillo de modo que los extremos del rodillo puedan girar alrededor del eje del rodillo además de rotar. El eje del pivote generalmente está inclinado en la dirección del recorrido de

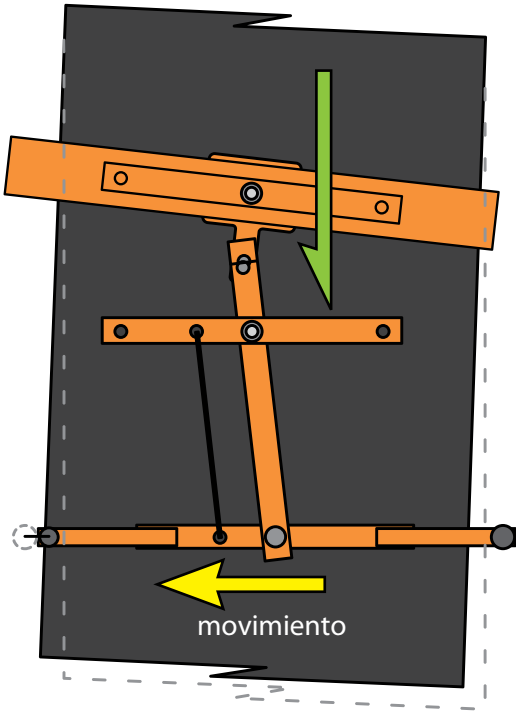


Figura 16.37

Puesto que transfiere el movimiento de desalineamiento al rodillo de alineación a través de una unión paralela única, el sistema de pivote múltiple requiere menos fuerza para iniciar la corrección y a medida que dirige, necesita menos fuerza para girar la banda.

Figura 16.38

El alineador de pivote múltiple está disponible en modelos para el lado canalizado (o lado de carga) o el lado de retorno del transportador.

Figura 16.39

Con los rodillos instalados en el borde de la banda, los dispositivos de alineación de pivote múltiple pueden detectar movimientos muy pequeños de la banda y hacer correcciones después de desalineaciones muy leves.

16

la banda para mejorar la sensibilidad de este tipo de rodillo satelital. Algunos fabricantes han usado un rodillo cónico cubierto con caucho para mejorar el desempeño de esta solución de alineación **(Figura 16.42** y **16.43)**.

Figura 16.40

Con dispositivos de alineación de pivote múltiple, la banda cruza el rodillo de dirección antes de llegar a los rodillos guía. De esta manera, los rodillos guía ajustan la trayectoria de la banda "corregida" en vez de la trayectoria de la banda descentralizada.

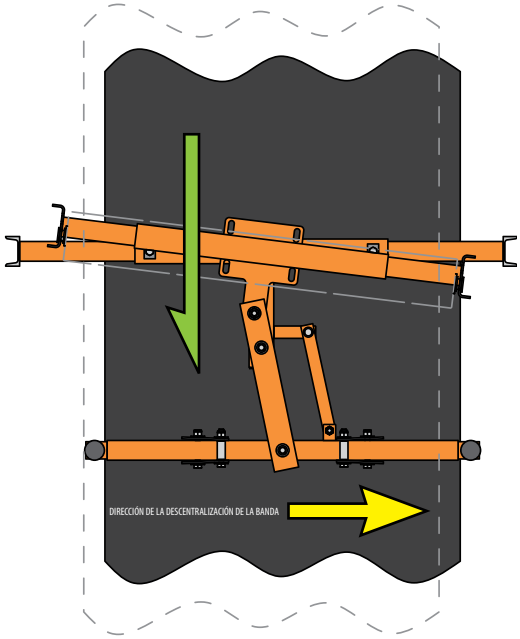


Figura 16.41

Algunos dispositivos de alineación de banda de pivote múltiple incluyen rodillos que se deslizan lateralmente además de girar.

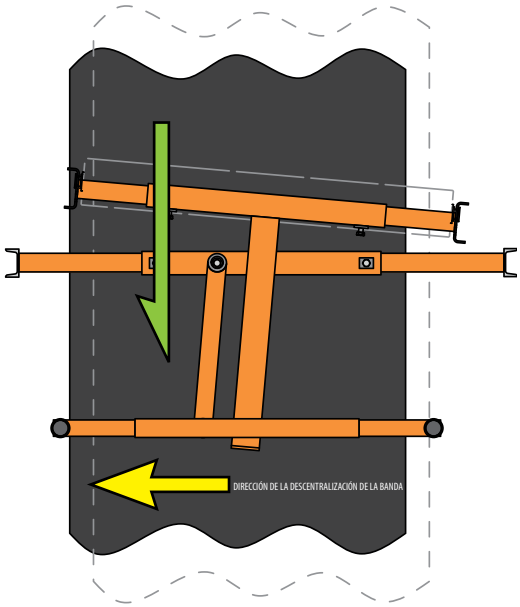


Figura 16.42

Algunos fabricantes usan un rodillo cónico cubierto de caucho para mejorar el desempeño del alineador sin pivote.

Cuando la banda se descentraliza hacia un lado del rodillo, ésta crea una fuerza de fricción mayor en ese lado. El rodillo del alineador girará en reacción moviéndose en la dirección de la fuerza mayor que lo esté empujando. De acuerdo al principio básico de dirección de la banda, el rodillo girado dirigirá la banda de regreso hacia el centro. Cuando la banda está moviéndose, la fuerza a cada lado del rodillo se nivela y el rodillo se regresa a una posición que es perpendicular a la trayectoria de la banda.

Aunque esta solución es eficaz y tiene muy pocas partes móviles, contiene una estructura de cojinetes compleja que es susceptible al polvo en el ambiente. Puesto que las fuerzas que provocan que la unidad gire son muy pequeñas, la unidad debe tener mucha libertad para girar. Esta libertad permite a la unidad ser influida por muchas condiciones ambientales diferentes, provocando así que gire cuando la banda no está descentralizada.

Alineadores para transportadores reversibles

Los transportadores que corren en dos direcciones siempre han sido el "máximo obstáculo" de la alineación de banda. Con los transportadores reversibles, aun el personal de planta experimentado duda al ajustar los rodillos y realizar los "trucos" de mantenimiento usados normalmente para alinear las bandas descentralizadas. Los dispositivos de alineación de bandas convencionales no pueden usarse por la misma razón: puesto que lo que funciona para centralizar la trayectoria de una banda cuando corre en una dirección puede tener el efecto opuesto cuando la dirección de la banda se revierte. Un rodillo pivotante que dirige correctamente la banda cuando el transportador está operando en una dirección funcionará para descentralizar la banda que se mueve en la dirección opuesta.

Algunos fabricantes han desarrollado alineadores para bandas reversibles. Los rodillos satelitales de alineación dirigirán correctamente estas bandas puesto que los sensores no dependen de la dirección. Un alineador de retorno de tensión por resorte puede modificarse para adecuarse a las bandas reversibles. Agregar un segundo brazo y un sensor en la dirección opuesta permite al alineador de retorno de tensión por resorte cambiar los brazos sensores en base a la dirección del movimiento de la banda **(Figura 16.44)**.

Estos alineadores reversibles tendrán los beneficios y deficiencias asociados con su uso en transportadores de una sola dirección.

INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS DE ALINEACIÓN DE BANDA

Los dispositivos de alineación pueden instalarse en cualquier punto de la trayectoria de la banda que necesite ajuste. Deben instalarse aproximadamente tres o cuatro veces el ancho de la banda antes del punto de desalineamiento. El transportador debe bloquearse / etiquetarse / suspenderse / comprobarse antes de instalar un alineador de banda.

Los lugares típicos para instalar dispositivos de alineación de banda incluyen **(Figura 16.45)**:

A. Justo antes de que la banda entre a la polea de cola, para asegurar que esté centrada en la polea y en la zona de carga.

B. Poco después de la zona de carga, para asegurar que la banda cargada esté alineada en el centro.

C. Justo antes de la polea de descarga, para asegurar que la banda esté en el centro antes de que entre al compartimiento y descargue la carga.

Pueden instalarse dispositivos de alineación dinámicos en toda la longitud del transportador, especialmente para resolver cualquier problema. Los dispositivos de alineación pueden instalarse para corregir la trayectoria en cualquier lugar donde la banda ingresa a un compartimiento. No deben colocarse tan cerca uno de otro de manera que "compitan" o contradigan la acción de dirección entre ellos. Debe haber 21 a 50 metros (70 a 150 pies) entre las unidades, dependiendo de la severidad del problema de desalineamiento **(Figura 16.46)**.

Figura 16.43

Un rodillo cubierto de caucho mejora el desempeño de este dispositivo de alineación de banda.

Figura 16.44

Agregar un segundo brazo y sensor en la dirección opuesta permite usar el alineador de retorno de tensión por resorte en bandas reversibles.

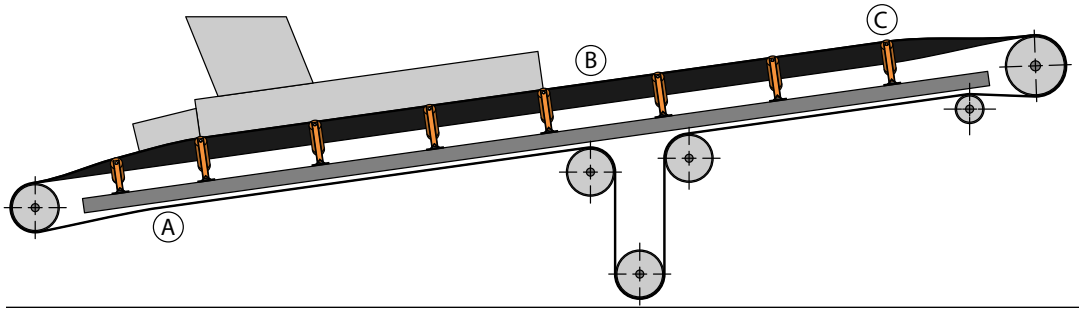


Figura 16.45

Los lugares típicos para instalar los dispositivos de alineación incluyen:
A. Justo antes de que la banda entre a la polea de cola.
B. Un poco después de la zona de carga
C. Justo antes de la polea de descarga

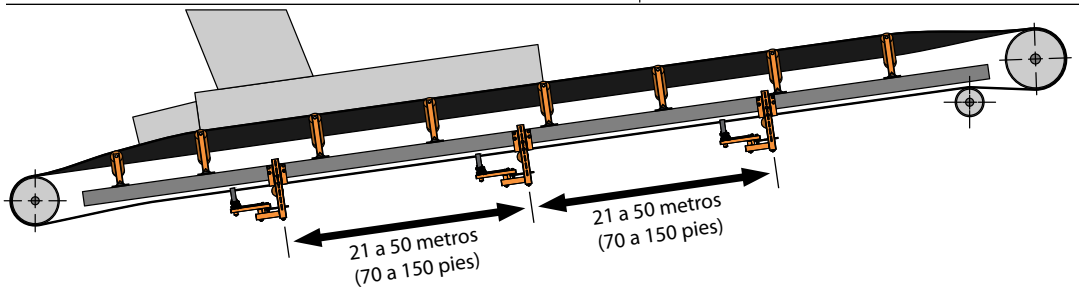
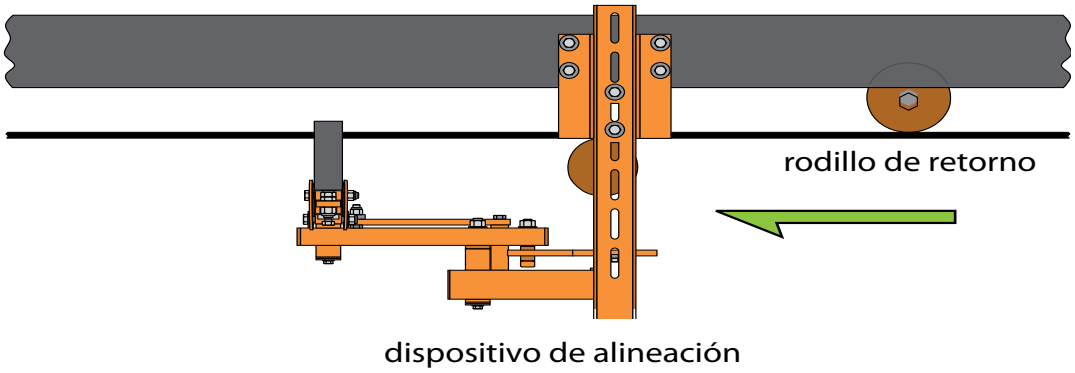


Figura 16.46

Los alineadores de banda deben tener 21 a 50 metros (70 a 150 pies) de separación entre ellos para impedir que compitan o contradigan la acción de guía de cada uno.

Figura 16.47

Para mejorar el desempeño de los sistemas de alineación de la banda de retorno, un rodillo de retorno puede instalarse antes del dispositivo y arriba de la banda para aumentar la sujeción del rodillo satelital sobre la banda.



Al instalar cualquier forma de dispositivo de alineación dinámico, el rodillo central típicamente es elevado 12 a 19 milímetros (1/2 a 3/4 de pulgada) más alto que los rodamientos de los rodillos convencionales adyacentes. Esto aumenta la presión de la banda sobre el dispositivo de alineación y mejora la acción correctiva. Esto aplica a los rodillos de alineación automática canalizados (lado de carga) y planos (lado de retorno). Algunos fabricantes de rodillos satelitales incluyen esta función en sus diferentes modelos.

Otra técnica para mejorar el desempeño de los sistemas de alineación de banda de retorno es reinstalar un rodillo de retorno convencional antes del dispositivo de alineación por encima de la banda para empujarla hacia abajo, aumentando la presión en el rodillo satelital permitiéndole funcionar de manera más eficaz **(Figura 16.47)**.

Los rodillos cubiertos de caucho a menudo son útiles en dispositivos de alineación de banda, especialmente donde el material es resbaladizo o la banda está mojada por el clima o el proceso. Estos rodillos pueden requerir reemplazarse con más frecuencia que los rodillos de "acero" pero puede ser necesario alcanzar la fricción necesaria para dirigir la banda.

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Alinear el transportador es una función de mantenimiento. Puesto que una banda está en movimiento y bajo una carga, la alineación de la banda está sujeta a problemas/correcciones que requieren de una inspección y probablemente mantenimiento continuo.

Una vez que una banda se alinea correctamente, una operación debe incluir revisiones de su alineación como parte del programa de mantenimiento continuo. La alineación de la banda debe revisarse de manera regular, deben realizarse correcciones menores según sea necesario y éstas deben documentarse.

Los dispositivos de alineación mecánicos también deben inspeccionarse de manera regular. La mayoría de los dispositivos de alineación mecánica contienen partes móviles que son vulnerables a la contaminación. Los dispositivos deben inspeccionarse para determinar que todas las partes estén libres para moverse y el dispositivo aún está alineando la banda correctamente. *(Vea el Capítulo 27: Inspección del sistema del transportador).*

El personal de mantenimiento debe buscar condiciones fuera de lo ordinario o cambios que puedan afectar la alineación de la banda.

CUESTIONES DE SEGURIDAD

En algunas plantas, es común realizar ajustes para corregir la alineación de la banda mientras el transportador está funcionando. No obstante, un programa de seguridad responsable siempre recomienda que el transportador sea bloqueado / etiquetado / suspendido / comprobado antes de realizar ajustes a los componentes o tensión de la banda para poder corregir el desalineamiento. Aunque apegarse a esta práctica puede requerir de varios paros y arranques de la banda para observar el efecto de las correcciones, ésta es la manera segura de alinear la banda.

Los cambios pueden ser cualquier cosa como, por ejemplo, la adición de una nueva pieza de equipo, una abolladura grande en la estructura donde una pieza de equipo pesado chocó contra el transportador o cambios en la condición del material que afecta los patrones de carga. La desalineación tiene muchas causas y los disturbios pequeños pueden manifestarse en un incidente de desalineación grande.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

Dispositivo de alineación de banda

A. Alineador(es) de banda

Para controlar la trayectoria de la banda y prevenir el desalineamiento de la banda, se instalarán uno o más dispositivos de alineación de banda en el transportador.

B. Corrección de la trayectoria de la banda

Los dispositivos de alineación de banda detectarán cualquier desalineamiento de la banda en movimiento y usarán la fuerza de ese desalineamiento para articular un rodillo. Este rodillo dirigirá la banda de regreso al centro de la estructura.

C. Ubicación

Para mantener la banda centrada en la zona de carga del transportador, un dispositivo de alineación se instalará en el retorno del transportador a medida que la banda entra a la polea de cola. Para asegurarse de que la banda cargada esté correctamente centrada, un segundo dispositivo de alineación de banda se instalará en el extremo de la salida de la zona de carga. Dispositivos de alineación adicionales se ubicarán a lo largo del transportador según se requiera para corregir el desalineamiento de la banda.

TEMAS AVANZADOS

Consumo de energía y alineadores de banda

Cualquier alteración en el equipo de rodillos de un transportador, desde rodillos torcidos hasta instalar dispositivos de alineación mecánicos especiales, tiene implicaciones en los requerimientos de energía del sistema.

Existen varios estilos de rodillos satelitales, todos diseñados para ejercer una fuerza de centrado en la banda perpendicular a su dirección de recorrido. Esta fuerza de centrado debe considerarse al calcular el consumo de energía del transportador.

Analizar el consumo de energía de un rodillo satelital requiere conocimiento de la carga sobre el rodillo. Esta carga se debe al peso de la banda y cualquier componente de la tensión de la banda que surge por la desalineación del rodillo. En la operación, el rodillo satelital típico puede girar de 2 a 5 grados. Es una práctica común instalar rodillos satelitales 12 a 19 milímetros (1/2 a 3/4 de pulgada) arriba de los rodillos estándares. Esto resulta en cargas mayores sobre estos rodillos, lo que crea suficiente fuerza de centrado para influir el recorrido de la banda cargada. Esta carga adicional se describe en *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS (BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL), sexta edición* de la Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas Transportadoras como carga de desalineación de rodillos (IML, en inglés).

Cuando un rodillo se gira, ejercerá una fuerza sobre la banda en una dirección perpendicular al rodillo pivotante. A esto se le llama fuerza de desalineación la cual puede calcularse **(Ecuación 16.1)**.

Ecuación 16.1

Cálculo de la fuerza de desalineación

$Tr = PIW \cdot BW \cdot \tan \phi$

Dado: *Una banda de 450 milímetros (18 pulgadas) con una tensión de 17.5 newtons por milímetro (100 lb_f/pulgadas) recorre un rodillo que se giró 3.5 grados.* ***Calcular:*** *La fuerza de desalineación debido al rodillo.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
Tr	Fuerza de desalineación	newtons	libras-fuerza
PIW	Tensión de la banda por unidad de ancho de banda	17.5 N/mm	100 lb_f/pulgadas
BW	Ancho de banda	450 mm	18 pulgadas
ϕ	Desalineación del rodillo	3.5°	3.5°
Métrico: $Tr = 17.5 \cdot 450 \cdot \tan 3.5 = 481$			
Imperial: $Tr = 100 \cdot 18 \cdot \tan 3.5 = 110$			
Tr	Fuerza de desalineación	481 N	110 lb_f

El componente de la fuerza de desalineación en la dirección del recorrido de la banda se llama fuerza de arrastre de desalineación y también puede calcularse **(Ecuación 16.2)**.

La fuerza de arrastre de desalineación se usa para encontrar la energía requerida para compensar un rodillo satelital **(Ecuación 16.3)**.

Este requerimiento de energía adicional debe multiplicarse por el número de rodillos satelitales instalados.

Es interesante tener en cuenta que una banda de 1800 milímetros (72 pulgadas) con 175 newtons por milímetro (500 PIW) de tensión del lado holgado tendría una fuerza de centrado de aproximadamente 9640 newtons (2200 lb_f) y un componente de fuerza de centrado en la dirección de recorrido de aproximadamente 589 newtons (134 lb_f). Un rodillo satelital en esta banda requeriría 1,177 kilowatts (1.6 hp) por rodillo satelital.

Si un rodillo satelital se congela y no está rotando ni girando, puede agregar un requerimiento de energía significativo.

La energía consumida por las soluciones de alineación debe considerarse al seleccionar una solución de alineación. Aunque algunos métodos de alineación pueden ser eficaces, la solución podría requerir más energía que el impulso que puede proporcionar un transportador. La mayoría de las compañías de ingeniería incluyen un factor de seguridad saludable para responder a situaciones como ésta al diseñar un transportador, para verificar que los transportadores tengan suficiente energía para manejar este aumento de cargas.

Ecuación 16.2

Cálculo de la fuerza de arrastre de desalineación

$Tm = Tr \cdot \sin \phi$

Dado: *Una fuerza de desalineación de 481 newtons (110 lb_f) y un pivote de rodillo de 3.5 grados.* ***Calcular:*** *La fuerza de arrastre de desalineación.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
Tm	Fuerza de arrastre de desalineación	newtons	libras-fuerza
Tr	Fuerza de desalineación *(Calculada en la Ecuación 16.1)*	481 N	110 lb_f
ϕ	Desalineación del rodillo	3.5°	3.5°
Métrico: $Tm = 481 \cdot \sin 3.5° = 29$			
Imperial: $Tm = 110 \cdot \sin 3.5° = 6.7$			
Tm	Fuerza de arrastre de desalineación	29 N	6.7 lb_f

Ecuación 16.3

Cálculo de la energía para compensar un rodillo satelital

$P = Tm \cdot V \cdot f \cdot k$

Dado: *Un rodillo desalineado ejerce 29 newtons (6.7 lb_f) sobre un sistema de transportador. La banda está viajando a 2 metros por segundo (400 pies/min). La fricción de interfaz entre la banda y el rodillo es 1.* ***Calcular:*** *La energía agregada al impulso debido al rodillo satelital.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
P	Energía agregada a la transmisión por banda	kilowatts	caballos de fuerza
Tm	Fuerza de arrastre de desalineación *(Calculada en la Ecuación 16.2)*	29 N	6.7 lb_f
V	Velocidad de la banda	2.0 m/s	400 pies/min
f	Coeficiente de fricción	1.0	1.0
k	Factor de conversión	1/1000	1/33000
Métrico: $P = \frac{29 \cdot 2 \cdot 1}{1000} = 0{,}058$			
Imperial: $P = \frac{6.7 \cdot 400 \cdot 1}{33{,}000} = 0.081$			
P	Energía agregada a la transmisión por banda	0.058 kW	0.081 hp

LAS BANDAS EN EL MUNDO REAL

En resumen...

En el mundo real las bandas transportadoras se desalinean. Sin embargo, permitir que una banda se descentralice de manera crónica puede llevar a lesiones personales, escape de materiales fugitivos y daños a la estructura y a la banda. No obstante, alinear una banda sin algún conocimiento de los efectos de las acciones de alineación puede resultar en un aumento en el consumo de energía, falla de componentes y daños a la banda.

Existe una variedad de rodillos de alineación automática que pueden ayudar a controlar la alineación de la banda. Pero es prudente tener en cuenta que las operaciones del transportador no dependen de estos rodillos satelitales para resolver una desalineación grande de la estructura del transportador o problemas de carga significativos y continuos. El funcionamiento continuo de un rodillo satelital indica problemas más serios que deben identificarse y corregirse. Es mucho mejor descubrir cuál es el problema real y hacer las correcciones necesarias.

Aunque el desalineamiento de la banda es un problema complejo, puede controlarse al identificar y eliminar de manera sistemática y con iniciativa las causas raíz del desalineamiento y eliminándolas. Alinear una banda es una habilidad que toma tiempo aprender y es mejor dejarla en manos de un empleado calificado y experimentado o un contratista especializado.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Alineación de la banda, el último capítulo de la sección Trayecto de retorno de la banda, explicó cómo los materiales fugitivos pueden provocar el desalineamiento de la banda y como, a su vez, este desalineamiento puede provocar el aumento de material fugitivo. El siguiente capítulo, Generalidades del manejo del polvo, empieza la siguiente sección sobre el Manejo del polvo.

REFERENCIAS

16.1 Cukor, Clar. (Sin fecha). *Tracking: A Monograph.* Scottdale, Georgia: Georgia Duck and Cordage Mill (ahora Fenner Dunlop).

16.2 Barfoot, Greg J. (Enero/Marzo 1995). “Quantifying the Effect of Idler Misalignment on Belt Conveyor Tracking,” *Bulk Solids Handling*, Volumen 15, #1, págs. 33–35. Clausthal Zellerfeld, Alemania: Trans Tech Publications.

SECCIÓN 4

MANEJO DEL POLVO

• Capítulo 17 280
GENERALIDADES DEL MANEJO DEL POLVO

• Capítulo 18 296
CONTROL PASIVO DEL POLVO

• Capítulo 19 304
SUPRESIÓN DEL POLVO

• Capítulo 20 322
COLECCIÓN DEL POLVO

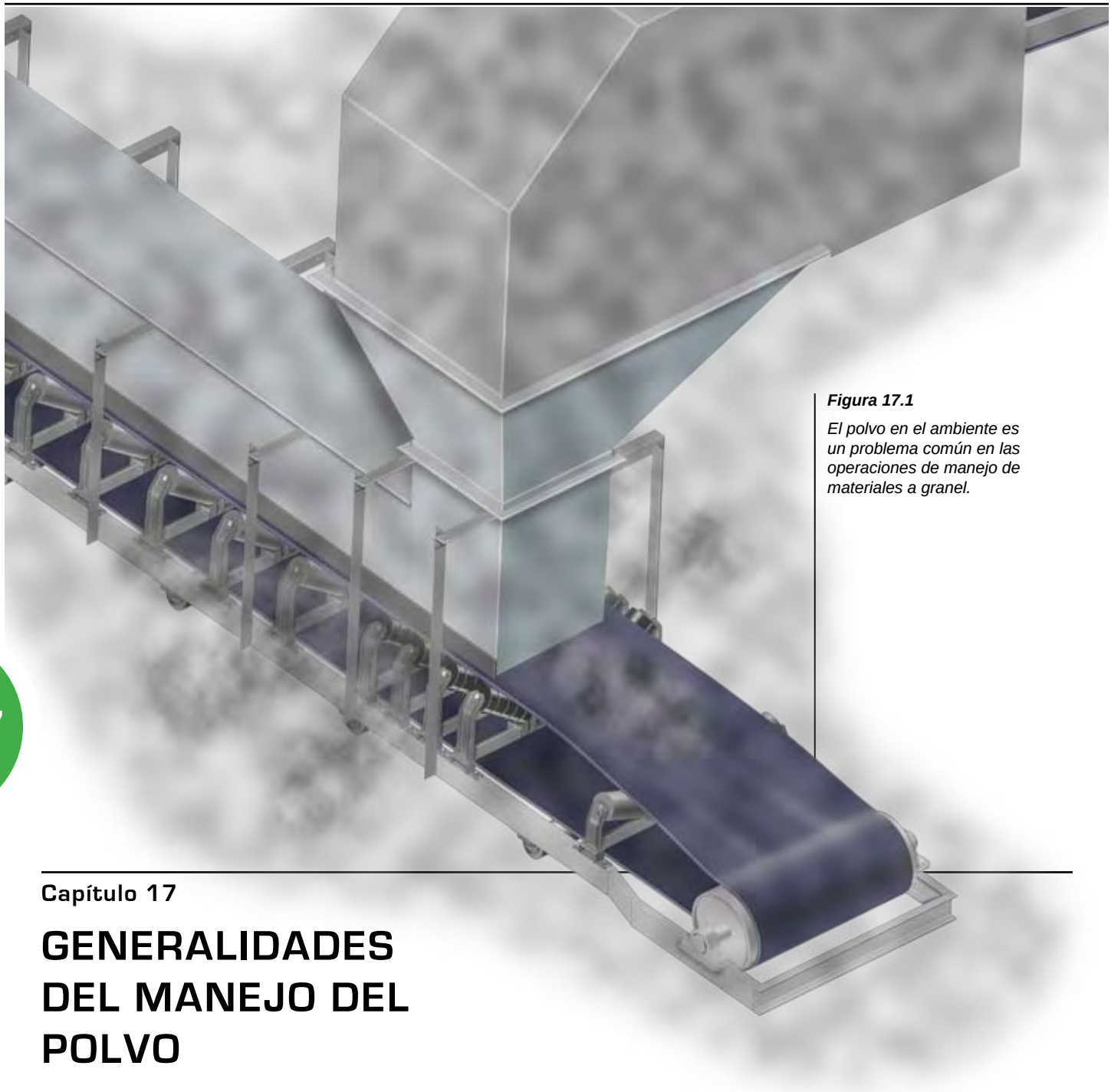


Figura 17.1

El polvo en el ambiente es un problema común en las operaciones de manejo de materiales a granel.

17

Capítulo 17

GENERALIDADES DEL MANEJO DEL POLVO

Definición de polvo 281
Consecuencias del polvo 282
Medición del polvo 285
Métodos de manejo del polvo 288
Reducción del riesgo de incendio y explosiones 291
Cuestiones de seguridad 292
Mantenimiento del sistema de control de polvo 293
Proceso de selección del manejo del polvo 294
Manejo del polvo específico a la aplicación 294

En este capítulo...

Este capítulo define el polvo y da las generalidades del tema del manejo de polvo. Examina problemas asociados con el polvo, incluyendo incendio y explosiones; métodos para medir polvo y métodos para minimizar y manejar el polvo. Los siguientes tres capítulos darán más detalles sobre áreas específicas del control del polvo.

El polvo fugitivo, material finamente dividido que se esparce en el ambiente, se está convirtiendo en una de las más grandes inquietudes de las operaciones del manejo de materiales a granel. El polvo crea problemas en el proceso, en la planta, en el desempeño de los empleados, en la salud de los empleados y la comunidad y en las relaciones con los vecinos de la planta. Este nivel intensificado de inquietud puede ser porque el polvo es más visible desde fuera de la planta que los derrames. El derrame es más concentrado; afecta a los asuntos dentro de la planta. Una nube de polvo en el ambiente que se eleva de los transportadores o quebradoras de una operación es visible para las personas que vienen de fuera y puede crear problemas de salud, seguridad, relaciones con los vecinos y conformidad regulatoria **(Figura 17.1)**.

Para combatir exitosamente la creciente molestia del polvo en el ambiente, se debe comprender cómo se genera el polvo, cuáles son las consecuencias del polvo, qué agencias monitorean en polvo, cómo se mide el polvo y qué métodos existen para combatirlo. Cuando se controla el derrame de material y el polvo en el ambiente, la operación será más limpia, segura y más productiva.

DEFINICIÓN DE POLVO

Para limitar esta discusión

Este libro discute el control de polvo del transporte de material o de la carga y descarga de las bandas. Otras operaciones industriales y de manejo de materiales crearán polvo, incluyendo la trituración, la molienda, el maquinado y el acarreo en camiones. Algunos problemas y tecnologías discutidas pueden ser útiles para comprender y controlar el polvo de estas fuentes.

La resolución de los problemas de polvo se complica por la naturaleza del polvo. La creación de polvo tiene un número significativo de variables que regularmente son alteradas por cambios en el ambiente y los materiales. La variedad de diseños de procesos y distribuciones de la planta, de las técnicas y tecnologías de producción, de las opciones de sistemas y opciones de equipo y de las diferencias en los transportadores y los materiales transportados afectarán las condiciones y resultados. Estas diferencias inclusive pueden ser detectadas diariamente en una sola operación. De esta manera la información presentada aquí no puede considerarse absolutamente aplicable en todas las circunstancias. Cualquier aplicación de esta información debe ser cuidadosamente revisada en vista de las circunstancias específicas antes de que se seleccionen las opciones y se hagan las inversiones. El primer paso es entender la naturaleza del problema antes de considerar las opciones específicas de una operación determinada.

La definición de polvo

El polvo es definido por la Administración de Seguridad y Salubridad Minera (MSHA) de Estados Unidos como "sólidos finamente divididos que se pueden esparcir en el ambiente a partir de su estado original sin ningún cambio físico o químico aparte de la fractura”.

Esta es una manera complicada de decir que polvo es el "material que, cuando se altera, puede entrar en el aire y permanecer ahí”. Aunque es bueno decir que todas las alteraciones pueden ser eliminadas, las industrias de material a granel están llenas de alteraciones. Los ejemplos incluyen, pero no se limitan a, un terrón sólido de material roto por impacto, trituración, abrasión o pulido; material transferido de una banda, contenedor o proceso a otro o material agitado por viento, trabajadores o maquinaria.

El tamaño de una partícula de polvo se mide en micras (µm). La micra es una forma abreviada de micrómetro, una unidad de medición que es un millonésimo de un metro. El equivalente en mediciones imperiales es 1/25400 (ó 0.0000394) de pulgada. Un cabello humano mide aproximadamente de 80 a 100 micras de diámetro.

El polvo respirable es el polvo que es lo suficientemente pequeño para entrar a los pulmones al ser inhalado. La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional del

Departamento del Trabajo de EE.UU. (OSHA por sus siglas en inglés), en su manual titulado Manual de control de polvo para el procesamiento de minerales, define el polvo respirable de la siguiente manera:

> El polvo respirable se refiere a aquellas partículas de polvo que son lo suficientemente pequeñas para penetrar por la nariz y el aparato respiratorio superior y llegar a los pulmones. Las partículas que penetran profundamente en el aparato respiratorio van generalmente más allá de los mecanismos de limpieza naturales del cuerpo como los vellos nasales y la mucosidad y es probable que sean retenidos.

La mayoría de las autoridades reguladoras definen el tamaño del polvo respirable como 10 micras o menos. Según OSHA, MSHA define el polvo respirable como la fracción de polvo en el ambiente que pasa a través de un dispositivo de selección de tamaño (tamiz) de 10 micras (3.28 x 10^{-5} pies) **(Tabla 17.1)**.

CONSECUENCIAS DEL POLVO

A diferencia del derrame de material, que generalmente permanece cerca del punto en el transportador donde se libera el material, el polvo en el ambiente afecta a toda la operación. Una vez que el polvo se libera en el aire, se asentará donde sea que las corrientes de aire se lo lleven. Hay muchos peligros, gastos, inconveniencias e ineficacias asociados con el polvo en el ambiente.

El manejo adecuado del polvo se hace por el bien legal y financiero de la operación.

Cuando una operación infringe una reglamentación de seguridad, hay ramificaciones legales para las partes responsables (incluyendo culpabilidad personal y una posible responsabilidad financiera para los ejecutivos de las operaciones en las que ocurren infracciones de seguridad); por lo tanto, hay un incentivo personal para eliminar el polvo.

Riesgos de salud

El mayor peligro del polvo es la exposición al polvo de los trabajadores, hogares vecinos y negocios. Si el material es tóxico, cancerígeno o peligroso, tenerlo en el ambiente puede poner en peligro a un gran número de personas. Además de los peligros tóxicos de los materiales, existe un peligro respiratorio presentado por el polvo en el ambiente. Una vez que el polvo respirable entra a los pulmones, podría ya no ser expulsado. La exposición prolongada causará la acumulación del material en los pulmones. La mayoría de las autoridades reguladoras definen el tamaño del polvo respirable como 10 micras. Cuando se inhalan partículas en el ambiente de 10 micras o menos, se quedarán en los pulmones; por lo tanto, las partículas de polvo de 10 micras o más pequeñas tienen una concentración permisible mucho más baja. Con los materiales tóxicos, la concentración máxima permisible es aún menor. En Estados Unidos, el sílice normalmente se regula al punto en donde las concentraciones máximas permisibles son menores a 2 miligramos por metro cúbico (2.0 x 10^{-6} onzas/pies^3) por día de ocho horas. Muchas agencias de gobierno o privadas han considerado que la exposición continua a concentraciones mayores a estas causarán silicosis.

OSHA ha determinado los niveles de polvo admisibles para Estados Unidos **(Tabla 17.2)**. Los niveles determinados por OSHA son representativos de niveles de reglamentación vistos, y cada vez más exigidos, alrededor del mundo.

Riesgos de explosión

Otro peligro del polvo es su potencial de explosión. Los materiales que obviamente tienen este potencial son el carbón y otros combustibles. Aun los materiales que no son inflamables en su estado a granel pueden arder cuando están en el ambiente como polvo fino. Por ejemplo, el polvo de aluminio es inflamable.

Hay cinco componentes necesarios que contribuyen a que ocurra una explosión de

Tabla 17.1

Porcentajes de tamaños de partículas que pasan a través de un dispositivo de selección de 10 micras de tamaño

Tamaño de partícula (µ)	10.0	5.0	3.5	2.5	2.0
% Tamiz	0	25	50	75	90

polvo. Los tres primeros forman el "triángulo" de componentes de cualquier incendio:

A. Combustible (polvo inflamable)
B. Fuente de ignición (chispa de calor o eléctrica)
C. Agente oxidante (oxígeno en el aire)

Los dos componentes finales se requieren para crear una explosión de polvo:

D. La suspensión del polvo en una nube (en cantidad y concentración suficiente)
E. Confinamiento de la nube de polvo

Si falta cualquiera de estos componentes, no puede haber explosión.

Muchos negocios ofrecen productos y soluciones para contrarrestar las condiciones para una explosión, pero el control de polvo inflamable disminuirá el riesgo de una explosión y aumentará la eficacia de estos productos.

Es responsabilidad de los dueños y gerentes de la planta estar conscientes de las propiedades explosivas del material en sus diferentes estados y eliminar de un modo activo el potencial de una explosión.

Riesgos de seguridad

El control de polvo y otro material fugitivo es una cuestión clave en la prevención de accidentes de los empleados. En cualquier operación en la que el polvo reduce la visibilidad y accesibilidad, hay un creciente riesgo de problemas en la operación de maquinaria pesada o el movimiento de personal. La presencia de polvo requiere limpieza y la colocación del personal de la planta en proximidad de los transportadores y otro equipo del proceso, lo que genera en un mayor riesgo de lesiones.

El polvo en el ambiente generalmente crea un ambiente de trabajo desagradable. Los trabajadores tendrán un mejor estado de ánimo y habrá mayor productividad si las condiciones donde pasan sus días de trabajo no están sucias, desagradables y posiblemente poco saludables.

En algunas plantas, los trabajadores deben usar un respirador para trabajar cerca de sistemas de manejo de material que generan polvo. Esto aumenta el riesgo de seguridad debido a que se impide la visibilidad y afecta negativamente el estado de ánimo. Además del problema del polvo, la compañía se percibe como despreocupada por la salud y el bienestar de los empleados, ya que se ven forzados a trabajar en un ambiente que es posiblemente peligroso y seguramente incómodo.

Tabla 17.2

Niveles de exposición de polvo admisibles por día de ocho horas según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) (EE.UU.)

Sustancia	Tipo	mg/m³
Sílice: cristalino *Cristobalita: usar ½ del valor calculado del conteo o fórmula de masa del cuarzo.* *Tridimita: usar ½ del valor calculado de la fórmula de masa del cuarzo.*	Cuarzo (respirable) Cuarzo (polvo total)	$\frac{10\ mg/m^3}{\%SiO_2+2}$ $\frac{30\ mg/m^3}{\%SiO_2+2}$
Amorfo	Amorfo, incluyendo tierra natural de diatomeas	$\frac{80\ mg/m^3}{\%SiO_2+2}$
Polvo de carbón	Fracción respirable < 5% SiO_2 Fracción respirable > 5% SiO_2	$2.4\ mg/m^3$ $\frac{10\ mg/m^3}{\%SiO_2+2}$
Polvo inerte o molesto	Fracción respirable Polvo total	$5\ mg/m^3$ $15\ mg/m^3$

NIMBY (siglas en inglés de No en mi patio) y relaciones con los vecinos

En épocas pasadas, la excusa aceptada para las señales visibles de la presencia de una planta, como polvo y olores, era que se trataba de indicios de que la planta estaba ganando dinero.

Eso ya no es verdad. Ahora, es más fuerte el síndrome "No en mi patio" (a veces se le conoce como "NIMBY" por sus siglas en inglés). Los grupos ambientales son más organizados. Nadie quiere que los valores de su propiedad se vean perjudicados por las emisiones de una operación industrial. Es más probable que los grupos de la comunidad se quejen, y busquen apoyo de los accionistas, grupos ambientalistas y organismos reguladores. La necesidad de expandir una operación, como una planta agregada, a menudo ocasiona largas y contenciosas audiencias de permisos.

Una solución para los procesos de solicitud de permisos que cada vez son más molestos, es que la operación mantenga buenas relaciones de trabajo con las comunidades en las que opera. Los esfuerzos como donativos a la comunidad, visitas y recorridos por la planta muestran la operación y el valor que la planta proporciona y los esfuerzos que hace para ser buen vecino.

Esos esfuerzos no valen nada si regularmente o hasta periódicamente se elevan nubes de polvo del equipo de operación.

Autoridades reguladoras

Además de los riesgos de salud y explosiones por el polvo, una operación tiene que ser consciente de la naturaleza visual de la contaminación por polvo. Se está haciendo cada vez más común que las industrias que producen polvo sean inspeccionadas y multadas por la contaminación visual a las casas y negocios de los alrededores. Es mucho más fácil notar a lo lejos una nube de polvo que un derrame. Por este motivo, una operación de materiales a granel debe estar consciente del clima político ambiental del área en la que opera.

Las autoridades reguladoras están facultadas para proteger la salud de los trabajadores y el público; por consiguiente, monitorearán y revisarán los resultados del nivel de polvo. Las autoridades también actuarán en interés de las otras partes, incluyendo a los vecinos preocupados por la protección de su propiedad y grupos preocupados por el ambiente en general. Además, son susceptibles a la presión de grupos de interés y los medios.

Como resultado, muchas compañías u operaciones individuales controlan la discusión de sus límites reguladores y los resultados de las pruebas. La gerencia no desea que esta información se discuta fuera de la planta, porque los resultados son "malos", los datos están sujetos a malinterpretaciones por personas externas o la discusión señala que el polvo es un problema para la planta.

También se debe mencionar a otras autoridades reguladoras, que, aunque no son formalmente responsables de regular el polvo en el ambiente, son responsables de otros aspectos del control gubernamental de las operaciones industriales, como permisos y zonificación de uso de suelo. Estos organismos reguladores están sujetos y son vulnerables a influencias externas que incluyen a los residentes de la zona, dueños (o desarrolladores potenciales) de porciones de terrenos adyacentes y grupos de interés medioambiental.

Problemas en el proceso

Además de los problemas ambientales, de seguridad y salud discutidos anteriormente, existe una gran cantidad de motivos para controlar el polvo fugitivo para poder mejorar el proceso internamente.

El polvo afecta la calidad de una operación industrial y su resultado. Contamina la planta y posiblemente hasta el producto terminado. El polvo se asentará en instrumentos y sensores sensibles, impidiendo la capacidad de los instrumentos de monitorear un proceso y confundiendo los datos entregados a los operadores. En algunas operaciones, como el sinterizado de mineral de hierro y las plantas granuladoras, el polvo del material en el proceso es un contaminante que afecta negativamente los resultados.

Otro peligro del polvo en el ambiente cae en la categoría de daño a la propiedad. Si un material es corrosivo, el polvo lo es también. A medida que el polvo en el ambiente se asienta en cada superficie dentro de una operación, existe el potencial de daño masivo debido a la corrosión en toda la operación. El polvo en el ambiente se irá a las entradas de aire de los motores y bombas, causando fallas prematuras de este costoso y crítico equipo.

El polvo representa una valiosa pérdida de material, un material que ha sido pagado, y en muchos casos, se le ha aplicado algún nivel de procesamiento. El polvo fugitivo representa una oportunidad perdida de ganancia. En algunas plantas, el polvo en el ambiente tendrá una concentración mayor del mineral objetivo de la operación que del cuerpo general del material. Se descubrió que el polvo de las minas de metal precioso tenía más oro y cobre que el mineral primario, con concentraciones crecientes del 25 a casi el 100 por ciento. La recuperación de este valioso polvo ofrece una compensación significativa de la inversión en sistemas de control de polvo.

El polvo también aumenta la cantidad de trabajo de mantenimiento requerido. Consume horas de mano de obra de personal de la planta, añadiendo gastos y distrayendo a los trabajadores y gerentes de otras responsabilidades. Es importante tomar en cuenta las horas extra de mano de obra necesarias para limpiar las áreas en donde se asienta el polvo. Los derrames caen debajo de un transportador; en contraste, el polvo se asentará en toda la planta, incluyendo elevaciones muy por arriba del punto de liberación del polvo.

El polvo fugitivo puede afectar la capacidad de producción de una planta reduciendo la disponibilidad de transportadores y equipo debido a accidentes, mantenimiento adicional requerido y paros en producción por limpieza.

MEDICIÓN DEL POLVO

Los estudios adecuados sobre el polvo son necesarios para evaluar el cumplimiento de una operación con las reglamentaciones, así como la eficacia de sus medidas de control de polvo. El método de muestreo de polvo es específico a la región y la agencia que hace la inspección. Los métodos más populares de muestreo incluyen sacamuestras personal de polvo, sacamuestras de polvo de ubicación específica y dispositivos electrónicos portátiles de medición de polvo. Estos métodos de muestreo se discuten a continuación.

Sacamuestras personal de polvo

La exposición de un trabajador a una concentración de polvo se puede medir mejor con un sacamuestras personal de polvo **(Figura 17.2)**. Es una pequeña bomba de succión unida a un tubo que está conectado al cuello del trabajador. El trabajador usa el sacamuestras durante el curso del día de trabajo. Al final del turno, se pesa la cantidad de polvo capturada por el sacamuestras. Este peso se divide entre el flujo total de aire que la bomba ha aspirado durante el día y el tiempo en operación para determinar una concentración de polvo en el aire. Esta metodología repetible es útil para determinar la cantidad de polvo en el aire y el tamaño de las partículas de polvo, así como para medir la exposición de una persona a riesgo por el polvo. También existen dispositivos de monitoreo de partículas en tiempo real.

Muestreo básico de polvo de ubicación específica

El muestreo básico de polvo de ubicación específica usualmente se realiza colocando muchos recipientes o contenedores en un área polvorienta y dejándolos ahí un período de tiempo específico **(Figuras 17.3** y **17.4)**. Entonces la cantidad de polvo que se asienta en los contenedores se pesa. Este muestreo normalmente se hace antes y después de que se implementa una solución de control de polvo. Estos dos valores se comparan para evaluar la eficacia relativa de la medida de control de polvo. Aunque es un método básico e intuitivo para medir la eficacia de un sistema,

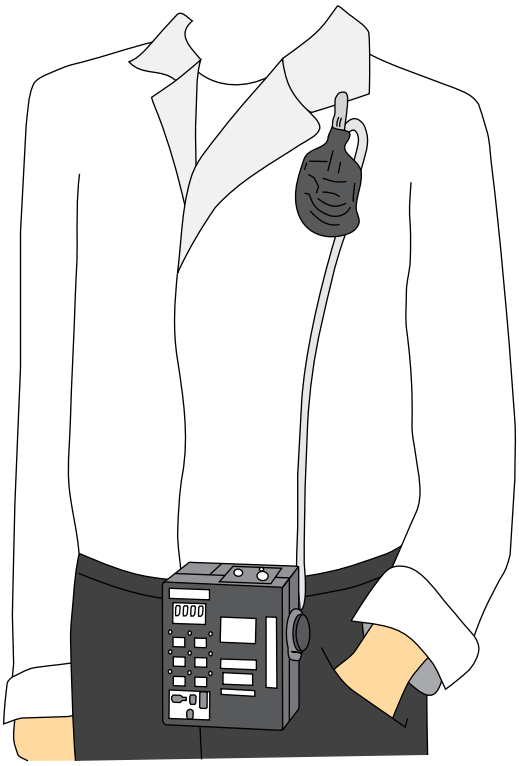


Figura 17.2

Usado por un trabajador, un sacamuestras personal de polvo determinará la exposición individual al polvo en el ambiente.

no proporciona ninguna información sobre la concentración de polvo en el aire ni del tamaño de las partículas de polvo. Debe observarse que este tipo de muestreo no mide el contenido de polvo en el aire, sino más bien la cantidad de polvo que se asienta en el lugar donde se localizan los recipientes. Los resultados pueden verse afectados por las corrientes de aire que pasan sobre los recipientes.

Figura 17.3

Se han colocado recipientes en el suelo alrededor de la cola de este transportador para recolectar muestras de polvo en este lugar.

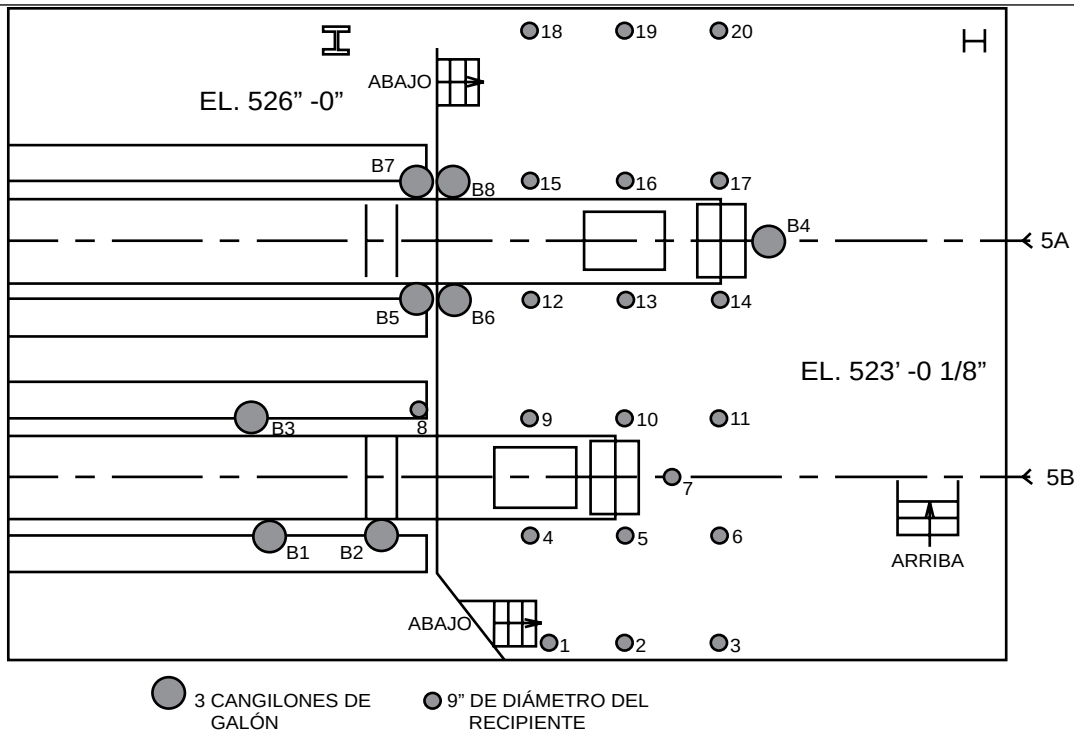
Muestreo avanzado de polvo de ubicación específica

El muestreo avanzado de polvo de ubicación específica es una combinación del sacamuestras personal de polvo y el sacamuestras básico de polvo de ubicación específica ya que usa una bomba de succión para capturar el aire **(Figura 17.5)**. El dispositivo de muestreo se coloca en un lugar fijo durante una cantidad determinada de tiempo. El método usado para analizar las concentraciones es semejante al muestreo básico de polvo de ubicación específica, pero estos sistemas pueden ser mucho más exactos y controlados. Los resultados se pueden enviar a una computadora o a otro dispositivo de monitoreo, permitiendo que se tomen las lecturas remotamente.

Otra versión del sacamuestras de polvo de ubicación específica es el probador de opacidad de microondas. Este dispositivo opera liberando luz o microondas en una corriente de aire. La luz o radiación es desviada o absorbida por el polvo en el aire. La energía se mide en toda la corriente de aire, y la cantidad de polvo se puede calcular con este valor midiendo la diferencia entre la fuerza de la señal enviada y la señal recibida **(Figura 17.6)**. Se puede usar un equipo más elaborado para medir el tamaño de las partículas. Aunque este equipo es muy exacto, tiende a ser costoso y no portátil.

Figura 17.4

Esta ilustración muestra el plan para recolectar el polvo y los derrames alrededor de las poleas de cola de dos transportadores.



Este tipo de sensor sería empleado por una operación para monitorear una pieza de equipo en particular.

Lecturas de opacidad visual

Una lectura de opacidad visual es realizada por un inspector autorizado y capacitado que observa el área durante una cantidad establecida de tiempo y documenta la cantidad de polvo visible en el aire. Aunque a este método se le ha acusado de ser subjetivo, está exhaustivamente reglamentado y es generalmente aceptado entre las agencias de protección ambiental de Estados Unidos.

Dispositivos electrónicos portátiles de medición de polvo

La tecnología siempre se está esforzando para hacer más portátiles los métodos de medición de polvo de "alta tecnología" (más científicos). Los dispositivos portátiles pueden medir la concentración, tamaño y muchas otras propiedades del polvo. A medida que avanza la tecnología, estos aparatos serán menos costosos y más comúnmente vistos en el campo **(Figura 17.7)**.

Metodologías estándar de prueba

Ya que las metodologías de medición de polvo varían de región a región y de aplicación a aplicación, es por el bien de la operación saber quién va a medir su polvo y qué método va a usar. Una gran cantidad de organizaciones nacionales e internacionales han proporcionado procedimientos estándar para medir polvo. Algunos ejemplos se muestran a continuación:

A. ASTM Internacional (ASTM)

ASTM D4532-97 (2003) *Método estándar de prueba de polvo respirable en las atmósferas del lugar de trabajo*

ASTM D6552-06 *Práctica estándar para controlar y caracterizar errores en el peso de aerosoles colectados*

B. Deutsches Instit für Normnug (DIN-Unión Europea)

DIN/EN 481 *Atmósferas del lugar de trabajo: definiciones de fracción de tamaño para la medición de partículas en el ambiente*

C. Organización Internacional de Normalización (ISO)

ISO 20988 *Calidad del aire, directrices para estimar la incertidumbre de medición*

ISO 7708 *Calidad del aire, definiciones de fracción del tamaño de partícula para muestreo relacionado con la salud*

ISO 12141 *Emisiones de fuente estacionaria, determinación de la concentración de masa de la materia de partículas (polvo) en bajas concentraciones*

Se aconseja consultar con organizaciones estándar como ISO, ASTM y autoridades reguladoras de las regiones específicas para determinar las reglamentaciones actuales y los métodos de prueba aceptados.

Figura 17.5

Este sistema de muestreo avanzado de polvo de ubicación específica usa una aspiradora para absorber el aire cargado de polvo.

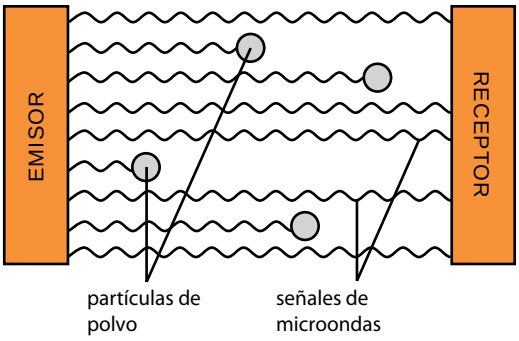


Figura 17.6

El probador de opacidad de microondas usa la diferencia en la fuerza de la señal enviada y la señal recibida para determinar la cantidad de polvo en el aire.

Figura 17.7

Los dispositivos portátiles ahora pueden medir la concentración y el tamaño del polvo.

MÉTODOS DE MANEJO DEL POLVO

Minimizar la creación de polvo

El polvo en el ambiente se crea cada vez que el material seco se mueve, manipula y está sujeto a corrientes de aire lo suficientemente fuertes para elevar o redirigir las partículas pequeñas dentro del cuerpo de material. Una de las circunstancias más comunes en las que esto ocurre es en los puntos de transferencia del transportador donde la carga, descarga o tránsito del material crean corrientes de aire que se llevan el polvo lejos del sistema de manejo de material.

Las emisiones de polvo en el transporte pueden reducirse significativamente con un sistema de transferencia diseñado, un sistema de sellado eficaz, la adición de un sistema de supresión de polvo o el uso de un sistema eficaz de colección de polvo.

La primera consideración en el control de polvo siempre debe ser la reducción de la cantidad real de polvo creada. Aunque es improbable que el polvo se pueda eliminar completamente, se debe considerar cualquier cambio en el diseño del sistema o técnica de producción que pueda reducir la cantidad de polvo producido. Por ejemplo, si se puede reducir la energía liberada por la corriente de material que cae en el área de impacto, se impartirá menos energía al material y se crearán o alejarán menos partículas de polvo. Entonces, es mejor diseñar sistemas de transportador con distancias mínimas de caída de material.

Este tipo de ingeniería mejorada puede llevarse a cabo como una adaptación, o se puede considerar en la etapa inicial de diseño de la planta. Los métodos para reducir el polvo creado a través de un mejor diseño incluyen, pero no se limitan a:

A. Reducir las caídas entre transportadores
B. Cargar el material en la misma dirección en la que se mueve la banda receptora
C. Evitar cambios drásticos en la trayectoria del material
D. Mantener una corriente cohesiva de material a la vez que se controla el flujo de aire dentro y fuera del punto de transferencia

Estos métodos se pueden lograr a través de una combinación de un esquema adecuado de transportador y un diseño creativo de las transferencias del transportador. Por ejemplo, un chute diseñado que incorpore una "cubierta y cuchara" puede ser de gran ayuda para lograr estos métodos. Existen otras mejoras de diseño para hacer reducciones dramáticas en la creación y liberación de polvo en el ambiente. El éxito de estas mejoras puede eliminar la necesidad o reducir enormemente el tamaño y costos de los sistemas de colección y supresión de polvo. *(Vea el Capítulo 7: Control del aire y el Capítulo 22: Chutes de flujo diseñados).*

Tres maneras de controlar el polvo

Si una operación no puede evitar que el polvo vaya al ambiente, debe encontrar maneras de controlarlo. El control se puede lograr conteniendo, suprimiendo o colectando las partículas en el ambiente. Antes de que se seleccione un sistema de control de polvo, es necesario comprender los factores contribuyentes que crean polvo en el ambiente.

Las condiciones que determinan si los materiales finos se van al ambiente son la velocidad del aire, el tamaño de las partículas y la cohesión del material a granel. Estas características contribuyen a la cantidad de polvo generado por la siguiente relación relativa intuitiva: la cantidad de polvo generado es proporcional a la velocidad del aire dividida entre los factores de tamaño de las partículas y cohesión del material **(Figura 17.8)**.

Esta relación enfatiza tres principios importantes que se pueden utilizar para controlar el polvo:

A. La creación de polvo se puede minimizar reduciendo la velocidad del aire alrededor del material a granel.
B. La creación de polvo se puede minimizar

$$\text{Polvo generado} \;\alpha\; \frac{\text{Velocidad del aire}}{\text{Tamaño de las partículas} \bullet \text{Cohesión}}$$

Figura 17.8
Relación en la creación de polvo en el ambiente.

aumentando el tamaño de las partículas del material a granel.

C. La creación de polvo se puede minimizar aumentando la cohesión del material a granel.

Donde una o más de estas características es segura, la capacidad de controlar el polvo depende de la alteración de una o dos de las otras características. Por ejemplo, cuando el tamaño de partículas del carbón que se transporta no se puede cambiar, se debe alterar la velocidad del aire o la fuerza cohesiva para minimizar las emisiones de polvo. Muchos sistemas de control de polvo combinan varios de estos principios.

Minimizar la velocidad del aire

El método más fácil y eficaz para controlar el polvo es minimizar la velocidad del aire. Las partículas de polvo son más pesadas que el aire, y se asentarán si se les dan las condiciones de inmovilidad y el tiempo suficiente. Al reducir la velocidad del aire, las partículas tienen la oportunidad de caer de nuevo en la corriente de material. El polvo viaja en la corriente de aire, por lo que es lógico que si se controla el aire, el polvo pueda ser manejado.

Quizá la primera (y más fácil) tecnología de control de polvo es simplemente confinar el polvo en el ambiente (o la operación/lugar que genera polvo) para que las partículas de polvo tengan la oportunidad de asentarse antes de salir del área. Este es un método para minimizar la velocidad del aire y por lo tanto prevenir la recolección de partículas finas de un cuerpo de material. A medida que aumenta el volumen del confinamiento, la velocidad disminuye, permitiendo que las partículas en el ambiente caigan del aire.

Un chute de transferencia eficazmente diseñado reduce la velocidad del aire minimizando el aire atraído al punto de transferencia, sellando las fugas que permiten que escape el aire con polvo y dando tiempo al polvo para que se asiente. El confinamiento tradicional del punto de transferencia es el método más común para combatir el polvo. La ventaja del chute de compensación tradicional de acero es que es rígido, permanente y puede confinar completamente el punto de transferencia. Esto lo convierte en el candidato ideal para una mejora a cualquier punto de transferencia. Incluso una técnica básica, como la instalación de cortinas de polvo a la salida del chute, es un método para reducir el movimiento de aire.

Un confinamiento eficaz se puede poner, en teoría, en cualquier punto de transferencia. Sin embargo, en algunas operaciones, no se pueden usar los puntos de transferencia rígidos, permanentes y completamente confinados, por lo que el equipo no puede confinarse. Por ejemplo, muchas operaciones de arena y grava requieren que el equipo sea móvil, por lo que no es aconsejable un chute de transferencia fija. Otras operaciones pueden requerir el monitoreo visual de un punto de transferencia, por lo que no sería adecuado un chute completamente confinado.

Aumentar el tamaño de las partículas

Si el confinamiento del punto de transferencia no es opción, entonces la solución puede ser aumentar el tamaño de las partículas para hacerlas más pesadas y más propensas a caer del flujo de aire. El aumento de tamaño de las partículas de polvo hará que éstas sean más pesadas. Una partícula más pesada no será tan fácilmente recogida por el movimiento de aire, y caerá del aire más rápidamente cuando se reduzca la velocidad del aire. Una partícula más pesada también tendrá más impulso, por lo que no será afectada por cambios en el flujo de aire.

Los sistemas de supresión de polvo generalmente se basan en el principio de aumentar el peso de las partículas de polvo para mejorar el control de polvo y regresar las partículas al flujo principal de material. Estos sistemas aumentan el peso de las partículas de polvo en el ambiente combinando las partículas con gotas de agua (o con una solución de agua y químicos). Las partículas de polvo húmedas, y ahora más pesadas caerán de nuevo a la corriente de material antes de que puedan escapar a la atmósfera.

Es relativamente difícil capturar partículas de polvo una vez que se han ido al ambiente. Los sistemas de supresión de niebla se encargan específicamente del polvo en este estado. *(Vea el Capítulo 19: Supresión del polvo).* Un sistema de niebla requiere tiempo y un espacio relativamente tranquilo para adherirse a las partículas de polvo en el ambiente. Esto necesita un punto de transferencia confinado y aire en movimiento relativamente lento. Los sistemas de niebla son más exitosos cuando

las partículas de polvo y las gotas de agua son de tamaño semejante. Para lograr el tamaño de gota de agua necesario para igualar las partículas pequeñas de polvo en el ambiente, el agua se debe bombear a alta presión a través de boquillas atomizadoras o atomizarse con aire. Ambos métodos para formar pequeñas gotas de agua para igualar las partículas pequeñas son costosos y complicados.

La colección de polvo también se usa para aumentar el tamaño del material. Este método usa una aspiradora para absorber el aire (y el polvo que lleva) fuera del sistema de manejo de material. El polvo se aglomera en sí mismo o en la superficie del sistema de filtrado y después se colecta en una ubicación central o se deposita de nuevo en la banda con el uso de colectores locales. *(Vea el Capítulo 20: Colección del polvo).*

Los sistemas de colección de polvo requieren el confinamiento de los puntos de transferencia y una cantidad considerable de espacio aéreo. Tales sistemas no hacen nada por reducir el potencial del material para crear polvo: cuando el material se agita en el siguiente punto de transferencia, hay que encargarse del polvo de nuevo.

Aumentar la cohesión de material

El último método común usado para minimizar el polvo es aumentar la cohesión del material; esto es, el "deseo" (o capacidad) del material de pegarse. Se deben alterar las propiedades del material para poder aumentar su capacidad de pegarse a sí mismo. Un ejemplo de la vida real de cohesión mejorada sería la arena de la playa contra la arena del desierto. Ambos tipos de arena tienen aproximadamente el mismo tamaño de partículas en forma sólida. La arena del desierto no se pega a sí misma; las partículas se pueden fracturar fácilmente e irse al ambiente como polvo. El contenido de humedad añadida de la arena de mar aumenta la cohesión; las partículas se pegarán y no se irán al ambiente cuando se suelte el material.

Una manera simple de aumentar la cohesión es ponerle agua u otro agente adhesivo al material. Se debe tener cuidado al aplicar humedad al material a granel. Si se aplica agua a la parte superior del material de una pila o una banda transportadora, humedecerá solo la parte exterior del material. Cuando este material se altera, al ser recuperado de una pila de reservas o al pasar por un punto de transferencia, las partículas se reacomodan y las superficies secas quedan expuestas al aire. El polvo se puede liberar de estas superficies secas. El punto ideal de aplicación para la adición de humedad es cuando el material está en caída libre. Esto permite que el agua penetre el material y se ponga más en contacto con la superficie del material.

Las ventajas de la aplicación de agua incluyen el efecto residual de la supresión de polvo. El material húmedo retendrá su nivel elevado de cohesión (y por lo tanto, la incapacidad de generar polvo) en tanto permanezca húmedo.

Una desventaja de la aplicación de agua es la gran cantidad de agua requerida para humedecer completamente la mayoría de los materiales. El inconveniente es que, como el material húmedo se pega a sí mismo y a los componentes del sistema, la humedad puede crear problemas, incluyendo cribas tapadas con gravilla, obstrucción de chutes y material adherido en la banda. Hasta la eficacia de una quebradora se reduce con el material húmedo. Al diseñar un sistema de manejo de material o considerar la supresión como solución para los problemas de polvo, se debe considerar el efecto de la humedad añadida.

Otra inquietud de la aplicación de agua es la penalización añadida al desempeño por humedecer un producto que se debe calentar o quemar. Las operaciones individuales deben decidir si el costo de polvo fugitivo es mayor que la penalización térmica de la supresión. Una cuestión adicional es que algunos materiales, como el cemento, no se pueden exponer al agua. Se requiere una comprensión muy a fondo del proceso y material de la operación antes de seleccionar un sistema de supresión.

Un método para minimizar la cantidad de agua requerida para la supresión de polvo es mejorar la capacidad del agua para humedecer el material con la adición de un surfactante al abastecimiento de agua. La solución de agua y químicos se aplica como aerosol o espuma. La adición de un surfactante minimizará la cantidad de agua necesaria para hacer el trabajo, pero aumenta sus costos de operación. *(Vea el Capítulo 19: Supresión del polvo).*

REDUCCIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO Y EXPLOSIONES

Riesgo de incendio y explosiones

Según se ha evidenciado en las explosiones de silos en la industria del manejo de grano, las explosiones causadas por polvo son muy poderosas y son un riesgo muy real. En consecuencia, se debe tener extremo cuidado para minimizar este riesgo. En muchos tipos de polvo, una capa asentada del grueso de un sujetador de papeles (sólo 1 milímetro ó 1/32 de pulgada) es suficiente para crear un riesgo de explosión. Una capa de 6 milímetros (1/4 de pulg.) es un problema aún más grande, lo suficientemente grande como para destruir una planta.

Para que haya una explosión causada por polvo, deben estar presentes estos factores: un polvo combustible en la concentración adecuada, un gas que soporte la ignición y una fuente de ignición. Muchos polvos finos, incluyendo químicos, productos alimenticios, fertilizantes, plásticos, materiales de carbón y ciertos metales son altamente combustibles, el primer requisito para una explosión causada por polvo. Por naturaleza, cualquier dispositivo de colección de polvo contiene nubes de estas partículas finas suspendidas en el aire que por sí mismo es un gas que soporta la ignición, el segundo requisito.

En cualquier operación mecánica de manejo de material, existe una gran cantidad de fuentes posibles de ignición, el tercer requisito para una explosión causada por polvo:

A. Fallas mecánicas que causan chispas o fricción de metal a metal
B. Hojas de ventiladores que forman chispas cuando son golpeadas por un objeto extraño
C. Sobrecalentamiento debido a un rodamiento desgastado o una banda que se desliza
D. Llamas abiertas de calentadores de incendio directo, incineradores, calderas u otras fuentes
E. Soldaduras o cortes que causan una ignición de fuente puntual o una caída de partículas calientes (quizá de varios pisos) en una atmósfera inflamable.
F. Descarga de electricidad estática
G. Migración de polvo inflamable en la región caliente de un compresor o un reactor catalítico

Categorizar las explosiones de polvo

Hay varias maneras de ver las conflagraciones relacionadas con el polvo:

A. Fogonazo

Un fogonazo causado por polvo es la ignición repentina de polvo no confinado. Un fogonazo es usualmente localizado y puede causar lesiones o daños significativos. Un fogonazo puede crear las condiciones para una explosión secundaria, lo que puede causar daño catastrófico y lesiones fatales.

B. Explosión

Cuando el polvo está confinado y se enciende, se crea una explosión. Esta rápida explosión de gases generará una sobrepresión significativa y destructiva que incluso pueden demoler el edificio, causando un mayor daño y lesiones.

C. Primaria o secundaria

Una explosión inicial o primaria puede crear explosiones secundarias desestabilizando, dispersando y encendiendo nuevas fuentes de polvo removido a cierta distancia de la explosión original. Las explosiones secundarias pueden ser más destructivas que la explosión primaria, y cada explosión puede causar explosiones secundarias originales.

D. Magnitud

La velocidad y fuerza de una explosión son funciones directas de una característica mensurable llamada índice de deflagración. Las explosiones causadas por polvo pueden ser más peligrosas que las explosiones causadas por gases inflamables.

Mecanismos de control

Cuando los ingredientes (polvo combustible confinado en la concentración adecuada, gas que soporta la ignición y una fuente de ignición) están presentes, se deben tomar precauciones para evitar una explosión.

Estas precauciones incluyen:

A. Inertización

La adición de un gas inerte (típicamente

nitrógeno o dióxido de carbono, en lugar de aire) en el colector

B. Supresión

La adición de un material supresor cuando la presión explosiva empieza a elevarse

C. Escape

La adición de un panel de alivio de explosión o una membrana de explosión que libera la energía de la explosión fuera del confinamiento.

La conexión a tierra adecuada de los sistemas de control de polvo ayudará a reducir el riesgo al aumentar la conductividad a través del sistema, permitiendo que las cargas estáticas se vayan a tierra.

Se aconseja buscar asesoría con los proveedores del equipo para diseñar sistemas de colección de polvo para manejar polvos explosivos potenciales.

Escape

La teoría detrás del escape de explosión es simple. El escape es un muro deliberadamente debilitado que se liberará antes en el aumento de presión creado por temperatura que aumenta rápidamente. Una vez que esta área se abre, el polvo quemado y no quemado y la llama pueden escapar del área confinada, por lo que el contenedor mismo no experimenta el aumento total de presión. Si la liberación es temprana y lo suficientemente grande, la presión permanecerá baja dentro del contenedor para

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Como se observó anteriormente, el polvo en el ambiente es una cuestión de seguridad en sí, pero la operación también debe estar consciente de las cuestiones de seguridad asociadas con su equipo de control de polvo. Además de los riesgos normales de energía latente asociados con cualquier equipo industrial, una operación de material a granel debe estar consciente de la naturaleza potencialmente explosiva de sus soluciones de control de polvo.

Si una operación intenta controlar el polvo para prevenir una explosión, se debe tener cuidado de asegurar que el equipo de control de polvo tenga la clasificación adecuada de uso peligroso para las condiciones esperadas. Cualquier confinamiento o motor eléctrico deben ser resistentes a las chispas o estar clasificados para uso peligroso.

Cuando el aire se mueve a través de medios de filtro, el medio desarrolla una carga estática. Si el medio está cerca de un miembro estructural conectado a tierra, la carga estática podría descargarse como chispa, encendiendo probablemente cualquier polvo inflamable del aire. Los fabricantes de filtros han creado medios que disipan la carga estática a través de una malla de acero inoxidable empotrada en el material del filtro o a través de fibras conductivas de carbón tejidas en el material **(Figura 17.9)**. Estas adiciones permiten que cualquier carga generada por el flujo de aire se mueva al suelo antes de que pueda encenderse con una chispa. Si se usa un filtro en un ambiente explosivo, se debe tener cuidado al seleccionar medios de filtro de descarga estática.

Se deben seguir al pie de la letra los procedimientos de seguridad establecidos para la entrada a espacios confinados, incluyendo los confinamientos de los puntos de transferencia. Se deben realizar los procedimientos adecuados de bloqueo / etiquetado / supresión / comprobación y se deben desactivar el agua, químicos y fuentes eléctricas antes de dar mantenimiento a los sistemas de colección o supresión de polvo.

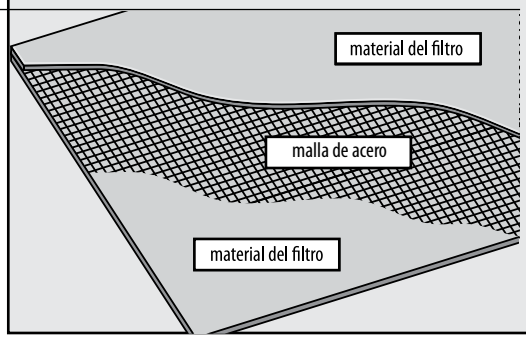


Figura 17.9

Los filtros colectores de polvo deben incluir un hilo conductivo en la tela del filtro para llevar con seguridad cualquier acumulación de estática a tierra.

protegerlo del daño. Sin embargo, el incendio o explosión puede desarrollarse fuera del contenedor, y si hay polvo presente, se puede dañar otro equipo, por lo que los sistemas de escape no eliminan la necesidad de sistemas de control de polvo y altos estándares de limpieza de las instalaciones.

Existen dos tipos de dispositivos de escape de explosión. Los discos de ruptura son paneles delgados que se abrirán más rápido que otros diseños. Deben medirse para soportar la presión negativa normal de operación, típicamente de 2 a 3 kilopascales (0.29 a 0.44 libras$_f$/pulg.^{2}) pero romperse con la presión explosiva positiva. Un diseño usado más ampliamente es la puerta de resortes. Esta puerta (disponible en diseños con o sin bisagras) se abrirá durante una conflagración.

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DE POLVO

Se debe proporcionar un espacio adecuado de acceso y mantenimiento durante la instalación de los sistemas de control de polvo. Se debe considerar la funcionalidad de un sistema de control de polvo al comparar los sistemas antes de la compra. Un colector de polvo puede ser menos costoso que otro, pero la opción menos costosa puede requerir de plataformas elevadoras y la remoción de un muro para cambiar un fusible, mientras que la unidad más costosa puede tener los fusibles en un confinamiento al nivel del suelo. Es por el bien de la operación adquirir un sistema de control de polvo que sea de fácil mantenimiento. Si un componente causa un paro, cada minuto extra que se toma para reparar ese componente afecta la rentabilidad general de la planta.

Las soluciones de control de polvo son usualmente sistemas de componentes múltiples que requieren de entradas múltiples. Un colector de polvo requiere típicamente electricidad y aire comprimido; un sistema de supresión en espuma puede requerir electricidad, aire comprimido, agua y químicos. Con estos sistemas elaborados, hay más partes que pueden desgastarse o romperse. Se debe poner atención especial al sistema de control de polvo en los ciclos

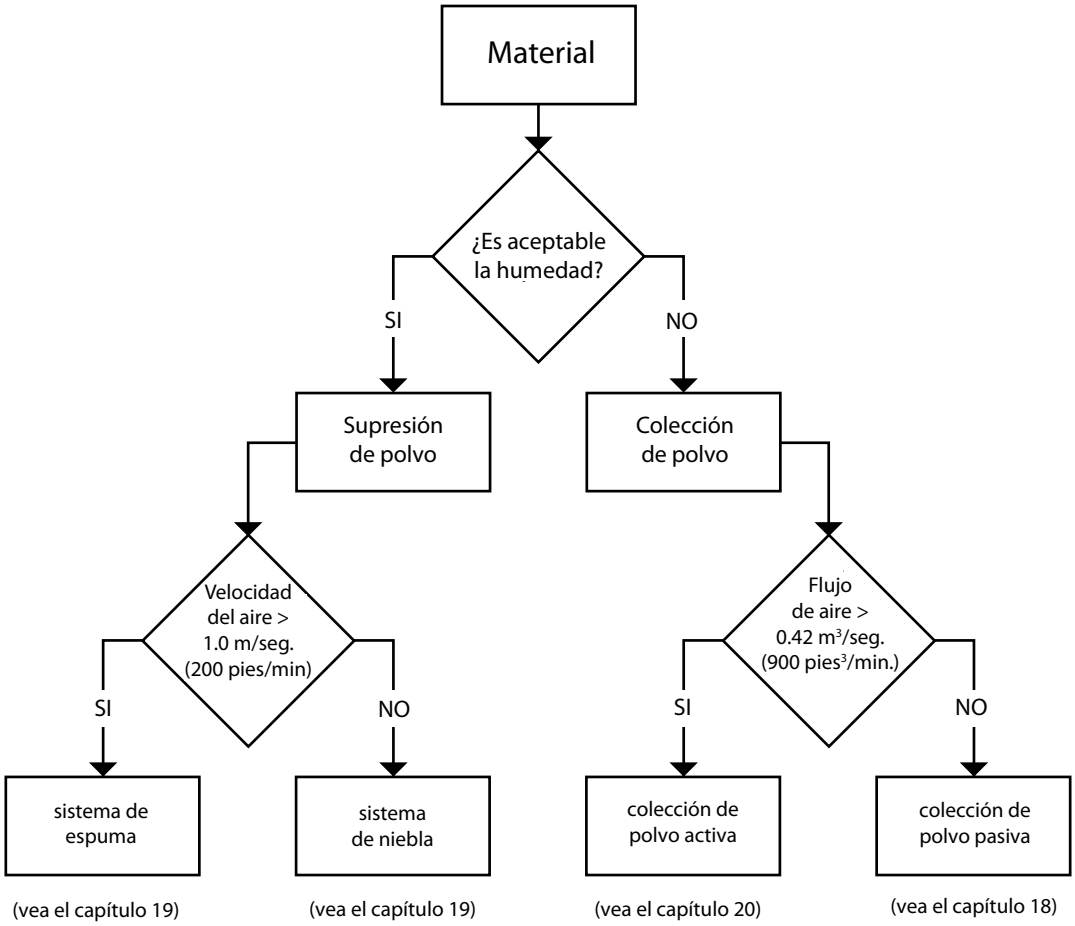


Figura 17.10

Diagrama de flujo del proceso de selección de manejo de polvo

programados de mantenimiento de la operación. La operación tiene que responsabilizarse del requerimiento de servicio o delegarlo a una compañía de servicio de mantenimiento por contrato.

PROCESO DE SELECCIÓN DEL MANEJO DEL POLVO

La selección de la mejor tecnología para el manejo de polvo para igualar los requerimientos de una operación determinada empieza con la comprensión del material y las dimensiones del punto de transferencia del transportador. Existe un método simplificado para determinar qué sistemas serían los adecuados **(Figura 17.10)**.

MANEJO DE POLVO ESPECÍFICO A LA APLICACIÓN

En resumen...

Cada industria tiene sus métodos preferidos de control de polvo que se determinan por la preferencia de la aplicación y las reglamentaciones de la industria o ubicación geográfica.

Los sistemas para controlar el polvo incluyen la contención, la supresión y la colección. Estos sistemas se pueden usar individualmente o en combinación. Existe una gran variedad de técnicas y tecnologías para llevar a cabo cualquiera de estos métodos de control de polvo.

Para poder combatir el polvo exitosamente, cualquier operación de manejo de material a granel debe comprender todos los aspectos de este problema. Estos aspectos incluyen las consecuencias, las fuentes, los métodos de medición y los métodos de control. Una operación debe seleccionar la solución más adecuada basándose en las necesidades de la operación y en las limitaciones de la aplicación. Sin importar la solución que se elija, la operación debe estar consciente de los requerimientos de seguridad y mantenimiento para que su sistema de control de polvo opere eficazmente.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo introdujo la sección Manejo de polvo y dio las generalidades del tema mientras que explicó la importancia de controlar el polvo. Los siguientes tres capítulos continúan la discusión del manejo de polvo, viendo varios aspectos con más profundidad: Control pasivo de polvo, Supresión de polvo y Colección de polvo. Si todas las piezas del sistema de manejo de polvo corresponden de manera adecuada, la operación será más limpia, segura y productiva.

REFERENCIAS

17.1 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*. Naples, Florida.

17.2 Todos los fabricantes y la mayoría de los distribuidores de productos de transportadores pueden proporcionar una variedad de materiales sobre la construcción y el uso de sus productos específicos.

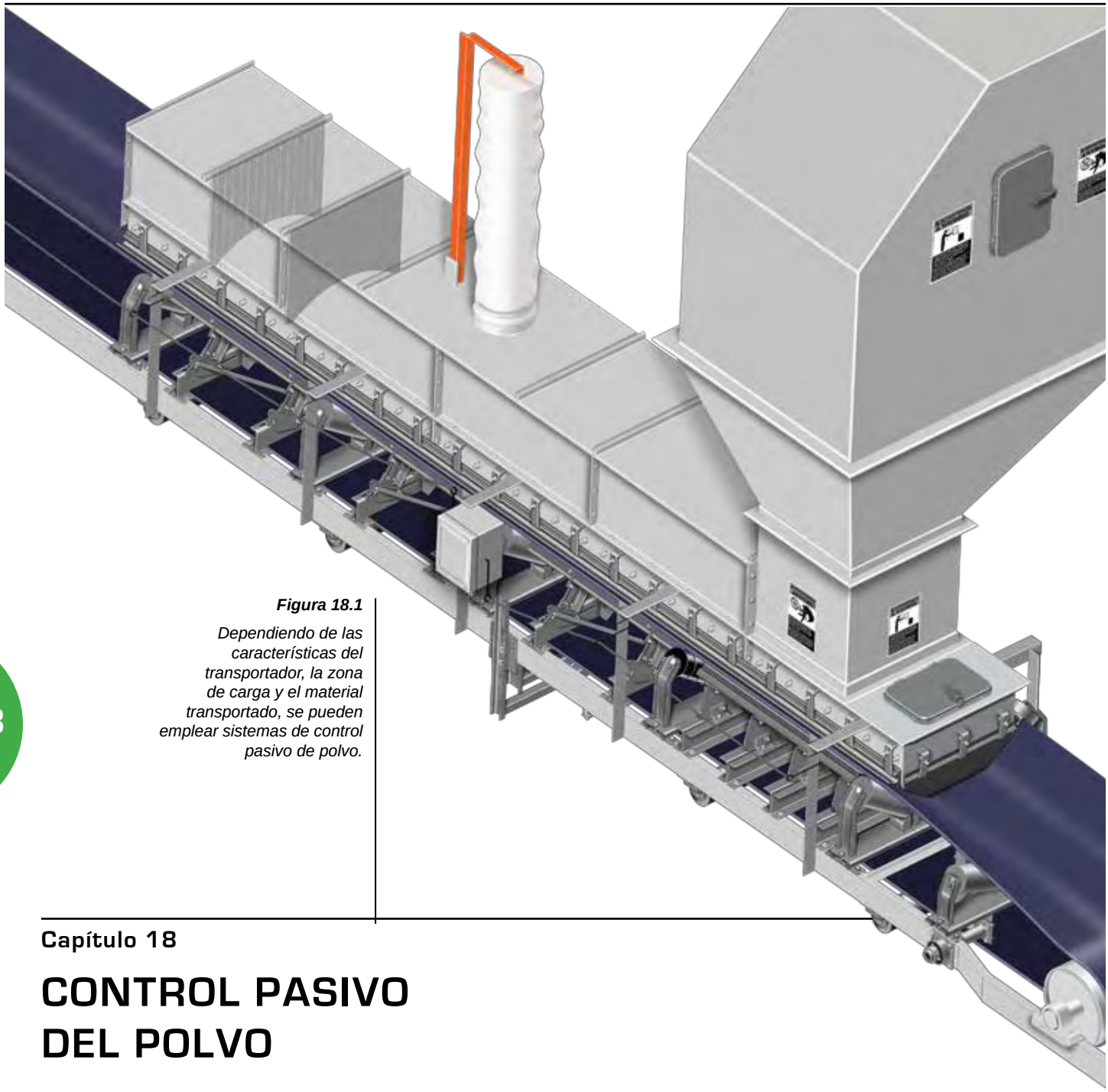


Figura 18.1

Dependiendo de las características del transportador, la zona de carga y el material transportado, se pueden emplear sistemas de control pasivo de polvo.

18

Capítulo 18

CONTROL PASIVO DEL POLVO

Minimización del polvo en los puntos de transferencia 297
Chutes y zonas de asentamiento 297
Control del aire que entra en la transferencia 299
Cortinas de polvo del área de salida 300
Bolsas de polvo 300
Especificaciones típicas 302
Cuestiones de seguridad 302
Temas avanzados 302
Controles pasivos insuficientes 303

En este capítulo...

En este capítulo, discutimos una gran variedad de métodos usados para el control pasivo de polvo que se pueden incorporar al diseño inicial del transportador o añadir después cuando surja la necesidad: métodos para suprimir el polvo y capturarlo. Se incluye información sobre la instalación y las maneras en las que esos métodos se usarían en diferentes aplicaciones.

Las zonas de carga de los transportadores y los puntos de descarga son las fuentes principales de la creación y liberación de polvo en el ambiente. Existe una gran variedad de sistemas para controlar el polvo en el ambiente que se pueden instalar en las zonas de carga y descarga del transportador. La elección del sistema adecuado dependerá de un número de factores, incluyendo la naturaleza del material transportado, la altura de la caída sobre la banda y las velocidades y ángulos de carga y descarga de las bandas.

Dependiendo de las características del transportador, la zona de carga y el material transportado, se pueden emplear sistemas de control de polvo (sistemas que no requieren suministros externos como electricidad o agua) **(Figura 18.1)**.

MINIMIZACIÓN DEL POLVO EN LOS PUNTOS DE TRANSFERENCIA

Aunque es poco probable que el polvo se pueda eliminar completamente, la primera consideración en el control de polvo siempre debe ser la reducción de la cantidad de polvo creado en el ambiente. Por lo tanto, se debe considerar cualquier cambio en el diseño del sistema o técnica de producción que reduzca la cantidad de polvo producido.

Por ejemplo, minimizar la altura de caída reduce la cantidad de energía impartida a las partículas finas y reduce la cantidad de polvo que se va al aire. En consecuencia, es mejor diseñar sistemas de transportador con distancias prácticas mínimas de caída de material.

Ya que generalmente no es posible evitar totalmente la creación de polvo, se deben emplear otros sistemas para suprimirlo y capturarlo. En su forma más simple, estos sistemas de control de polvo no implican más que atención durante el diseño del punto de transferencia para la necesidad de reducir el flujo de aire.

El flujo de aire que pasa por el sistema se puede manejar minimizando la cantidad de aire que entra al punto de transferencia, haciendo el confinamiento lo suficientemente grande para minimizar el flujo de aire y utilizando medidas adicionales de control para desacelerar el movimiento del aire. A medida que se reduce la velocidad del aire, las partículas en el ambiente son muy pesadas para ser sostenidas por la velocidad reducida del aire y empiezan a caer de la corriente de aire.

CHUTES Y ZONAS DE ASENTAMIENTO

Agrandar la zona de asentamiento

Como ejemplo del Principio de Bernoulli, el efecto Venturi es que una corriente de aire se acelera a medida que pasa por una constricción. Esto se debe a la elevación de la presión en el lado de la constricción contrario al viento y la reducción de presión del lado del viento, a medida que el aire sale de la constricción. De acuerdo con este principio básico de la física, para reducir el flujo de aire a través del punto de transferencia, el área confinada se debe agrandar.

En los puntos de transferencia del transportador, esta área confinada se llama zona de asentamiento **(Figura 18.2)**. Una zona de asentamiento es el área que está después del área de impacto de la zona de carga. La longitud de la zona de asentamiento está diseñada para reducir el flujo de aire y permitir que el polvo en el ambiente regrese a la carga principal del material. *(Vea el Capítulo 11: Chutes laterales, especialmente la Ecuación 11.1)* La altura de la

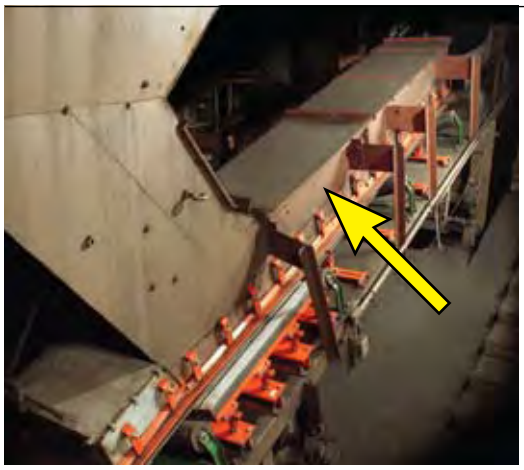


Figura 18.2

Una zona de asentamiento es el área que está después del área de impacto de la zona de asentamiento, donde se reduce la velocidad del flujo de aire y se permite que el polvo en el ambiente regrese a la carga principal de material.

zona de asentamiento debe ser tal que el flujo de aire calculado de la transferencia se reduzca a menos de 1.0 metros por segundo (200 pies/min). *(Vea el Capítulo 11: Chutes laterales, especialmente la Ecuación 11.2)*

Sistemas de paredes de chute de compensación modular

Las áreas del chute lateral pueden fabricarse o alargarse para servir como zonas de asentamiento eficaces a través del uso de sistemas de paredes de chute de compensación modular **(Figura 18.3)**. Estos sistemas usan paneles formados de pared con un método de juego de piezas que se atornillan para combinar la economía de la prefabricación con la facilidad del montaje en la planta. Vienen en tamaños estándar y se pueden combinar para adaptarse a la mayoría de los requerimientos de la zona de asentamiento.

Figura 18.3

Los sistemas de chute de compensación modular usan paneles formados de pared con un método de juego de piezas que se atornillan para combinar la economía de la prefabricación con la facilidad del montaje en la planta.

Figura 18.4

El sistema modular se puede usar para el diseño y construcción de las zonas de asentamiento en un nuevo punto de transferencia o la modificación de los puntos de transferencia existentes.

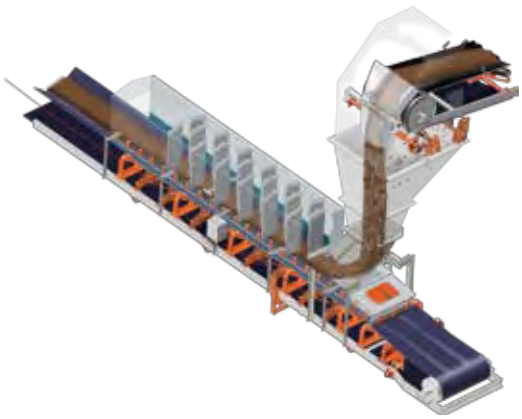


Figura 18.5

Los chutes de flujo diseñados típicamente incorporan un diseño de "cubierta y cuchara" que dirige y confina la corriente de material en movimiento.

Las zonas de asentamiento existentes se pueden alargar fácilmente usando estos sistemas de chute de compensación modular o de chute lateral **(Figura 18.4)**. El sistema modular también se puede usar para el diseño y construcción de las zonas de asentamiento en la construcción de nuevos puntos de transferencia para aprovechar su simplicidad y fabricación fuera de la planta. Los sistemas modulares facilitan la actualización de los sistemas si se requieren alteraciones en los puntos de transferencia por cambios en el material o especificaciones del transportador.

Chutes de flujo diseñados

Un método avanzado para el control de polvo pasivo es el uso de chutes de flujo diseñados. Estos chutes usualmente incorporan un diseño de "cubierta y cuchara" que dirige y confina la corriente de material en movimiento **(Figura 18.5)**.

La cubierta minimiza la expansión del material, desviando la corriente hacia abajo. La cuchara proporciona un chute de carga curvo que da una línea suave de descenso, de esta manera el material se desliza hacia el receptáculo, ya sea un contenedor o la zona de carga de otro transportador. La cuchara "alimenta" el material uniforme y constantemente, controlando la velocidad, dirección y nivel de impacto del material en la zona de carga.

Básicamente, estos chutes de "cubierta y cuchara" mantienen el flujo de material en un perfil estrecho y minimizan la interrupción del flujo natural del material a través de la transferencia. Mantener el material en un cuerpo consolidado reduce la cantidad de aire que se induce en el punto de transferencia; controlar el trayecto del material reduce el impacto y, por lo tanto, la generación de polvo.

Al reducir la velocidad y la fuerza del impacto de material en la zona de carga, para acercarse a la velocidad y dirección de la banda, este sistema mitiga la salpicadura cuando el material cae en el transportador receptor. Por lo tanto, hay menos polvo y aire escapando a gran velocidad. A medida que el material se deposita cuidadosamente en la banda, hay un mínimo de giros o turbulencia del material que está en la

banda. Hay menos impacto, lo que reducirá el daño a la banda, y menos fuerzas laterales que empujen material fuera de los lados de la banda.

En algunos casos, se usa ya sea la cubierta o la cuchara, pero no ambos. A veces no hay espacio suficiente para incluir ambos en el diseño. Para materiales muy adhesivos, se puede usar la cubierta para dirigir la corriente hacia abajo para la carga central. Esta variación se ve a menudo en transportadores terrestres que manejan materiales altamente variables o cuando se manejan materiales pegajosos, como concentrado de níquel o bauxita. La gravedad y el flujo de material tenderán a evitar que haya acumulaciones en la cubierta y que se obstruya el chute. En otros casos con materiales libres, sólo se usa la cuchara para cambiar la dirección de la corriente, para minimizar la abrasión de la banda y la presión del lado del chute lateral. Las cucharas tienden a retroceder o salir si las características de los materiales a granel son variables. Se puede diseñar un margen en la cuchara para la variedad de materiales. La principal desventaja percibida de usar el concepto de "cubierta y cuchara" es el costo inicial de estos componentes especialmente diseñados. Sin embargo, donde se pueden aplicar y dar mantenimiento, ofrecerán beneficios significativos en la reducción de polvo, derrames y desgaste de banda.

Este sistema de "cubierta y cuchara" funciona mejor cuando la velocidad de flujo de material a granel se mantiene lo más uniforme posible. El éxito de este sistema puede eliminar la necesidad de los sistemas de colección de polvo activos en muchas operaciones. *(Vea el Capítulo 22: Chutes de flujo diseñados).*

CONTROL DEL AIRE QUE ENTRA EN LA TRANSFERENCIA

La carga de material empieza a extenderse a medida que sale de la polea de cabeza, y a medida que se esparce, trata de atraer más aire. Por lo tanto, el área de entrada del chute debe sellarse tanto como sea posible para prevenir que se produzca más aire por la corriente de material en movimiento.

Una técnica empleada para minimizar el aire inducido es cubrir la porción de entrada del transportador varios pies antes de que entre en el chute de cabeza (descarga). Este confinamiento incluye barreras entre los lados de carga y de retorno de la banda, entre el lado de retorno de la banda y el chute y entre el chute y la parte superior de la carga de material **(Figura 18.6)**. A menudo estas barreras se hacen de hojas o cortinas de caucho. La idea es cerrar tanta área como sea práctico para reducir la cantidad de aire que será atraído al flujo de material a medida que el material se esparce cuando se descarga de la polea de cabeza.

Deben considerarse los transportadores soportados por aire, porque tienen la ventaja de tener un lado de carga confinado, lo que restringirá el flujo de aire en el chute de descarga. Utilizar barreras para bloquear el flujo de aire en el chute de descarga reducirá la capacidad del material que se esparce de retener el aire en la corriente de material, aire que eventualmente sería liberado cuando la corriente de material caiga en otra banda, contenedor de almacenamiento o pila de reservas. Es igualmente importante controlar todas las demás aberturas del chute para minimizar las áreas abiertas donde puede atraerse el aire, o expulsarse el polvo del chute. Deben sellarse las puertas de acceso y las aberturas alrededor de los ejes y sensores.

Una técnica para reducir la inducción de aire de la entrada de la banda a una zona de carga es la instalación de una barrera (a menudo formada de una cortina de polvo, bandas usadas o una hoja de caucho) entre el trayecto de retorno y el trayecto de carga. Colocada de un extremo a otro del chute de cabeza, la barrera confina parcialmente la polea de cabeza, aislándola y reduciendo el flujo de aire. Se deben sellar todas las aberturas de la polea de cabeza para reducir el aire inducido tanto como sea posible. Esto podría incluir los sellos de eje, puertas de inspección, aberturas de limpiador de banda y áreas de entrada y salida de la banda.

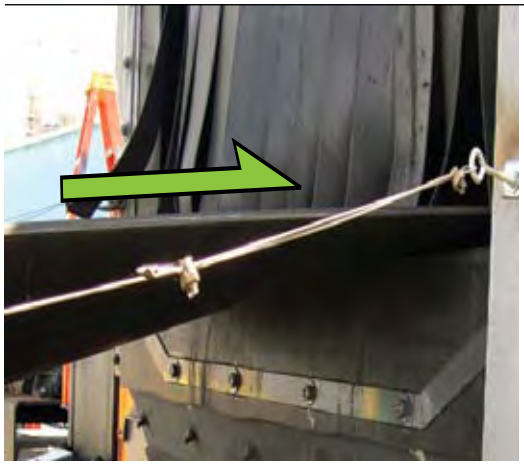


Figura 18.6

Las cortinas de caucho se pueden usar para formar barreras para prevenir la entrada de aire alrededor de la banda transportadora a medida que entra al sistema de transferencia.

CORTINAS DE POLVO DEL ÁREA DE SALIDA

Otra técnica para el control pasivo de polvo es la instalación de cortinas de polvo cerca del extremo de salida del área de la zona de asentamiento del punto de transferencia **(Figura 18.7)**. Aquí, donde la banda sale del punto de transferencia, las cortinas de caucho proporcionan una barrera, o deflector que reduce las velocidades de aire, permitiendo que el polvo en el ambiente caiga de nuevo en la banda. Las cortinas forman una "zona de asentamiento" que reduce el flujo de aire y permite que el polvo se asiente.

La mayoría de los transportadores se benefician de la instalación de por lo menos dos cortinas. Algunas instalaciones, especialmente aquellas donde los sistemas de colección o supresión de polvo deben aislarse, pueden beneficiarse de la instalación de cortinas adicionales.

Estas cortinas de caucho se pueden fabricar como cortinas individuales tan anchas como el chute lateral; o se pueden fabricar como una fracción del ancho del chute lateral y después instalarse de manera alternada, o "intercalada" para desacelerar el flujo de aire **(Figura 18.8)**.

Estas cortinas deben estar compuestas de elastómero de 60 a 70 shore y extenderse aproximadamente 25 milímetros (1 pulg.) de la parte superior de la pila de producto transportado en la banda. Las cortinas se instalan a través de la parte superior del confinamiento del punto de transferencia. Las cortinas a menudo se recortan para igualar los ángulos de canal y el perfil de la carga de material.

En lugar de colocar las cortinas al final del chute de compensación cubierto, es mejor que se instalen dentro del chute lateral cubierto a una distancia de 300 a 600 milímetros (12 a 24 pulg.) del extremo del chute de compensación. Mientras mayor sea la velocidad de la banda, más adentro del chute de compensación deben instalarse. Cuando la cortina está al final del confinamiento de acero, cualquier partícula de material que sea golpeada por la cortina puede ser desplazada de la banda. Al colocar las cortinas de manera que la última cortina esté dentro del extremo del confinamiento, cualquier material que se ponga en contacto con las cortinas aún tiene espacio para asentarse en un perfil estable dentro de los confines del área de confinamiento. Las cortinas deben colgarse apenas a 450 milímetros (18 pulg.) de separación, formando un área donde el polvo pueda asentarse o donde se puedan aplicar sistemas de colección o supresión de polvo. El uso de cortinas dobles para polvo en combinación con sistemas de supresión de polvo es una tecnología patentada de The Raring Corporation (página web: raringcorp.com). Si se usan cortinas para aislar las instalaciones de supresión o colección de polvo, es mejor si se ubican a 900 milímetros (36 pulg.) de separación.

En casos donde se instalan dos o más cortinas, las cortinas interiores pueden ser de caucho sólido (sin ranuras) para mejorar la capacidad del control de aire. Sólo la cortina final, o de salida, debe estar ranurada para reducir el riesgo de que el material sea "lanzado" de la banda.

Las cortinas deben permitir un fácil acceso de mantenimiento al chute y deben ser fácilmente removibles para permitir su reemplazo.

Figura 18.7

Otra técnica para el control pasivo de polvo es la instalación de cortinas de polvo cerca del final del chute de compensación, en el extremo de salida de la zona de asentamiento del punto de transferencia.

Figura 18.8

Se pueden fabricar cortinas de polvo como una fracción del ancho del chute lateral y después instalarse de manera alternada o "intercalada" para reducir el flujo de aire.

BOLSAS DE POLVO

Es importante que la presión positiva de aire (la fuerza del aire que se mueve a través y lejos de la zona de carga) sea controlada de una manera que reduzca la presión del aire hacia el exterior contra el sistema de faldón y reducirá la liberación de polvo.

Un método pasivo es la instalación de por lo menos una bolsa de filtro colector de polvo **(Figura 18.9)**. Las bolsas de polvo pueden protegerse del clima y aún proporcionar un método de colección de polvo sin la necesidad de un sistema central de colección de filtros de manga; a menudo se usan cuando no es posible agrandar una zona de asentamiento o hay una gran cantidad de aire generado para controlar. Estas bolsas filtran el aire saliente para minimizar el escape de polvo en el ambiente de la planta. Estos sistemas consisten de un puerto abierto en el techo de la sección del chute lateral con una bolsa, media o manga de filtro estirada sobre la parte superior del puerto **(Figura 18.10)**. Estas bolsas pueden unirse con una simple abrazadera al borde del puerto. La presión positiva de aire se libera a través de la bolsa de polvo, y el polvo se captura dentro de la bolsa. Un punto de transferencia puede requerir la instalación de más de una de estas bolsas de polvo, dependiendo del tamaño y la permeabilidad de la bolsa y el flujo de aire del punto de transferencia.

Las bolsas de polvo usualmente tienen una ranura en la parte superior de la bolsa, lo que les permite colgarse de los soportes aéreos **(Figura 18.11)**. Mientras que la bolsa podría extenderse sin el brazo de soporte, puede estar sujeta al viento o voltearse de lado, quedando vulnerable al daño. En instalaciones en las que estas bolsas de alivio de presión están sujetas a influencias ambientales, como nieve o lluvia, las bolsas se deben instalar en un cobertizo de protección.

Cada bolsa tiene una cierta capacidad de flujo de aire basada en la permeabilidad del material del filtro y el área de superficie de la bolsa. El tamaño y número de bolsas requeridas está directamente relacionado con las propiedades de la bolsa. *(Vea Temas avanzados: Calcular el tamaño de una bolsa de polvo).*

Una bolsa de polvo típicamente se instala en un punto a un tercio de la longitud del chute de transferencia que desciende de la zona de carga. Se recomienda la instalación de cortinas de polvo dentro del área del chute lateral, una a cada lado de la bolsa, porque eso reducirá la velocidad del flujo de aire, permitiendo que salga más aire a través de la bolsa de polvo.

Se debe tener cuidado para asegurarse de que haya un espacio adecuado sobre el chute de compensación para permitir la extensión completa de la bolsa y la instalación de su estructura de soporte. El polvo se puede liberar desde la bolsa de filtro mecánicamente, sacudiéndola manualmente, o hasta por el colapso parcial de la bolsa cuando el flujo de aire se detiene durante los paros en producción del transportador.

Las bolsas de polvo pueden generar una carga estática cuando se usan. Esta carga podría causar una chispa, que podría provocar una explosión si las condiciones están predispuestas a ello. Para combatir este fenómeno, los fabricantes de bolsas tejen una red de acero inoxidable en el material y la conectan a tierra para disipar cualquier carga que se acumule.

Figura 18.9

Las bolsas de polvo se pueden proteger del clima y aún proporcionar un método de colección de polvo sin la necesidad de un sistema central de colección de filtros de manga.

Figura 18.10

Las bolsas de polvo consisten de un puerto abierto en el techo de la sección del chute lateral con una bolsa, media o manga de filtro estirada sobre la parte superior del puerto.

Figura 18.11

Las bolsas de polvo usualmente tienen una ranura en la parte superior de la bolsa, lo que les permite colgarse de los soportes aéreos.

Esta disipación también se puede lograr tejiendo fibras conductivas de carbón en la tela. Si existe potencial de polvo explosivo, se deben usar bolsas de polvo disipadoras de estática.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

A. Bolsas de polvo

El recubrimiento del chute lateral puede adaptarse con una (o más) bolsas de polvo para liberar el exceso de flujo de aire positivo y capturar el polvo en el ambiente. Cada bolsa se medirá para liberar 0.5 metros cúbicos por segundo (1000 pies^3/min.) de flujo de aire en el punto de transferencia. La bolsa se colocará sobre un puerto en el techo del chute lateral y se colgará de un brazo de soporte unido al recubrimiento. La bolsa incorporará una tecnología de disipación estática para reducir el riesgo de una explosión causada por polvo. La tela usada en la bolsa será adecuada para el material a granel que se maneje.

B. Cortinas de polvo

La zona de asentamiento del chute de compensación será adaptada por lo menos con dos cortinas de polvo para reducir los incrementos súbitos del flujo de aire y aumentar la longitud del trayecto del flujo de aire. Las cortinas serán fabricadas de caucho de elastómero y colgarán del recubrimiento del chute lateral. La parte inferior de las cortinas se ajustará para igualar el ángulo de canal del transportador y el perfil del material de la banda. Las cortinas de polvo tendrán un espacio de 450 milímetros (18 pulg.) de separación, y la cortina final se montará no más cerca de 300 a 600 milímetros (12 a 24 pulg.) de la salida del chute lateral.

C. Zona de asentamiento

La zona de asentamiento se hará de materiales adecuados para el material a granel que se va a manejar. La longitud y altura de la zona de asentamiento se calculará para reducir la velocidad del aire del punto de transferencia a menos de 1 metro por segundo (200 pies/min.). *(Vea el Capítulo 11: Chutes laterales, especialmente las Ecuaciones 11.1 y 11.2)*

TEMAS AVANZADOS

Calcular el tamaño de una bolsa de polvo

Las bolsas pueden sacar una cantidad de aire finita por intervalo de tiempo. Este índice de flujo de aire es proporcional a la permeabilidad del medio de filtro y el área de la bolsa.

El proceso para medir una bolsa de polvo para una aplicación es como sigue:

18

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Para reducir el riesgo de explosiones, la tela de la bolsa de polvo puede tejerse para incorporar un alambre de conexión a tierra dentro del tejido de la tela **(Figura 18.12)**. Estos alambres pueden llevar cualquier carga eléctrica estática a tierra. Los alambres proporcionan resistencia eléctrica baja, de acuerdo con el Estándar Deutsches Instit für Normung (DIN) 54345 Partes 1 y 3. Dependiendo de su ubicación y acceso, podría ser necesario usar procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación en el transportador antes de dar servicio a las bolsas de polvo. Si el polvo que se va a colectar es un riesgo para la salud, se debe usar el equipo adecuado de protección personal (PPE) y se deben seguir los métodos adecuados de desecho.

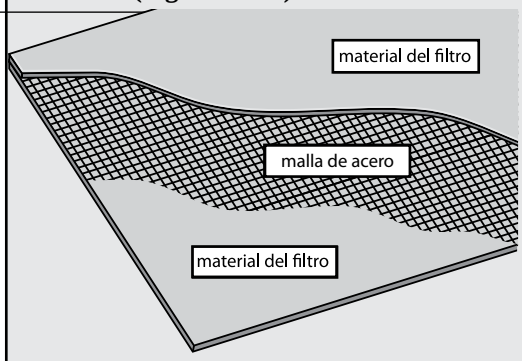


Figura 18.12

Para reducir el riesgo de explosiones, la tela de la bolsa de polvo puede tejerse para incorporar un alambre de conexión a tierra dentro de la tela.

A. Determinar el flujo de aire. Se puede medir o calcular. *(Vea el Capítulo 7: Control del aire para más información sobre el flujo total de aire y específicamente la Ecuación 7.1 – Cálculo del flujo total de aire).*

B. Aplicar un factor de seguridad razonable al flujo de aire.

C. Seleccionar el medio de filtro que permitirá que pase el aire pero detendrá el polvo presente en una aplicación.

D. Verificar la necesidad de una tela disipadora de estática.

E. Encontrar el área de la tela dividiendo el flujo de aire requerido entre la permeabilidad de la tela **(Ecuación 18.1)**.

F. Diseñar la bolsa para tener el área requerida y adecuarla a la geometría de la aplicación. Esta área se puede lograr con una sola o múltiples bolsas.

CONTROLES PASIVOS INSUFICIENTES

En resumen...

Ya que realmente no es posible evitar totalmente la creación de polvo, pueden emplearse exitosamente métodos de control pasivo de polvo para suprimir y capturar el polvo. Hay una variedad de métodos disponibles, y el uso de cualquier sistema depende de las características del transportador, la zona de carga y el material transportado.

Sin embargo, existen muchos sistemas de manejo de materiales en los que las condiciones de material o el diseño del proceso requerirán sistemas adicionales de control de polvo. Estos sistemas requerirán tecnologías de manejo activo de polvo, incluyendo sistemas de supresión o colección de polvo. La elección de la colección o supresión de polvo se determinará por otros criterios, incluyendo el material, cómo se mueve y el siguiente paso en el proceso. *(Vea el Capítulo 19: Supresión del polvo y Capítulo 20: Colección del polvo, para más información).*

Mirando hacia adelante...

Este capítulo, Control pasivo del polvo, el segundo capítulo de la sección Manejo del polvo, describió métodos de control de polvo que no requieren suministros externos como electricidad o agua. Los dos siguientes capítulos continúan esta sección y describen los métodos para el control activo de polvo: Supresión del polvo y Colección del polvo.

$$A = \frac{SF \cdot Q_{tot}}{P_f}$$

Ecuación 18.1

Cálculo del área de la bolsa de filtro

Dado: *Una bolsa de polvo debe disipar 0.25 metros cúbicos por segundo (540 pies³/min.). La permeabilidad del material es de 0.127 metros por segundo (25 pies/min.). Asuma un factor de seguridad de 1.25.* ***Calcular:*** *El área del medio de filtro requerido.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
A	Área de la bolsa de filtro	metros cuadrados	pies cuadrados
SF	Factor de seguridad	1.25	1.25
Q_{tot}	Flujo de aire total	0.25 m³/s	540 pies³/min
P_f	Permeabilidad	0.127 m/s	25 pies/min

Métrico: $A = \frac{1.25 \cdot 0.25}{0.127} = 2.5$

Imperial: $A = \frac{1.25 \cdot 540}{25} = 27$

A	Área de la bolsa de filtro	2.5 m²	27 pies²

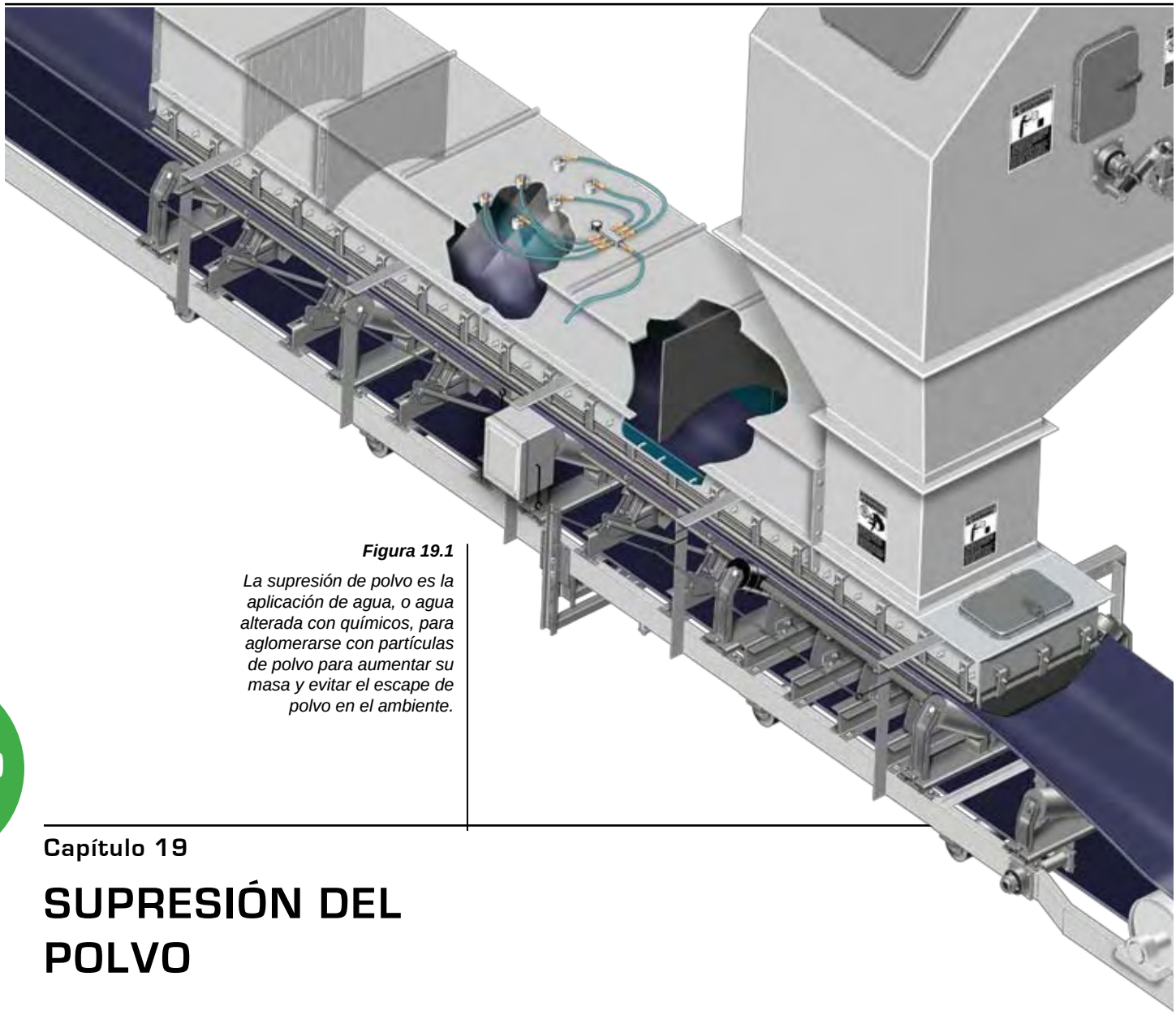


Figura 19.1

La supresión de polvo es la aplicación de agua, o agua alterada con químicos, para aglomerarse con partículas de polvo para aumentar su masa y evitar el escape de polvo en el ambiente.

19

Capítulo 19

SUPRESIÓN DEL POLVO

Supresión del polvo 305
Supresión con agua 307
Supresión con niebla 309
Adición de químicos 311
Supresión con espuma 313
Químicos residuales 314
Sistemas y colocación 316
Cuestiones de seguridad 317
Mantenimiento del sistema 317
Especificaciones típicas 318
Aplicaciones típicas de supresión del polvo 318
Temas avanzados 321
Supresión del polvo: una pieza del rompecabezas 321

En este capítulo...

Este capítulo examina varios tipos de sistemas de supresión de polvo, incluyendo agua o sistemas de aspersión de agua, de espuma y de niebla alterados con aditivos. Se abordan las ventajas y desventajas de los sistemas, así como instrucciones generales para aplicar los diferentes métodos. Este material tiene como objetivo ser descriptivo, en lugar de prescriptivo. Cualquier aplicación de esta información debe ser guiada por profesionales con experiencia que tengan conocimiento de la aplicación específica.

La supresión de polvo es la aplicación de agua, o agua alterada con químicos, para aglomerarse con partículas de polvo para aumentar su masa y evitar el escape de polvo en el ambiente. El agua, o la mezcla de agua/químicos, se puede aplicar ya sea a un cuerpo de material, para evitar que a las partículas finas se las lleve el aire, o al aire que está sobre el cuerpo de material, para crear una cortina o barrera que regrese las partículas finas del ambiente humedecidas al material.

Hay una gran variedad de sistemas que se usan para este propósito, que van desde sistemas de aspersión de agua de "manguera de jardín" hasta sistemas sofisticados, diseñados y automatizados que aplican agua (con o sin químicos), como aspersor, espuma o niebla. **(Figura 19.1)**.

Una ventaja de los sistemas de supresión de polvo es que el material tratado no tiene que manejarse de nuevo para ser reprocesado, como se haría con un sistema de colección de polvo. El polvo suprimido se regresa al cuerpo principal de material transportado y después continúa en el proceso sin requerir que un equipo adicional de manejo de material recupere el material.

Un sistema de supresión de polvo no puede recomendarse en ningún caso en el que el material reaccione adversamente a la adición de humedad o al regreso de polvo al proceso.

SUPRESIÓN DEL POLVO

Evaluar las opciones

La selección de la mejor solución de control de polvo para cada aplicación depende de una gran cantidad de factores. La clave es la comprensión del material, las condiciones de aplicación y el nivel de desempeño requerido.

Hay algunas directrices generales sobre la aplicabilidad de los diferentes métodos de supresión de polvo **(Tabla 19.1)**.

Se deben revisar los costos de instalación y los costos de operación continua de energía, químicos y mantenimiento. Otra consideración en la selección del sistema es la disponibilidad de recursos como agua, aire comprimido y energía eléctrica.

Un simple aspersor de agua puede representar los costos más bajos de operación, pero también puede ser la solución menos eficaz.

El tamaño importa

El principio básico de los sistemas de supresión de polvo es que es más probable que las partículas de polvo (ya sea en el ambiente o contenido en el cuerpo de los materiales a granel que se están manejando) interactúen con partículas de agua del mismo tamaño relativo.

Cuando las gotas de agua se mezclan y se aglomeran con las partículas de polvo, las partículas combinadas resultantes más pesadas caen de nuevo al cuerpo del material. Para una máxima eficacia, las gotas de agua de un sistema de supresión de polvo deben mantenerse dentro del rango del tamaño específico del polvo en el ambiente. Si las gotas de agua son demasiado grandes, las partículas de polvo más pequeñas típicamente sólo se "deslizarán" alrededor de ellas, siendo empujadas por el aire que está alrededor de las gotas **(Figura 19.2)**. Si las gotas de agua son del tamaño adecuado y se proporcionan en cantidad suficiente para el área determinada, las gotas se unirán a las partículas de material y caerán del aire.

La clave es producir gotas en el sistema de supresión de polvo del mismo tamaño de las partículas de polvo y en la misma proximidad para ofrecer la mejor oportunidad para una máxima interacción entre las dos. Con los sistemas de aspersión de agua más simples, se crean pequeñas gotas de agua adicionales al rociar más agua. Mientras más agua se rocíe, mayor será la oportunidad de que se creen gotas

Tabla 19.1

Matriz de la aplicación de supresión del polvo

Tipo de sistema de supresión de polvo	Aplicaciones que tienen:						
	Punto de transferencia	Quebradoras y molinos	Pilas de reserva	Estación de vertedero de vagones	Transportadores viajeros	Carga de barcos	Descarga de barcos
Aspersor de agua	X			X			
Niebla de agua	X						
Agua y niebla de aire	X			X		X	
Agua y aspersor surfactante	X		X	X	X	X	X
Espuma	X	X	X		X	X	
Supresión de polvo de sistema híbrido y colección pasiva de polvo	X	X					
Supresión de polvo de sistema híbrido y colección activa de polvo	X	X		X			X

Notas: *El agua y un aspersor y espuma surfactante son mejores cuando se necesita un efecto residual (puntos de aplicación múltiple, quebradoras, largas distancias entre puntos de aplicación, apiladores, etc.). El aspersor de agua, la niebla de agua y la niebla de aire son mejores cuando no se requiere un efecto residual. Algunos tipos de materiales y/o procesos no permiten la adición de ningún químico.*

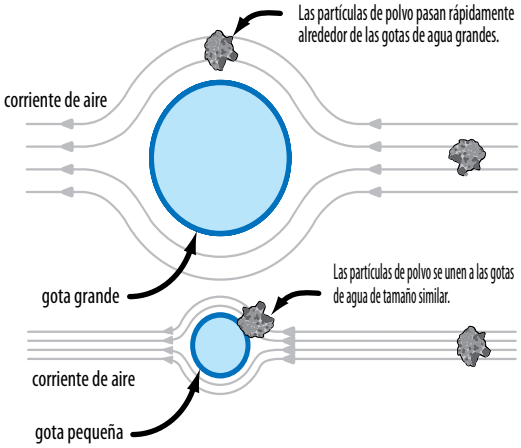
19

de agua del tamaño adecuado. Los sistemas de aspersión de agua y surfactantes mejoran la eficacia de captura controlando la capacidad de humedecimiento del agua a través de la adición de surfactantes. Estos agentes que actúan en la superficie hacen que el agua esté más "húmeda", aumentando la eficacia de la captura de polvo, permitiendo así una reducción del agua abastecida. Los sistemas de supresión de niebla y espuma dependen de otros métodos, atomización y químicos respectivamente, para crear las gotas pequeñas necesarias para capturar eficazmente el polvo.

Un ingrediente crítico en la selección de un sistema de supresión de polvo es la comprensión de las características de los materiales que se manejan. Algunos materiales, como el cemento, son incompatibles con el agua; por lo tanto, se debe evitar la supresión. Las partículas de polvo de algunos materiales se unen fácilmente con el agua, mientras que las partículas de otros materiales, no. La adición de un surfactante químico puede mejorar la capacidad del agua de unirse con estos materiales normalmente hidrofóbicos. Se debe consultar con un proveedor de químicos inhibidores para determinar la eficacia de un químico determinado con cualquier material específico. Se debe obtener un conocimiento profundo de las ramificaciones de la adición de humedad al material y al proceso antes de la implementación de cualquier método de supresión de polvo.

Figura 19.2

Las partículas de polvo se pueden "deslizar" alrededor de las gotas de agua más grandes pero unirse fácilmente a las gotas de tamaño semejante.



SUPRESIÓN CON AGUA

Supresión con agua

Quizá el método más antiguo para controlar el polvo fugitivo es la aplicación de agua rociada sobre el cuerpo del material. Al mojar las partículas finas mientras están en los materiales a granel, o a medida que se las lleva el aire, aumenta el peso de cada partícula, siendo menos probable que la partícula se vaya o se quede en el ambiente. La humedad aumenta la fuerza de cohesión entre las partículas de polvo, haciéndolas más propensas a aglomerarse, creando grupos de partículas más grandes y pesadas y dificultando que el movimiento del aire se lleve las partículas. Esto es más eficaz cuando se aplica el agua a través de una serie de boquillas de aspersión del tamaño adecuado en un punto en el que el material se expande y capta aire, como durante la descarga de la polea de cabeza en un chute de transferencia.

También se puede aplicar agua para crear una "cortina" alrededor de un punto de transferencia. Las partículas de polvo que se van al ambiente entrarán en contacto con esta "barrera" de agua, aumentando su masa, removiéndolas de la corriente de aire.

Los aspersores de agua más eficaces son los sistemas de baja velocidad. Los aspersores de alta velocidad pueden añadir velocidad al aire y a las partículas de polvo que están en el aire. Esta energía es contraproducente a la tarea de regresar el polvo al cuerpo del material.

Los pros y contras de los aspersores de agua

Los sistemas de supresión de agua se vuelven más sofisticados a medida que la ingeniería avanza más allá de la tecnología de "manguera" en el esfuerzo por mejorar los resultados. La eficacia de los sistemas de aspersión de agua depende de la velocidad del agua aplicada, el tamaño de las gotas, el tamaño de la abertura de la boquilla y la ubicación y cantidad de boquillas de aspersión. Las técnicas para mejorar la supresión de polvo con aspersión de agua incluyen la reducción en el tamaño de las gotas, el aumento en la frecuencia de las gotas o la disminución de la tensión de la superficie de las gotas, facilitando que las gotas se unan con las partículas de polvo.

Los sistemas de aspersión de agua ofrecen algunas ventajas. Los sistemas de aplicación son relativamente fáciles de diseñar y operar. El agua es generalmente económica, relativamente fácil de obtener y generalmente segura para el ambiente y para los trabajadores que están expuestos a ella. Los sistemas de supresión de polvo que utilizan agua son sistemas relativamente simples y no requieren el uso de cubiertas o confinamientos costosos y elaborados. Se pueden hacer cambios después del arranque con gasto y paros en producción mínimos. Los sistemas de supresión de agua son fáciles de instalar, están menos sujetos a problemas por el viento o velocidad del aire, y, debido a los grandes orificios en sus boquillas aspersoras, normalmente no requieren agua filtrada. Los sistemas son típicamente más económicos de instalar y usan mucho menos espacio que los sistemas de colección de polvo "secos".

Desafortunadamente, la aplicación de agua también tiene varios inconvenientes. Las restricciones en el consumo de agua dulce son comunes en los permisos de operación de minas, así como en muchas otras operaciones industriales. La mayoría de los sistemas de supresión de agua deben usar agua reciclada del proceso, en lugar de agua potable más costosa (agua para beber). Esta agua del proceso puede tener contaminantes o químicos que pueden obstruir o corroer los componentes del aspersor. El uso de agua puede promover la corrosión acelerada de las estructuras del transportador y sus componentes.

Otra desventaja es que el agua tiene sólo un efecto residual mínimo: una vez que el agua se evapora, el efecto de supresión de polvo desaparece. Además, las gotas grandes de agua no son buenas para pegarse a las partículas de polvo pequeñas: para aumentar el resultado, a menudo se aplica más agua, lo que puede crear problemas de eliminación y limpieza.

Se añaden varios niveles de humedad en los sistemas típicos de supresión de polvo **(Tabla 19.2)**.

Con el agua, menos es más

Un aspersor de agua puede parecer la forma más económica disponible de control de polvo, ya que el agua del proceso es casi gratuita en muchas operaciones y se puede aplicar a través de sistemas de baja tecnología. Esta justificación del costo puede ser una falsa suposición, ya que la adición de agua puede

afectar negativamente a las operaciones de manejo de materiales. Muchos materiales a granel son hidrofóbicos, tienen una tensión de superficie alta y son renuentes a combinarse con agua. En un esfuerzo para lograr una supresión eficaz, se aumenta la cantidad de agua. Como el material no se mezcla bien con agua, algunas partículas se quedarán secas y otras se humedecerán mucho. El material seco continuará creando polvo, posiblemente causando la adición de aún más agua, empeorando el problema. El material demasiado húmedo causará problemas de manejo, incluyendo acumulaciones en los chutes de compensación, cribas obstruidas, eficacia reducida y una vida útil reducida en las quebradoras y material adherido en las bandas transportadoras. El exceso de agua puede promover deslizamiento y desalineamiento de la banda, y puede aumentar la posibilidad de que las partículas finas húmedas (y por lo tanto pegajosas) se acumulen en los chutes y alrededor del punto de transferencia. En la aplicación de agua a los materiales en los sistemas de transportador, un buen axioma es “menos es más”.

Otro problema que ocurre en los sistemas de supresión de polvo de "agua del proceso" es la posibilidad de humedad excesiva en los materiales, que puede reducir el desempeño en los sistemas de generación de energía u otros procesos térmicos. El agua añadida en exceso al carbón y al coque usado como combustible para calentadores causa una penalización térmica que puede tener un efecto perjudicial en los índices de calor. Mientras más agua se añade, mayor es la penalización.

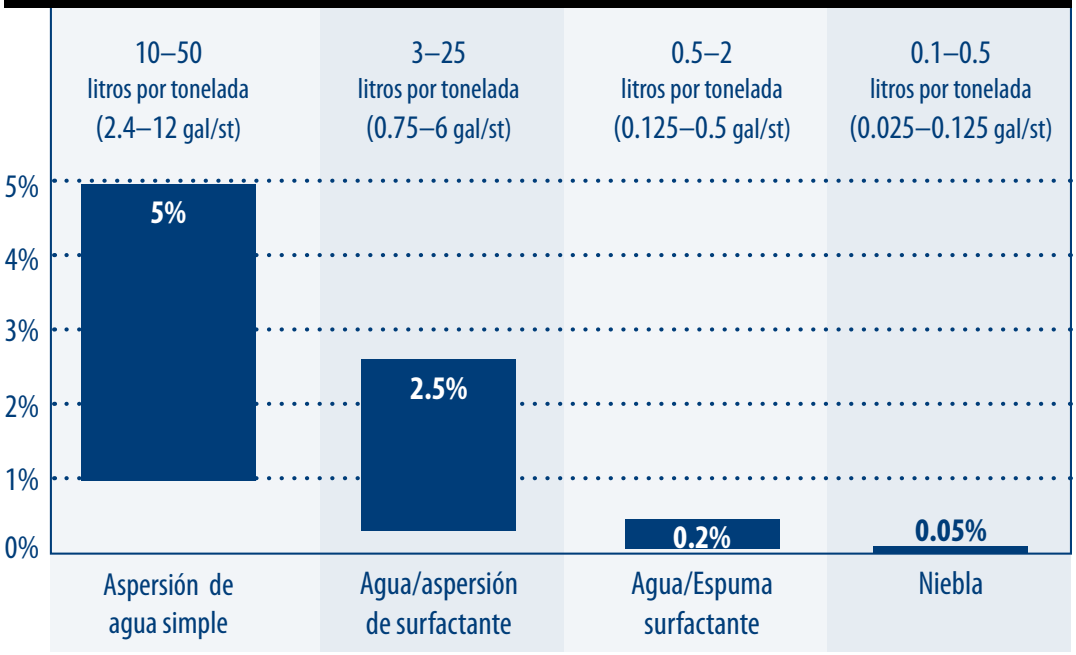
La penalización térmica por humedad añadida

Existe una penalización de desempeño considerable añadida a la combustión y a otros procesos térmicos cuando el contenido de agua del combustible aumenta significativamente. En aplicaciones como las plantas de energía a carbón y las plantas de cemento, el agua añadida al material que va al proceso debe ser "quemada" por el proceso. Esto puede reducir dramáticamente la eficacia de la operación y aumentar los costos de combustible.

Algunos materiales a granel son susceptibles de variar naturalmente los contenidos de humedad por su exposición al clima de almacenamiento o durante el transporte. Muchos materiales a granel, como el carbón, son higroscópicos, lo que significa que pueden absorber la humedad del aire. El carbón tiene

19

Tabla 19.2 **Índices típicos de adición de humedad para los sistemas de supresión del polvo**



Tipos de sistemas de supresión de polvo

la capacidad de absorber la humedad a niveles que van de 2 a 45 por ciento de su peso. Esta absorción ocurre rápidamente, con un 1.5 a 5.5 por ciento de aumento de peso en los primeros 15 minutos de exposición. Un estado estable ocurre en 3 a 5 días de exposición. A menudo estos cambios naturales son mucho más significativos que la cantidad de agua añadida por un sistema de control de polvo bien diseñado y mantenido. Cualquier agua que se añade puede representar un costo extra para el sistema y afectar el índice de calor y eficacia de la planta; por lo tanto, se deben considerar los esfuerzos para minimizar la adición de humedad.

Con la emisión térmica del carbón que va desde los 16300 kilojoules por kilogramo (7000 BTU/libras$_m$) en el lignito a 27900 kilojoules por kilogramo (12000 BTU/libras$_m$) en el carbón bituminoso, una planta de energía pierde apenas el calor de 1 a 1.5 kilogramos por tonelada (1.9 a 3.3 libras$_m$/st) por cada uno por ciento de la humedad añadida en la operación de manejo de carbón. La planta debe adquirir, manejar y quemar combustible adicional para compensar la humedad añadida. *(Vea Temas avanzados: Penalización térmica en una planta de energía a carbón).*

Mejorar la supresión de agua

Ya que un sistema que usa sólo aspersión de agua requiere un alto volumen de adición de humedad para una supresión de polvo eficaz, aplica una alta penalización térmica. Las cantidades significativas de agua también pueden crear problemas en el manejo de material.

Se deben considerar otros métodos para mejorar la supresión de polvo con agua mientras se limita la adición de humedad. Estas soluciones incluyen la generación de una aspersión de rocío fino o "niebla", o el uso de aditivos químicos para modificar el agua.

SUPRESIÓN CON NIEBLA

Sistemas de supresión con niebla

El uso de niebla de agua para la supresión de polvo es un método para optimizar la aplicación de agua a los materiales polvorientos. Estos sistemas usan boquillas especiales que producen gotas de agua extremadamente pequeñas en una "nube" o rocío disperso **(Figura 19.3)**. Estas gotas se mezclan y aglomeran con las partículas de polvo de tamaño semejante, dando como resultado partículas combinadas más pesadas que caen al cuerpo del material. Los sistemas de niebla se basan en el conocimiento de que las gotas de agua de un sistema de supresión deben mantenerse en un tamaño específico para controlar el polvo eficazmente. Si las gotas de agua son demasiado grandes, las partículas de polvo más pequeñas típicamente sólo se "deslizarán" alrededor de ellas, siendo empujadas por el aire que está alrededor de las gotas.

Los sistemas de niebla producen unas gotas ultra finas que maximizan el potencial de captura del agua mientras que minimizan la cantidad de agua añadida al producto. La atomización reduce la tensión de la superficie de las gotas de agua, mientras que aumenta el número de gotas en un área determinada.

Los sistemas de niebla generalmente añaden niveles bajos de humedad al material, típicamente en el rango de 0.1 a 0.05 por ciento (1/10° a 1/20° de 1 por ciento) por el peso del material. Estas cantidades, típicamente menores a 0.5 litros por tonelada (1 pt/st), minimizarán cualquier degradación del material.

Hay dos métodos para producir niebla de agua:

A. Atomización de dos fluidos

Un método produce niebla de agua y aire comprimido pasándolos juntos a través de una boquilla de dos fluidos. Aquí el abastecimiento de aire externo es el vehículo que fractura el agua en el rocío que se usa para capturar el polvo. El abastecimiento

Figura 19.3

Los sistemas de supresión de niebla usan boquillas especiales para crear un rocío de gotas finas.

de aire comprimido produce un gasto adicional para la instalación y operación de este sistema. El costo de producción de aire comprimido también se debe considerar en la economía del sistema. Una inquietud adicional es la consecuencia de inyectar aire en movimiento adicional a la ecuación del control de polvo del punto de transferencia, lo que puede estimular más el movimiento de polvo. Sin embargo, este método permite el uso de agua del proceso que se ha filtrado simplemente para remover cualquier material que pueda obstruir las boquillas.

B. Atomización de un solo fluido

El segundo sistema usa una corriente ultra fina de agua bombeada a través de boquillas atomizadoras de un solo fluido. No requiere aire comprimido o ningún otro abastecimiento de energía además de la electricidad usada para hacer funcionar su bomba. Requiere el uso de agua dulce y limpia, o que el agua del proceso esté filtrada y tratada, para reducir problemas por la obstrucción de boquillas. Las boquillas de un solo fluido usan atomización hidráulica para generar la niebla. En este método, una pequeña corriente de agua es forzada bajo alta presión, hasta 14 megapascales (2000 libras$_f$/pulg.^{2}), aunque más típicamente de 34 a 69 megapascales (5000 a 10000 libras$_f$/pulg.^{2}); a través de un pequeño orificio que fragmenta las gotas de agua en partículas microscópicas. La energía creada por la bomba de alta presión se usa para atomizar las gotas de agua, en lugar de aumentar la velocidad de agua, por lo tanto minimizando el aire desplazado. Al eliminar los requerimientos de aire comprimido, las boquillas de un solo fluido simplifican la instalación y reducen los costos de operación. Para mantener limpios los orificios, los materiales suspendidos se deben remover del agua, y se debe controlar el pH del agua. El bajo volumen de agua aplicada hace que esto sea relativamente fácil de lograr con la filtración e ionización.

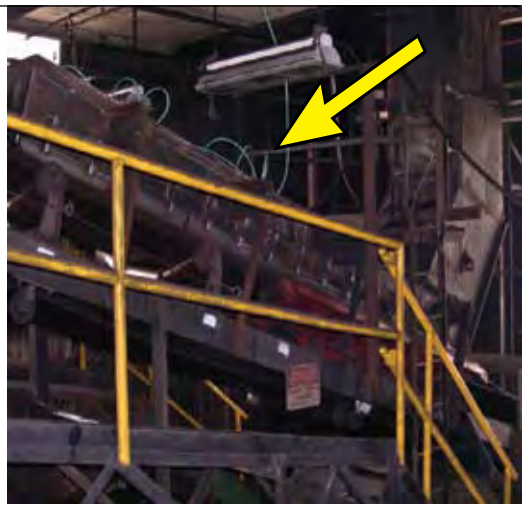


Figura 19.4

Los sistemas de supresión de niebla se aplican cerca del extremo del confinamiento del punto de transferencia.

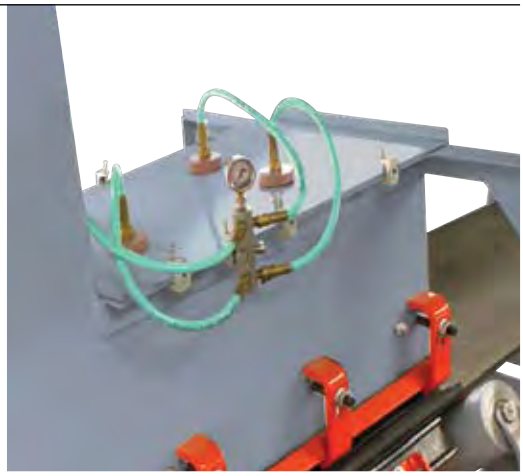


Figura 19.5

Las boquillas de generación de niebla se instalan para cubrir el ancho completo del área del chute lateral del transportador.

Ubicación de los sistemas de niebla

La instalación de los sistemas de niebla es un poco inusual, ya que los sistemas de niebla están diseñados para tratar el aire que está alrededor del material, en lugar del mismo material. Por lo tanto, el punto de aplicación del rocío de niebla está generalmente cerca del final del punto de transferencia **(Figura 19.4)**. Esta colocación permite que el material se asiente y que cualquier captación de los sistemas de colección de polvo activo o pasivo vea el aire cargado de polvo sin riesgo de obstruir los medios de filtración con las partículas humedecidas.

Las boquillas de generación de niebla se instalan para cubrir el ancho completo del área del chute lateral del transportador **(Figura 19.5)**. Se recomienda que la altura del chute lateral del punto de transferencia sea de por lo menos 600 milímetros (24 pulg.) para permitir que el cono de salida de las boquillas alcance una cobertura óptima y llene el confinamiento. El patrón de aspersión de la boquilla se debe diseñar para que los materiales en el ambiente pasen a través de la cortina de niebla sin poner el aspersor directamente en el cuerpo principal del material. El aspersor se dirige por encima de los materiales, en lugar de directamente a los materiales.

El patrón de atomización de las boquillas de niebla no debe dirigirse a ninguna superficie, y

las boquillas deben protegerse de ser golpeadas por el material a granel.

Pros y contras de los sistemas de niebla

Los sistemas de niebla proporcionan un control de polvo eficaz combinado con la instalación económica y costos de operación. Los costos de operación del sistema son bajos cuando se comparan con los sistemas de colección de polvo convencional.

Un sistema de niebla bien diseñado proporciona un control de polvo en el punto de aplicación sin la necesidad de aditivos químicos. Esto es especialmente importante para los procesos como el transporte de pedazos de madera destinados para la elaboración de papel. Muchas fábricas de papel tienen la inquietud de la aplicación de cualquier químico que pueda afectar negativamente la pulpa o degradar la calidad del papel terminado. Como los sistemas de niebla añaden agua sin aditivos, protegen la integridad del proceso.

Con los sistemas de niebla, la adición total de humedad al material a granel puede ser tan baja como del 0.1 al .05 por ciento. Esto hace que los sistemas de supresión de niebla sean atractivos en las industrias como el cemento y producción de cal que no pueden tolerar el exceso de humedad.

Por el tamaño pequeño de los orificios de las boquillas, se requiere típicamente agua potable (de calidad para beber) en los sistemas de supresión de niebla. Normalmente es necesaria la filtración para remover los materiales suspendidos del abastecimiento de agua. Las boquillas pueden obstruirse si el abastecimiento de agua está contaminado o si al sistema de tratamiento de agua no se le da servicio en los intervalos requeridos. Se deben hacer preparaciones como drenajes y tuberías calentadas eléctricamente en las plantas con ambientes de clima frío.

Otra consideración antes de elegir un sistema de niebla es el volumen y la velocidad del aire en el área abierta que rodea al punto o chute de transferencia. Los sistemas de niebla que usan boquillas de un solo fluido (aquellas que no requieren aire comprimido) tienden a ser más compatibles con los sistemas diseñados que controlan el movimiento del aire a través de un punto de transferencia. Estos sistemas no se deben usar en aplicaciones de "área abierta". Para un desempeño verdaderamente eficaz, los sistemas de niebla de supresión de polvo requieren un confinamiento estrecho alrededor del punto de transferencia para minimizar el movimiento de aire turbulento y de alta velocidad a través del sistema. Como las gotas son pequeñas, tanto la niebla como el polvo pueden ser llevados del área de tratamiento hacia el equipo que los rodea por el aire de alta velocidad que sale del chute.

Otra desventaja potencial de la aplicación de niebla es que esta forma de tratamiento de polvo es específica al punto de aplicación. El control de polvo se logra sólo en el punto de aplicación; hay muy poco beneficio residual o de transferencia. Aunque un sistema a menudo controla más de un punto de transferencia, se pueden requerir varios dispositivos de niebla para un sistema complejo de transportador con múltiples puntos de transferencia. La inversión de capital puede prohibir la niebla si el sistema de transportador es muy extenso.

ADICIÓN DE QUÍMICOS

Añadir químicos al agua

Es una práctica común "mejorar" el desempeño de supresión de polvo del agua añadiendo surfactantes, agentes que actúan sobre la superficie. La adición de estos químicos mejorará las características de humedecimiento del agua, reduciendo el uso de agua en general y minimizando las desventajas asociadas con la adición de humedad excesiva.

Si el polvo de carbón, coque de petróleo, o materiales semejantes caen en un charco de agua, las partículas de polvo pueden, si no se les perturba, quedar en la parte superior del charco por horas. Este fenómeno ocurre porque estos materiales son hidrofóbicos, no se mezclan bien con el agua. Como no es práctico alterar la naturaleza de las partículas de polvo para darles una mayor afinidad con el agua, se añaden químicos para alterar las partículas del agua, para que atraigan, o por lo menos se unan con las partículas de polvo más fácilmente.

Al añadir surfactantes, la tensión de la superficie del agua se reduce, permitiendo que las partículas de polvo se humedezcan. Los surfactantes son sustancias que, cuando se añaden al agua, mejoran la capacidad del agua de mojar las superficies y formar gotas finas. Los surfactantes bajan la tensión de la superficie

del agua y superan la atracción interna entre las moléculas de agua, finalmente resultando en una formación mejorada de gotas.

Para comprender la tensión de la superficie, imagine una gota de agua sobre una superficie suave y plana. Usualmente forma una burbuja líquida con lados bien definidos. Es la tensión de la superficie del agua la que evita que las paredes de la gota se colapsen. Una gota de agua que se mezcla con un surfactante (como jabón para lavar los trastes) no va a formar una burbuja líquida, porque su tensión de superficie se ha reducido drásticamente. Las "paredes" de la gota no pueden sostener su peso, porque las fuerzas que sostienen las paredes se han alterado. Esta es la razón por la que la tecnología surfactante se aplica en el control de polvo. Si las gotas de agua ya no tienen una superficie que es una barrera para el contacto con las partículas finas, entonces las colisiones aleatorias entre las gotas de agua y el polvo resultarán en el humedecimiento y agrandamiento de las partículas al punto en que caerán de la suspensión en el aire.

Elegir un surfactante

El número de surfactantes y mezclas de surfactante que se usan actualmente es muy extenso. Una gran cantidad de compañías de químicos especializados tienen productos formulados para abordar las necesidades específicas de control de polvo. La elección del producto correcto y el índice de adición para una aplicación determinada requiere pruebas de material así como una comprensión del proceso y el método de aplicación.

Las objeciones a los sistemas de supresión de agua mejorados con aditivos químicos incluyen los costos constantes de la compra de aditivos químicos. Los costos pueden ser más altos, particularmente cuando se considera la amortización y depreciación del equipo. Además, estos sistemas requieren de mantenimiento regular, lo que añade costos de mano de obra a los costos continuos de operación.

Dado que la contaminación de los materiales o el proceso puede ser una inquietud en algunas industrias, se debe revisar el químico aditivo en este sentido. Es importante que los aditivos químicos sean compatibles con el proceso, con los materiales a granel y con el equipo del sistema, incluyendo las bandas del transportador. Aunque el uso de un surfactante reduce la cantidad de agua añadida al material polvoriento, los aspersores de agua/surfactante pueden añadir aún más agua de la aceptable. Es práctica común que un proveedor de químicos dé muestras al cliente para probar los efectos del producto final.

Aplicación por aspersión o espuma

Una vez que el agente de humedecimiento se ha seleccionado, se debe tomar la decisión de aplicar el material como aspersor húmedo, como se discutió anteriormente, o como espuma. Ambos sistemas ofrecen ventajas. Generalmente hablando, el índice de adición de humedad de un sistema de aspersión de agua es más alto que el de un sistema generador de espuma. Aunque el índice de disolución es menor en el sistema de supresión de espuma, la expansión de la espuma permite una supresión eficaz con menos humedad añadida a los materiales **(Tabla 19.3)**. Los recientes avances han mejorado la tecnología de surfactantes al punto que algunas mezclas se pueden aplicar como aspersor a los niveles más bajos de humedad de un sistema de espuma mientras que se proporciona una buena supresión de polvo. Esto proporciona el

Tabla 19.3

Niveles máximos típicos de adición de humedad

	Aspersor de agua	Agua con surfactante	Espuma	Niebla
Índice nominal de adición de humedad	5%	2.5%	0.20%	0.05%
Adición de agua	5455 l/h (1200 gal/h)	2725 l/h (600 gal/h)	218 l/h (48 gal/h)	54.5 l/h (12 gal/h)
Proporción de agua a químicos	N/A	1:5000	1:100	N/A
Índice de uso de químicos	N/A	0.44 l/h (0.096 g/h)	2.2 l/h (0.48 g/h)	N/A

beneficio de la adición limitada de humedad con un costo químico mínimo, debido a los índices más altos de disolución de los surfactantes aplicados con aspersores.

SUPRESIÓN CON ESPUMA

Supresión de polvo con espuma

El uso de surfactantes con agua mejorará la probabilidad de que las partículas choquen con las gotas y que estas colisiones resulten en la supresión del polvo. Es lógico que el objetivo sea maximizar el área de superficie de las gotas de agua disponibles para hacer tanto contacto con las partículas de polvo como sea posible, limitando de esta manera la cantidad de agua necesaria. Para hacer esto, algunos proveedores ofrecen sistemas de supresión de polvo que crean espuma química **(Figura 19.6)**. Como la humedad está en forma de espuma, su área de superficie aumenta enormemente, mejorando la oportunidad de contacto entre el polvo y el agua. Algunas burbujas de espuma atraen y mantienen juntas las partículas de polvo a través de la aglomeración. Otras burbujas explotan por el contacto con las partículas de polvo, liberando finas gotas que se unen a las partículas de polvo más pequeñas, más difíciles de atrapar y más peligrosas para la salud humana. Con una adición de humedad del 0.2 al 0.4 por ciento, los sistemas de espuma añaden únicamente 2 litros por tonelada (2 qt/st) de material. A estos niveles, los sistemas de supresión de polvo añaden típicamente menos del 10 por ciento de la humedad que aplican los sistemas de aspersión que sólo usan agua.

En consecuencia, los sistemas de espuma son bien recibidos cuando los abastecimientos de agua son limitados o donde el agua en exceso puede reducir el desempeño del material, como en las plantas de energía a carbón. Además, la reducción de agua significa menores problemas de obstrucción de cribas y materiales que se adhieren a los componentes mecánicos y confinamientos.

Al añadir aire a la mezcla de surfactante y agua y pasar este compuesto a través de un dispositivo de mezcla se crea la espuma. El ajuste de la proporción de aire/agua/químicos y otros factores controlables permite al diseñador de la aplicación generar espuma desde muy húmeda a una "espuma para afeitar" seca, para poder crear la espuma más eficaz para cada aplicación. La espuma consolidada puede extender el área de superficie de una cantidad de agua de 60 a 80 veces. Esto permite un control de polvo eficaz con índices menores de adición de humedad.

El sistema para la aplicación de espuma para la supresión de polvo empieza con la mezcla de agua con el químico generador de espuma. El agua y el aditivo se miden juntos a través de una bomba dosificadora y la mezcla resultante se bombea a través de un regulador de flujo para alimentar el sistema **(Figura 19.7)**. Un segundo regulador de flujo controla el abastecimiento de aire comprimido. La solución de agua/químicos y aire llega a través de mangueras separadas a un contenedor de espumación, donde se mezclan para crear la espuma. La espuma entonces viaja a través de las mangueras a las boquillas de aplicación instaladas en la pared o techo del equipo o del punto de transferencia **(Figura 19.8)**.

Limitaciones de la supresión de espuma

Aunque muchas aplicaciones se benefician por la tecnología de espuma, existen algunos inconvenientes en el proceso. Los surfactantes que producen la espuma más

Figura 19.6

La supresión de polvo de espuma genera una espuma "seca" que expande el área de superficie del agua de 60 a 80 veces su superficie anterior.

Figura 19.7

En el sistema de proporción, se mezclan el agua y el surfactante, y la solución resultante y el aire comprimido se envían independientemente a contenedores de espuma.

deseable no siempre son los mejores agentes de humedecimiento para los materiales que se van a tratar. Algunos proveedores se enfocan en químicos que producen espuma estable, sin considerar si la espuma resultante tiene algún valor para superar la naturaleza hidrofóbica del material. Es crítico que los químicos humedezcan eficazmente el material manejado antes de que se considere la generación de espuma.

La generación de espuma requiere aire comprimido. Si no hay un abastecimiento de aire comprimido en el lugar de la aplicación, se debe instalar y dar mantenimiento a un compresor.

En general, el equipo de aplicación de espuma es un poco más costoso que el equipo convencional de aspersión de agua y normalmente requiere mantenimiento adicional.

Finalmente, la cantidad de surfactante requerido para generar espuma es un poco mayor que la cantidad de químicos que típicamente se añaden a un sistema de aspersión de agua. El volumen de surfactante en un determinado cuerpo de agua es mayor; sin embargo, debido a la expansión de la espuma, la cantidad de humedad aplicada al material es menor. El costo adicional de esta mayor concentración del químico aditivo puede ser compensado por la reducción en la penalización térmica en el desempeño de combustible que resulta de una disminución considerable de la humedad añadida **(Tabla 19.4)**.

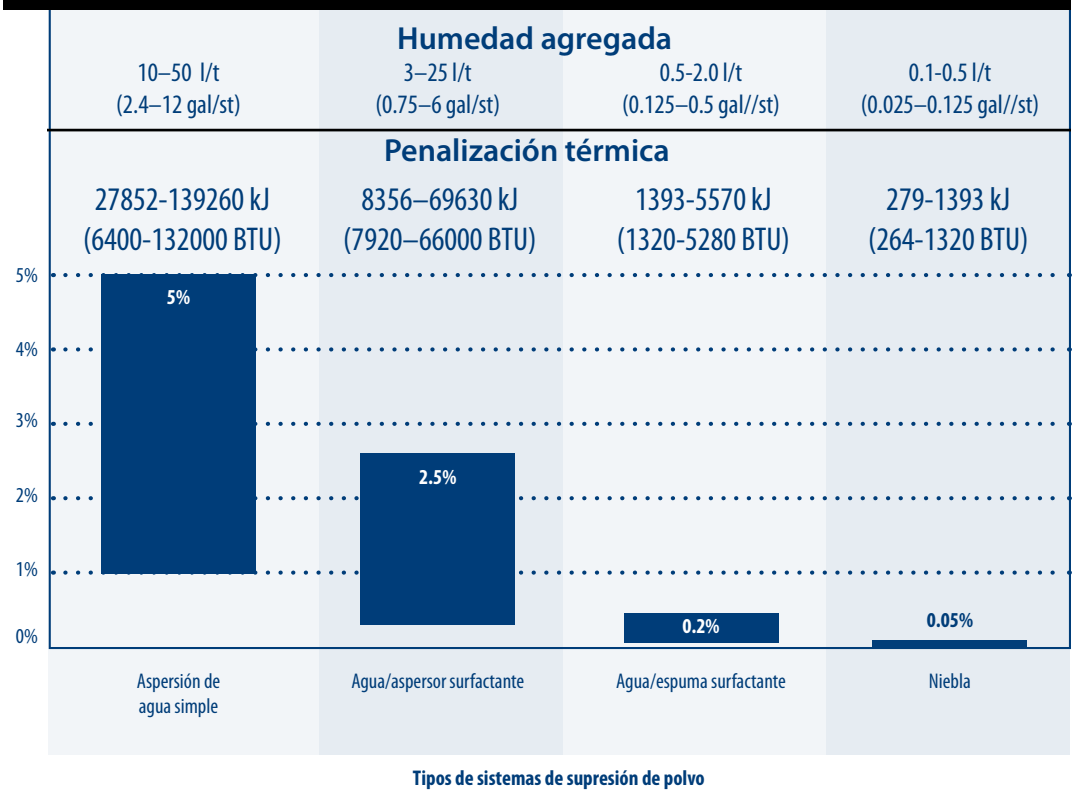
Figura 19.8

La solución de agua/ surfactante y aire se combinan en el contenedor de espumación y se abastece a las boquillas de aplicación.

QUÍMICOS RESIDUALES

Tabla 19.4

Penalización térmica por la humedad agregada en una planta de energía a carbón



Nota: Humedad agregada: litros por tonelada (gal/st); penalización térmica: kilojoules (BTU)

Agentes de supresión de químicos residuales

Los surfactantes humedecen las partículas de polvo, por lo que las partículas se aglomeran, previniendo, por tanto, que se vayan al ambiente. Una vez que la solución se evapora, desaparece el efecto de supresión de los surfactantes normales. Sin embargo, en muchos casos, la supresión de polvo se requiere no sólo a medida que los materiales se mueven a través de múltiples puntos de transferencia, sino también después de que los materiales llegan a los contenedores de almacenamiento, vagones, barcazas o pilas de reserva. En estos casos, es atinado considerar el uso de un atomizador de agua/surfactante o sistema de espuma con un efecto residual de mayor duración. La supresión de polvo residual es valiosa cuando se considera la supresión de polvo para:

A. Áreas grandes con puntos múltiples de aplicación
B. Largas distancias entre puntos de aplicación
C. Transportadores apiladores o viajeros
D. Quebradoras o molinos
E. Puntos de transferencia elevados donde sería difícil aplicar la supresión de polvo

Un sistema de supresión residual bien diseñado hace posible el control de polvo fugitivo sobre un área amplia aplicando la solución en unos cuantos puntos estratégicos. En contraste, usar agua y/o sistemas de niebla en áreas grandes requerirá de puntos de aplicación múltiple, incluyendo varias estaciones de bombeo; líneas más largas de agua, químicos y aire; una capacidad de bombeo más alta y más boquillas de aplicación, las cuales pueden hacer que un sistema sea mucho más costoso y, en algunos casos, no tan eficaz.

El carbón transportado de los descargadores a las pilas abiertas de almacenamiento permanecen ahí por largos períodos de tiempo. El material almacenado en pilas abiertas de reserva está sujeto a variaciones en el clima, incluyendo viento, sol y precipitación. El calor del sol puede evaporar la humedad del material almacenado, siendo más probable que se lo lleve el viento. La erosión por viento crea grandes cantidades de polvo que se pueden asentar en casas y patios vecinos. Cuando se recupera el carbón almacenado, puede estar seco y presentar problemas de polvo mayores que durante el proceso inicial. Los materiales polvorosos, como el coque calcinado o los comprimidos de mineral de hierro, pueden requerir control de polvo desde el punto de producción hasta el punto de uso final. Esto podría equivaler a varias semanas y varios miles de kilómetros (millas) de separación. En dichos casos, sería más económico aplicar un surfactante/adhesivo residual a los materiales en lugar de aplicar surfactantes y agua en múltiples lugares a lo largo de todo el sistema de materiales. Existe una gran variedad de adhesivos residuales.

Efectos más duraderos

El objetivo de un supresor residual, o adhesivo, es aglomerar unas partículas finas con otras, o con partículas más grandes, y después mantener junta la estructura, aún después de que se evapore la humedad. En algunos casos, se usa un material higroscópico, como el cloruro de calcio, lo que retarda la capacidad de humedad que sale del material tratado. La ventaja de este enfoque puede ser un bajo costo de tratamiento. Los adhesivos más convencionales incluyen lignina, tanino, brea, polímeros y resinas. Cuando se combinan con surfactantes para asistir al humedecimiento, estos compuestos cubren partículas más grandes y después actúan como adhesivo para atraer y mantener juntas las partículas de polvo.

La aplicación de adhesivos residuales tiende a ser más costosa que las aplicaciones de surfactantes, porque se deben aplicar en concentraciones más altas. Aunque los adhesivos son menos costosos por kilogramos (libras$_m$), típicamente se aplican en proporciones de dilución que van de 50 a 1 a 200 a 1 (2.0 por ciento a 0.5 por ciento).

Es importante mencionar que, con el uso de un químico residual, una planta puede reducir el número de puntos requeridos, reduciendo, a su vez, la cantidad de mantenimiento requerido.

Al elegir un adhesivo, es especialmente importante conocer los efectos que tendrá el adhesivo en el equipo de transferencia y las bandas transportadoras. Si el adhesivo se pega bien al material, puede hacer lo mismo al equipo de manejo. La aplicación adecuada del producto se vuelve crítica, porque la saturación de atomización del adherente en el equipo del proceso o en las bandas vacías puede causar problemas considerables en la producción y el mantenimiento.

Una importante consideración para seleccionar un adhesivo es el efecto que el químico tendrá sobre el material que se va a tratar y el medio ambiente. Si se aplica el adhesivo al material que va a una pila de reservas y esa pila está expuesta a la lluvia, algunas partes del adhesivo soluble en agua pueden terminar en escorrentía y presentar una inquietud ambiental. La mayoría de fabricantes de químicos venden sólo adhesivos que son compatibles con el medio ambiente; sin embargo, esta es una cuestión que se debe plantear al proveedor de químicos.

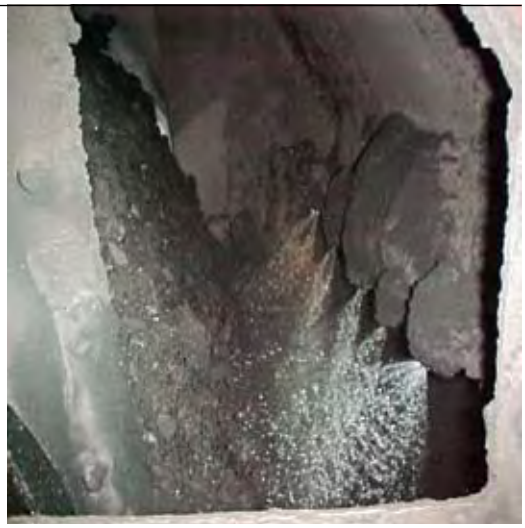


Figura 19.9

La ubicación del punto de aplicación es crítica para el éxito de cualquier sistema de supresión de polvo.

Figura 19.10

La supresión de espuma es más eficaz cuando se aplica donde el material está agitado, como en la descarga de una quebradora o un transportador.

SISTEMAS Y COLOCACIÓN

Sistemas híbridos: añadir supresión a la contención y colección

La selección de un sistema de control de polvo se debe basar en el material, las causas de la generación de polvo y los datos específicos del punto de aplicación. Es importante un análisis completo de generación de polvo para detectar no sólo los puntos más problemáticos de la generación de polvo fugitivo, sino identificar las causas verdaderas de la generación y escape de polvo para poder controlar la situación.

En algunos casos, se debe considerar un sistema híbrido que combine un sistema de supresión de polvo con otros sistemas de manejo de polvo (colección o contención de polvo activo o pasivo). Esto puede dar como resultado el mejor desempeño posible con costos mínimos de instalación, operación y mantenimiento. Es importante consultar con un especialista la aplicación de los sistemas de supresión y control de polvo para desarrollar una solución para cualquier aplicación específica.

Lugar

En cualquier sistema de supresión de polvo, es importante seleccionar el mejor punto de aplicación, no sólo para aumentar la eficacia, sino también para reducir los costos de instalación, operación y mantenimiento. Los sitios elegidos para la colocación de boquillas y el patrón de entrega son igual o más importantes que la selección del químico que se va a aplicar **(Figura 19.9)**. Hasta el programa mejor diseñado fracasará si el supresor químico no se entrega en el lugar correcto para permitir la mezcla del supresor y las partículas de polvo.

El éxito del esfuerzo de supresión en el punto de transferencia está en la mezcla adecuada de los materiales y el supresor. Sin importar si el supresor es sólo agua o una mezcla de surfactante/agua como aspersor o espuma, es mejor localizar el sistema de supresión en el punto en que los materiales salen de la polea de cabeza. A medida que los materiales salen, se esparcen y el aire se suspende en la corriente de materiales transportados. El supresor será atraído a los materiales por esta presión negativa de aire. A medida que el supresor y los materiales transportados ruedan por el chute, continuarán mezclándose, proporcionando una dispersión eficaz.

La supresión de espuma normalmente es más eficaz cuando se aplica en el punto de descarga de una quebradora o transportador, donde el cuerpo de material está agitado y expandiéndose **(Figura 19.10)**. Aquí, las fuerzas del movimiento de material mezclarán el supresor en el flujo de material a medida que se mueve por el punto de transferencia y por la banda transportadora. La aplicación de supresores en este punto permite que la espuma penetre en la corriente de material y que capture partículas individuales, en lugar de permanecer en la capa externa del material.

La importancia de la calidad del agua

La calidad del agua juega un papel importante en la eficacia de cualquier programa de supresión de polvo. La capacidad de generar una espuma aceptable depende enormemente de la calidad del agua usada. Dependiendo del sistema de supresión usado, es importante filtrar el agua, removiendo las partículas entre 5 y 40 micras, y que el agua tenga el pH más neutro posible.

Si se conocen las características del agua disponible en la planta, se pueden aplicar los sistemas adecuados para filtrar el agua. Este conocimiento también facilitará la prevención de las posibles fallas, incluyendo la obstrucción de boquillas, la falla prematura de las bombas y el mantenimiento de flujo requerido.

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Sin duda, una de las causas más comunes de fallas en los sistemas de supresión de polvo es la falta de mantenimiento preventivo. Rutinariamente se deben revisar las boquillas, limpiar los filtros, engrasar las bombas, revisar los niveles de los químicos, verificar las configuraciones de la aplicación y ajustar los índices de flujo de agua y aire, o hasta el mejor sistema está destinado a fallar. Es importante basarse en las instrucciones del fabricante sobre los intervalos adecuados de servicio y los procedimientos para los componentes del sistema.

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Muy pertinente para cualquier consideración de seguridad con los sistemas de supresión de polvo es el cuidado adecuado de la relación entre el agua y los sistemas eléctricos que dan energía al sistema de supresión, y de hecho, al transportador entero. Los sistemas deben estar conectados a tierra adecuadamente, y el agua no se debe rociar directamente sobre ellos.

Como muchos sistemas de supresión de polvo mueven agua o aire bajo algún nivel de presión, es importante tener cuidado con el sistema de fontanería, ya sean tuberías, mangueras o alguna combinación. La presión de las bombas o líneas se debe mantener a los niveles adecuados y debe haber disponibles mecanismos de alivio adecuados. Antes de que se trabaje en cualquier sistema de fontanería, se debe tener cuidado para asegurarse de que la presión en las líneas se libere y la electricidad en las bombas esté bloqueada adecuadamente.

Los sistemas de supresión de polvo en climas fríos deben incorporar medidas para mantener funcionando el sistema en condiciones de congelamiento, o el sistema debe diseñarse para operar sólo cuando la temperatura está más arriba del punto de congelación. Los sistemas deben estar diseñados para asegurarse de no crear riesgos de seguridad, como hielo en carreteras, pasillos o escaleras, o cuerpos congelados de material dentro de un contenedor que requiriera que los empleados entren a los espacios confinados para remover los bloqueos de material.

Los proveedores de aditivos químicos deben proporcionar todas las Hojas de Datos de Seguridad del Material (MSDS por sus siglas en inglés) aplicables que explican todas las cuestiones de seguridad, riesgos para la salud y cuestiones medioambientales.

Es importante seguir los procedimientos establecidos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación al instalar y dar mantenimiento a los sistemas de supresión de polvo.

Algunos proveedores de equipo y químicos de supresión de polvo ahora ofrecen servicio de rutina como parte de sus paquetes. Es aconsejable considerar esta solución, ya que liberará el mantenimiento interno y al personal de la operación para hacer otras tareas, mientras que garantiza la operación del sistema de supresión de polvo.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

Las siguientes especificaciones típicas pertenecen únicamente a los sistemas de supresión de polvo.

A. Mezcla de espuma

La zona de carga del transportador estará equipada con un sistema de supresión de polvo que aplica una mezcla de espuma de un químico supresor y agua para minimizar el escape de polvo en el ambiente.

B. Aditivo

El sistema de supresión de polvo funcionará con la dosificación de un aditivo de supresión de polvo en un abastecimiento de agua, generando una mezcla espumosa de agua y suplementos, y aplicando esta mezcla sobre el cuerpo del material. Esta mezcla alentará la aglomeración de las partículas finas e inhibirá la expulsión del polvo en el ambiente.

C. Módulo de bombeo

El sistema de supresión de polvo incluirá un módulo de bombeo, que contiene una bomba dosificadora [0 a 76 litros por minuto (0 a 20 gal/min)] con la adición de 0.2 a 1.5 por ciento de aditivo, un regulador [170 a 520 kilopascales (25-75 libras$_f$/pulg.^{2})], una válvula de compuerta y un caudalímetro [0 a 76 litros por minuto (0 a 20 gal/min)].

D. Cámara de espumación

La mezcla de agua/aditivo se combinará en una cámara de espumación. Las entradas de las líneas de aire y agua/aditivo estarán equipadas con válvulas reguladoras para evitar el cambio de dirección del flujo. Un indicador de aire localizado en la cámara de espumación controlará la presión de aire para crear una espuma completamente desarrollada.

E. Boquillas

La espuma producida se aplicará al material del transportador a través de hasta ocho boquillas "pico de pato" conectadas a mangueras de longitudes uniformes. Las boquillas se sostendrán en posición en la pared del chute para permitir una simple remoción para mantenimiento.

APLICACIONES TÍPICAS DE SUPRESIÓN DEL POLVO

Aplicación de supresión de polvo 1

Una banda transporta desechos de una mina. Esta banda está adecuadamente soportada en la zona de carga, y el chute de transferencia está sellado eficazmente. Una lectura de anemómetro en la salida de la zona de carga del transportador muestra que la velocidad de salida del aire es de 0.25 metros por segundo (50 pies/min.).

Material.....Desechos de la mina

Punto de transferencia .....Eficazmente sellado

Velocidad del aire .....0.25 m/seg. (50 pies/min)

Método de supresión..... Niebla

Esta es una buena aplicación para un sistema de niebla, porque el material no es sensible al agua, la contención es buena y la velocidad del aire es menor a 1.0 metros por segundo (200 pies/min.). *(Vea el Capítulo 17: Generalidades del manejo del polvo, Figura 17.10.)*

Las boquillas deben estar colocadas en la parte superior de la zona de asentamiento del chute de transferencia. Las cortinas de polvo deben colocarse a cada lado de las boquillas para reducir la corriente de aire, permitiendo que la niebla remueva el polvo del aire **(Figura 19.11)**.

Figura 19.11

Las boquillas deben estar colocadas en la parte superior de la zona de asentamiento del chute de transferencia. Las cortinas de polvo deben colocarse a cada lado de las boquillas para reducir la corriente de aire, permitiendo que la niebla remueva el polvo del aire.

Aplicación de supresión de polvo 2

Una banda de una planta colectiva transporta caliza. El punto de transferencia no tiene confinamiento.

Material.....Caliza triturada

Punto de transferencia .....Abierto (sin confinamiento)

Velocidad del aire .....Desconocida

Método de supresión.....Espuma

Esta es una buena aplicación para un sistema de espuma, porque el material no es sensible a la humedad, pero no hay chute para controlar el movimiento de aire.

La espuma se podría aplicar a la caliza a medida que sale de la polea de cabeza, mientras el material está agitado. Esto permitirá que la humedad cubra todas las superficies del material. Cubrir todas las superficies con humedad evitará la generación de polvo cuando el material caiga en la banda receptora **(Figura 19.12)**.

Aplicación de supresión de polvo 3

El transportador transporta carbón. El chute de transferencia está adecuadamente sellado y soportado. Una lectura de anemómetro al final de la zona de asentamiento muestra que la velocidad de salida de la corriente de aire es de 1.5 metros por segundo (300 pies/min.).

Material.....Carbón

Punto de transferencia .....Sellado y soportado

Velocidad del aire .....1.5 m/seg. (300 pies/min.).

Método de supresión.....Espuma

Esta es una buena aplicación para un sistema de espuma, aplicado en combinación con una reconstrucción del punto de transferencia del transportador. La velocidad alta del aire indica que el confinamiento del punto de transferencia no es lo suficientemente grande para reducir la velocidad del aire. La alta velocidad usualmente significa que se generarán grandes cantidades de polvo. El punto de transferencia se debe alargar y la altura se debe aumentar, para reducir la velocidad del aire y permitir que se asiente el polvo.

El material es sensible a la humedad, por lo que se debe minimizar la cantidad de agua. La espuma se puede aplicar al material cuando éste está agitado. Esto permitirá que la humedad cubra todas las superficies del material. Cubrir todas las superficies con humedad evitará la generación de polvo cuando el material caiga en la banda receptora.

La humedad también tendrá un efecto residual y puede mantener húmedo el carbón todo el trayecto hasta el transportador hacinador **(Figura 19.13)**.

Aplicación de supresión de polvo 4

Un elevador de cangilón descarga carbón de una barcaza. No hay "chute de transferencia", por lo que el descargador está expuesto a las corrientes de aire.

Figura 19.12

La aplicación de espuma mientras la carga está agitada permite que la humedad cubra todas las superficies del material para evitar la generación de polvo.

Figura 19.13

La humedad tendrá un efecto residual y puede mantener húmedo el carbón todo el trayecto hasta el transportador hacinador.

Tabla 19.5

Penalización térmica en una planta de energía a carbón		
	Métrico	**Imperial**
Unidad para medir el calor/energía	Kilojoule (kJ)	Unidad térmica británica (BTU)
Peso del agua	1 kg/l	8.33 $libras_m$/gal
Energía para vaporizar el agua	2675 kJ para vaporizar 1 kg (aproximadamente 0.5 l) de agua de Temperatura y Presión Estándar (STP)	1150 BTU para vaporizar 1 $libra_m$ (aproximadamente 1 pt) de agua de STP
Unidad de carbón	tonelada (1000 kg)	tonelada inglesa corta (2000 libras)
Agua requerida para elevar el contenido de humedad del carbón al 1%	10 kg (10 l)	20 $libras_m$ (2.4 gal)
Calor requerido para quemar este 1% de agua adicional de la unidad (ton/st) de carbón	26750 kJ (2675 kJ/kg x 10 kg)	23000 BTU (1150 BTU/$libra_m$ x 20 $libra_m$)
Contenido de calor del carbón Fuente: *datos del carbón: referencia* publicada por el Departamento de Energía de EE.UU. Administración de Información de la Energía. *Conversión métrica por Martin Engineering.*	Bituminoso = 27900 kJ/kg Subituminoso = 20900 kJ/kg Lignito = 16300 kJ/kg	Bituminoso = 12000 BTU/$libra_m$ Subituminoso = 9000 BTU/$libra_m$ Lignito = 7000 BTU/$libra_m$
Cantidad requerida de carbón para proveer el calor requerido para quemar 1% de agua de 1 tonelada (1 st) de carbón	Calor requerido (kJ) dividido entre el contenido de calor (kJ/kg) = kg	Calor requerido (BTU) dividido entre contenido de calor (BTU/$libra_m$) = $libra_m$
	26750 / kJ/kg = kg	23000 / BTU/$libras_m$ = $libras_m$
	Bituminoso 0.96 kg Subituminoso 1.3 kg Lignito 1.6 kg	Bituminoso 1.9 $libra_m$ Subituminoso 2.55 $libra_m$ Lignito 3.3 $libra_m$
Resumen	Se requieren de 0.96 kg a 1.6 kg para quemar 1% del agua añadida a una tonelada de carbón.	Se requieren de 1.9 $libras_m$ a 3.3 $libras_m$ de carbón para quemar el 1% de agua añadida al carbón.
En porcentaje	Esto es de 0.0096 a 0.016 del carbón (1/10 a 1/6 de 1 por ciento)	Esto es de 0.0095 a 0.0165 del carbón (1/10 a 1/6 de 1 por ciento)
Contenidos del vagón	91 toneladas (91000 kg)	100 st (200000 $libras_m$)
Pérdida de cada vagón	~87 a 146 kg	~190 a 330 $libras_m$
Pérdida por cada tren de 120 vagones	~10440 a 17500 kg/de carga de tren o entre 1/10 y 1/5 de carga de vagón/tren	~22800 a 39600 $libras_m$/carga de tren o entre 1/10 a 1/5 de carga de vagón/tren
Si esta planta de 270 megavatios (362000-hp) recibe 60 trenes al año:		
Pérdida anual	~625000 a 1.1 millón de kg ó ~625 a 1100 toneladas ó 6 a 12 vagones al año	~1.35 a 2.4 millón $libras_m$ ó ~684 a 1188 st ó 6 a 12 vagones al año

19

Material ..... Carbón
Punto de transferencia ..... No hay
Velocidad del aire ..... Ambiente
Método de supresión..... Agua con Surfactante

Esta es una buena aplicación para la supresión de agua con surfactante, porque el material no es sensible al agua, y la contención alrededor del material es mala. El agua con un aditivo surfactante produce gotas de agua más grandes que el agua sola y no se verá tan afectada por las corrientes de aire. Las boquillas se deben colocar alrededor del excavador para permitir que el agua/surfactante se mezclen para que "lluevan" en la barcaza mientras se descarga **(Figura 19.14)**.

TEMAS AVANZADOS

Penalización térmica en una planta de energía a carbón

Una planta de energía de 270 megavatios (362000-hp) puede quemar aproximadamente 82 toneladas por hora (90 st/h), 24 horas al día, siete días a la semana. Esto se convierte en 13776 toneladas por semana (15120 st/sem.). Aún permitiendo una parada por mantenimiento de dos semanas, el consumo anual de carbón de esta planta sería mayor a 688000 toneladas por año de 50 semanas (759000 st/50-sem.-año).

La planta recibe su carbón en trenes de unidad compuestos de 120 vagones, cada uno con una capacidad de 91 toneladas (100 st). Siendo la capacidad total del tren 10920 toneladas (12000 st), la planta necesitaría recibir apenas 1.25 trenes a la semana, ó 5 trenes al mes. Esto es aproximadamente 60 trenes al año. Estas cifras variarán dependiendo del tipo (emisión térmica) del carbón específico usado.

La penalización térmica es la cantidad de carbón que se debe quemar sólo para remover la humedad añadida al carbón por el sistema de supresión de polvo. Equivale a entre 1.0 y 1.6 kilogramos por tonelada (1.9 a 3.3 libras$_m$/st) por cada uno por ciento de agua añadida al carbón.

En la proporción de 0.1 del 1 por ciento del carbón usado para eliminar este uno por ciento de humedad adicional, la planta perderá el calor de 10440 a 17500 kilogramos (22800 a 39600 libras$_m$) de carbón por carga de tren, o apenas 0.1 a 0.2 de carga de vagón. Esto corresponde a entre 6 y 12 vagones por año (quizá 1 vagón por mes) quemados sólo para desplazar la humedad añadida **(Tabla 19.5)**.

Figura 19.14

Una excavadora de cangilones es una buena aplicación para un sistema de supresión de polvo de agua y surfactantes.

SUPRESIÓN DEL POLVO: UNA PIEZA DEL ROMPECABEZAS

En resumen...

La supresión de polvo está mejor adaptada para espacios confinados de tamaño razonable. Se dificulta la aplicación y control de cualquiera de las diferentes formas de supresión de polvo en áreas abiertas o dentro de estructuras grandes como vertederos de vagones o de camiones de transporte. Los resultados aceptables en estas aplicaciones pueden requerir una combinación de confinamiento, supresión y colección.

La supresión de polvo no puede por sí sola ser la respuesta para controlar los materiales fugitivos. Un sistema de supresión de polvo elegido, diseñado y mantenido adecuadamente, puede aportar una porción crítica del programa total de manejo de material.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Supresión del polvo es el tercer capítulo en la sección Manejo del polvo, después de Generalidades del manejo del polvo y Control pasivo del polvo. El siguiente capítulo, el último capítulo relacionado con el manejo de polvo, continúa con el tema de control pasivo de polvo enfocándose en la Colección del polvo.

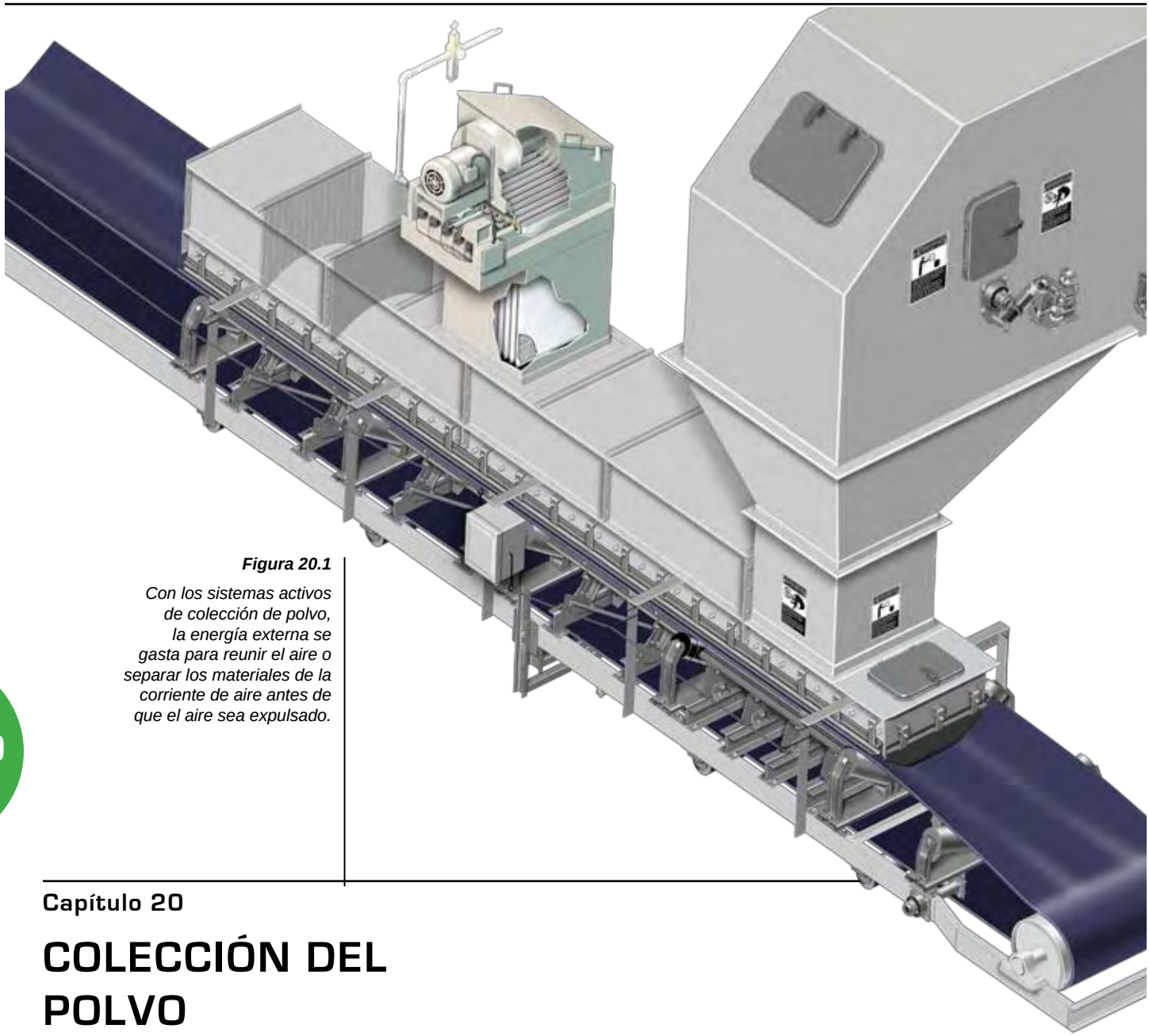


Figura 20.1

Con los sistemas activos de colección de polvo, la energía externa se gasta para reunir el aire o separar los materiales de la corriente de aire antes de que el aire sea expulsado.

Capítulo 20

COLECCIÓN DEL POLVO

Colección del polvo 323
Tecnologías de colección 324
Central, unitario e insertable 328
Dimensionamiento y colocación 331
Desventajas 332
Mantenimiento del sistema 333
Especificaciones típicas 333
Cuestiones de seguridad 333
Aplicaciones típicas de colección del polvo 334
Temas avanzados 334
Colección del polvo: una pieza del rompecabezas 335

En este capítulo...

En este capítulo, discutimos los cinco tipos principales de sistemas de colección activa de polvo, viendo las ventajas y desventajas de cada uno. También comparamos los colectores de polvo centrales, unitarios e insertables. Se incluyen la medición y colocación de los colectores de polvo, junto con algunas de las desventajas de los sistemas de colección de polvo. Los temas avanzados incluyen la selección y aplicación de un sistema de colección de polvo insertable así como los tres tipos de velocidad del aire y su relación con el manejo de polvo.

En la colección de polvo, el paso de aire con polvo a través de alguna forma de sistema de filtración o separación es la pieza final del sistema de control de polvo.

Hay sistemas de colección de polvo activos y pasivos. Un sistema pasivo permite simplemente que el aire se mueva a través del sistema de filtración, mientras que los sistemas activos trabajan como una aspiradora para atraer o expulsar aire a través de un método de filtración para remover los materiales. *(Vea el Capítulo 18: Control pasivo del polvo, para más información sobre los métodos pasivos de colección).* Este capítulo discute los sistemas activos de colección de polvo **(Figura 20.1)**, en los que la energía externa se gasta para reunir el aire o separar los materiales de la corriente de aire antes de que el aire sea expulsado.

COLECCIÓN DEL POLVO

Sistemas de colección de polvo

Los sistemas mecánicos de colección de polvo se instalan para alejar el aire lleno de polvo de la fuente de polvo, como la zona de carga de un transportador; separar el polvo del aire y extraer el aire limpio. Un típico sistema de colección de polvo consiste en cuatro componentes principales **(Figura 20.2)**:

A. Campanas extractoras o atrapadores para capturar el polvo en el ambiente en las fuentes

B. Ductos para transportar la mezcla de aire/polvo capturado a un colector

C. Colector, filtro o dispositivo de separación para remover el polvo del aire

D. Ventilador y motor para proporcionar el volumen y energía de succión necesarios

Consideraciones para los sistemas de colección de polvo

Los sistemas de colección de polvo varían ampliamente en diseño, operación, eficacia, requerimientos de espacio, construcción, costos de operación y mantenimiento. La selección de un sistema debe incluir una revisión de los siguientes factores:

A. Concentración de polvo

En el manejo de materiales a granel, las concentraciones de polvo van típicamente de 230 a 23000 miligramos por metro cúbico (0.1 a 10.0 $libras_m/pies^3$) de polvo, y el tamaño de las partículas puede variar de 0.2 a 100 micras (µm es una millonésima de un metro). La selección de un colector se debe basar en el nivel de limpieza o eficacia requeridas.

B. Características de la corriente de aire

Las características del aire contaminado (sucio) pueden tener un impacto significativo en la selección del colector. Los factores incluyen la temperatura, el contenido de humedad y la humedad relativa.

C. Características del polvo

Las propiedades del polvo mismo son importantes para la elección de un sistema de colección de polvo. Las concentraciones moderadas a intensas de muchos polvos, como la arena de sílice o minerales metálicos, pueden ser abrasivas, higroscópicas o pegajosas por naturaleza. El tamaño y la forma de las partículas determinarán la aplicabilidad de los colectores de tela; la naturaleza combustible de muchos materiales finos excluye el uso de precipitadores electrostáticos.

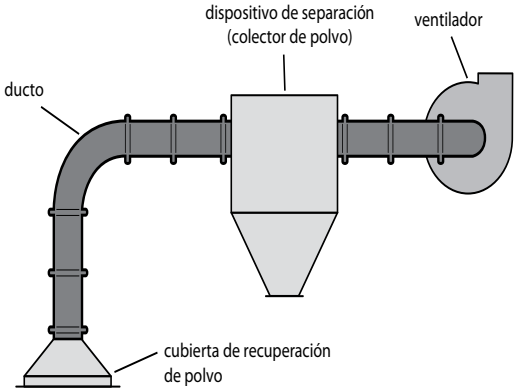


Figura 20.2

Los componentes básicos de un sistema de colección de polvo incluyen la recuperación, sistemas de ductos, dispositivos de filtraciones y ventilador o motor.

20

D. Método de eliminación

El método para eliminar el polvo colectado variará con la naturaleza y cantidad del material, el proceso general de la planta y el tipo de colector usado. Los colectores pueden descargar continua o intermitentemente. Los materiales secos pueden crear problemas secundarios de polvo durante la descarga y la eliminación. La eliminación de la pulpa húmeda, o sedimento, puede ser un problema adicional de manejo de materiales para un colector húmedo. Se pueden causar problemas de contaminación de drenaje o agua si el agua residual no se trata adecuadamente.

TECNOLOGÍAS DE COLECCIÓN

Tecnologías de separación de polvo

Existe una cantidad específica de métodos de "aditamentos" usados para remover el polvo del aire, cada uno con sus propios beneficios y desventajas. Los cinco tipos principales de sistemas de colectores de polvo activos usados en la industria incluyen:

A. Separadores inertes (usualmente llamados ciclones)

B. Lavadores húmedos

C. Precipitadores electrostáticos

D. Colectores de filtro de cartucho

E. Colectores de polvo de tela (a menudo llamados filtros de manga)

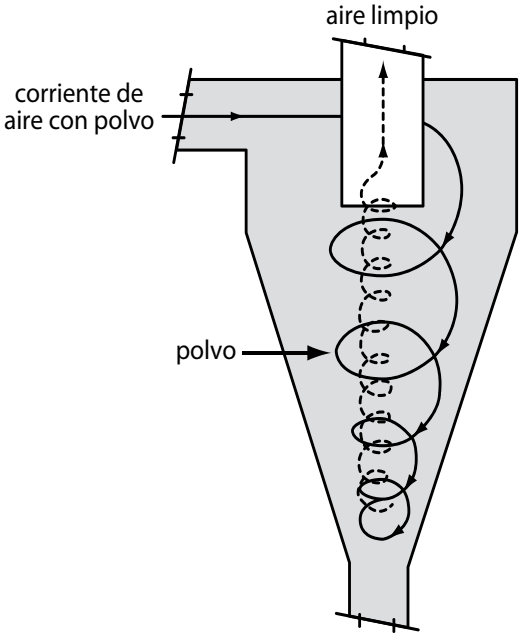


Figura 20.3

Los sistemas de colección de polvo crean un vórtice (un tornado interno) que "arroja" el polvo fuera de la corriente de aire.

Separadores inertes

Los separadores inertes separan el polvo de la corriente de aire usando una combinación de fuerzas centrífugas, gravitacionales e inertes. Estas fuerzas mueven el polvo a un área donde las fuerzas ejercidas por la corriente de material son mínimas.

Estos tres tipos primarios de separadores inertes son:

A. Cámaras de asentamiento activas

B. Cámaras deflectoras

C. Ciclones o colectores centrífugos

Las cámaras de asentamiento activas operan bajo la suposición de que confinar el flujo de aire para reducirlo permitirá que las partículas en el ambiente caigan del aire. Las cámaras deflectoras, semejantes a las cámaras de asentamiento activas pero con deflectores para reducir y redirigir el aire, también permiten que las partículas en el aire caigan. Las cámaras activas y deflectoras no se usan generalmente como método único de colección para una planta o proceso, debido a sus requisitos de tamaño y poca eficacia.

De estos sistemas de separadores inertes, los ciclones son los más comúnmente usados. Estos crean un vórtice (un tornado interno) que "arroja" el polvo fuera de la corriente de aire **(Figura 20.3)**. Este flujo de aire arremolinado y creado dentro de la estructura genera una fuerza centrífuga, lanzando las partículas de polvo hacia las paredes de la unidad. Después de golpear las paredes, las partículas se aglomeran en partículas más grandes y caen de la corriente de aire en un punto de colección, o salida de descarga, en la parte inferior de la unidad.

Hay separadores de un solo ciclón que crean dos vórtices en un confinamiento. Las espirales principales de los vórtices hacen caer en espiral el polvo grueso, mientras que un vórtice interior más pequeño sube en espiral desde el fondo, llevando hacia arriba las partículas finas hacia un filtro. Las unidades de ciclones múltiples contienen una gran cantidad de ciclones de diámetro pequeño que operan en paralelo, con una entrada y salida en común. Estas unidades crean cada uno de los dos vórtices vistos en el separador de un solo ciclón. Estas unidades de ciclones múltiples tienden a ser más eficaces, porque son más altas, dando más tiempo para que el aire permanezca dentro, y más pequeñas en diámetro, proporcionando una fuerza

centrífuga. Los ciclones deben mantener un alto índice de flujo de aire para poder mantener el proceso de separación.

Para mejorar la eficacia de algunos ciclones, particularmente los que manejan partículas finas, la superficie colectora de estas unidades se puede mojar con agua.

Los sistemas de separadores inertes se usan como pre-limpiadores para reducir la carga de trabajo en los sistemas más eficaces de colección de polvo, ya que proporcionan una colección eficaz de partículas finas o respirables. El desempeño disminuye en condiciones de gran humedad. En la ausencia de problemas de obstrucción, estos sistemas pueden operar con bajos costos de mantenimiento, porque no tienen partes móviles.

Lavadores húmedos

En los sistemas de lavadores húmedos, un líquido (comúnmente agua) se rocía en la corriente de aire con polvo **(Figura 20.4)**. Las partículas de polvo son capturadas por las gotas de agua y se precipitan. La mezcla de polvo y agua se libera por la parte inferior del colector como pulpa húmeda y pasa a través de un sistema de asentamiento o clarificación para remover los materiales.

Una ventaja de los lavadores húmedos es que se pueden usar en aplicaciones de alta temperatura. Hay poca oportunidad de que el polvo escape y se vaya de nuevo al ambiente, y existen mínimos riesgos de incendio y explosiones relacionados con los lavadores. Los lavadores también dan la oportunidad de colectar materia compuesta de partículas (polvo) y gases, por lo que proporcionan un beneficio doble en algunas operaciones.

Los lavadores húmedos también tienen algunas desventajas. Una desventaja es que estos sistemas tienen altos costos de operación y mantenimiento y pueden requerir protección contra congelamiento en operaciones de clima frío. En condiciones de mucho polvo, estos sistemas a menudo necesitan un prelimpiador, como un ciclón. Estos sistemas tienen requerimientos enormes de energía. Puede haber problemas de corrosión por el manejo de agua y la pulpa del material. El tratamiento de agua se requiere usualmente para el agua contaminada del sistema. La recuperación de los materiales de desperdicio del lavador normalmente es difícil.

Precipitadores electrostáticos

Los precipitadores electrostáticos se usan a menudo para manejar grandes volúmenes de aire cargado de polvo en amplios rangos de temperatura y presión. Estos sistemas aplican una carga eléctrica negativa, ionizando las partículas a medida que pasan al área de colección **(Figura 20.5)**. Las partículas cargadas entonces se atraen y adhieren a placas de electrodos cargadas positivamente posicionadas dentro de la zona de colección. Después se descarga el polvo aglomerado mediante el "golpeteo" o vibración de estos electrodos, permitiéndole moverse hacia abajo en las placas por la gravedad.

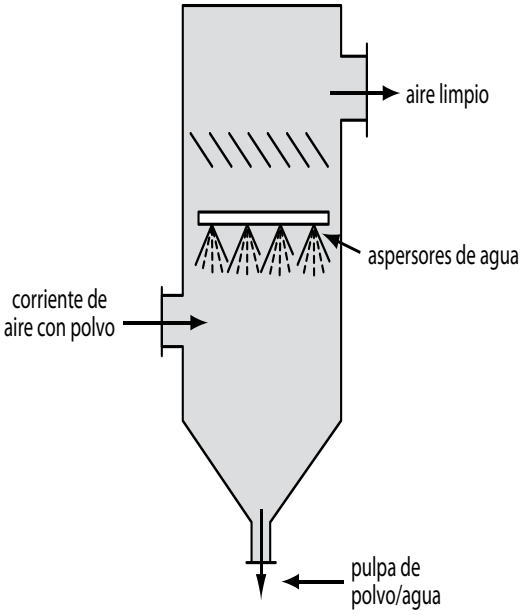


Figura 20.4

En los sistemas de lavadores húmedos, un líquido (comúnmente agua) se rocía en la corriente de aire con polvo. Las partículas de polvo son capturadas por las gotas de agua y se precipitan.

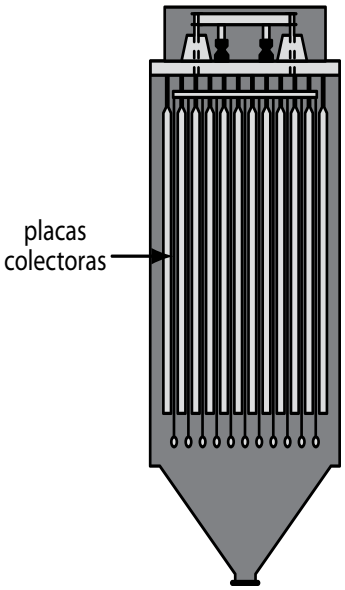


Figura 20.5

Los precipitadores electrostáticos aplican una carga eléctrica negativa, ionizando las partículas a medida que pasan al área de colección. Las partículas cargadas entonces se atraen y adhieren a placas de electrodos cargadas positivamente posicionadas dentro de la zona de colección.

Los cuatro componentes principales de todos los precipitadores estáticos son:

A. Un abastecimiento de energía, para proporcionar una corriente unidireccional de alto voltaje
B. Una sección de ionización, para impartir una carga a las partículas de la corriente de aire
C. Un medio para remover las partículas colectadas
D. Un alojamiento para confinar la zona del precipitador

Existen dos tipos principales de precipitadores:

A. Alto voltaje, monofásico

   Los precipitadores monofásicos combinan la ionización y la colección en un solo paso. Comúnmente se les conoce como precipitadores de Cottrell.

B. Bajo voltaje, bifásico

   Los precipitadores bifásicos usan un principio semejante a los precipitadores monofásicos; sin embargo, la sección de ionización es seguida de una sección de colección.

Los precipitadores pueden ser 99 por ciento eficaces con el polvo, incluyendo en las partículas submicrónicas, pero no funcionan bien en la cenizas sueltas de la combustión de carbón de bajo azufre, debido a su alta resistividad eléctrica. Funcionan con otros materiales, incluyendo materiales pegajosos y corrosivos, en ambientes de alta temperatura o de alto flujo de aire, con consumo mínimo de energía. Estos sistemas requieren de una gran inversión de capital. Se requieren medidas de seguridad para evitar la exposición del personal al sistema de alto voltaje. Los precipitadores pueden causar una amenaza de explosión cuando los gases combustibles se reúnen alrededor del sistema eléctrico.

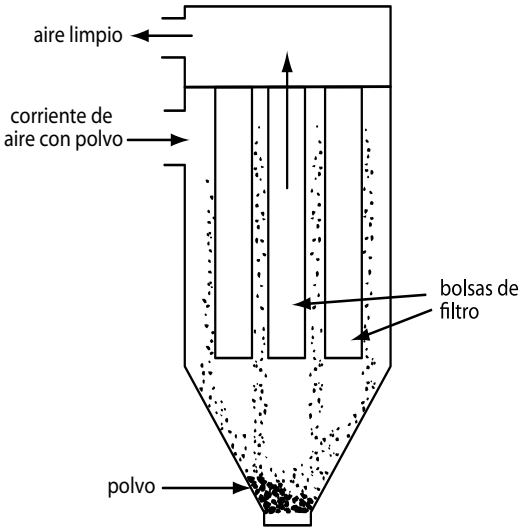


Figura 20.6

La tecnología de separación de polvo más común es el uso de colectores de tela, que se colocan en estructuras comúnmente llamadas filtros de manga. Los colectores de tela usan la filtración para separar las partículas de polvo del flujo de aire.

Colectores de filtro de cartucho

Los colectores de filtro de cartucho colocan cartuchos perforados de metal o plástico que contienen un medio de filtración plisado, no tejido dentro de la estructura colectora de polvo. El medio de filtración usado en estos sistemas proporciona un área de superficie de colección más grande en una unidad más pequeña que otros sistemas de colección de polvo. Como resultado, el tamaño del sistema general se puede reducir.

Estos sistemas están disponibles en sistemas de un solo uso, cambiando el filtro mientras está desconectado, y sistemas de limpieza de pulsorreactor, permitiendo una limpieza continua.

Las desventajas de estos sistemas incluyen el costo relativamente alto de los cartuchos de reemplazo. El alto contenido de humedad en los materiales colectados puede causar que el medio de filtración se obstruya, y el sistema mismo requiera niveles más altos de mantenimiento que otros métodos de colección. Los filtros de cartucho no se recomiendan generalmente en materiales abrasivos o aplicaciones con altas temperaturas.

Colectores de polvo de tela

Quizá la tecnología de separación de polvo más común sea el uso de colectores de tela que se colocan en estructuras comúnmente llamadas filtros de manga **(Figura 20.6)**. Los colectores de tela usan la filtración para separar las partículas de polvo del flujo de aire. Son uno de los tipos de colectores de polvo más eficaces y rentables y pueden lograr una eficacia de colección de más del 99 por ciento de las partículas de 1 µm o menores.

Los colectores de tela utilizan el mismo polvo para ayudar a realizar la filtración. Se forma una "plasta" del polvo colectado en las superficies de las bolsas de filtro y captura las partículas de polvo a medida que tratan de pasar por las bolsas.

Las bolsas, hechas de algodón tejido o con fieltro, material sintético o de fibra de vidrio en forma de tubo o sobre, deben limpiarse periódicamente para reducir el nivel de polvo apelmazado y permitir que el aire sea atraído a través de la bolsa sin hacer trabajar demasiado al ventilador extractor.

Principios básicos

Existen tres principios básicos de las operaciones del colector de polvo de tela, o filtro de manga:

A. La eficacia de limpieza depende de la acumulación de polvo apelmazado en la superficie del filtro: el desempeño es mejor en un filtro con algo de acumulación que en un filtro nuevo.

B. La cantidad de flujo de aire depende de la permeabilidad del medio de filtración, la cantidad de polvo en el flujo de aire, la cantidad de acumulación antes de la limpieza y el poder de la ráfaga .

C. Mientras más permeable sea la tela del filtro, menor será la eficacia de la colección, con o sin acumulación.

Los colectores pueden estar diseñados para "flujo ascendente", en el que el aire pasa hacia arriba a través del colector con aire limpio que sale de los filtros en la parte superior del colector, o "flujo descendente", en el que el aire entra por la parte superior y pasa a través del colector con aire limpio que sale por la parte inferior. El diseño de flujo descendente opera a favor de la acción de limpieza y es generalmente más eficaz.

Limpieza de filtros

La limpieza de filtros de un sistema de filtros de manga se puede realizar a petición, cuando el filtro esté totalmente cargado, según lo determine la caída de la presión especificada en los medios de filtración. Se puede realizar una limpieza automatizada cuando el colector está apagado, o cuando está conectado, lo que permite una operación ininterrumpida del colector.

Tres métodos comunes de limpieza son:

A. Agitación mecánica

Con la agitación mecánica, el aire pasa de la parte interior a la parte exterior de la bolsa, el polvo capturado en el interior de la bolsa. Las bolsas se limpian agitando la barra de soporte de la que está suspendida la bolsa. Esto se hace desconectando el sistema: este debe ser detenido para su limpieza.

B. Flujo de aire inverso

Con los sistemas de aire inverso, las bolsas se sujetan de la parte inferior. El aire se mueve hacia arriba en la bolsa desde el interior, el material se colecta en la parte interior. Las bolsas se limpian inyectando aire limpio en el colector de polvo en dirección inversa, por lo que la bolsa se colapsa parcialmente, causando que la acumulación se desprenda de la pared de la bolsa y caiga al fondo de la tolva. El sistema debe ser detenido para su limpieza.

C. Chorro inverso

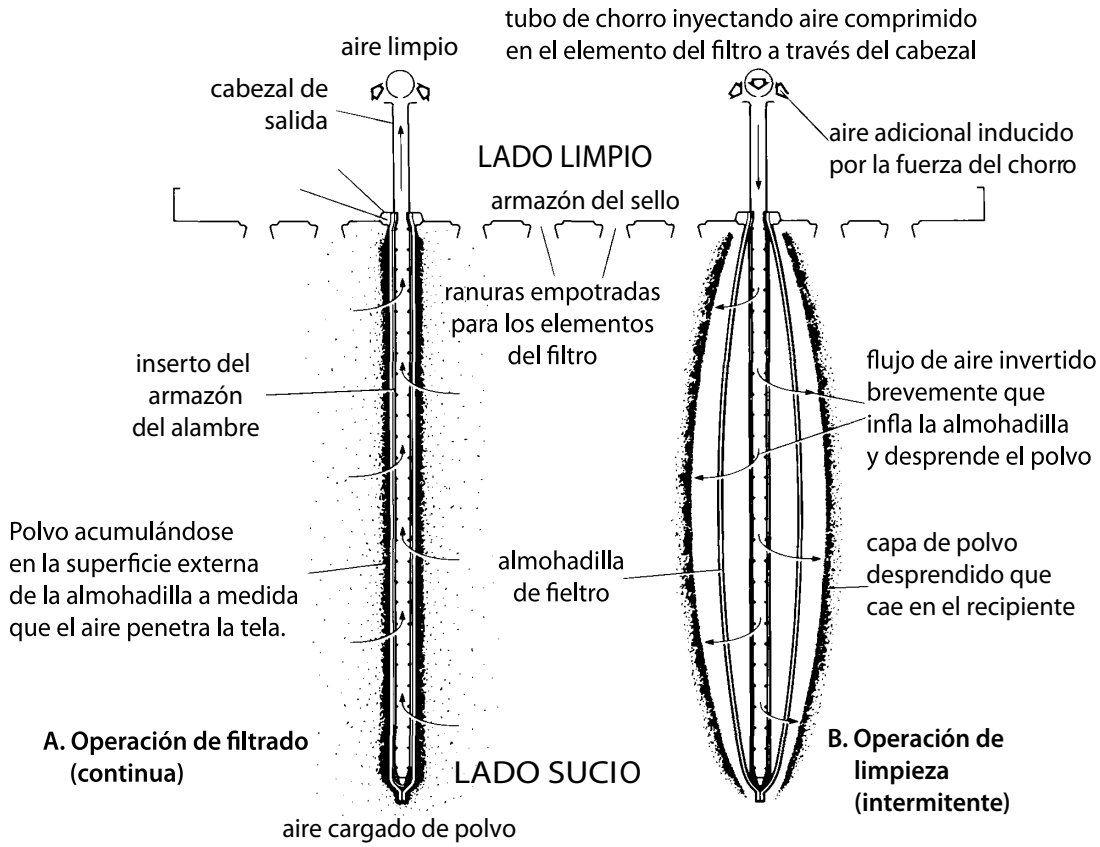
Los sistemas de chorro inverso permiten que se haga una limpieza mientras el sistema está en funcionamiento. Con este sistema de chorro inverso, las bolsas de filtro se sujetan de la parte superior del sistema de filtros de manga y son soportadas por jaulas metálicas. El aire sucio fluye desde el exterior al interior de las bolsas, dejando el polvo en la parte exterior de la bolsa. El aire limpio se mueve hacia arriba en la bolsa y sale por la parte superior de la reja **(Figura 20.7)**. Las bolsas se limpian descargando un chorro de aire comprimido en las bolsas en la parte superior. Una boquilla venturi localizada en la parte superior de la bolsa acelera el aire comprimido. Como la duración del chorro de aire comprimido es corta (típicamente un décimo de un segundo), actúa como burbuja de rápido movimiento, lo que flexiona la pared de la bolsa y desprende la acumulación que cae en la tolva de colección **(Figura 20.8)**.

Los sistemas de chorro inverso proporcionan una limpieza más completa que los diseños de limpieza de agitación o de aire inverso. La característica de limpieza continua les permite una rango de operación alto/medio, por lo que la eficacia de limpieza es mayor, y los requerimientos de espacio son menores que en los otros diseños.

Un sistema de colección de filtro de manga con filtros de tela puede ser hasta un 99 por ciento eficaz en la remoción de emisiones de polvo respirables. Las bolsas de filtración son relativamente económicas comparadas con otros métodos, y el gran número de fabricantes del

Figura 20.7

Con este sistema de chorro inverso, las bolsas de filtro se sujetan de la parte superior del sistema de filtros de manga y son soportadas por jaulas metálicas. El aire sucio fluye desde el exterior al interior de las bolsas, dejando el polvo en la parte exterior de la bolsa. El aire limpio se mueve hacia arriba en la bolsa y sale por la parte superior de la reja.



20

mercado asegura que haya precios competitivos. Las desventajas de estos sistemas incluyen problemas en las aplicaciones mayores a 260 grados Celsius (500°F) o en condiciones de alta humedad. Algunos sistemas requieren una entrada al sistema de filtros de manga para reemplazar las bolsas, por la exposición de los empleados a un espacio confinado, siendo la mayor preocupación los altos niveles de polvo y la posibilidad de que una chispa provoque una explosión.

Figura 20.8

Los sistemas de chorro inverso permiten que se haga una limpieza mientras el sistema está en funcionamiento. Con la limpieza de chorro inverso, los filtros se limpian descargando un chorro de aire comprimido en las bolsas en la parte superior. Este aire flexiona la bolsa y rompe la acumulación de polvo para que caiga en la tolva de colección.

Ventiladores y motores

El sistema de ventilador y motor provee la energía mecánica para mover el aire contaminado de una fuente productora de polvo a través de un colector de polvo. Los ventiladores centrífugos y de flujo axial son los dos tipos principales de ventiladores industriales usados para mover aire a través de los sistemas de colección de polvo.

Estos ventiladores son accionados por motores eléctricos. Tanto los motores abiertos como los cerrados están disponibles en modelos que son a prueba de ignición por polvo y están clasificados para uso peligroso, para proteger contra riesgos de incendio en ambientes cargados de polvo potencialmente peligrosos.

Los proveedores de los sistemas de colección de polvo harán las recomendaciones para el tamaño y tipo de ventilador y motor adecuados.

CENTRAL, UNITARIO E INSERTABLE

Sistemas centrales

El método central para manejar la colección de polvo de todo el aire de un sistema de transportación sería conectar todos los puntos de

colección individual por medio de tuberías a un solo colector de polvo instalado en un solo lugar remoto **(Figura 20.9)**. Este colector contiene ventiladores, filtros y una tolva de colección. El sistema de filtración manejaría todo el polvo extraído de todo el sistema transportador, colectándolo para su eliminación, o volviéndolo a alimentar al transportador o al proceso en un punto conveniente.

Los sistemas centrales son especialmente adecuados cuando el proceso tiene todos los puntos de generación de polvo operando al mismo tiempo o es deseable procesar todo el polvo de una planta. También son útiles cuando hay un espacio limitado cerca de los transportadores para la colección de polvo y equipo de procesamiento o donde el riesgo de explosión requiere que el colector de polvo esté posicionado a una distancia segura. En algunos procesos, es mejor remover las partículas finas del flujo principal de material. Se pueden preferir los colectores de polvo cuando se maneja polvo caliente, porque su temperatura se puede reducir a medida que el polvo viaja al colector central o cuando se añade "aire fresco" al flujo.

Las desventajas del sistema de colección central de polvo son sus requerimientos de diseño más complejo y sistemas muy largos de tuberías. Como todos los puntos de colección de polvo (atrapadores) deben operar a la vez, el método central puede representar costos más altos de operación. La necesidad de dar servicio a un componente requiere que el sistema entero se apague. El motor del ventilador que requiere un colector central podría ser mucho más grande, debido al aumento en la presión estática y pérdidas de la red de ductos a medida que crece el sistema. El polvo colectado requerirá un sistema adicional de manejo de materiales, que, si no se miden y operan adecuadamente, pueden, a su vez, crear su propio problema de polvo.

Sistemas unitarios

Los sistemas unitarios consisten en colectores pequeños, de autocontención aplicados en puntos de generación de polvo individuales o agrupados convenientemente **(Figura 20.10)**. Las unidades colectoras se localizan cerca de la maquinaria del proceso al que sirven, reduciendo la necesidad de ductos. Típicamente, estos sistemas unitarios de colección de polvo emplean filtros de tela para polvo fino, y colectores de ciclón usados en aplicaciones de polvo grueso.

Los sistemas unitarios se benefician por la reducción del sistema de ductos y la resultante reducción de gastos de diseño e instalación. Estos sistemas ofrecen un gasto

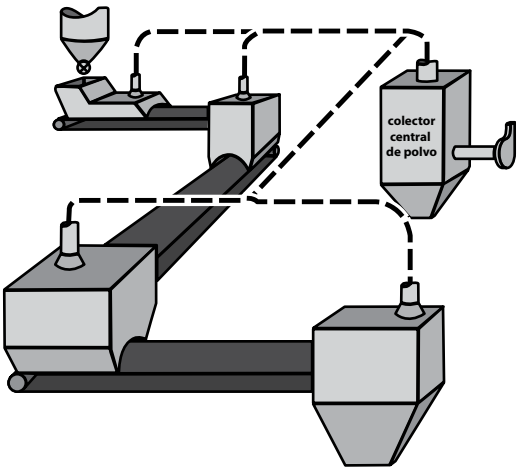


Figura 20.9

Un sistema central de colección de polvo usa un solo sistema de colección (sistema de filtros de manga) para remover polvo de una gran cantidad de puntos u operaciones diferentes de la planta.

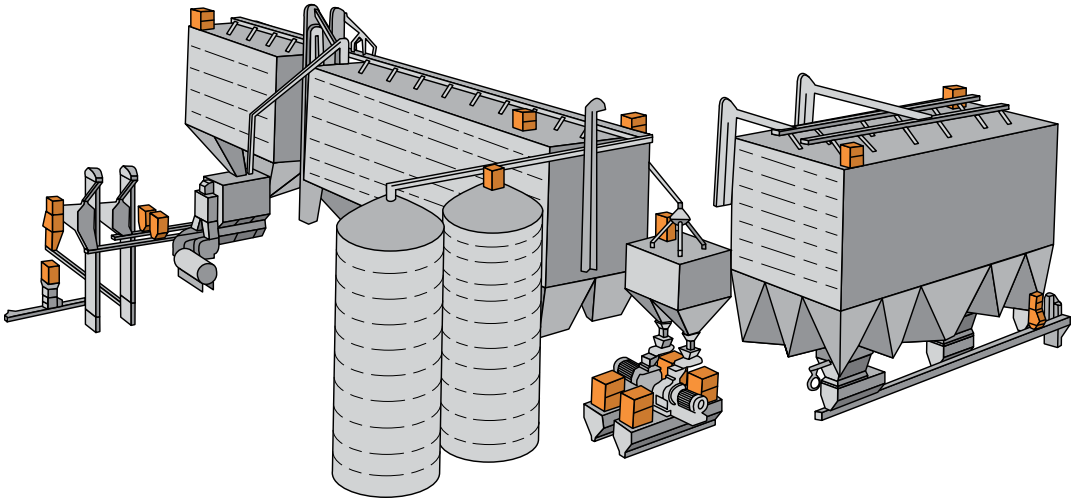


Figura 20.10

El sistema unitario coloca los colectores de polvo más pequeños cerca de puntos de generación de polvo individuales o agrupados por cercanía. (Nota: los colectores de polvo se muestran en anaranjado).

de operación reducido, porque algunas de las unidades pueden necesitar funcionar sólo intermitentemente. Se le puede dar servicio independiente a cada unidad, sin la necesidad de apagar todo el sistema de colección de polvo.

El método unitario requiere espacio adyacente para cada fuente de polvo. La eliminación de polvo de cada uno de los colectores unitarios puede requerir mecanismos adicionales de manejo de polvo.

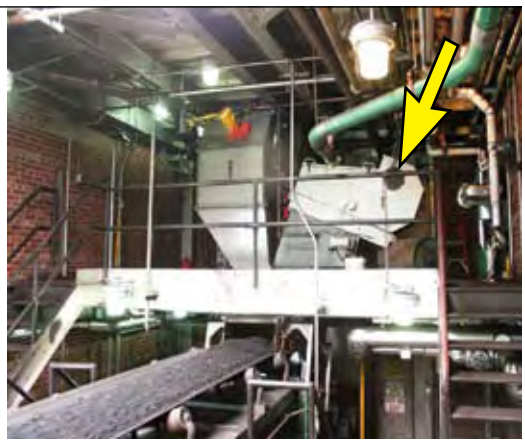


Figura 20.11

Los sistemas insertables colocan los colectores de polvo insertables dentro del equipo generador de polvo, como los puntos de transferencia del transportador.

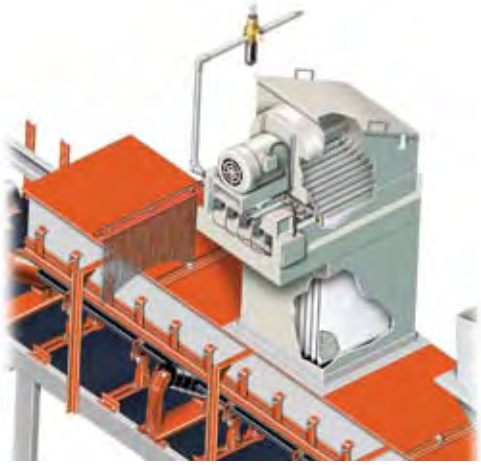


Figura 20.12

Los colectores insertables de polvo controlan la contaminación en su fuente. Instalados sobre los puntos de transferencia u otras fuentes de polvo, son pequeños y autocontenidos, y consisten en un ventilador y alguna forma de filtro de polvo.

Figura 20.13

Los colectores insertables son adecuados en operaciones productoras de polvo individuales, aisladas o portátiles, como contenedores, silos, puntos de transferencia o transportadores móviles.

Las ventajas de los colectores incluyen requerimientos de poco espacio, el regreso de polvo colectado al flujo principal de material y el bajo costo inicial. Sin embargo, sus capacidades de retención de polvo, recursos de servicio y períodos de mantenimiento se sacrifican por el tamaño pequeño.

Colectores insertables

Una extensión del concepto unitario es el sistema insertable, en el que el sistema de colección de polvo se incorpora dentro del mismo punto de generación de polvo **(Figura 20.11)**. El filtro se incorpora al confinamiento que está alrededor del punto de creación de polvo, con el objetivo de controlar el polvo en su fuente. El polvo no se "extrae"; se colecta y periódicamente se descarga en la corriente de material dentro del confinamiento.

Los colectores insertables de polvo controlan la contaminación en su fuente. Instalados sobre los puntos de transferencia u otras fuentes de polvo, son pequeños y autocontenidos, y consisten en un ventilador y alguna forma de filtro de polvo **(Figura 20.12)**. Estos colectores pueden usar la presión positiva del aire del transportador o pueden ser accionados por un ventilador. Los sistemas están diseñados para permitir que las bolsas o cartuchos de filtro se acomoden verticalmente, horizontalmente o en cualquier ángulo. Los colectores insertables eliminan los ductos, reducen los costos de instalación así como los costos de energía durante la operación. Son adecuados en operaciones productoras de polvo individuales, aisladas o portátiles, como contenedores, silos, puntos de transferencia o transportadores móviles **(Figura 20.13)**.

Una ventaja principal de este sistema es la eliminación de los sistemas de ductos. El sistema insertable es más económico que los sistemas centrales o unitarios, a menos que haya muchos puntos cercanos que requieran control de polvo. Como la presión estática es mucho menor, y no hay pérdidas en la presión por los ductos, el motor del ventilador es normalmente más pequeño que en los otros sistemas. El sistema insertable operará sólo cuando se necesita (cuando la pieza de equipo sobre la que se instala está en funcionamiento), reduciendo los requerimientos de energía. El polvo se regresa al proceso en el punto de generación, así que no hay necesidad de un sistema separado de manejo y eliminación de polvo.

Las desventajas de este sistema insertable incluyen el uso de aire comprimido para limpiar el filtro. Los sistemas de aire comprimido de muchas plantas ya están operando a su máxima capacidad, por lo que una adición del sistema de limpieza estándar de chorro inverso puede sobrecargar el sistema de aire de la planta. Además, el uso de aire comprimido que regresa el polvo a su fuente puede causar que una emisión de polvo escape de las áreas de entrada o de salida.

DIMENSIONAMIENTO Y COLOCACIÓN

Material y tamaño del filtro

Después de especificar un estilo de sistema de colección de polvo, el siguiente paso es seleccionar el material del medio de filtración. Seleccionar un medio de filtración del material y tamaño correcto es una función crítica. Los avances en el diseño de filtros permiten que el diseñador identifique el estilo y material adecuado para una aplicación basándose en las especificaciones del polvo que se va a colectar. Por ejemplo, si el polvo colectado está a una temperatura cercana a los límites de un filtro estándar, se puede seleccionar un medio de alta temperatura. Con materiales combustibles, se debe usar un medio de filtración antiestático.

Muchos fabricantes de filtros publican listas de proporción de aire a tela para varios de sus productos. La proporción aire a tela se define como el flujo del aire en metros cúbicos por segundo (pies^3/min.) dividido entre el área de medios de filtración en medios cuadrados (pies^2). La proporción adecuada de aire a medio depende del tipo de concentración de polvo y del tipo de medio de filtración. Estas listas deben servir como directrices, para ser modificadas por variables como el tamaño de las partículas de polvo, la temperatura del proceso y la presencia de humedad. Un representante del proveedor del sistema puede proporcionarle información detallada sobre la aplicación.

La mayoría de los medios de filtración requiere que haya una acumulación de polvo en su superficie para obtener la eficacia deseada de colección. Muchas personas piensan que mientras más limpias estén las bolsas, menores serán las emisiones. Esto no es verdad: la limpieza excesiva de las bolsas de polvo disminuirá el beneficio de la acumulación de polvo en el filtro y, por lo tanto, reducirá la eficacia de la operación.

Los fabricantes de colectores de polvo ofrecen normalmente una valiosa opción en el controlador Delta P (ΔP) un dispositivo que automáticamente "pulsa el sistema de filtros de manga" para limpiar los filtros cuando el diferencial de presión (la diferencia entre los lados limpios y sucios del filtro) aumenta más del valor recomendado.

Tamaño y lugar de la recuperación de polvo

Hay un viejo dicho que dice: "Las tres cosas más importantes para un comercio son el lugar, el lugar y el lugar". Lo mismo aplica en la colección de polvo: el elemento más crítico del diseño del sistema de la colección de polvo es el lugar de la recuperación.

Es importante que a las partículas finas de material se les dé la oportunidad de asentarse, ya sea por sí solas o con la adición de un sistema de supresión de polvo, antes de que llegue a los puntos de colección de polvo. De otra manera, se desperdiciará energía removiendo polvo que rápidamente se asentaría por sí solo, y el sistema de colección será más grande y costoso de lo necesario. Se debe seleccionar el lugar para minimizar la captura de partículas gruesas, que se asientan rápidamente, y en su lugar capturar únicamente polvo fino.

En los puntos de transferencia, usualmente se requieren puntos múltiples de recuperación de colección de polvo **(Figura 20.14)**. El punto principal de colección de polvo está posicionado aproximadamente dos veces el ancho de la banda después del punto de carga para colectar tres cuartos del volumen de aire en movimiento. La recuperación secundaria de polvo se localiza en el área de entrada de la banda del punto de transferencia (en la caja de sellado de la cola y directamente antes de la zona de carga). Esta colección debe tomar aproximadamente un cuarto del movimiento de aire total calculado **(Figura 20.15)**.

El tamaño de un sistema de colección

El libro de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists, *Industrial Ventilation*, es un recurso ampliamente usado para información sobre sistemas de control. Originalmente publicado en 1951, este libro ofrece cálculos estándar para muchas situaciones de control de polvo, incluyendo los puntos de transferencia de transportadores. Sin embargo, aunque las especificaciones

proporcionadas en *Industrial Ventilation* pueden ser útiles en algunas circunstancias, este volumen no debe ser considerado como referencia para los sistemas de transportadores. La experiencia ha demostrado que muchos de los datos de *Industrial Ventilation* ya no son adecuados para los puntos de transferencia. Los proveedores confiables que tienen experiencia práctica en el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de colección de polvo para las bandas transportadoras han desarrollado métodos nuevos y más sofisticados para medir y colocar sistemas de colección de polvo.

DESVENTAJAS

Desventajas de los sistemas de colección de polvo

Los sistemas de colección en seco para limpiar el aire cargado de polvo funcionan bien en climas calientes y fríos. Estos sistemas de polvo, sin importar la selección de un sistema de colección central, unitario o insertable, pueden requerir una gran cantidad de espacio para equipo y ductos, haciéndolos costosos. Los costos de operación y mantenimiento se multiplican a medida que aumenta el tamaño del sistema. Los cambios o alteraciones requeridos después del arranque del sistema pueden ser difíciles de implementar sin modificar todo el sistema. Hasta el reemplazo de las bolsas de filtro puede ser costoso y tardado. Un derrame de una bolsa de filtro puede afectar la eficacia del colector entero; puede ser difícil identificar y reemplazar el filtro que derrama. Si el polvo colectado debe regresar al flujo de material, se debe tener cuidado de impedir que el polvo vuelva a entrar al aire, requiriendo colección en el siguiente punto de recuperación.

Quizá el problema más grande en la medición de un colector de polvo es la variación de las propiedades y cantidades de los materiales a granel que se transportan. El sistema de colección de polvo debe diseñarse y operarse para las peores condiciones, aunque se espere que esas condiciones ocurran sólo en raras ocasiones.

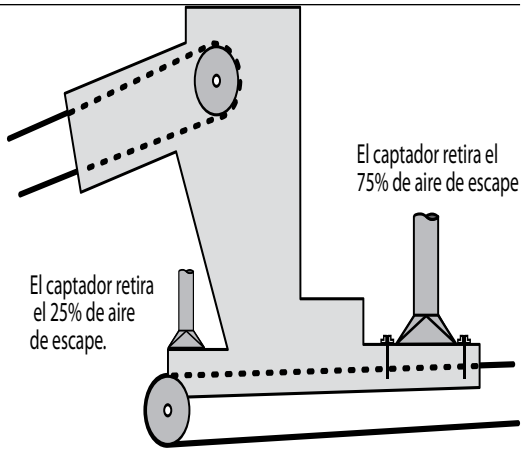


Figura 20.14

Muchos puntos de transferencia requieren más de un lugar de recuperación de polvo, con la principal recuperación localizada aproximadamente a dos tercios del ancho de la banda después del punto de carga.

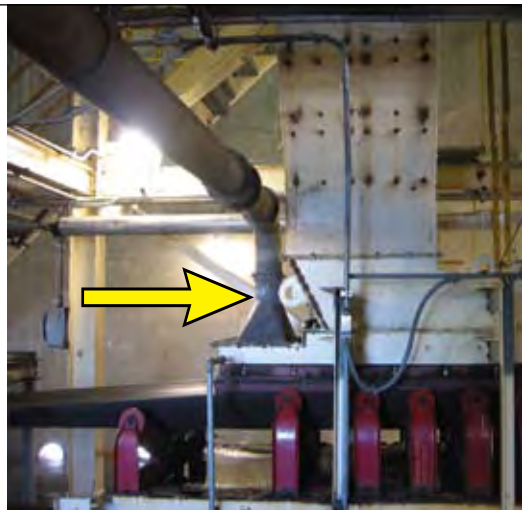


Figura 20.15

La recuperación secundaria de polvo se localiza en el área de entrada de la banda del punto de transferencia (en la caja de sellado de la cola y directamente antes de la zona de carga).

Manejo de los materiales colectados

El requerimiento final en cualquier sistema de control de polvo es proporcionar un mecanismo para eliminar el polvo después de que se ha colectado. Los pasos que se deben considerar incluyen remover el polvo del colector, moverlo, almacenarlo y tratarlo para reuso o eliminación.

El manejo del material colectado puede ser un problema, particularmente si el material va a regresar al proceso. Se debe tener cuidado para evitar afectar el proceso a través de la introducción de una sobrecarga de partículas finas en cualquier punto. Además, el polvo colectado debe regresarse al cuerpo principal del material de manera que se evite reenergizarlo de modo que tendría que ser colectado de nuevo en el siguiente punto de recuperación. Como las partículas de polvo colectadas son lo suficientemente pequeñas para irse al ambiente de nuevo, a menudo están sujetas a un proceso extra de combinación. El polvo colectado se puede transferir a una mezcladora, molino para arcilla o peletizadora antes de reintroducirlo al sistema general de manejo de material. En algunas industrias, el polvo colectado no puede ser reintroducido al proceso y, por lo tanto, debe ser enviado a un relleno sanitario o eliminarse como material de desecho.

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Se debe consultar a los proveedores del sistema de control de polvo para determinar los intervalos adecuados de servicio y los procedimientos para mantener eficaz la operación.

Es importante que los sistemas de control de polvo estén diseñados para permitir un acceso eficaz al confinamiento y permitir la inspección y servicio de las bolsas de filtro y otros componentes.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

A. Colector de polvo

El punto de transferencia del transportador estará equipado con un sistema colector de polvo para capturar partículas en el ambiente y regresarlas al cuerpo principal del material sin el uso de equipo adicional de manejo de material.

B. Localización del punto de transferencia

Este colector de polvo estará instalado dentro del confinamiento del punto de transferencia, para que pueda ser operado sin ductos o ventiladores de gran potencia que se requerirían para mover el aire cargado de polvo a un sistema central de filtros de manga.

C. Ventilador integral

El ventilador integral del colector de polvo absorberá el aire cargado de polvo a través de sus elementos de filtración en la parte interior del confinamiento.

D. Bolsas de filtro

El sistema de colección de polvo incorporará un conjunto de bolsas montadas en un marco de alambre en forma de sobre para un flujo de aire óptimo y una limpieza a fondo. El sistema de filtros capturará 99 por ciento de todas las partículas más grandes de una micra. Debe ser posible dar servicio a estos filtros desde el lado donde está el aire limpio de la unidad del colector.

E. Limpieza de chorro invertido

La limpieza periódica de los filtros se logrará con un chorro invertido automático de aire comprimido en las bolsas de filtro. Esto creará un flujo de aire invertido momentáneo, inflando el elemento de filtración para desprender el polvo acumulado. La acumulación colectada en el filtro regresará a la corriente principal del material.

F. Puertas de acceso

Una puerta de acceso removible permitirá el acceso a la cámara de aire limpio.

G. Medidas de seguridad

Para minimizar el riesgo de una explosión o un incendio, se debe utilizar en cualquier sistema de colección de polvo un ventilador que no genere chispas con motor calificado para el uso peligroso adecuado, filtros de polvo conectados a tierra y revestimiento de acero inoxidable.

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Como se observó en otra parte de este libro, existen riesgos significativos de incendio y explosión en toda área confinada, como el interior de un colector de polvo, donde se pueden concentrar las partículas en el ambiente. *(Vea el Capítulo 17: Generalidades del manejo de polvo).*

Debe observarse que muchos sistemas de colección de polvo integran espacios cerrados que requieren permisos y procedimientos de entrada a espacios confinados. Se deben tomar las precauciones correspondientes al enviar al personal a inspeccionar o dar mantenimiento a los filtros u otros componentes.

APLICACIONES TÍPICAS DE COLECCIÓN DEL POLVO

Una banda en una planta de concreto padece por una excesiva cantidad de polvo que escapa del chute de transferencia. El chute de transferencia está bien construido pero no se puede extender de ninguna manera.

Material . . . . . Cemento

Punto de transferencia . . . . . Bueno, pero no expandible

Flujo de aire . . . .0.75 m^3/seg. (1600 $pies^3$/min.)

Método de colección. . . . . Colector de polvo insertable

Esta es una buena aplicación para un colector de polvo insertable. Hay un problema de polvo. El punto de transferencia ya está establecido, pero no se puede extender para usar el control pasivo de polvo. El flujo de aire es muy grande para usar una bolsa pasiva de filtro.

El insertable colocará el polvo colectado de regreso en el transportador como sólidos más grandes, eliminando la necesidad de una operación secundaria para manejar el polvo colectado. Un insertable también mantendrá la carga relativamente valiosa sobre la banda transportadora.

El insertable se instalaría en el punto de transferencia de la banda transportadora cerca de la salida del chute de transferencia. Atraería el exceso de aire y polvo a través de un conjunto de filtros. A intervalos regulares, el aire se pulsaría a través de los filtros, y las partículas ahora aglomeradas de polvo caerían en el transportador.

TEMAS AVANZADOS

Selección y aplicación de un sistema de colección de polvo insertable

Un colector de polvo insertable es una pieza independiente de equipo de colección de polvo. Para dimensionarlo adecuadamente se debe conocer el flujo total de aire, la combustibilidad del material y las restricciones básicas del tamaño del área que está sobre el chute de transferencia. El diseñador también debe conocer la proporción de aire vs tela recomendada para el material y el colector que se está considerando. Este valor se puede obtener del fabricante del colector y usualmente se basa en el material transportado.

Abajo hay dos ejemplos que demuestran el proceso necesario para seleccionar un colector insertable y el efecto que la proporción de aire vs tela tiene en esa selección:

A. Chute de antracita

Datos: un chute de antracita genera 50 metros cúbicos de aire por minuto (1750 $pies^3$/min.), el colector requiere una proporción de aire a tela de 2.75 metros por minuto (9 pies/min.) para este carbón

Calcular: los requerimientos básicos de un colector de polvo insertable

Solución: para encontrar el área total requerida de medios de filtración, divida el flujo de aire entre la proporción de aire a tela, considere la combustibilidad del material

Dado que el material es carbón, esta aplicación requeriría un colector de polvo insertable que esté calificado para uso peligroso.

Respuesta: esta aplicación necesitaría un colector de polvo insertable que pueda atraer 50 metros cúbicos por minuto (1750 $pies^3$/min.), de 18 metros cuadrados (194 $pies^2$) de medio de filtración y ser calificado para un nivel adecuado de uso peligroso.

B. Chute de carbón sub-bituminoso

Datos: un chute de carbón sub-bituminoso genera 50 metros cúbicos de aire por minuto (1750 $pies^3$/min.), el colector requiere una proporción de aire a tela de 2.1 metros por minuto (7 pies/min.) para este carbón

Calcular: los requerimientos básicos de un colector de polvo insertable

Solución: para encontrar el área total requerida de medios de filtración, divida el flujo de aire entre la proporción aire a tela, considere la combustibilidad del material

Dado que el material es carbón, esta aplicación requeriría un colector de polvo insertable que esté calificado para el uso peligroso adecuado.

Respuesta: esta aplicación necesitaría un colector de polvo insertable que pueda atraer

50 metros cúbicos por minuto (1750 pies^3/min.), de 24 metros cuadrados (250 pies^2) de medio de filtración y ser calificado para un nivel adecuado de uso peligroso.

La unidad colectora de polvo insertable de 24 metros cuadrados (250 pies^2) será considerablemente más grande que el colector del ejemplo anterior, por lo que se debe verificar el espacio físico (el área que está sobre el chute de transferencia).

Velocidad del aire y manejo de polvo

La comprensión y control de la velocidad del aire (velocidad de aceleración, de captura y de transporte) influirán enormemente en la cantidad de polvo que se va al ambiente.

Velocidad de aceleración

La velocidad de aceleración del material es la velocidad del aire circundante requerido para levantar las partículas de polvo de una posición inerte al flujo de aire. La velocidad de aceleración de un material depende del tamaño y contenido de humedad de sus partículas finas. La velocidad de aceleración de la mayoría de los materiales está en el rango de 1 a 1.25 metros por segundo (200 a 250 pies/min.), las partículas más pequeñas y secas están en el extremo inferior del rango de velocidad y las partículas más grandes y húmedas se acercan más al extremo superior.

Velocidad de captura

Una vez que la partícula de polvo está suspendida en el aire, la cantidad de velocidad del aire requerida para llevar la partícula de polvo en movimiento al sistema de colección de polvo se llama velocidad de captura. La velocidad de captura depende de qué tan lejos está la partícula de polvo del dispositivo de captura (recuperación) y el tamaño del contenido de humedad de la partícula de polvo. Las cubiertas de colección que están diseñadas más adecuadamente requieren que la velocidad de captura esté en el rango de 1 a 3.5 metros por segundo (200 a 700 pies/min.), con velocidades de captura mayores requeridas para partículas de polvo más pesadas y húmedas, y velocidades de captura menores para partículas de polvo más ligeras con menos humedad.

Existe una fórmula simple para determinar la velocidad de captura de las partículas de polvo basándose en su densidad y diámetro **(Ecuación 20.1)**.

Es posible calcular la velocidad de salida del aire de un punto de transferencia determinado y después volver a calcular el tamaño de partícula que caería en la corriente de aire antes de que salga del punto de transferencia.

Velocidad de transporte

La velocidad de transporte es la velocidad del aire requerida para mantener las partículas de polvo en el ambiente en suspensión en los ductos que transportan el polvo a los colectores de polvo. Estas velocidades de transporte se basan en el tamaño de las partículas de polvo **(Tabla 20.1)**.

COLECCIÓN DEL POLVO: UNA PIEZA DEL ROMPECABEZAS

En resumen…

Este capítulo ha presentado sólo las generalidades de las capacidades y consideraciones del equipo de colección y control de polvo. Sería aconsejable consultar con los proveedores que se especializan en este equipo para recibir recomendaciones específicas.

Con adiciones valiosas a los sistemas de manejo de materiales, los sistemas de colección de polvo son sólo una pieza del rompecabezas del manejo de polvo. Mientras más éxito tenga un punto de transferencia en minimizar la cantidad de aire inducido y en cargar el material en la dirección y velocidad de la banda receptora, menos polvo se creará en el ambiente. Mientras más éxito tenga el confinamiento y sellado de un punto de transferencia, menos polvo fugitivo se liberará. Mientras más éxito tenga el sistema de supresión de polvo, se tendrá que colectar menos polvo presente en el aire. La aplicación exitosa de los principios del confinamiento y supresión trabajan para minimizar el tamaño requerido de un sistema de colección de polvo, y reducir el uso y desgaste y el riesgo de sobrecarga en ese sistema. Una pirámide compuesta de los tres sistemas, confinamiento, supresión y colección, permite que una planta sea exitosa en el control de la cantidad del polvo liberado en el ambiente.

Muchos proyectos de control de polvo han producido resultados inferiores a los esperados cuando el equipo se aplica mal o se

Ecuación 20.1

Velocidad de captura de las partículas de polvo

$$v_t = k \cdot \rho_s \cdot D^2$$

Dado: *Una partícula que mide 0.006 metros (0.020 pies) de diámetro y tiene una densidad de partícula de 800 kilogramos por metro cúbico (50 libras$_m$/pies^3).* ***Calcular:*** *La velocidad de captura de la partícula.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
v_t	Velocidad de captura de una partícula que cae en aire sin movimiento	metros por segundo	pies por segundo
k	Factor de conversión	3.187×10^3	15.6×10^3
ρ_s	Densidad de las partículas	800 kg/m^3	50 libras$_m$/pies^3
D	Diámetro de la partícula	0.006 m	0.02 pies
Métrico: $v_t = 3.187 \times 10^3 \cdot 800 \cdot 0.006^2 = 91.8$			
Imperial: $v_t = 15.6 \times 10^3 \cdot 50 \cdot 0.02^2 = 312$			
v_t	Velocidad de captura de una partícula que cae en aire sin movimiento	91.8 m/s	312 pies/s

Tabla 20.1

Velocidades de transporte de polvo basadas en el tamaño de las partículas de polvo

Material	Métrico	Imperial
Polvos ligeros finos *(harina, PRB, carbón)*	10 m/s	2000 pies/min.
Polvos secos finos *(arena de fundición, cemento)*	15 m/s	3000 pies/min.
Polvo industrial promedio	18 m/s	3500 pies/min.
Polvo grueso *(polvo de cantera)*	20 a 23 m/s	4000 a 4500 pies/min.
Polvo pesado o húmedo *(carbón subterráneo)*	23 m/s y más	4500 pies/min. y más

usan "normas generales" para la medición de sistemas. El éxito en la selección, instalación y mantenimiento de los sistemas de control de polvo requiere conocimiento especializado, que está disponible con los proveedores del equipo o sus representantes autorizados.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Colección del polvo es el cuarto y último capítulo en la sección sobre Manejo de polvo. El siguiente capítulo empieza la sección sobre Conceptos de vanguardia con una discusión sobre Transportadores limpios, seguros y productivos por diseño, seguida de Chutes de flujo diseñados en el Capítulo 22 y Transportadores soportados por aire en el Capítulo 23. Los Capítulos 24 y 25 se enfocan en los Sistemas de lavado de la banda y Ciencia del material.

REFERENCIAS

20.1 *Dustcollectorexperts.com* ofrece un útil y detallado tutorial sobre distintos sistemas de colección de polvo. Este sitio web no comercial provee información de referencia y vínculos a varios proveedores de equipo de colección de polvo.

20.2 Mody, Vinit and Jakhete, Raj. (1988). *Dust Control Handbook (Pollution Technology Review No. 161)*, ISBN-10: 0815511825/ISBN-13: 978-0815511823. Park Ridge, New Jersey: Noyes Data Corporation.

SECCIÓN 5

CONCEPTOS DE VANGUARDIA

- Capítulo 21 340
  TRANSPORTADORES LIMPIOS, SEGUROS Y PRODUCTIVOS POR DISEÑO
- Capítulo 22 348
  CHUTES DE FLUJO DISEÑADOS
- Capítulo 23 364
  TRANSPORTADORES SOPORTADOS POR AIRE
- Capítulo 24 376
  SISTEMAS DE LAVADO DE LA BANDA
- Capítulo 25 398
  CIENCIA DEL MATERIAL

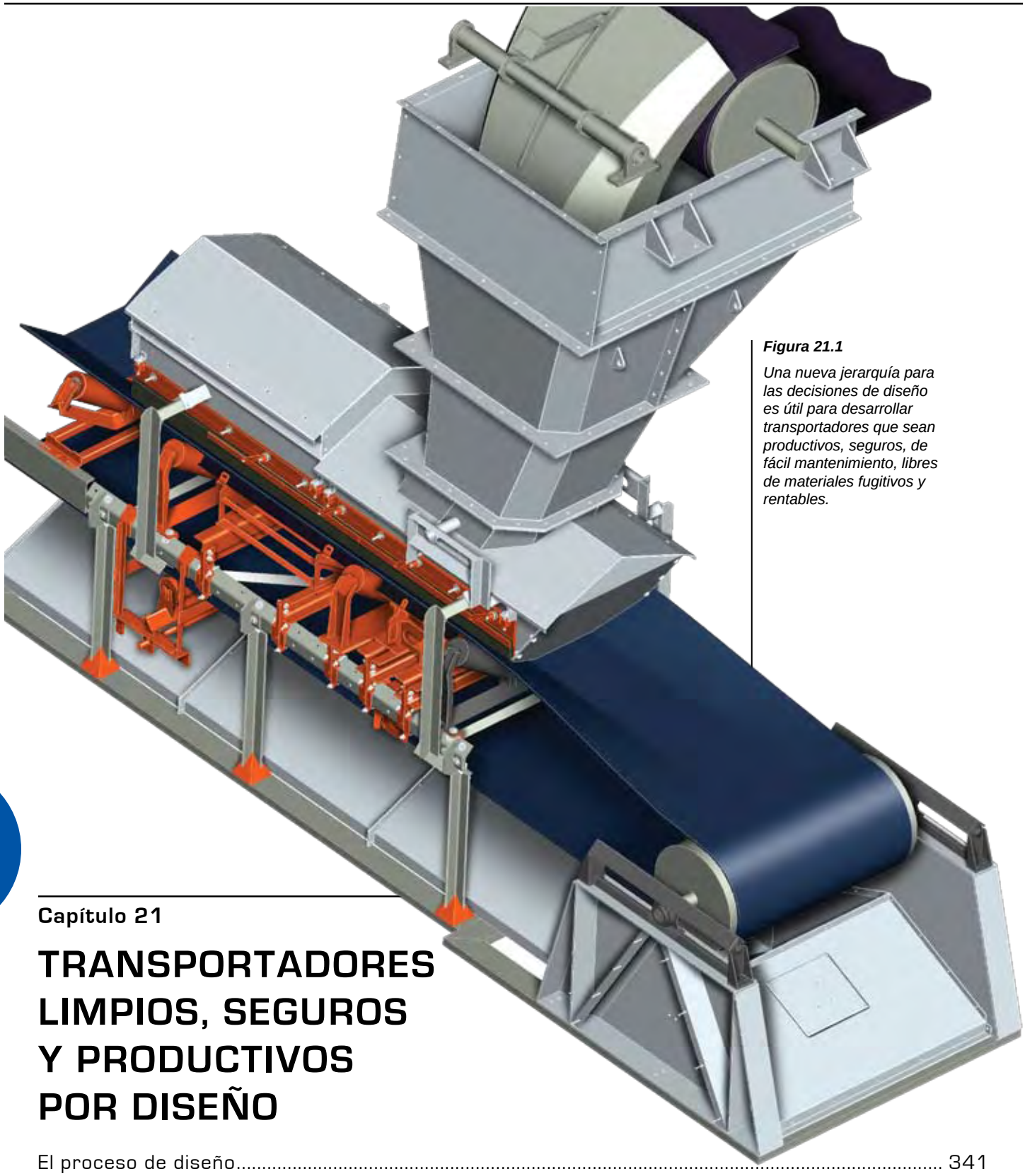


Figura 21.1

Una nueva jerarquía para las decisiones de diseño es útil para desarrollar transportadores que sean productivos, seguros, de fácil mantenimiento, libres de materiales fugitivos y rentables.

21

Capítulo 21

TRANSPORTADORES LIMPIOS, SEGUROS Y PRODUCTIVOS POR DISEÑO

El proceso de diseño 341
Diseño seguro 342
Diseño limpio 343
Diseño productivo 346
Una nueva jerarquía 347

En este capítulo...

En este capítulo se cuestiona la jerarquía tradicional de diseño de transportadores, 1: capacidad, 2: cumplimiento de código mínimo incluyendo la seguridad y 3: menor precio, se cuestiona. Se propone una nueva jerarquía de diseño para transportadores que no sólo tengan la capacidad y cumplimiento de código, sino que además sean 1: limpios (controlen los materiales fugitivos), 2: seguros (de fácil mantenimiento) y 3: productivos (rentables y actualizables) **(Figura 21.1)**.

Desde la invención de la banda transportadora, ha habido cambios considerables en las reglas de seguridad, reglamentaciones de contaminación, estándares de construcción y capacidad de carga requerida de estos sistemas. Desafortunadamente, los detalles del diseño y la fabricación de las bandas transportadoras aún están gobernados por "normas generales" y métodos de diseño que se han transmitido de una generación de diseñadores a otra. Fuera de los avances en computación para predecir el desempeño, los armazones sintéticos para las bandas y las tecnologías de control mejoradas, los sistemas de transportador están diseñados casi de la misma manera que hace 50 años.

La mayoría de los contratos de proyecto de ingeniería y construcción se otorgan en base a la oferta más baja. La práctica actual de los proveedores es fundamentar una oferta en el precio por kilogramo (por libra) de fabricación, con tiempo mínimo de diseño, para poder ser competitivo en este sistema de oferta más baja. Debido a estas presiones de competencia, la práctica común de los proveedores es fundamentar una propuesta sobre especificaciones, dibujos y diseños que se hicieron anteriormente para un sistema semejante. Lamentablemente para los dueños, operadores y personal de mantenimiento de transportadores, esta práctica a menudo produce un diseño de hace 50 años a precios actuales. Como el sistema se diseñó con una manera de pensar antigua, muy probablemente no cumplirá con las expectativas de hoy.

Este capítulo demuestra cómo el diseño de componentes y secciones críticas de los transportadores puede producir sistemas de transporte de materiales a granel limpios, seguros y productivos.

EL PROCESO DE DISEÑO

Como lo expresó George E. Dieter: "Diseñar es reunir algo nuevo o arreglar cosas existentes en una nueva manera de satisfacer una necesidad reconocida de la sociedad" *(Referencia 21.1)*. El diseño es tanto arte como ciencia. El proceso de diseño de cada compañía será diferente, pero la mayoría incluye:

A. Definición del problema
B. Reunión de información
C. Generación y evaluación de conceptos
D. Modelado y simulaciones
E. Selección de material
F. Revisiones de riesgo, confiabilidad y seguridad
G. Evaluación de costos
H. Diseño de detalles
I. Comunicación del diseño

Las complejidades de este proceso no se discutirán a detalle aquí, pero es importante observar que el proceso empieza con la identificación de una necesidad y una definición del problema. El primer paso, aunque es crítico, a menudo se pasa por alto. Dependiendo de cómo se defina el problema, el resultado final puede cambiar enormemente.

El propósito de un sistema de banda transportadora es proporcionar el medio de mover uno o más materiales a granel de un punto a otro. El sistema de banda transportadora total puede descomponerse en varias secciones o zonas con el detalle y diseño de esas secciones para examinarse desde puntos de vista nuevos y diferentes. Una definición del problema tradicional sería transportar un tipo, tamaño y cantidad de material específico desde el punto A al punto B. Si los requerimientos se extienden para incluir consideraciones de seguridad y la minimización del escape y acumulación de materiales fugitivos, entonces el sistema de transportador entero toma una perspectiva diferente. Cuando se incluyen factores adicionales (como la facilidad de instalación, mantenimiento y limpieza, la estandarización de componentes y la creación de un diseño rentable y actualizable), un sistema de banda transportadora diseñado bajo estos criterios es muy diferente del sistema típico de transportador de hoy.

Para poder iniciar el cambio a diseños nuevos, más modernos (diseños en los que la limpieza, seguridad y funcionalidad también se incluyan en las consideraciones de diseño iniciales), se debe analizar una nueva y más exhaustiva perspectiva sobre el manejo de materiales a granel.

DISEÑO SEGURO

El personal es el recurso más importante de cualquier mina u operación industrial; por lo tanto, los ingenieros y diseñadores deben incorporar la funcionalidad en diseños que mejorarán la seguridad. Aunque los diseños han cambiado poco, el ambiente del lugar de trabajo ha cambiado significativamente. Se han establecido restricciones respecto a levantamientos, requerimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación, reglamentaciones de la entrada a espacios confinados y un sinnúmero de procedimientos de seguridad. Al mismo tiempo, hay una mayor presión para una producción continua y cada vez mayor.

La aplicación de los principios de diseño para ayudar a garantizar la seguridad de los trabajadores debe incluir el uso de barreras y la implementación de nuevos diseños que mejorarán la facilidad de limpieza de los alrededores y el cambio de equipo. También se debe promover la capacitación de los empleados para una mayor concientización que incluya requisitos de calificación.

Guardas de barrera

Para proteger mejor al personal del contacto con los componentes móviles del transportador, la tendencia es instalar barreras (también llamadas protectores de área) alrededor de todo el transportador **(Figura 21.2)**. Estas barreras se deben instalar alrededor de todas las localizaciones de puntos de presión y en cualquier lugar en el que el personal esté en contacto con las partes móviles. Las barreras se deben diseñar para una fácil instalación y remoción para permitir que el personal autorizado realice las funciones requeridas de manera segura y eficaz y asegurar que las barreras se regresen a su lugar cuando se termine el trabajo. *(Vea el Capítulo 2: Seguridad).*

Figura 21.2

Las barreras (también llamadas protectores de área) se instalan para alejar al personal de la planta del contacto peligroso con el equipo.

Mantenimiento durante la operación

Con muchos transportadores que operan a toda hora, el paro en producción programado es muy escaso. Al manejar materiales a granel, ocurren problemas y el equipo falla prematuramente, resultando en pérdida de productividad, limpieza de emergencia y requerimientos de reparación.

Muchos estándares de seguridad alrededor del mundo reconocen que se deben realizar ciertos procedimientos de mantenimiento mientras el equipo está en operación. Estos estándares permiten excepciones a las reglas que requieren que el equipo se apague para darle servicio. Las excepciones se formulan para que sólo personal autorizado y capacitado en la concientización de los peligros potenciales pueda ajustar el equipo que está en operación. De hecho, la tendencia en estándares de seguridad (según se especifica en el documento de la Organización Internacional de Normalización (ISO) ISO/ EN 14121) es alejarse de las restricciones específicas a la tarea y trabajar con restricciones clasificadas por riesgos basándose en un análisis formal de riesgos. Cuando se puede establecer que el riesgo de lesión personal al dar servicio al equipo mientras está en operación es de hecho igual o menor que el riesgo de lesión personal al dar servicio a equipo que está detenido, bloqueado o etiquetado, los estándares más nuevos de seguridad reconocerán que el procedimiento de menor riesgo es el enfoque preferido.

Algunos componentes del sistema de banda transportadora requieren servicio frecuente para mantener una óptima eficacia (por ejemplo, los limpiadores de banda). En el control de materiales fugitivos y la capacidad de funcionamiento continuo de un transportador, los limpiadores de banda son críticos. Debido a cuestiones de seguridad, la mayoría de las operaciones prohíben el servicio de los

limpiadores de banda mientras el transportador está en operación. La incapacidad de dar servicio a un limpiador de banda puede causar problemas de material adherido y derrames que crean riesgos de seguridad. Los limpiadores de banda y otros componentes del transportador pueden estar diseñados para que se les dé servicio mientras la banda está funcionando. Se pueden diseñar herramientas especializadas y se pueden enseñar técnicas de servicio para desarrollar empleados de mantenimiento autorizados que puedan dar servicio con seguridad a ciertos componentes mientras que la banda está en funcionamiento **(Figura 21.3)**.

DISEÑO LIMPIO

Los diseños limpios son críticos para operar un sistema de manejo de material seguro y productivo. Sin embargo, en las plantas industriales o minas normales de la actualidad, no es posible operar un sistema de transportador que esté 100 por ciento libre de material fugitivo **(Figura 21.4)**. Los diseños iniciales malos, la falta de seguimiento de mantenimiento, la variabilidad de las propiedades de materiales a granel, la sobrecarga del transportador y el uso en los componentes del sistema son fuertes contribuyentes para las liberaciones inesperadas de materiales fugitivos.

Muchos detalles del diseño contribuyen para crear un sistema de transportador tan libre de materiales fugitivos como sea posible. Incorporar estructuras resistentes al polvo, diseños adecuados de chute lateral, revestimientos de desgaste externos, tamaños adecuados de poleas y alternativas de alineación de banda; asegurar que el área de trabajo esté limpia y libre de componentes de utilidad; y permitir actualizaciones futuras son cuestiones que se discutirán para mejorar las operaciones de manejo de material. Existe una gran cantidad de tecnologías de punta que se pueden incorporar a un sistema de transportador para mejorar su control de material. Estas opciones incluyen los chutes de flujo diseñados *(Vea el Capítulo 22: Chutes de flujo diseñados)*, transportadores soportados por aire *(vea el Capítulo 23: Transportadores soportados por aire)* y sistemas de lavado de banda *(vea el Capítulo 24: Sistemas de lavado de banda)*.

Las técnicas modernas de dibujo y fabricación en 3D hacen que sea factible disponer los componentes de maneras no tradicionales sin aumentar mucho los costos de estos sistemas. Uno de los detalles más simples es asegurar que los componentes estén orientados de manera que proporcionen tan pocas superficies planas como sea posible sobre las cuales se pueda acumular el material fugitivo **(Figura 21.5)**.

Estructuras y componentes resistentes al polvo

Limpiar alrededor de los transportadores es una necesidad. Al eliminar los lugares en donde se acumulan los materiales, los requerimientos de limpieza se reducen y simplifican. Los elementos estructurales deben estar en un ángulo de 45 grados cuando sea posible para despejar el material, haciendo así poco probable que los miembros del equipo de limpieza tengan que introducir herramientas debajo de la banda para remover la acumulación.

Los elementos estructurales que no pueden orientarse para reducir la acumulación de polvo deben ajustarse con placas de polvo para reducir la acumulación de material en áreas difíciles de limpiar **(Figura 21.6)**.

Figura 21.3

Las herramientas especializadas y los diseños seguros facilitan el servicio de los limpiadores de banda.

Figura 21.4

El material fugitivo se acumula sobre las superficies planas.

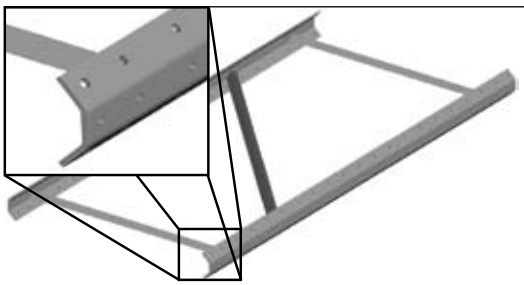


Figura 21.5

La minimización de superficies planas, incluyendo los largueros y soportes del chute lateral, pueden reducir la acumulación de material.

Las placas de cubierta y las bandejas de goteo deben estar diseñadas para desechar el material hacia afuera del transportador donde el material fugitivo se puede colectar más fácilmente **(Figura 21.7)**. Para poder ayudar en la reducción de la acumulación de polvo y asegurar que el material fugitivo fluya hacia afuera del transportador, estas bandejas deben estar diseñadas para la aplicación de vibración.

Figura 21.6

Las placas de polvo se instalan para reducir la acumulación de material fugitivo.

Figura 21.7

Las placas de cubierta en ángulo que están debajo de la zona de carga del transportador dirigirán los materiales fugitivos al exterior de la estructura.

Figura 21.8

Un diseño de chute lateral convencional coloca el revestimiento de desgaste en la parte interior del chute lateral.

Altura del chute lateral

La altura del chute lateral (pared del chute) citada en el libro de la Asociación de Fabricantes de Equipos para Transportadores (CEMA) *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS (BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES a GRANEL), sexta edición*, y en otras referencias y estándares, se basa en el terrón más grande que se cargará en el transportador sin recubrimientos de chute lateral. Hoy, muchos chutes laterales se cubren para contener el polvo. Se recomienda que los chutes laterales estén diseñados para acomodar el flujo de aire sobre el material a granel. (*Vea el Capítulo 11: Chutes laterales).* Esto conduce a un requerimiento que por lo menos sea dos veces la altura que CEMA recomienda para los chutes laterales sin cubierta. *(Vea el Capítulo 11: Chutes laterales para más información sobre el cálculo de la altura adecuada de los chutes laterales cubiertos).* Las cubiertas de los chutes laterales deben estar diseñadas para incluir la inclinación suficiente para evitar la acumulación de material.

Revestimiento de desgaste externo

La práctica por años ha sido unir el revestimiento de desgaste a la parte interior de los chutes laterales verticales de metal. Entonces, el revestimiento de desgaste se posiciona entre el material a granel y los chutes laterales de metal **(Figura 21.8)**. El chute lateral sirve como el elemento estructural que soporta tanto al revestimiento de desgaste como al sello de chute lateral. Si se montan incorrectamente, los revestimientos de desgaste no podrán proteger el sello de chute lateral del desgaste y a veces atraparán el material contra la banda, acanalando o dañando la banda. En esta configuración tradicional, con los revestimientos de desgaste montados en la parte interior del chute lateral, la inspección y reemplazo son difíciles debido a la colocación de los revestimientos que están atrás del chute lateral. El reemplazo de los revestimientos de desgaste montados en la parte interior del chute lateral es un trabajo complicado que requiere la manipulación manual de secciones pesadas en lugares estrechos y que a veces hasta implica la entrada a un espacio confinado.

El reposicionamiento del revestimiento de desgaste para que quede colocado en la parte exterior del chute lateral, donde puede ser inspeccionado fácilmente, instalado con exactitud y reemplazado fácilmente, es una

simple modificación que potencialmente ahorraría miles de dólares en horas de mantenimiento **(Figura 21.9)**. El chute lateral proporciona soporte estructural; la elevación sobre el patrón de flujo normal del material a granel y la implementación de un pequeño cambio al diseño a las abrazaderas del sello del chute lateral permite que el revestimiento de desgaste se instale fuera del chute lateral. El revestimiento de desgaste también se puede hacer ajustable para una instalación exacta.

Tamaños de poleas

Por décadas, se han seleccionado los tamaños de las poleas de cola, deflectoras y de descarga de tablas publicadas por los fabricantes de bandas con diámetros mínimos de poleas basados en la reducción de costos y proporcionando niveles seguros de estrés para la banda. La determinación del tamaño correcto de poleas debe incluir la consideración de facilidad de acceso para servicio. Una polea de mayor diámetro (una con un diámetro de polea mínimo de 600 milímetros (24 pulg.)) permitiría un espacio adecuado entre los trayectos de carga y de retorno para la instalación de una protección de la polea de cola del arado y, si es necesario, un arado de la banda de retorno **(Figura 21.10)**. El espacio adicional que se daría entre los trayectos de carga y retorno de la banda permite una inspección más fácil de los arados y proporciona un espacio adecuado para que los arados expulsen los materiales fugitivos de la banda. Una polea de cabeza más grande en la descarga de la banda proporciona el espacio necesario para instalar los limpiadores de banda en la posición óptima de trabajo. El costo añadido de la adición de poleas más grandes se compensa con el ahorro de costo derivado del control eficaz de materiales fugitivos y el requerimiento de paros en producción más cortos y menor mantenimiento.

Rodillo de posición fija

El desalineamiento de la banda es una causa importante de derrames; por lo tanto, se debe poner mucha atención a los dispositivos de alineación de banda para mantenerla centrada en la estructura. En un esfuerzo para mantener bajo el costo de una nueva instalación, a menudo se proveen rodillos satelitales en lugar de dispositivos de alineación de banda en muchas instalaciones nuevas. Los rodillos satelitales a menudo terminan sujetados hacia un lado u otro en un intento por compensar una situación que está más allá de la capacidad del dispositivo o por proteger el dispositivo de desgaste excesivo debido a que la banda camina continuamente hacia un lado. Las bandas transportadoras a menudo se van hacia un lado o hacia el otro debido a condiciones como carga mal centrada, problemas de alineación de la estructura del transportador, problemas de alineación de los componentes del transportador, condiciones climáticas o una gran variedad de otros factores. Las piezas sueltas de alambre o cuerda usadas para amarrar los rodillos satelitales son riesgos de seguridad en los alrededores de la banda en movimiento. Este problema puede ser exacerbado por condiciones cambiantes o las preferencias del operador que requieren que un rodillo de posición fija para mantener la banda en una dirección por la mañana se cambie para amarrar la banda en la dirección opuesta por la tarde.

En ausencia de una alineación adecuada de la estructura del transportador, del reemplazo y/o alineación de los componentes de transportador que causan problemas con la alineación de la banda, la seguridad de que la carga esté centrada adecuadamente o la instalación de uno o varios dispositivos de rodillos de alineación de banda para alinear y centrar la banda adecuadamente, se puede adaptar a estos rodillos satelitales un mecanismo que permita que estén en posiciones fijas, sin recurrir a ataduras de alambre o cuerda poco seguras **(Figura 21.11)**.

Conductos y tubería

Los transportadores proporcionan trayectorias convenientes para los servicios en operación

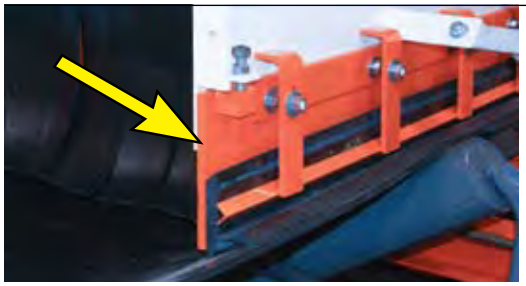


Figura 21.9

El revestimiento de desgaste instalado en la parte exterior de los chutes laterales es una simple modificación que ahorra potencialmente miles de horas de mantenimiento.

Figura 21.10

El diámetro de la polea de cola se debe seleccionar para tener bastante espacio para la instalación y servicio de un arado.

y los componentes eléctricos. Por décadas, las tuberías de servicios y eléctricas se han instalado a lo largo de la estructura del transportador con poca consideración hacia los efectos de esta ubicación en la instalación, mantenimiento y operación de los componentes del transportador. Este problema es particularmente notorio en las áreas de la zona de descarga y carga del sistema de banda transportadora. Por ejemplo, es común ver arados enterrados detrás de una red de conductos que se instalaron después de haber colocado el arado **(Figura 21.12)**. Los arados necesitan expulsar objetos extraños del transportador en el lugar seleccionado por el diseñador.

Los conductos de servicios en las zonas de descarga y carga en particular deben estar en lugares donde no interfieran con el acceso a componentes que son esenciales para el control de material fugitivo. El conducto principal debe estar arriba con un conducto flexible descendente donde se requiera para proporcionar energía o comunicarse con los componentes. Junto con el trayecto de carga del transportador, la estructura se puede usar para dar soporte a los conductos en tanto el conducto no interfiera con el acceso para los servicios ni reduzca la eficacia de los componentes individuales.

Figura 21.11

Este rodillo satelital se puede ajustar y fijar en su lugar de manera segura y sin atarlo con alambre o cuerda.

Figura 21.12

Los conductos colocados a lo largo del transportador hacen que sea imposible el acceso para el mantenimiento.

DISEÑO PRODUCTIVO

Siguiendo con los principios de diseño que establecen sistemas de bandas transportadoras seguras, de fácil servicio y limpieza conducen a sistemas de operación mejores y más productivos. Una operación más limpia y segura es normalmente una operación más productiva a la larga. Las cuestiones de seguridad normalmente corresponden a las condiciones de operación inseguras, que también son perjudiciales para el equipo. El polvo en el ambiente puede encontrar su camino hacia los pulmones y rodamientos; el material se puede acumular debajo de los pasillos y transportadores, causando riesgos de tropiezos, resbalones y caídas. Estas condiciones de operación inseguras no son sólo riesgos para la salud sino también para la condición del equipo del transportador. Cuando el equipo se apaga para reparaciones no programadas, no puede ser productivo.

Rentable

El costo total de propiedad, incluyendo el costo por kilogramo (por libra) de manejo de liberaciones de material fugitivo, se debe considerar al tomar decisiones de diseño y compra. Desafortunadamente, el proceso de la oferta más baja discutido anteriormente, que considera sólo el precio inicial de la compra, ha frenado la evolución de diseños limpios, seguros y productivos. Aunque el precio de compra inicial puede ser menor para un sistema sin capacidad de ajustes y sin consideración para reemplazo de los componentes de desgaste, los costos más altos requeridos para adecuadamente instalar y dar mantenimiento a los componentes, limpiar los materiales fugitivos y cubrir los paros en producción del equipo adicional superarán por mucho los costos de un sistema que toma estos factores en cuenta en el diseño inicial.

La utilización de los componentes estándar donde sea posible en el diseño puede tener sentido económico, porque se puede obtener cierta economía de compra. Con algo de previsión y leves cambios en el diseño, los componentes estándar (estructura, camas, faldeo, etc.) pueden a menudo adaptarse a estos nuevos principios de diseño. El uso de los componentes estándar puede proporcionar facilidad de instalación y reemplazo debido a la estandarización en toda la planta. Diseñar el sistema para la facilidad de actualización,

haciendo que los componentes estén montados en rieles **(Figura 21.13)** y sean de fácil mantenimeinto, puede reducir los paros en producción y el control de los materiales fugitivos.

Actualizables

Los diseñadores consideran rutinariamente el mejoramiento de las capacidades, pero raramente incluyen disposiciones para mejoramiento de los componentes. Un sistema de montaje en rieles proporciona flexibilidad para instalar rápidamente los componentes que resuelven problemas. El uso de un patrón de orificios de montaje previamente diseñado en la estructura que está alrededor del punto de transferencia del transportador permite la instalación de un sistema nuevo o mejorado rápida y fácilmente **(Figura 21.14)**. Un patrón de orificios uniformes para el montaje de accesorios alentará a los proveedores de componentes a adaptar diseños modulares, de tornillo o de abrazadera para readaptaciones sencillas. La utilización de diseños de plataformas estructurales (que incorporan rieles, modularidad y fácil readaptabilidad) alentará a los diseñadores a continuar modernizando la manera en la que se manejan los materiales a granel en la actualidad y en el futuro.

Figura 21.13

Este riel universal permite un mantenimiento deslizable hacia dentro y hacia fuera.

Figura 21.14

Una abrazadera de grapa permite la instalación simple de un sistema de rieles para los componentes de soporte de la banda.

UNA NUEVA JERARQUÍA

En resumen...

Las técnicas modernas de diseño (como el modelado en 3D para la fabricación, el Análisis de Elementos Finitos (FEA por sus siglas en inglés) para la estructura y el Modelado de Elementos Discretos (DEM por sus siglas en inglés) para el diseño de chutes) se pueden usar para mejorar la confiabilidad, productividad y seguridad del transportador mientras se reduce el costo total de propiedad. Para lograr diseños limpios, seguros y productivos, los diseñadores deben considerar una nueva jerarquía para las decisiones de diseño:

A. Capacidad
B. Seguridad y cumplimiento del código
C. Control de materiales fugitivos
D. Facilidad de servicio
E. Rentabilidad
F. Capacidad de mejoramiento

Las decisiones relacionadas con el diseño de un sistema de transportador o la selección de los componentes individuales deben seguir una jerarquía para asegurar que se cree el mejor diseño posible.

En el futuro, todos los sistemas de manejo de material a granel deben incorporar diseños para mover con seguridad la cantidad de material del punto A al punto B, que sea de fácil mantenimiento, rentable y controle el polvo y los materiales fugitivos ahora y para siempre.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo, Transportadores limpios, seguros y productivos por diseño, el primer capítulo de la sección Conceptos de vanguardia, analizó la prudencia de diseñar sistemas de manejo de materiales a granel que pueden costar más inicialmente pero ahorrar dinero a la larga. El siguiente capítulo, Chutes de flujo diseñados, es el primero de tres capítulos que presentan diseños para sistemas de transportador más limpios, seguros y productivos.

REFERENCIAS

21.1 Dieter, George E. (1999). *Engineering Design: A Materials and Processing Approach*, tercera edición. McGraw-Hill.

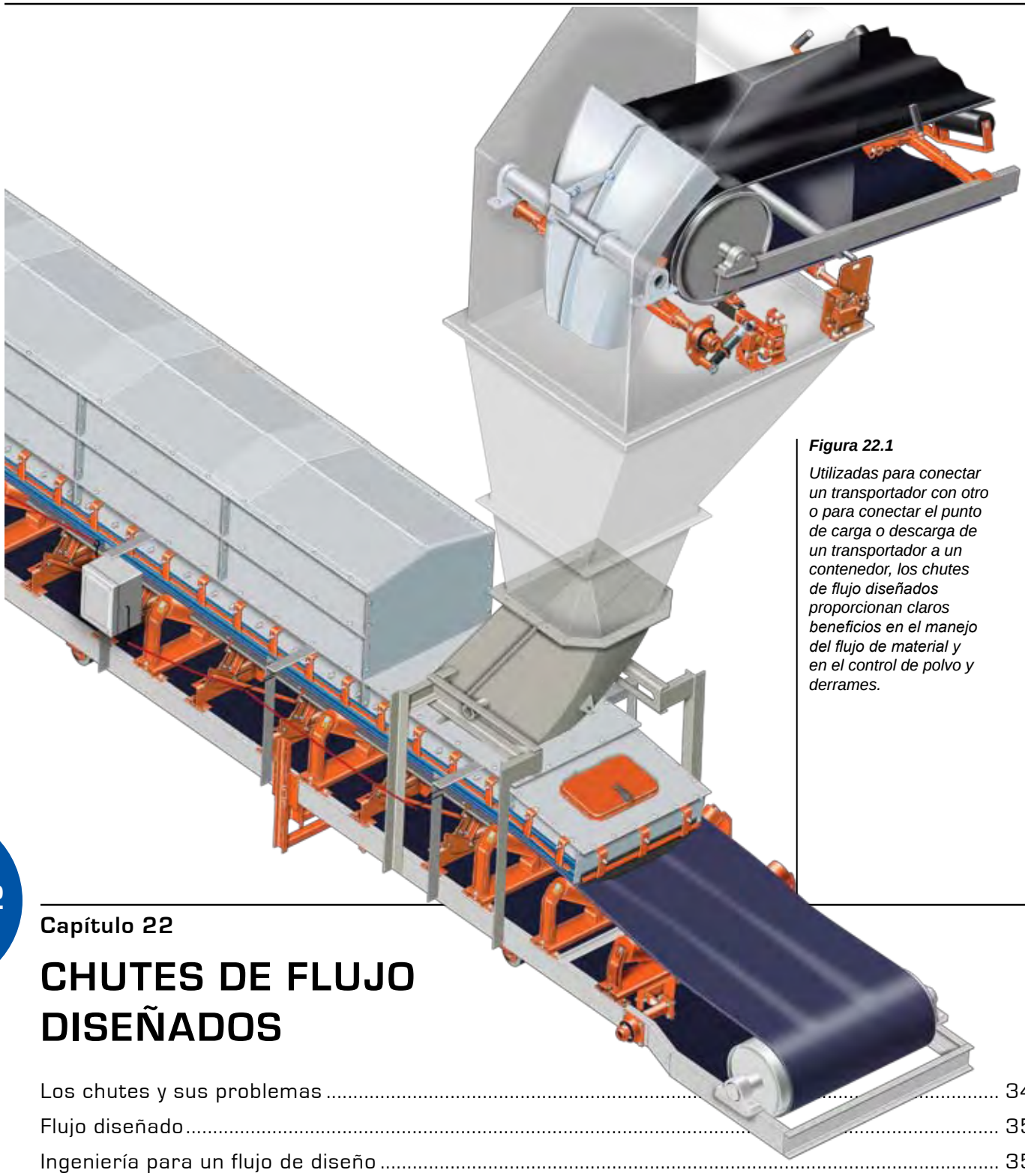


Figura 22.1

Utilizadas para conectar un transportador con otro o para conectar el punto de carga o descarga de un transportador a un contenedor, los chutes de flujo diseñados proporcionan claros beneficios en el manejo del flujo de material y en el control de polvo y derrames.

22

Capítulo 22

CHUTES DE FLUJO DISEÑADOS

Los chutes y sus problemas 349
Flujo diseñado 350
Ingeniería para un flujo de diseño 353
Instalación de los sistemas de flujo diseñado 358
Mantenimiento del sistema 359
Especificaciones típicas 360
Cuestiones de seguridad 360
Temas avanzados 360
La recuperación económica de los chutes diseñados 361

En este capítulo...

En este capítulo, discutimos los beneficios de los chutes de flujo diseñados y las maneras en que resuelven problemas comunes con los chutes de transferencia. Se definen los componentes de los chutes diseñados (la cubierta, la cuchara y la zona de asentamiento). Además describimos el proceso usado para diseñarlos junto con la información requerida por los diseñadores para hacerlo.

Un desarrollo del borde de ataque que mejora el transporte de materiales a granel es el adviento de los chutes de flujo diseñados **(Figura 22.1)**. Usados para conectar un transportador con otro o para conectar el punto de carga o descarga de un transportador a un contenedor de almacenamiento u otro paso del proceso, las transferencias de flujo diseñadas proporcionan claros beneficios en el manejo del flujo de material y en el control de polvo y derrames.

Diseñados especialmente para cada aplicación individual, los chutes de flujo diseñados controlan el flujo del material desde el transportador de descarga hasta el transportador receptor. *(Vea el Capítulo 8: Chutes de transferencia convencionales).* Un chute de flujo bien diseñado mantiene un perfil de material consolidado que minimiza la generación de polvo y el desgaste cumpliendo con todas las funciones de un chute de transferencia:

A. Alimentar el transportador receptor en la dirección del recorrido
B. Centrar la carga de material
C. Minimizar el impacto en la banda receptora
D. Suministrar el material a la velocidad del transportador receptor
E. Regresar los desechos de material de la banda al flujo de material principal
F. Minimizar la generación y el escape de polvo

Aunque la inversión inicial de un chute de flujo diseñado puede ser mayor que el costo de un chute de transferencia tradicional, el retorno sobre la inversión a la planta será rápido a través de una reducción de gastos de operación y mantenimiento. Los problemas como daños a la banda, desgaste prematuro de bandas y chutes, obstrucciones de chutes, derrames, polvo, combustión espontánea y degradación de material se reducen enormemente, si no es que se eliminan por completo, con el flujo de material controlado que viaja a través de un chute de transferencia de flujo diseñado.

LOS CHUTES Y SUS PROBLEMAS

La ingeniería de los sistemas de manejo de materiales a granel anteriormente se ha basado en gran parte en la experiencia, "normas generales" y estimaciones razonadas. Sin embargo, ahora las computadoras y los paquetes de software sofisticados proporcionan las tecnologías de diseño y modelado que permiten comprender y manejar mejor el flujo de material. Estos sistemas de software y hardware permiten al diseñador trabajar por medio de un rango de iteraciones que determinan cómo funcionará un sistema con un material específico, en un rango de condiciones del mejor al peor de los casos. Una computadora proporciona el tipo de poder de cálculo requerido para desarrollar modelos y generar las iteraciones, hacer pequeños ajustes a un diseño paso a paso que permiten la comparación de soluciones alternativas para mejorar el manejo de materiales a granel.

Tradicionalmente, se le ha prestado poca atención al flujo de materiales a través del chute más allá de asegurarse de que el chute sea suficientemente grande para alojar el flujo de material y minimizar el desgaste. Era una práctica común que los chutes fueran generosos en tamaño para reducir las obstrucciones y controlar el polvo pero en realidad esto representaba una deficiencia en la metodología del diseño. Los chutes se diseñaron semejantes a una caja para evitar aumentar los gastos de la fabricación. Debido a que estos ángulos de chutes eran diseñados en base a los ángulos de reposo, eran propensos a acumulaciones y bloqueos. Con los cambios en la dirección del flujo de transportador a transportador y de la energía descendiente del movimiento del material, los chutes sufrían desgaste en sus paredes de metal y en la superficie de la banda o contenedor receptor.

Los chutes diseñados de manera tradicional generan polvo lanzando un flujo de material descontrolado en el extremo del transportador permitiendo que se disemine. El movimiento del material desplaza aire a medida que el cuerpo del material se dispersa. El aire pasa a través del flujo de material y así esparce y arrastra partículas pequeñas de polvo. El

chute tradicional esencialmente puede crear un "efecto de chimenea", agregando el polvo al aire desplazado y en movimiento.

Además, las áreas receptoras eran típicamente pequeñas y sin soporte, y dejaban escapar el polvo. Cuando el flujo de material "aterriza violentamente" sobre el transportador receptor, el perfil del material se comprime y el aire inducido se expulsa. Este aire se lleva consigo las partículas pequeñas de material como polvo en el ambiente. Un flujo confinado holgadamente transportará mayores cantidades de aire inducido y por lo tanto se expulsa más polvo. Si se le permite al material moverse por el chute en un flujo turbulento, con lo que puede llamarse un "flujo de billar", donde los terrones rebotan entre sí y las paredes del chute, los terrones de material se degradarán creando más polvo que puede salirse del compartimiento.

FLUJO DISEÑADO

¿Qué es un flujo diseñado?

Los chutes con un "flujo diseñado" se basan en la aplicación de los principios de mecánica de fluidos y una comprensión del movimiento de partículas. El flujo de material diseñado se basa en controlar el movimiento del material a medida que sale de un transportador de carga o un silo, contenedor o tolva. La dirección y la velocidad del flujo pueden ser dirigidos por medio de cambios sutiles que lo guían hacia abajo de superficies con valores de fricción conocidos. Las modificaciones del curso graduales minimizarán la generación de polvo y centrarán la carga en la banda. Esto permite que se pueda calcular y explicar la energía perdida a través de la fricción.

¿Qué es un chute de flujo diseñado?

Desarrollados mediante pruebas de material sofisticadas y simulaciones de flujo en computadora, los chutes de flujo diseñados están diseñados para satisfacer los requerimientos de operación de una planta de modo que el material permanezca en movimiento continuo a través del chute de transferencia con el material moviéndose como un flujo compacto y coherente.

Esto minimizará la cantidad de aire inducido que se transporta junto con el flujo de material. Como resultado, hay menos aire expulsado y se crea menos polvo en el ambiente. **(Figura 22.2)** Además, el flujo se dirige o canaliza de manera que el material se coloque suavemente sobre la banda receptora minimizando el impacto y la abrasión de la banda.

El material se mueve sin problemas como agua a través de una llave. El material se desliza en armonía como un "flujo semejante a un líquido" en vez de permitir que los terrones reboten entre sí en la manera tradicional de un "flujo de billar".

Beneficios del flujo diseñado

Existen varios beneficios que se devengan por la instalación de un chute de flujo diseñado en una planta. Estos incluyen:

A. Control de polvo pasivo

Reducen el escape de polvo y al mismo tiempo minimizan o eliminan la necesidad de métodos de colección activos.

B. Aumento de la tasa del flujo de material

Eliminan a los chutes como un cuello de botella de producción.

C. Reducción de acumulaciones y bloqueos de material

Reducen o impiden las obstrucciones en el chute.

D. Reducción del impacto de la carga

Aumentan la vida útil de la banda reduciendo los daños y la abrasión.

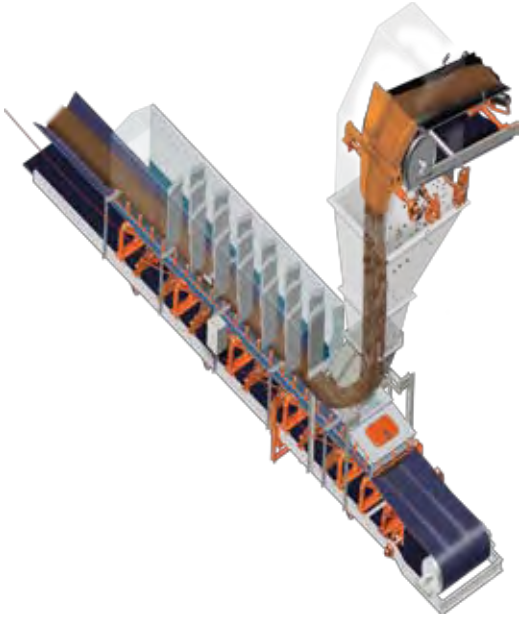


Figura 22.2

En una transferencia de flujo diseñada, el material se mantiene como un flujo compacto y coherente minimizando la cantidad de aire inducido. Por lo tanto, hay menos aire expulsado y se crea menos polvo en el ambiente.

E. Reducción de la degradación del material

Minimizan la creación de polvo.

F. Control de la colocación de la carga

Previenen el desalineamiento, los derrames y daños al borde de la banda.

No obstante, debe tenerse en cuenta que los chutes de flujo diseñados están diseñados para adecuarse a un rango angosto de parámetros. Ocurrirán cambios en el desempeño de estos chutes (y en la vida útil de los revestimientos dentro de ellos) cuando las condiciones varíen, incluyendo:

A. Tasas de flujo inconsistentes

Variaciones de más de 20 por ciento desde el flujo indicado, excepto en el arranque y el paro.

B. Características de material inconsistentes

Variaciones de más de 20 por ciento en cualquier atributo de las muestras de material probadas antes de diseñar el sistema.

C. Condiciones ambientales inconsistentes

Variaciones que crean alteraciones en el material como, por ejemplo, la precipitación que cambia el contenido de humedad a más de 10 por ciento de las características indicadas.

Componentes de las transferencias de flujo diseñadas

Un chute de flujo diseñado incorpora la geometría que captura y concentra el flujo de material a medida que viaja por el chute, lo cual tiene el beneficio doble de minimizar la ventilación y prevenir la acumulación de materiales dentro del chute. Prevenir la acumulación de materiales dentro de un chute es especialmente importante cuando se trata con materiales combustibles como el carbón.

Los chutes diseñados normalmente emplean un diseño llamado transferencia de "cubierta y cuchara". Este diseño está compuesto de un chute de descarga de "cubierta", en la parte superior del sistema, y un chute receptor de "cuchara", que coloca el material sobre la banda que se está cargando. La cubierta y la cuchara se instalan normalmente como una pareja, aunque una situación de manejo de material especial puede requerir sólo uno o el otro. Estos componentes se diseñan de manera especial usando las características del material transportado y de los materiales usados para la construcción del chute. La meta de la cubierta y la cuchara es confinar el flujo del material en movimiento, reduciendo el arrastre de aire y minimizando las fuerzas de impacto, entretanto coloca el material en la dirección apropiada sobre la banda receptora con mínimo impacto, o "salpicadura", para reducir el derrame, la abrasión, el polvo y el daño. Esta carga controlada también previene la carga lateral de material, lo que provoca el desalineamiento de la banda.

Además, muchos chutes de flujo diseñados incorporan un área adicional para el confinamiento del polvo, llamada una zona de asentamiento o zona de asiento. Aquí la corriente de aire sobre el flujo de material se desacelera de modo que el polvo residual puede asentarse de nuevo en el transportador.

Cubierta

Instalada en la descarga, una cubierta captura y confina el flujo de material en movimiento a un ángulo de impacto bajo **(Figura 22.3)**. Esto minimiza la fuerza de impacto, la acumulación y el desgaste. La cubierta redirige el flujo de material verticalmente, de modo que fluye suavemente hacia el sistema del transportador inferior **(Figura 22.4)**. Una vez que el flujo es vertical, entonces la dirección del flujo de material se modifica suavemente para alinear el flujo con el transportador receptor.

Cuchara

Una cuchara se instala en la parte inferior del chute de transferencia donde recibe el

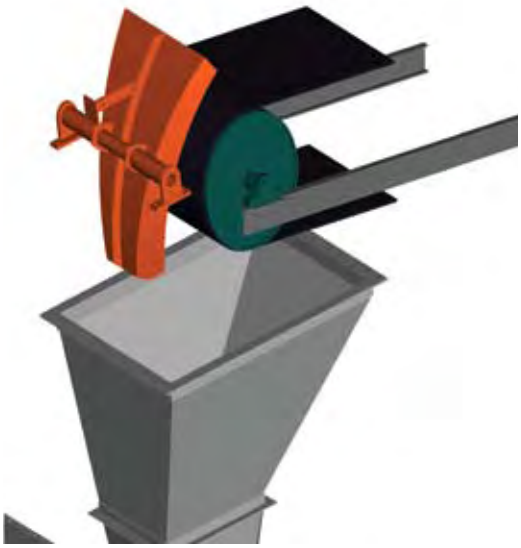


Figura 22.3

Instalada en la descarga, una cubierta captura y confina el flujo de material en movimiento a un ángulo de impacto bajo.

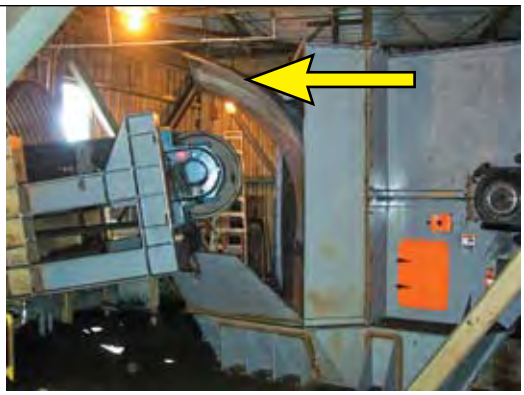


Figura 22.4

Una cubierta se instala para redirigir el flujo de material de manera vertical de modo que fluya suavemente hacia el sistema del transportador inferior.

Figura 22.5

Una cuchara se instala en la parte inferior del chute de transferencia donde recibe el flujo de material y lo coloca sobre la banda receptora.

Figura 22.6

Al dirigir el flujo concentrado de material al centro de la banda receptora con la velocidad y el ángulo correctos, la cuchara reduce el impacto sobre la banda, la abrasión de la banda, la creación de polvo, la carga descentrada, el desgaste de los revestimientos y otros problemas.

Figura 22.7

La zona de asentamiento, normalmente instalada después de la cuchara en el transportador receptor, corresponde al faldeo convencional y la porción cubierta del transportador receptor.

flujo de material y lo coloca sobre la banda receptora **(Figura 22.5)**. La cuchara está diseñada para cargar suavemente el material sobre el transportador receptor, de manera que la carga se deposite en la misma dirección y casi a la velocidad de la banda. Al dirigir el flujo concentrado de material al centro de la banda receptora con la velocidad y el ángulo correctos, la cuchara reduce el impacto sobre la banda, la abrasión de la banda, la creación de polvo, la carga descentrada, el desgaste de los revestimientos y otros problemas **(Figura 22.6)**.

Otro beneficio de cargar por medio de una cuchara diseñada es que la banda puede requerir de menos soporte de banda en la zona de carga. Cargar el material sobre la banda a una velocidad similar y en la misma dirección que la banda está viajando proporciona un menor impacto a la banda y, por lo tanto, menos necesidad de camas de impacto y camas de soporte para bandas.

En algunos chutes complejos o transferencias con largas distancias de descarga, pueden usarse más de una pareja de "cubierta y cuchara" para controlar el flujo.

Zona de asentamiento

La zona de asentamiento, normalmente instalada después de la cuchara en el transportador receptor, corresponde al faldeo convencional y la porción cubierta del transportador receptor **(Figura 22.7)**. Esta área está cuidadosamente diseñada para proporcionar el asentamiento óptimo del aire cargado de polvo y el asentamiento de cualquier polvo en el ambiente, al retener el aire suficiente tiempo para reducir su velocidad. La zona de asentamiento normalmente usa un chute lateral más alto y cubierto para permitir que cualquier polvo en el ambiente se asiente del aire, regresando la mayoría del polvo a la cama de material principal sin que se escape hacia afuera **(Figura 22.8)**. Las corrientes de aire se desaceleran en el área más grande de la zona de asentamiento y con el uso de cortinas de polvo dentro del área.

Algunos diseñadores de sistemas omiten la zona de asentamiento en sus diseños usando sólo diseños de chutes laterales con cubiertas convencionales. Sin embargo, es casi imposible diseñar un chute que maneje cada una de las condiciones de material posibles. Por lo tanto, es más seguro incluir la zona de asentamiento

para responder a circunstancias imprevistas o manejar cambios futuros en el material.

INGENIERÍA PARA UN FLUJO DE DISEÑO

Aun si dos transportadores corren a la misma velocidad, la gravedad puede provocar que aumente la velocidad del material durante una transferencia de un transportador a otro si el flujo se deja descontrolado. Tanto la cubierta como la cuchara deben diseñarse para interceptar la trayectoria del material a un ángulo de incidencia bajo. Esto usa las fuerzas naturales del movimiento de material para alinear el flujo hacia la cuchara y así tener una colocación correcta sobre la banda receptora reduciendo el impacto y el desgaste. Puesto que la cubierta y la cuchara están diseñados considerando como criterios las especificaciones del material y los requerimientos del flujo, el chute puede operar al flujo requerido reduciendo el riesgo de obstrucciones o bloqueos de chute que atorarán las operaciones.

Para lograr el diseño apropiado de la cubierta, la cuchara y el área de asentamiento, los chutes de flujo diseñados se crean usando un modelado tridimensional basado en computadora para definir la geometría del chute **(Figura 22.9)**. El ángulo y la fuerza del impacto deben minimizarse para mantener tanto impulso como sea posible. Idealmente, el ángulo de impacto no debe ser mayor de 15 a 20 grados. Este diseño debe basarse en procesos y procedimientos rigurosos para proporcionar un diseño preciso, exacto y completo. Los datos dimensionales pueden determinarse con una inspección del sitio o, especialmente en plantas nuevas, con una revisión de los planos del sitio y las especificaciones del transportador.

Es esencial que el diseñador de un chute de flujo diseñado tenga información detallada sobre el material que fluirá a través del chute y los parámetros del sistema de transportador en sí. Esta información incluye:

A. Sistema de alimentación
   a. Tipo de sistema de alimentación (por ejemplo, quebradora, alimentador vibratorio, depósito, excavadora)
   b. Número de sistemas de alimentación
   c. Ángulo de inclinación o declinación **(Figura 22.10)**
   d. Velocidad de la banda
   e. Grosor de la banda
   f. Ancho de banda
   g. Ángulo de canalización
   h. Capacidad de transferencia
   i. Tipo de estructura del transportador (canal, armazón, cable)
   j. Método por el cual se envía el material a la planta (por ejemplo, barco, vagón de tren, camión)

B. Transferencia
   a. Ángulo de interfaz **(Figura 22.11)**
   b. Distancia horizontal al punto de carga **(Figura 22.10)**
   c. Altura de descarga **(Figura 22.10)**
   d. Capacidad de transferencia
   e. Número de transferencias

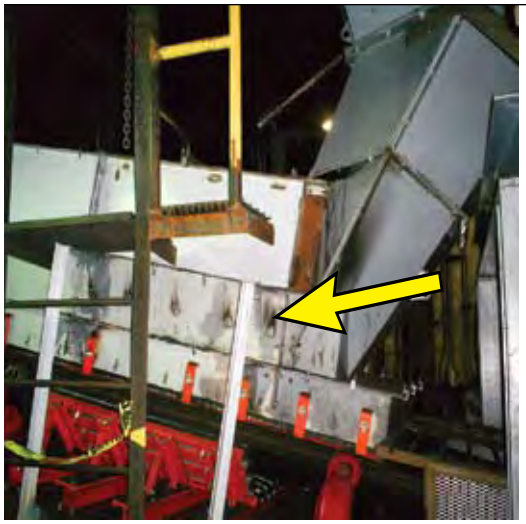


Figura 22.8

La zona de asentamiento está cuidadosamente diseñada para proporcionar el asentamiento óptimo de aire cargado de polvo y de cualquier polvo en el ambiente, reteniendo el aire por un tiempo suficiente para reducir su velocidad.

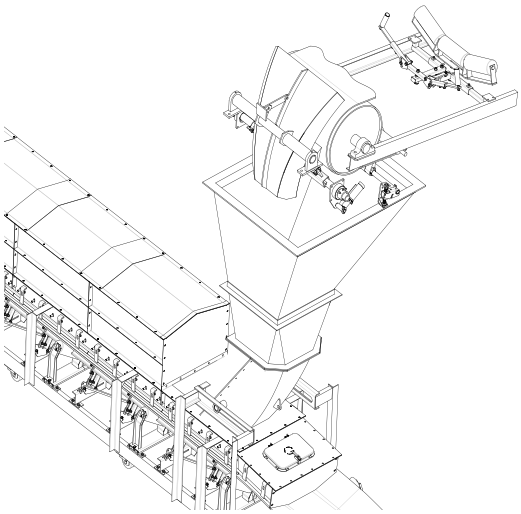


Figura 22.9

Para lograr el diseño apropiado de la cubierta, la cuchara y el área de asentamiento, los chutes de flujo diseñados se crean usando un modelado en 3D basado en computadora para definir la geometría del chute.

Figura 22.10

El diseñador de chutes de flujo diseñados necesita información detallada sobre el sistema de un transportador y el material que transporta.

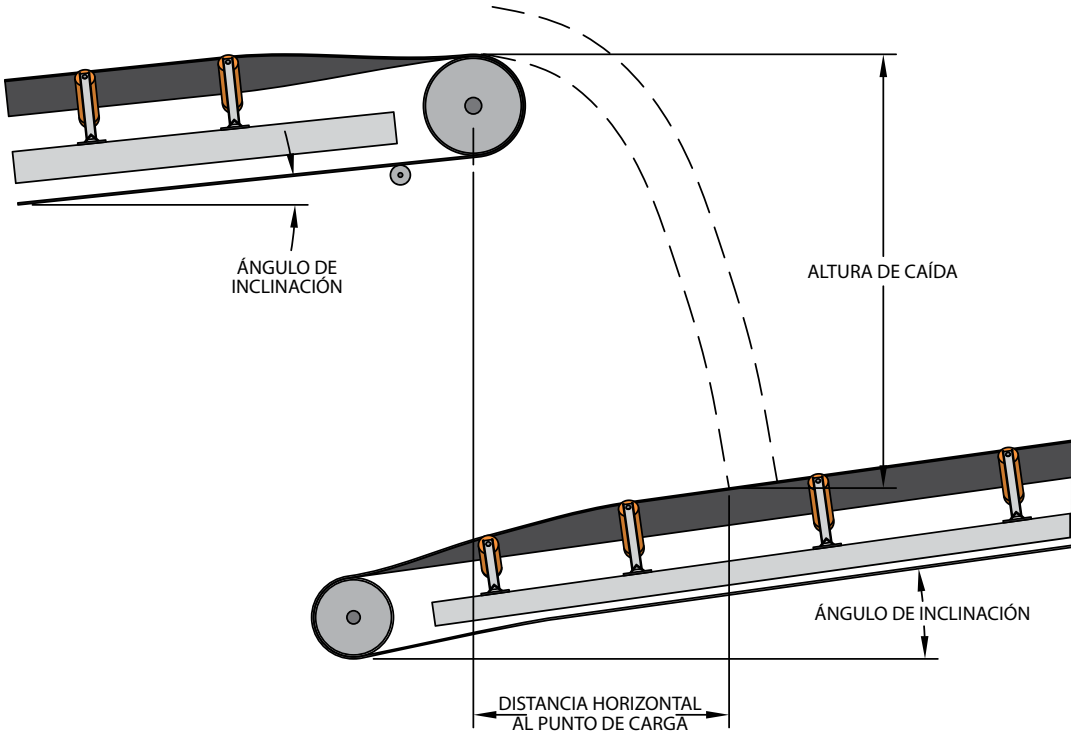
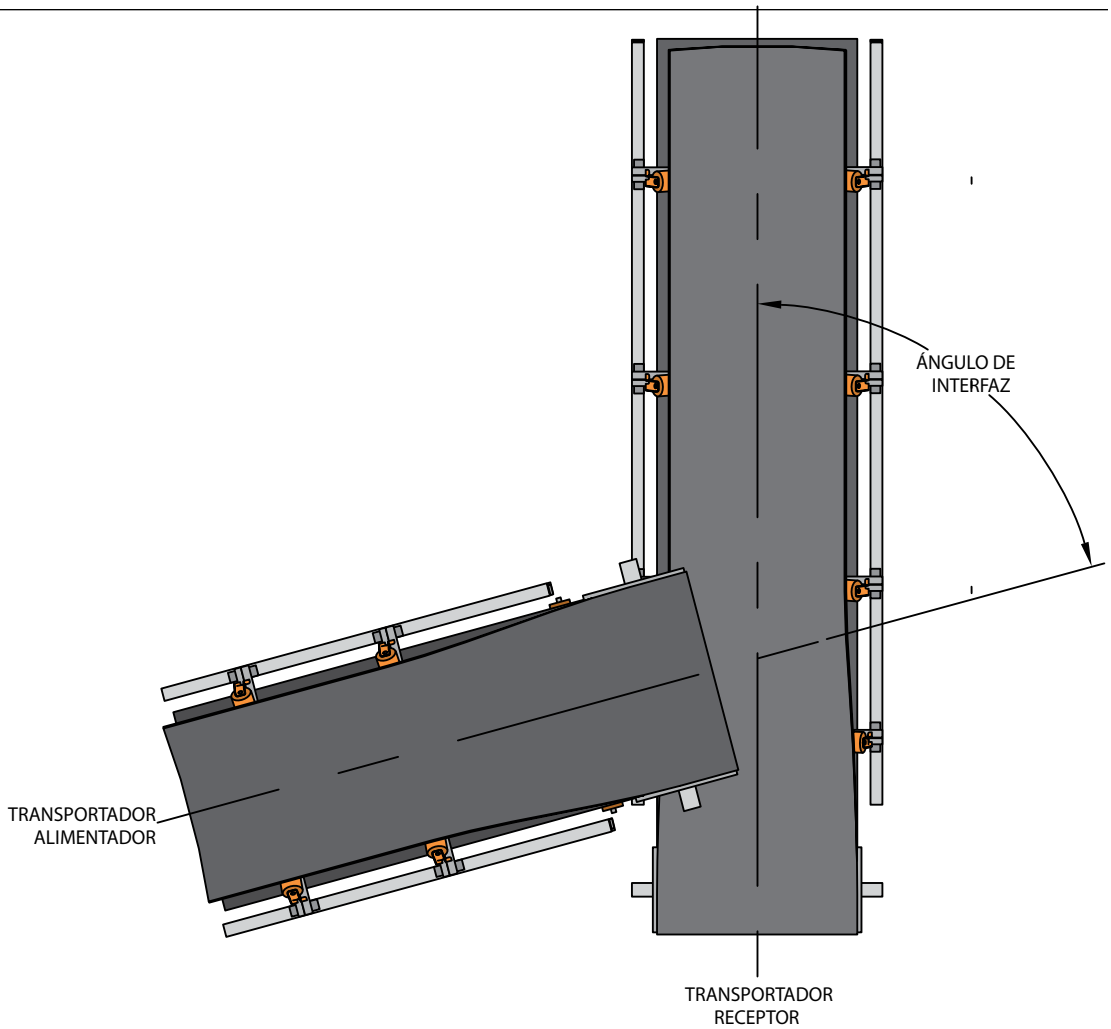


Figura 22.11

El ángulo de la interfaz de un punto de transferencia es un elemento clave en el diseño de chutes diseñados.



22

f. Número de compuertas y propósitos (por ejemplo, dividir el flujo o cambiar la dirección del flujo)

g. Interferencia debido a la estructura circundante

C. Sistema receptor

a. Tipo de sistema receptor

b. Número de sistemas receptores

c. Velocidad de la banda

d. Grosor de la banda

e. Ángulo de inclinación/declinación del transportador **(Figura 22.10)**

f. Ancho de banda

g. Tipo de estructura del transportador (canal, armazón, cable)

h. Ángulo de canalización

i. Capacidad de transferencia

j. Sistema de soporte para banda/carga

k. Distancia del transportador a la curva o interferencia para la zona de asentamiento

D. Material transportado

a. Tipo de material

b. Rangos de temperatura (alta y baja)

c. Contenido de humedad

d. Condiciones ambientales que afectan la condición del material (incluyendo la distancia desde la fuente/proveedor y el lugar donde se colectó la muestra)

e. Tamaño del material

f. Densidad aparente

g. Fricción de la interfaz

h. Propiedades de cohesión/adhesión

i. Tamaño de la partícula y distribución porcentual

j. Tamaño promedio del terrón y tamaño máximo del terrón

k. Ángulo de sobrecarga

l. Ángulo de reposo

E. Materiales de construcción

a. Materiales de construcción del chute

b. Materiales del revestimiento del chute

c. Tolerancias para la fabricación e instalación

d. Valores de fricción de la interfaz para los materiales de construcción en contacto con el material a granel

Diseño de las transferencias de flujo diseñadas

Los chutes de transferencia de flujo diseñado se desarrollan en un proceso de ingeniería de tres pasos. La fase uno es probar las propiedades del material transportado y los valores de fricción de la interfaz en relación con la banda y los materiales de construcción para establecer las características del material y su desempeño en los sistemas de manejo de materiales. Después de definir diferentes parámetros del transportador y el material, se puede determinar la trayectoria de descarga del material usando métodos convencionales como el método de la Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas Transportadoras (CEMA).

La segunda fase del proceso incluye verificar las dimensiones de campo actuales y desarrollar la ingeniería preliminar. Se crean un conjunto de dibujos conceptuales bidimensionales y una representación gráfica tridimensional del conjunto de chutes usando un software de 3D, y las características de flujo se verifican usando el método de Modelo de Elemento Discreto (DEM).

La tercera y última fase es la creación del diseño final seguido de la ingeniería detallada y luego, a su vez, la fabricación e instalación del sistema.

Fase 1: Análisis de material

El primer paso en el diseño de un chute diseñado es probar el material real que pasará por ella. La información obtenida incluye la composición del material y las propiedades físicas, el contenido de humedad, el rango del tamaño del terrón y el tamaño de los finos. La prueba generalmente incluye el análisis de la fuerza del material a granel a diferentes contenidos de humedad, desde "como se recibió" hasta el nivel de "saturación", para poder responder a las condiciones del material cambiante. Típicamente existen al menos tres tipos de pruebas diferentes, incluyendo el corte directo, la fricción de la interfaz y la densidad aparente, a cada uno de estos niveles de contenido de humedad. Los probadores de corte lineal directo o rotativo a menudo se usan para medir el flujo de material y las propiedades de la interfaz. Los componentes finos del material a menudo se usan en la prueba puesto que los finos definen las propiedades del flujo para el peor de los casos.

La prueba de muestras de material real a transportar en relación a la banda real y los materiales de construcción a usarse debe realizarse para proporcionar estos datos importantes. *(Vea el Capítulo 25: Ciencia del material, para más información sobre la prueba y el análisis del material).*

La prueba del material concluye con una recomendación de los ángulos de los chutes, en base a la fricción de límites requerida para encontrar el equilibrio entre un flujo confiable a través de un chute de transferencia y niveles aceptables de desgaste del chute y la banda. Además deben incluirse las recomendaciones para los materiales a usar como revestimientos dentro del chute.

Los diferentes parámetros del transportador y material así como la trayectoria de descarga del material se usan para desarrollar el diseño del chute de transferencia.

Fase 2: Método de Modelo de Elementos Discretos (DEM)

Los parámetros desarrollados en la Fase 1 se usan para desarrollar un modelo de elemento discreto de 3D generado por computadora del sistema de chutes **(Figura 22.12)**.

El DEM es una herramienta de verificación del diseño. La ecuación de operación básica es la segunda ley de Newton: Fuerza = masa por aceleración (F = ma), resuelta para cada interacción entre partícula y partícula, y partícula y chute, según se modificó con las propiedades de la partícula y los elementos que interactúan. Las fuerzas, las cuales actúan sobre cada partícula, se calculan con los datos iniciales y las leyes de física relevantes. Algunas de las fuerzas que afectan el movimiento de partículas incluyen:

A. Fricción

Cuando dos partículas se tocan entre sí o se mueven contra la pared

B. Impacto

Cuando dos partículas chocan

C. Friccional, o viscosa, amortiguamiento

Cuando se pierde energía durante la compresión y el retroceso de partículas en una colisión

D. Cohesión y/o adhesión

Cuando dos partículas chocan y se adhieren entre sí.

E. Gravedad

Las soluciones basadas en un método DEM son más perceptivas que aquellas basadas en ecuaciones de diseño básicas y "reglas generales" puesto que permiten al diseñador evaluar con más precisión las cuestiones importantes como, por ejemplo, la carga centrada sobre un transportador receptor. El ingeniero de diseño también es capaz de predecir las áreas en el chute que pueden ser propensas a baja velocidad de material, que por lo tanto ocasionan obstrucciones, y tomar la acción correctiva para prevenirlas. Cuando se combina con ecuaciones básicas, el DEM permite al diseñador determinar rápidamente el diseño de chute óptimo a través de una serie de iteraciones. Una desventaja mínima del DEM es que sólo relativamente pocas partículas, en comparación con el número total de partículas en el flujo de material, pueden simularse en una cantidad razonable de tiempo con computadoras que están comúnmente disponibles, aunque los avances en la tecnología informática pueden eliminar rápidamente este problema.

Una ventaja adicional de este sistema basado en computadora es que pueden desarrollarse cambios rápidamente para compensar los cambios en las características del sistema.

Por supuesto, el principio de "basura entra, basura sale" también aplica. Si los datos que entran al software no son exactos, el diseño que sale como resultado tampoco será exacto. Es por esto que la prueba del material real a transportar, en las diferentes condiciones en las que se manejará, incluyendo el "peor de los casos", es crítica.

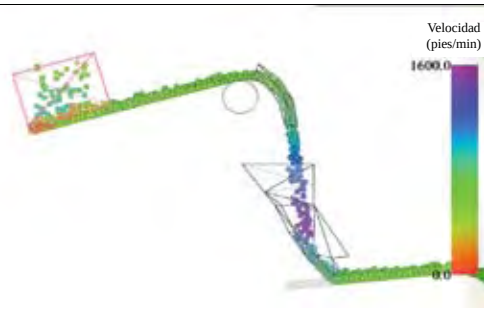


Figura 22.12

Los parámetros desarrollados en la Fase 1 se usan para desarrollar un modelo de elementos discretos en 3D generado por computadora del sistema de chutes.

Fase 3: Diseño final

El uso de técnicas de modelaje basadas en computadora permite un cambio completo rápido y eficiente de un diseño de chute para que éste cumpla con los requerimientos de una transferencia de banda a banda específica. El modelo 3D se usa para producir la fabricación y los dibujos de instalación.

El proyecto de chute diseñado completo incluye la cubierta, el chute de descarga, la cuchara, el revestimiento de desgaste, la cama de soporte para bandas, el sistema de alineación de banda, el sistema de limpieza de banda, la placa deflectora, las compuertas de acceso, el sello de chute lateral, la caja de sellado de compuerta de cola y la zona de asentamiento.

Otros elementos

Otros elementos a considerar durante el diseño del chute son los requerimientos para calentadores, aislamiento, acceso al interior del chute, iluminación, plataformas de acceso, interruptores para el chute obstruido, guardas apropiadas y espacio adecuado para el reemplazo de limpiadores de la banda, promotores de flujo u otros componentes.

Otras consideraciones en el diseño

En el sentido más simple, el chute de transferencia debe tener superficies internas que sean suficientemente inclinadas y suaves, con esquinas redondeadas, para prevenir problemas de flujo como acumulaciones de material y obstrucciones, aun cuando transportan material con propiedades en el peor de los casos. Idealmente, esta geometría debe ser gobernada por los efectos de la gravedad únicamente. La realidad es que existen varias consideraciones que deben incluirse y calcularse cuando se planea la instalación de transferencias de flujo diseñadas. Estos factores incluyen:

A. Trayectoria del material

El cálculo de la trayectoria del flujo de material a medida que abandona el transportador de descarga implica considerar el centro de masa del material, las velocidades, el punto en la polea de descarga donde comienza la trayectoria y la forma de la carga. (Una discusión detallada de la trayectoria de descarga puede encontrarse en el capítulo 12 de *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS (BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL), sexta edición* de CEMA.

B. Desgaste

El impacto, la corrosión y la abrasión son los contribuidores principales del desgaste de un chute, los cuales se llevan a cabo donde el flujo de material golpea la superficie del chute. La abrasión por deslizamiento es el paso del flujo de material a lo largo de la superficie de la pared del chute. La cantidad de abrasión que se presente depende de la diferencia en la dureza entre el flujo de material y el revestimiento de desgaste y de la cantidad, velocidad y fuerza de la carga sobre la superficie del revestimiento de desgaste. Puesto que el diseño de chutes de flujo diseñados vincula el comportamiento del material con la interfaz en las paredes del chute, el análisis del impacto y la abrasión por deslizamiento son importantes para controlar la forma y la velocidad del flujo de material.

C. Tolerancias

Hasta las diferencias pequeñas en la instalación de los componentes pueden afectar el flujo suave del material y el aire a través del punto de transferencia. Las recomendaciones de los fabricantes para la instalación de componentes y materiales deben seguirse estrictamente.

D. Análisis de flujo de dos fases

El análisis de flujo de dos fases toma en cuenta el movimiento del flujo de material a través del chute de transferencia y el aire inducido que viaja con él hacia la zona de asentamiento del transportador receptor. Si el flujo de material permanece en contacto con la superficie del chute, en vez de rebotar contra él, hay menos ventilación y la fuerza de impacto se reduce en la zona de carga. Durante la fase de diseño del chute, el análisis del movimiento de las partículas de material y aire a través del chute de transferencia permite al diseñador del chute minimizar el aire inducido, lo que a la vez reduce la generación de polvo. Se usan una variedad de técnicas basadas en computadora, incluyendo DEM, Dinámica de Flujo Computacional (CDF, en inglés) y Análisis de Elementos Finitos (FEA, en inglés) para modelar el flujo en la fase dos. Este análisis debe incluir el aire desplazado, el aire inducido y el aire generado. *(Vea el Capítulo 7: Control del aire).*

Dependiendo del flujo de aire calculado y las propiedades del material, incluyendo la distribución del tamaño de las partículas y el nivel de cohesión, pueden usarse diferentes sistemas, desde cortinas de caucho hasta supresión de polvo y mangas para filtrar, para minimizar los efectos de las corrientes de aire en el chute de transferencia.

E. Cuestiones sobre la estructura

El diseño de la estructura de soporte para un chute de transferencia generalmente requiere analizar cuatro factores:

a. Carga muerta

El propio peso (y la estructura) del chute

b. Cargas vivas

Aire, nieve y acumulaciones de hielo y material fugitivo que se acumulan en las superficies planas

c. Carga dinámica

Las fuerzas que resultan del movimiento e impacto del material en el chute y otros equipos del proceso

d. Capacidad cargada

Peso del material en el chute, el cual se calcula usando el valor más alto de la densidad aparente del material en el peor de los casos de una obstrucción del chute

El objetivo de este análisis es soportar eficiente y eficazmente el chute de transferencia sin hacer gastos excesivos en la estructura de soporte. Otra consideración especial es el desarrollo de una estructura de soporte que cumpla con los códigos locales de construcción.

Figura 22.13

Para asegurar diseños exactos así como asegurar que el sistema diseñado se adaptará apropiadamente al lugar sin requerir ajustes en el campo, se recomienda realizar una inspección del sitio usando técnicas de medidas láser.

INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS DE FLUJO DISEÑADO

Instalación del proyecto

Los chutes pueden diseñarse fácilmente para nuevos sistemas de transportadores. Pueden preensamblarse y alinearse en conjuntos controlables que pueden ser fáciles de acoplar, alzar y sujetar con pernos en su lugar para reducir los costos de construcción.

Los chutes de flujo diseñados también pueden retroadaptarse a una operación existente como una manera de controlar polvo para mejorar las operaciones y alcanzar los límites regulatorios de polvo, generalmente sin instalar sistemas costosos de "filtros de mangas". Independientemente de si es una instalación nueva o una retroadaptación, el diseño e instalación de chutes diseñados debe dejarse en manos de compañías experimentadas con la tecnología.

Chutes para aplicaciones de actualización

Una de las aplicaciones más tempranas de chutes de flujo diseñados fue en la mejora de los puntos de transferencia en sistemas de transportadores existentes. La incorporación de estos sistemas diseñados a plantas existentes puede presentar algunos problemas para adaptarlos dentro de las estructuras existentes.

Para asegurar diseños exactos, así como asegurar que el sistema diseñado se adaptará apropiadamente al lugar sin requerir ajustes en el campo, se recomienda realizar una inspección del sitio usando técnicas de medidas láser **(Figura 22.13)**. Esta inspección exacta usa una tecnología de láser pulsado para explorar las áreas objetivo y regresar una "nube de puntos" en 3D, la cual se asemeja a una interpretación detallada de una escena **(Figura 22.14)**. Puesto que esta nube de puntos es tridimensional, puede observarse desde cualquier perspectiva y cada punto tiene coordenadas de los ejes x-, y-, y z- exactos. La geometría de los puntos puede ser exportada a paquetes de software de modelaje en 3D como un punto de inicio para desarrollar la geometría del chute. Esto asegurará la ingeniería de los sistemas que se adaptarán dentro de los espacios libres

existentes.

En una aplicación de retroadaptación, también puede realizarse una prueba y análisis de materiales fugitivos liberados antes y después, dando la oportunidad de comparar el desempeño y de que las mejoras confirmen la justificación del proyecto.

Promotores de flujo y chutes de diseño

Hasta un chute bien diseñado debe hacer provisiones para la instalación futura de dispositivos promotores de flujo incorporando soportes de montaje en el diseño original. Los cambios en las propiedades de flujo del material, o restricciones del diseño menos óptimas, pueden llevar a que un diseñador requiera de dispositivos promotores de flujo como, por ejemplo, cañones de aire o vibración, en un diseño dado. Es difícil, especialmente en aplicaciones de retroadaptación, tener el lujo de un diseño perfecto. Los arreglos a menudo son inevitables, puesto que las ubicaciones de los transportadores de alimentación y receptores están instalados, y moverlos no sería económicamente asequible. Los problemas de flujo potenciales, provocados por variaciones en las características del material en el futuro, pueden arreglarse con la instalación de vibradores o cañones de aire. Incluir los soportes durante la instalación inicial del chute ahorrará dinero y tiempo en vez de retroadaptar un soporte **(Figura 22.15)**.

Los promotores de flujo mejoran el flujo de material en aquellas situaciones donde se hacen arreglos a lo que hubiera sido un diseño perfecto. *(Vea el Capítulo 9: Promotores de flujo).*

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Una operación debe llevar registros exactos del diseño del chute y el revestimiento, y la posición para simplificar la fabricación e instalación de los revestimientos de reemplazo a medida que se necesiten.

Para poder simplificar el reemplazo de los revestimientos, el chute debe diseñarse con un sistema de bridas fáciles de abrir que permitan que una pared (en la mayoría de los casos la pared posterior y la pared que porta el revestimiento) del chute se deslice fuera de su posición **(Figura 22.16)**. Esto permitirá un acceso más eficaz para inspeccionar y reemplazar los revestimientos dentro de las estructuras del chute **(Figura 22.17)**.

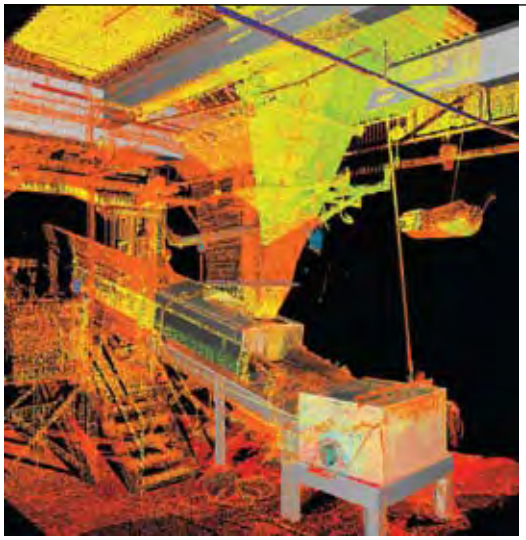


Figura 22.14

La tecnología de láser pulsado se usa para explorar las áreas objetivo y regresar una "nube de puntos" en 3D lo cual parece una interpretación detallada de una escena.

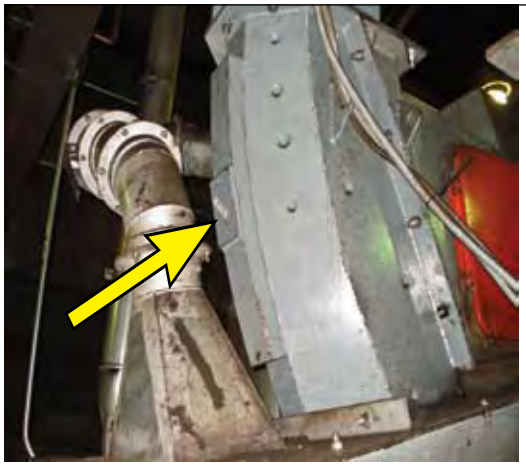


Figura 22.15

Incluir los soportes para la instalación de promotores de flujo durante la construcción inicial del chute ahorrará dinero y tiempo en vez de retroadaptar un soporte.

Figura 22.16

Para simplificar el reemplazo de los revestimientos, el chute debe diseñarse con un sistema de bridas fáciles de abrir que permita que una pared (en la mayoría de los casos la pared posterior y la pared que porta el revestimiento) del chute se deslice fuera de su posición.

Figura 22.17

La parte posterior con bridas del chute permitirá un acceso más eficaz para inspeccionar y reemplazar los revestimientos dentro de las estructuras del chute.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

A. Especificaciones del material

El sistema de transferencia de material incorporará chutes de transferencia de banda a banda diseñados especialmente para adecuarse a las especificaciones del material y los requerimientos del flujo. A través de la prueba de las propiedades del material, el sistema de chutes será diseñado para proporcionar la tasa de flujo requerida sin crear obstrucciones y para eliminar la creación de polvo adicional debido a la degradación de material y el arrastre de aire.

B. "Cubierta" y "cuchara"

Incluido en el sistema de chutes estará un chute de descarga con "cubierta" y un chute receptor con "cuchara". La "cubierta" tomará el flujo de material de la banda de descarga, confinándolo para limitar el arrastre de aire y crear un flujo inerte consistente a través de su trayectoria sobre la "cuchara" receptora. El chute receptor con "cuchara" recibirá el flujo de material y colocará el material sobre la banda receptora con la dirección y velocidad apropiada para minimizar la turbulencia del material, el impacto, la abrasión a la banda y el desalineamiento de la banda.

C. Volumen

El diseño volumétrico del chute de cabeza y el área de faldeo se calculará para reducir la velocidad del aire y la turbulencia. Los niveles de polvo fugitivos y respirables se reducirán enormemente a través de las funciones de asentamiento del diseño.

D. Acceso

El chute se acondicionará con un sistema de cierre con bridas fáciles de abrir para permitir la inspección y el reemplazo simple de revestimientos dentro de las estructuras del chute.

E. Zona de asentamiento

La salida del transportador receptor se acondicionará con un sistema de chute lateral cubierto y extendido para formar una zona de asentamiento. La zona de asentamiento incorporará varias cortinas de polvo para formar un pleno serpentino que reduzca la velocidad del aire y dar tiempo a que las partículas en el ambiente regresen a la carga de material principal a través de la gravedad.

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Los chutes diseñados deben diseñarse con una abertura de acceso en el lado sin flujo del compartimiento. Estas compuertas deben incluir pantallas de acceso restringido para reducir el peligro de los materiales que son expulsados de una abertura y deben pegarse etiquetas de advertencia.

La entrada del personal a cualquier chute debe ser gobernada por las regulaciones de entrada a espacios confinados.

TEMAS AVANZADOS

Cálculo de ingeniería: continuidad

El cálculo de continuidad determina la sección transversal del flujo de material dentro de un chute de transferencia y es importante para determinar el tamaño del chute ideal **(Ecuación 22.1)**. Esto ayuda a mantener bajo control el costo de la fabricación del chute. La industria y el estándar de CEMA indican que el chute debe ser al menos cuatro veces el área de sección transversal del material en cualquier posición.

Más importante que el cálculo del área es el reconocimiento de la relación entre la velocidad

y el área de sección transversal. Un diseñador debe mantener esta relación de continuidad en mente cuando la velocidad del material necesita igualarse con la velocidad y la dirección de la banda receptora **(Ecuación 22.1)**. La velocidad del material es influida por muchos factores como, por ejemplo, la altura de la caída, el cambio de dirección del flujo, la fricción de la superficie, la fricción interna y la densidad instantánea por mencionar algunos. Estos factores alterarán la velocidad del flujo de una manera predecible, pero es importante observar que este cambio de velocidad influirá en el área de sección transversal del flujo. En cambio, el área puede alterarse para influir en la velocidad. El área de sección transversal del flujo es vitalmente importante cuando se diseña para prevenir problemas con la obstrucción del chute.

LA RECUPERACIÓN ECONÓMICA DE LOS CHUTES DISEÑADOS

En resumen...

Un chute de transferencia diseñado puede aplicarse en prácticamente cualquier aplicación de chute de transferencia, por lo que la gerencia de la planta usará un procedimiento de justificación de costos para evaluar su reembolso por invertir en la operación. Las aplicaciones en donde hay una altura de caída significativa desde el transportador de descarga hacia el transportador receptor generalmente justificarán la inversión. Las plantas que están intentando cumplir con los requerimientos regulatorios o satisfacer las cuestiones ambientales y de seguridad pueden encontrar que la inversión en un chute de flujo diseñado tiene un retorno a corto plazo. La inversión adicional requerida para un chute de flujo diseñado en comparación con el costo de un chute de transferencia tradicional se reembolsa rápidamente a través del aumento de productividad, reducción de accidentes y cumplimiento con las regulaciones ambientales en vez de limpiar materiales fugitivos, lidiar con chutes obstruidos o alinear una banda cargada incorrectamente.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo, Chutes de flujo diseñados, el segundo capítulo en la sección de Conceptos de vanguardia, proporcionó información sobre otro método para reducir materiales fugitivos. Los siguientes capítulos continúan con esta sección, enfocándose en Transportadores soportados por aire y Sistemas de lavado de la banda.

$$A = \frac{Q \cdot k}{\gamma \cdot v}$$

Dado: *Un flujo de carbón que transporta 1800 toneladas por hora (2000 tc/h) con una densidad de 800 kilogramos por metro cúbico (50 lb_m/pies³) viaja a 4.0 metros por segundo (800 pies/min).* ***Calcular:*** *El área de sección transversal del flujo de carbón.*

	Variables	Unidades métricas	Unidades imperiales
A	Área de sección transversal	metros cuadrados	pies cuadrados
Q	Tasa de flujo	1800 t/h	2000 tc/h
γ	Densidad aparente del material	800 kg/m³	50 lb_m/pies³
v	Velocidad de materiales promedio en la sección transversal en cuestión	4.0 m/s	800 pies/min
k	Factor de conversión	0.278	33.3

Métrico: $A = \frac{1800 \cdot 0.278}{800 \cdot 4.0} = 0.16$

Imperial: $A = \frac{2000 \cdot 33.3}{50 \cdot 800} = 1.67$

A	Área de sección transversal	0.16 m²	1.67 pies²

Nota: El área de sección transversal del flujo será diferente al área de sección transversal cuando el material está sobre la banda debido a las diferencias entre la densidad transportada y la densidad aparente suelta. (Vea el Capítulo 25: Ciencia del material, para más información).

Ecuación 22.1

Cálculo de continuidad para el área de sección transversal del flujo de material

22

REFERENCIAS

22.1 Stuart, Dick D. y Royal, T. A. (sept. 1992). “Design Principles for Chutes to Handle Bulk Solids,” *Bulk Solids Handling*, Vol. 12, No. 3., págs. 447–450. Disponible como PDF: www.jenike.com/pages/education/papers/design-principles-chutes.pdf

22.2 Roberts, A.W. and Scott, O.J. (1981). “Flow of bulk solids through transfer chutes of variable geometry and profile,” *Bulk Solids Handling*, Vol. 1, No. 4., págs. 715–727.

22.3 Roberts, A.W. (August 1999). “Design guide for chutes in bulk solids handling operations,” *Centre for Bulk Solids & Particulate Technologies*, Version 1, 2o. borrador.

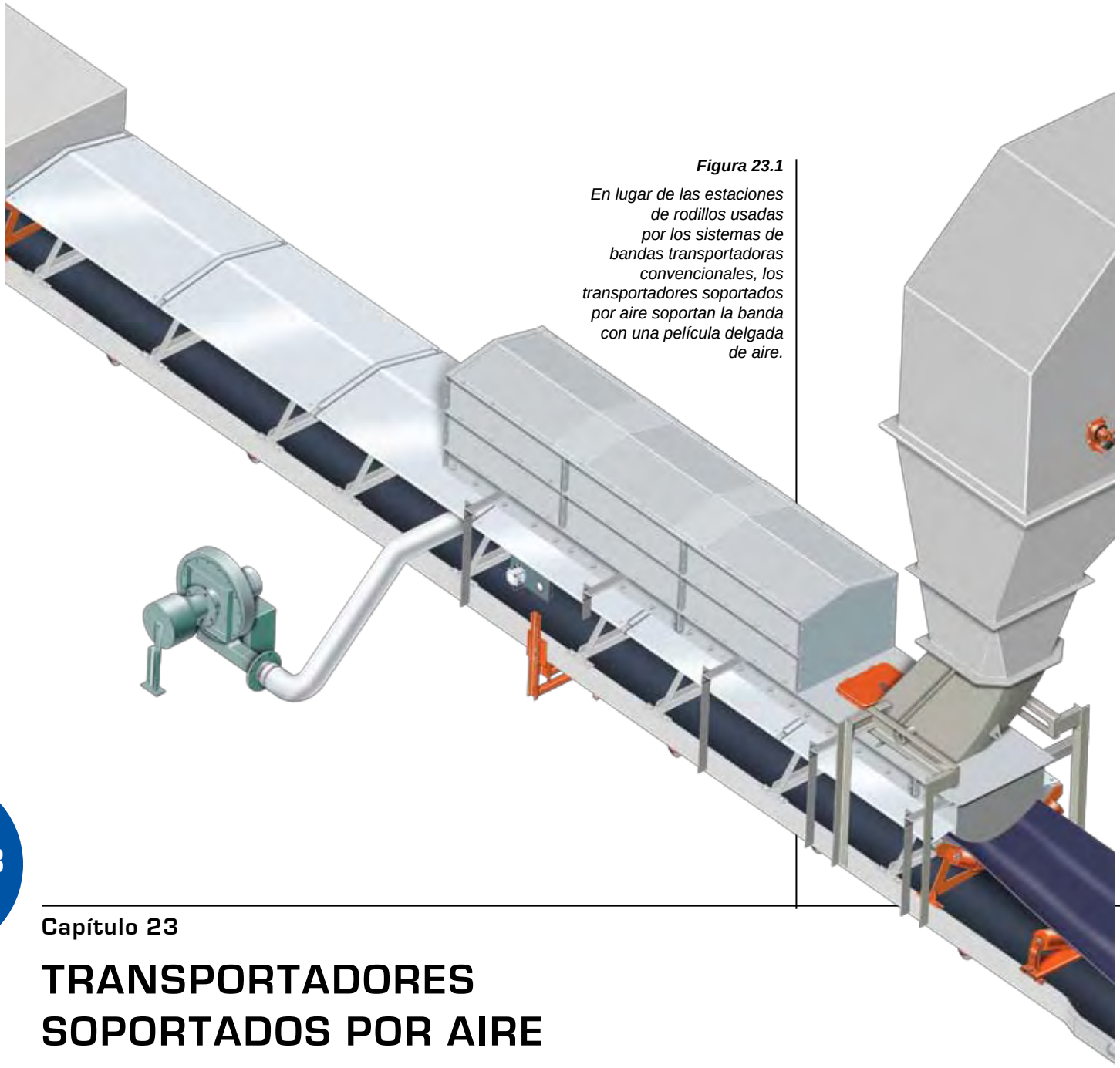


Figura 23.1

En lugar de las estaciones de rodillos usadas por los sistemas de bandas transportadoras convencionales, los transportadores soportados por aire soportan la banda con una película delgada de aire.

23

Capítulo 23

TRANSPORTADORES SOPORTADOS POR AIRE

Fundamentos de los transportadores soportados por aire 365
Componentes del sistema 366
Ventajas de los sistemas soportados por aire 370
Aplicaciones e instalación 372
Mantenimiento del sistema 374
Cuestiones de seguridad 374
Especificaciones típicas 374
El transportador adecuado para cada situación 375

En este capítulo...

Este capítulo se enfoca en los conceptos básicos de los transportadores soportados por aire y las aplicaciones para las cuales serían apropiados. Además presentamos los beneficios y las desventajas de su uso junto con la información sobre el tamaño del ventilador necesario para diferentes longitudes y anchos de un transportador.

Un ejemplo de tecnologías de punta de transportador son los sistemas de transportadores soportados por aire **(Figura 23.1)**. En vez de rodillos de canalización usados por los sistemas de bandas transportadoras convencionales, los transportadores soportados por aire soportan la banda con una película delgada de aire. Este método de transportar materiales a granel limita las áreas de fricción mecánica, lo cual resulta en una reducción dramática en los costos de mantenimiento y operación. Un transportador soportado por aire totalmente confinado y resistente al clima requiere de menos soporte estructural que un transportador tradicional, además de minimizar la segregación de material, los derrames y el polvo **(Figura 23.2)**. Aunque no son adecuadas para todas las aplicaciones, las bandas transportadoras soportadas por aire ofrecen varias ventajas que incluyen un recorrido suave para los materiales a granel y contención de polvo. Los transportadores soportados por aire, al igual que los transportadores convencionales, deben ser diseñados por un ingeniero de transportadores con experiencia.

FUNDAMENTOS DE LOS TRANSPORTADORES SOPORTADOS POR AIRE

Un transportador soportado por aire usa aire de baja presión para elevar y soportar la banda y la carga. El aire es suministrado por un ventilador centrífugo de baja presión y liberado a través de una bandeja en forma de canal abajo de la banda transportadora **(Figura 23.3)**. Una serie de orificios barrenados en el centro de la bandeja a lo largo de la longitud del transportador, entre la cámara (pleno) transportadora de aire y la banda, permite que el aire, suministrado por el soplador a través de los orificios de la bandeja, eleve y soporte la banda cargada **(Figura 23.4)**. Los bordes de una banda canalizada actúan como un regulador de presión equilibrando automáticamente la presión requerida para elevar la carga. La película de aire elimina la necesidad de la mayoría de los rodillos en el lado de carga del transportador, los rodillos de retorno convencionales pueden usarse para el recorrido de retorno de la banda. Sin ninguna estación de rodillos, se reducen los presupuestos típicamente designados para el reemplazo de componentes rodantes y la mano de obra de mantenimiento necesarios para lograr ese reemplazo.

El pleno corre por debajo de la bandeja. Como parte superior del pleno, la bandeja proporciona la forma para el canal de la banda. Los ángulos de canalización más comunes y económicos son de 30 y 35 grados. El pleno puede ser una caja o tener forma en V que se sienta en los largueros estructurales de un transportador convencional **(Figura 23.5)**. Estos plenos pueden ser modulares para simplificar la instalación **(Figura 23.6)**.

Figura 23.2

Un transportador soportado por aire totalmente confinado y resistente al clima minimizará la segregación de material, los derrames y el polvo.

Figura 23.3

Un transportador soportado por aire utiliza un flujo de aire para elevar y soportar la banda y la carga.

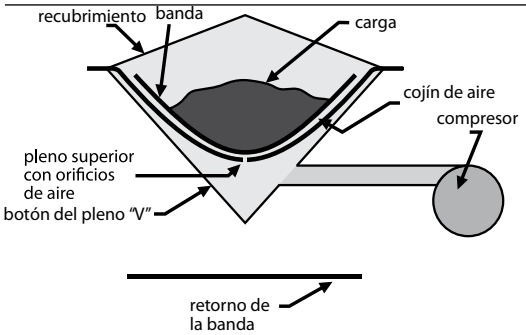


Figura 23.4

Los orificios barrenados en el centro de la bandeja a lo largo de la longitud del transportador entre el pleno y la banda permiten que el aire suministrado por el compresor eleve y soporte la banda cargada.

Figura 23.5

El pleno puede ser una caja o tener forma en V que se sienta en los largueros estructurales de un transportador convencional.

Figura 23.6

Los plenos de un transportador soportado por aire pueden ser modulares en su construcción para simplificar la instalación.

Figura 23.7

Un transportador soportado por aire típico, de menos de 180 metros (600 pies) de longitud, requiere un solo ventilador centrífugo.

Figura 23.8

Una planta puede especificar la instalación de un ventilador redundante, o de respaldo, para garantizar la operación del transportador en caso de que falle un ventilador.

Puesto que un transportador soportado por aire usa una película delgada de aire de baja presión (aproximadamente 1 a 2 milímetros (0.04 a 0.08 pulgadas) de grosor) para soportar la banda transportadora, el consumo de aire es bajo. El consumo normalmente es de 180 a 270 litros por minuto por metro (2 a 3 pies^3/min/pie) de longitud de banda. La película de aire es creada por un soplador que suministra 5 a 7 kilopascales (0.7 a 1.0 lb_f/pulgada^2 ó 20 a 30 pulgadas del indicador de nivel de agua) de presión de aire.

La velocidad y la presión de la película de aire son suficientes para impedir la acumulación de material entre la banda y la bandeja pero suficientemente bajas para no crear polvo adicional.

COMPONENTES DEL SISTEMA

Pleno

El pleno, a través del cual fluye el aire del ventilador, puede formarse con canales de acero galvanizado (o inoxidable) o de plástico, con el tamaño para adecuarse a la banda requerida para la aplicación del transportador.

El pleno debe ser suave, sin irregularidades en el perfil o en la superficie. Las secciones del pleno deben estar al ras y selladas en cada conexión de las unidades modulares. La estructura debe estar diseñada para minimizar la desviación bajo diferentes cargas y condiciones del clima para proteger la integridad del sellado entre los plenos.

Suministro de aire

El aire para soportar la banda es proporcionado por uno o más ventiladores centrífugos **(Figura 23.7)**. Un transportador típico de menos de 180 metros (600 pies) requiere de un solo ventilador, aunque una planta puede especificar la instalación de una unidad redundante, o de respaldo, para asegurar la operación del transportador en caso de una falla en el ventilador **(Figura 23.8)**.

Es importante que el suministro de aire para soportar la banda sea suficiente para manejar el rango entero de condiciones de carga para ese transportador en especial. El número de sopladores requeridos depende de la longitud del transportador y el ancho de la banda. Para transportadores largos, puede requerirse más de

un suministro de aire para impedir la pérdida de volumen y presión estática. El volumen de aire es mínimo, puesto que el grosor de la película de aire que se requiere para elevar la banda es sólo de 1 a 2 milímetros (0.04 a 0.08 pulgadas).

El tamaño del compresor centrífugo requerido depende del ancho de la banda y la longitud del transportador, con tamaños que comúnmente varían de 2.5 a 12 kilowatts (3 a 15 hp) **(Tabla 23.1)**. Los ventiladores de toma directa como se especificó mejoran la eficacia y reducen los problemas de mantenimiento que pueden surgir con los acoplamientos mecánicos. En situaciones de trabajos peligrosos como, por ejemplo, manejo de granos o carbón, deben especificarse motores con hojas que no generen chispas y motores para trabajos peligrosos.

Los orificios espaciados en el centro de la bandeja permiten que el aire eleve la banda **(Figura 23.9)**. El tamaño y espaciado de los orificios en la bandeja son críticos para una operación apropiada, pues afectan directamente la presión estática y el volumen en la interfaz entre la banda y el pleno/bandeja.

Para mejores resultados, las fuentes de aire deben ubicarse en medio del sistema, a igual distancia de la cabeza y la cola del transportador; si hay más de dos ventiladores, estos deben ubicarse con la misma distancia entre ellos y entre la cabeza y la cola del transportador.

El ventilador es controlado por un interruptor de presión, típicamente ubicado en la sección de la cabeza del transportador, cerca del suministro eléctrico, para ahorrar costos de conductos y mano de obra. El ventilador está entrelazado con el transportador, de manera que el ventilador debe arrancarse antes de arrancar la transmisión. El procedimiento de arranque normal del transportador es iniciar el ventilador primero y permitirle que aumente la presión antes de accionar el motor de impulsión. Si el ventilador no se inicia o eleva la presión, el interruptor de presión detectará una presión de aire baja y el transportador no funcionará.

El aire de entrada para el ventilador debe provenir de una fuente de aire fresco y filtrado

Figura 23.9

Los orificios espaciados en el centro de la bandeja permiten que el aire eleve la banda. El tamaño y espaciado de los orificios en la bandeja son críticos para una operación correcta.

Tabla 23.1

Tamaños típicos de ventiladores centrífugos usados con bandas transportadoras soportadas por aire

Ancho de banda	Longitud del transportador			
mm (pulgadas)	Hasta 45 m (150 pies)	45-90 m (150-300 pies)	90-140 m (300-450 pies)	140-185 m (450-600 pies)
500-650 (24)	Tamaño de vent. A	Tamaño de vent. B	Tamaño de vent. C	Tamaño de vent. D
650-800 (30)	Tamaño de vent. A	Tamaño de vent. B	Tamaño de vent. C	Tamaño de vent. D
800-1000 (36)	Tamaño de vent. A	Tamaño de vent. B	Tamaño de vent. C	Tamaño de vent. D
1000-1200 (42)	Tamaño de vent. A	Tamaño de vent. B	Tamaño de vent. C	Tamaño de vent. D
1200-1400 (48)	Tamaño de vent. A	Tamaño de vent. B	Tamaño de vent. C	Tamaño de vent. D
1400-1600 (54)	Tamaño de vent. A	Tamaño de vent. B	Tamaño de vent. C	Tamaño de vent. D
1600-1800 (60)	Tamaño de vent. B	Tamaño de vent. C	Tamaño de vent. D	Tamaño de vent. D
1800-2000 (72)	Tamaño de vent. B	Tamaño de vent. C	Tamaño de vent. D	Tamaño de vent. D

Tamaño de ventilador	Potencia
Tamaño de vent. A	2.5 kW (3 hp)
Tamaño de vent. B	6 kW (7.5 hp)
Tamaño de vent. C	7.5 kW (10 hp)
Tamaño de vent. D	12 kW (15 hp)

Las mediciones métricas y las clasificaciones del tamaño de ventilador son conversiones de especificaciones imperiales.

El tamaño de ventilador representa únicamente el tamaño del ventilador centrífugo (el cual suministra aire para elevar la banda y reducir la fricción). NO incluye la potencia motriz del transportador.

para reducir la acumulación de polvo en el ventilador y la bandeja. En algunos casos, el aire debe calentarse para evitar condensación, lo cual puede provocar que la banda se adhiera a la bandeja o permitir que los finos obstruyan los orificios en la bandeja.

Retorno convencional o soportado por aire

El recorrido de retorno de un transportador soportado por aire también puede ser soportado por aire **(Figura 23.10)** o puede tener rodillos de retorno tradicionales **(Figura 23.11)**.

Sin los rodillos en el lado de retorno, un transportador soportado totalmente por aire tiene costos de mantenimiento reducidos. De hecho, este sistema puede permitir la eliminación de pasillos a lo largo del transportador debido a sus requerimientos mínimos de mantenimiento. Puesto que un recorrido de retorno soportado por aire está totalmente confinado y la banda es visible sólo en la cabeza y la cola del transportador, puede proporcionar un sistema más limpio.

Figura 23.10

Una banda transportadora soportada por aire puede incorporar un lado de retorno soportado por aire.

Figura 23.11

El recorrido de retorno de un transportador soportado por aire puede tener rodillos de retorno tradicionales.

Los sistemas de retorno con rodillos pueden preferirse en aplicaciones donde el desempeño óptimo de los limpiadores de banda no puede mantenerse debido a que material fugitivo interfiere con las operaciones del retorno soportado por aire. Los rodillos de retorno pueden colgarse de soportes abajo del transportador o encerrarse en la estructura abajo del pleno soportado por aire. Un recorrido de retorno típico tiene rodillos instalados cada 3 metros (10 pies).

Se recomienda encerrar el recorrido de retorno de un transportador soportado por aire cuando la contaminación es un problema crítico. Un recorrido de retorno confinado puede usar tanta energía como el lado de carga y el costo de este confinamiento a menudo supera cualquier beneficio. Además, existe el problema de la acumulación de polvo y finos en la cámara del recorrido de retorno. Generalmente es más económico de instalar y mantener un buen sistema de limpieza de banda. En un recorrido de retorno soportado por aire, la banda tiende a querer alzarse en el centro y los bordes a tocar la bandeja si la banda no tiene la rigidez adecuada. Algunas veces es difícil equilibrar el flujo de aire y la presión requerida para el recorrido de retorno y el recorrido de carga con un ventilador. El soporte de aire del retorno del transportador también aumenta el costo de fabricación. El costo de un sistema de limpieza de banda eficaz y el mantenimiento relacionado con éste generalmente es mucho menor que el costo agregado de encerrar el recorrido de retorno.

Estructura de soporte para transportadores soportados por aire

En comparación con el larguero convencional o transportadores con armazón, los transportadores soportados por aire pueden extenderse por distancias más largas con menos estructura debido a la fortaleza estructural del pleno/bandeja del sistema soportado por aire **(Figura 23.12)**. Esto proporciona el beneficio de reducir la inversión de capital en el sistema de un transportador.

En un transportador tradicional, por ejemplo, se requiere un muelle de soporte aproximadamente cada 15 metros (50 pies). Debido a la fortaleza de sus plenos, un transportador soportado por aire puede requerir menos muelles de soporte, reduciendo así la inversión en pilares de concreto y acero

estructural. En un ejemplo, un sistema de banda transportadora soportada por aire se instaló en una planta de energía alimentada con desperdicios de madera cerca del Mar del Norte próximo a Emden, Alemania. Diseñado con un sistema de armazón triangular, este transportador soportado por aire abarca distancias de aproximadamente 50 metros (160 pies) y cubre una longitud de 167 metros (550 pies) del transportador con sólo dos soportes intermediarios. Cada aplicación debe ser revisada por ingenieros calificados para determinar los requerimientos de los cimientos y la estructura.

Componentes convencionales

Los transportadores soportados por aire pueden usar transmisiones de transportador de ajuste estándar, chutes de carga y descarga, y estructuras de soporte. Esto permite las conversiones o las conexiones a muchas bandas transportadoras estándar existentes a sistemas soportados por aire.

Aunque un transportador soportado por aire usará una banda de transportador convencional, ésta debe ser vulcanizada en vez de unida con empalmes mecánicos. Así se impedirá dañar la bandeja y el empalme por el contacto de metal con metal asociado con los empalmes mecánicos que pasan por el sistema. Pueden usarse alineadores de banda mecánicos siempre que los empalmes se suspendan correctamente y luego se envuelvan con caucho de parche para banda.

Cargar un transportador soportado por aire

Debido a la baja fricción contra la banda, la desalineación por fuerzas como la carga descentrada es especialmente problemática en los sistemas de transportadores soportados por aire. Por lo tanto, la colocación correcta de la carga es crítica para la operación exitosa de un transportador soportado por aire. La carga debe centrarse correctamente y colocarse con tan poco impacto como sea posible. Esto puede requerir cargar a través de una cuchara para colocar el material suavemente sobre la banda con la velocidad y dirección adecuadas. En muchos sentidos, los transportadores soportados por aire son ideales para usarse con transferencias de flujo diseñadas con "cubierta y cuchara" **(Figura 23.13)**. *(Vea el Capítulo 22: Chutes de flujo diseñados).*

Para regular la entrega de una carga a un transportador soportado por aire, algunas veces se usan alimentadores o compuertas controladoras de flujo en conjunción con una cuchara centradora de la carga. Estas compuertas ayudan a entregar una carga consistente al transportador soportado por aire e impedir que el material se apile en un área. Una entrega regulada de material sobre la banda elimina las condiciones de "escasez y abundancia" que impiden la operación sin problemas del sistema.

No se recomienda operar el transportador soportado por aire cuando no está cargado. Cuando no hay carga sobre la banda aumenta el espacio de aire abajo de la banda, lo cual aumenta el volumen de aire usado. La presión disminuye; sin embargo, el volumen contribuye más a la energía consumida que la presión.

Los transportadores soportados por aire no deben someterse a impactos de carga por encima de las clasificaciones de impacto de trabajo ligero que se encuentran en la publicación del ESTÁNDAR 575-2000 *Cama de impacto/Base estándar* de la Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas transportadoras (CEMA). Una solución a condiciones de carga con alto

Figura 23.12

Usando un sistema de armazón triangular, este transportador soportado por aire necesita sólo dos soportes inmediatos para cubrir la longitud de 167 metros (550 pies) del sistema, mucho menos de lo que necesitaría un transportador convencional.

Figura 23.13

Una colocación apropiada de la carga es crítica para la operación exitosa de un transportador soportado por aire, lo que hace las transferencias de flujo diseñadas con "cubierta y cuchara" ideales para los sistemas soportados por aire.

impacto es usar componentes de punto de transferencia convencionales (por ejemplo, camas de impacto y rodillos de impacto) para amortiguar el impacto en la zona de carga y luego cambiar al sistema soportado por aire afuera de la zona de carga. Las secciones de un transportador convencional pueden insertarse fácilmente en los sistemas de transportadores soportados por aire para permitir el uso de accesorios como las básculas. Aún es importante tener la carga centrada correctamente en la porción soportada por aire de estos sistemas híbridos.

VENTAJAS DE LOS SISTEMAS SOPORTADOS POR AIRE

El beneficio de un recorrido suave

Los sistemas de soporte para bandas tradicionales en zonas de carga consisten en rodillos estándar o de impacto que se colocan tan juntos como sea posible. No obstante, hasta en las mejores instalaciones los rodillos de canalización proporcionan una línea de la banda lejos de ser perfecta. El material sigue una trayectoria similar a una montaña rusa **(Figura 23.14)**. La banda se mueve hacia arriba y abajo a medida que cruza por los rodillos. Este movimiento ascendente y descendente agita el material, permitiendo que algunas partículas se expulsen al aire, provocando que el material se segregue por tamaño o se empuje algo de material hacia las partes exteriores de la banda donde puede derramarse.

Si los rodillos tienen un espaciado de sólo 225 milímetros (9 pulgadas), la banda aún puede hundirse entre los rodillos permitiendo que el polvo y el derrame se escapen de la banda. Además, este hundimiento crea puntos de atrapamiento entre la banda y el acero vertical en los chutes laterales o revestimientos de desgaste. Estos puntos de presión pueden atrapar material que luego puede raspar la superficie de la banda. En muchos casos, se culpa al sistema de faldón por el daño a la banda, cuando es el atrapamiento de material lo que en realidad provocó el desgaste.

Puesto que los transportadores soportados por aire usan una bandeja en vez de rodillos para crear la línea de la banda, presentan una superficie suave y una línea de la banda nivelada que al combinarse con una carga centrada puede eliminar los sistemas del chute lateral y de sellado. El soporte para banda estable y la eliminación de los chutes laterales previenen puntos de atrapamiento que permiten el atascamiento de material.

En transportadores con una inclinación pronunciada, el movimiento de la banda sobre los rodillos puede desestabilizar el material lo suficiente para provocar que terrones de material rueden hacia abajo del transportador a medida que la banda sube la inclinación. Con su trayectoria estable, el transportador soportado por aire elimina la desestabilización de la carga a medida que pasa por los rodillos en un transportador convencional. Esta trayectoria suave permitirá a los transportadores soportados por aire operar a un ángulo más inclinado que los transportadores con rodillos. Este beneficio es de interés para las operaciones que manejan materiales a granel que tienden a rodar hacia atrás por el transportador. Un aumento típico en inclinación es de tres grados. Este aumento en el ángulo actúa para reducir la longitud general del transportador reduciendo el costo de instalación cuando se compara con un transportador de rodillos.

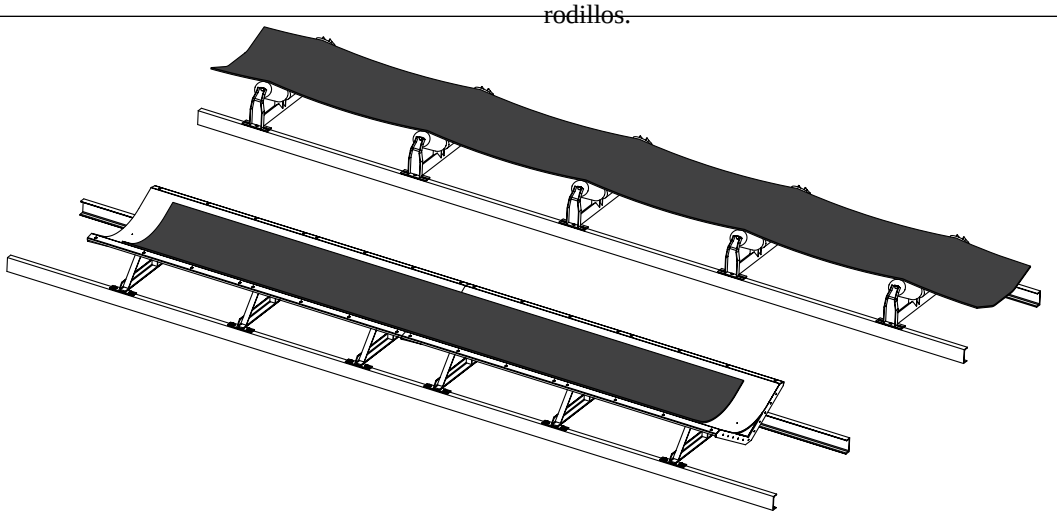


Figura 23.14

Los rodillos de un transportador convencional proporcionan una línea de la banda lejos de ser perfecta, de modo que el material sigue una trayectoria en forma de "montaña rusa". Un transportador soportado por aire usa una bandeja canalizada para proporcionar un recorrido suave y estable para la banda y la carga.

Contención de polvo

El polvo es generado cuando el flujo de material encuentra un movimiento de aire, lo cual puede deberse a la velocidad de la descarga del material, del equipo mecánico u otras influencias externas. Las velocidades de aire más altas que se mueven a través del flujo de material pueden arrastrar mayores cantidades de polvo. Un transportador soportado por aire bien diseñado e instalado correctamente tiene un sistema de transporte totalmente confinado que

Beneficios y desventajas de las bandas transportadoras soportadas por aire

Beneficios

A. Control del polvo eficaz: cuando el sistema soportado por aire se utiliza desde el área de carga hasta el chute de cabeza, puede lograrse un control de polvo total.

B. Alineación de banda mejorada: los transportadores soportados por aire tienen una acción de centrado automático.

C. Trayectoria de banda estable: los rodillos de canalización espaciados a lo largo del transportador crean colinas y valles en la línea de la banda donde la carga se agita y empieza a segregarse; los finos terminan abajo y las piezas grandes arriba. El transportador soportado por aire ofrece un recorrido suave para la carga con menos derrames, segregación y degradación del material.

D. Costos de operación más bajos: en transportadores horizontales, los transportadores soportados por aire pueden usar hasta 30 por ciento menos energía; en transportadores inclinados, el ahorro de energía es de hasta 50 por ciento.

E. Reducción en el gasto de mantenimiento: no hay rodillos en el lado de carga, de modo que no hay rodillos que reemplazar y no se requiere la lubricación de rodillos.

F. No hay sello de chute lateral: no se requiere faldeo en el área de carga puesto que la pared del chute / revestimiento de desgaste forma una barrera para contener el material que se está cargando.

G. Accesibilidad de retroadaptación: los diseños nuevos permiten que se instalen transportadores soportados por aire sobre largueros (transportador convencional) y sistemas de soporte convencionales. Las secciones soportadas por aire y por rodillos convencionales pueden mezclarse en un solo transportador para permitir zonas de carga, rodillos satelitales, balanzas de banda u otros requerimientos.

H. Condición del producto mejorada: una banda soportada por aire es más gentil con la carga. No hay un recorrido desigual en forma de "montaña rusa" sobre los rodillos de manera, no hay segregación, no hay degradación del producto y no hay destrozo de material. Puesto que el transportador está totalmente confinado, no hay contaminación del material transportado.

I. Permite inclinaciones mayores: al eliminar la agitación de la carga, los transportadores soportados por aire permiten tener inclinaciones más pronunciadas dependiendo de las propiedades del material a granel.

J. Ahorros en pasillos: al eliminar los rodillos de canalización; por lo tanto, se reduce la lubricación rutinaria y el mantenimiento del transportador, los transportadores soportados por aire pueden omitir los pasillos.

K. Seguridad mejorada: el sistema tiene menos partes móviles que representan un riesgo a los trabajadores.

Desventajas

A. Requiere de sistemas de ingeniería para limpieza de banda: los transportadores soportados por aire requieren de sistemas de limpieza de banda agresivos para garantizar el control del material adherido. El material adherido también puede bloquear los orificios de suministro de aire cuando se entra al área del pleno.

B. Alineación afectada por la acumulación de material: la alineación de la banda puede afectarse por el material fugitivo acumulado en los componentes del sistema.

C. Carga centrada necesaria: el transportador soportado por aire debe tener la carga centrada pues puede ocurrir un desalineamiento de la banda. No pueden instalarse dispositivos de alineación en el sistema soportado por aire.

D. Requiere un flujo estable: deben evitarse sobrecargas de material, puesto que el sistema está totalmente confinado y pueden presentarse bloqueos y paros del sistema.

E. Limitaciones en la carga de impacto: el impacto debe minimizarse en la zona de carga o se dañará el pleno.

F. Inversión inicial mayor: el costo inicial es mayor que para el sistema de un transportador convencional.

G. Acceso reducido para observación: el transportador está totalmente confinado, por lo que es difícil inspeccionar la carga o el interior del sistema.

H. Inadecuado para aplicaciones de trabajo pesado: el sistema puede no ser adecuado para aplicaciones de trabajo pesado.

I. Reducción del margen de error en el diseño o instalación: el éxito de la instalación puede depender de la trayectoria de la banda y las uniones entre los plenos/bandejas.

puede impedir que el polvo generado se expulse al ambiente **(Figura 23.15)**. Los transportadores soportados por aire generalmente necesitan un sistema de colección de polvo más pequeño, como un colector insertable, en comparación con transportadores y puntos de transferencia convencionales **(Figura 23.16)**.

Los recubrimientos de transportador de "estilo cubierta" instalados sobre el lado canalizado de las bandas transportadoras convencionales no impedirán que el viento levante material de la banda, pero en muchos casos la velocidad del aire aumentará debido al viento que se incrementa en el lado de retorno del transportador. Un sistema soportado por aire diseñado correctamente está totalmente confinado en su lado de carga; por lo tanto, no hay influencias externas que "ablanden" el material o lo levanten de la banda.

A medida que aumenta la longitud del compartimiento creado por el sistema del transportador soportado por aire, el polvo en el ambiente tiene más tiempo para asentarse y regresar a la cama de material en la banda. Como resultado, los transportadores soportados por aire son muy adecuados para transportar materiales que representan peligros de incendio o explosión, incluyendo carbón o grano pulverizado.

Para mejorar el control del polvo, algunas operaciones seleccionan transportadores soportados por aire que están totalmente confinados en los tramos superior e inferior de la banda y también en la torre de ajuste **(Figura 23.17)**. El confinamiento total del lado de carga del transportador mejorará el desempeño de los sistemas colectores de polvo, puesto que éste reducirá a un mínimo el área abierta e impedirá que el aire externo entre a la toma del colector.

Figura 23.15

Una banda transportadora soportada por aire bien diseñada e instalada correctamente está totalmente encerrada en su lado de carga para limitar el escape del polvo.

Figura 23.16

Un colector de polvo insertable puede usarse con un transportador soportado por aire para impedir que escape el polvo al ambiente.

Figura 23.17

Esta banda transportadora soportada por aire en una planta de cemento incorpora un ajuste de gravedad totalmente confinado para una contención total del material fugitivo.

APLICACIONES E INSTALACIÓN

Aplicaciones ideales para los transportadores soportados por aire

Una aplicación donde los transportadores soportados por aire pueden proporcionar el retorno sobre la inversión más ventajoso es una donde la carga es un material de peso ligero que es fácil de arrastrar en el aire. Estos materiales incluirían cemento molido, carbón pulverizado, virutas de madera, combustible de corteza y granos.

El sistema soportado por aire es aún más ventajoso cuando hay cuestiones de seguridad sobre la exposición al material en sí o donde cualquier derrame o polvo es un peligro ambiental. Debido a su naturaleza totalmente encerrada, los transportadores soportados por aire son muy adecuados para transportar materiales polvorosos que presentan peligros de incendio o explosión; éstos incluyen el carbón o grano pulverizado.

Aplicaciones no adecuadas para transportadores soportados por aire

Cambiar solamente de un transportador estándar a un sistema de transportador soportado por aire no eliminará los problemas preexistentes. Aunque los transportadores soportados por aire se han instalado y

operado exitosamente en una amplia variedad de entornos industriales, existen ciertas aplicaciones donde el uso de este equipo no se recomienda:

A. Alto grado de impacto

Las situaciones en donde existe un alto grado de impacto en la zona de carga no son recomendables para el uso de un transporte soportado por aire.

B. Tendencia a obstrucciones

Las aplicaciones donde el material o el diseño del chute tienden a obstruirse no son buenas aplicaciones para los transportadores soportados por aire.

C. Desconexión del circuito de potencia

Si un circuito de potencia del transportador se desconectó porque los operadores están sobrecargando un sistema convencional, probablemente también se "desconectará" debido a que los operadores sobrecargan el sistema soportado por aire.

D. Presión de carga significativa en la cabeza

Las aplicaciones donde hay una presión de carga significativa en la cabeza, como la que se puede encontrar abajo de una tolva de alimentación o un chute totalmente cargado, no son recomendables para usar un transporte soportado por aire.

E. Carga pesada en el punto de carga

Los transportadores soportados por aire son capaces de elevar 975 kilogramos por metro cuadrado (200 lb_m/pie^2). Si la carga sobre la banda en su punto de carga excede esa cantidad, usar un transportador convencional con rodillos puede ser más apropiado para la aplicación.

F. Terrones grandes

El material que contiene terrones ocasionales mayores a 125 milímetros (5 pulgadas) debe incluir una porción significativa de finos para ser adecuado para usarse en una transportación soportada por aire.

G. Falta de mantenimiento o materiales pegajosos

Puede haber obstrucción del pleno y los orificios en la bandeja cuando se carece de limpiadores de banda y un mantenimiento del filtro del ventilador o materiales pegajosos.

H. Curvas ajustadas

Las instalaciones con curvas verticales convexas u horizontales ajustadas generalmente no son buenas aplicaciones para los transportadores soportados por aire. Las curvas convexas son posibles con el uso de rodillos convencionales en la sección curveada.

Instalación de un transportador soportado por aire

Independientemente de si el transportador soportado por aire es una nueva construcción o una retroadaptación, la instalación requerirá de algunos detalles especiales y un alto nivel de mano de obra para garantizar una operación eficaz. La colocación del pleno puede requerir equipo pesado o grúas para elevar las secciones hasta su posición. Los plenos necesitarán alinearse cuidadosamente y el paso de aire a través de la base de las secciones debe sellarse firmemente (con masilla o materiales selladores) para evitar la fuga de aire. Los bordes de la bandeja deben alinearse exactamente para impedir que cualquier borde elevado raspe el recubrimiento de la banda.

Retroadaptación en comparación a una construcción nueva

La construcción modular de los transportadores soportados por aire los hace adecuados para aplicaciones de retroadaptación. Puesto que su diseño coincide con los perfiles de CEMA o la Organización Internacional de Estandarización (ISO) de los rodillos existentes, las secciones soportadas por aire pueden incorporarse fácilmente a sistemas de transportadores existentes **(Figura 23.18)**. Los plenos pueden instalarse sobre los largueros existentes. Esto permite que los transportadores soportados por aire puedan usarse para el mejoramiento de un sistema existente y la compatibilidad de los transportadores

Figura 23.18

Puesto que su diseño coincide con los perfiles de CEMA o la ISO de los rodillos existentes, las secciones soportadas por aire pueden incorporarse fácilmente a sistemas de transportadores existentes.

soportados por aire con los estándares de CEMA o ISO permitirá a los sistemas mejorar porciones de sistemas de bandas transportadoras existentes. Es posible convertir un transportador existente en un sistema soportado por aire sin desinstalar todo el transportador, sino más bien instalando una sección a la vez. El ventilador se dimensiona para la instalación completa y el flujo de aire se ajusta con un regulador de tiro para coincidir con el número de secciones instaladas.

Para proyectos de construcción nueva, los plenos de un transportador soportado por aire pueden integrarse a la estructura de soporte del transportador.

MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

Al eliminar (o casi eliminar) los rodillos en un transportador soportado por aire, el gasto de reemplazar los componentes rodantes y las horas de mano de obra requeridas para mantener el sistema se reducen significativamente.

Otra oportunidad de reducir los gastos de mantenimiento y de componentes de reemplazo es la eliminación de un sistema de sellado de chute lateral. Con su trayectoria de la banda estable, los transportadores soportados por aire permitirán la colocación de revestimientos de desgaste muy cercanos a la banda. Esto puede eliminar la necesidad de un sistema de sellado de chute lateral o al menos reducir la longitud del sistema requerido.

Es esencial que el sistema de limpieza de la banda en un transportador soportado por aire funcione a un nivel óptimo para eliminar el material fugitivo. Una limpieza de banda eficaz es aún más importante en un sistema con un retorno soportado por aire para impedir que el residuo de material se acumule en el pleno de retorno u obstruya los orificios de aire en la bandeja.

Si los orificios de aire se obstruyen, pueden limpiarse soplando aire comprimido en ellos o, en el peor de los casos, volviendo a barrenar. En casos extremos, pueden barrenarse nuevos orificios en el pleno con la banda en su lugar, barrenando a través de la banda y el pleno y después cubriendo los orificios de la banda con un parche de elastómero.

Se requiere de mantenimiento regular en la toma del filtro de aire para mantener la producción del ventilador.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

A. Diseño

Los sistemas de manejo de materiales a granel incorporarán un sistema de transportador soportado por aire. La banda transportadora soportada por aire será diseñada por un ingeniero de transportador con experiencia y construida según los estándares de la CEMA.

23

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Puesto que cada componente rodante en el sistema de un transportador tradicional no es sólo una preocupación de mantenimiento sino además un problema de seguridad, los transportadores soportados por aire son inherentemente más seguros para operar y mantener debido a que tienen menos partes móviles. El transportador confinado también representa menos riesgo al personal de la planta pues hay menor peligro de quedar atrapado en la banda transportadora en movimiento o atrapado en los componentes rodantes.

No obstante, aún existen puntos de atrapamiento que necesitarán la colocación de guardas. Deben seguirse los procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación apropiados con los transportadores soportados por aire.

Los transportadores soportados por aire pueden ser menos ruidosos que los transportadores tradicionales puesto que tienen menos componentes rodantes (rodillos y cojinetes) que generan ruido cuando la banda pasa por ellos. El ventilador es la parte más ruidosa del sistema, opera típicamente de 75 a 85 decibeles; el transportador soportado por aire opera a un silencioso nivel de 60 decibeles.

B. Soportado por aire

Este transportador usará una película o flujo de aire liberado a través de una bandeja en forma de canal debajo de la banda del transportador para soportar la banda y la carga sin la necesidad de rodillos en el lado de carga. El aire será suministrado por un ventilador centrífugo de baja presión.

C. Rodillos

Los rodillos convencionales se usarán para las transiciones de la banda y el recorrido de retorno.

D. Pleno

El transportador soportado por aire usará un pleno en forma de "V" para permitir el movimiento de aire a lo largo de la longitud del transportador. La bandeja canalizará la banda a un ángulo de 30 o 35 grados sin distorsionar la línea de la banda.

E. Aplicaciones de actualización

La integridad estructural del pleno permitirá su uso en aplicaciones de retroadaptación sin requerir una modificación/rediseño/refuerzo de la estructura del transportador existente.

F. Lado de carga confinado

Construido de acero dulce (o inoxidable) galvanizado, este conjunto de transportador soportado por aire estará totalmente confinado en el lado de carga de la banda para impedir el escape de material fugitivo. La estructura será modular en la construcción para simplificar la instalación.

G. Zona de carga

La zona de carga de la banda transportadora soportada por aire incorporará un sistema de chute diseñado para cargar el material sobre el transportador con una colocación centralizada y niveles mínimos de impacto. Una colocación correcta del material permitirá cargar el material sin la necesidad de un faldeo de caucho.

H. Limpieza de la banda

El transportador soportado por aire incorporará un sistema de limpieza de la banda de elementos múltiples adecuado. Este sistema estará compuesto de al menos un limpiador primario de uretano instalado en la polea de cabeza abajo de la trayectoria de descarga del material y uno o más limpiadores secundarios incorporando elementos de limpieza de carburo de tungsteno. El sistema de limpieza también incluirá un arado en V con una hoja de caucho para proteger la polea de cola. Se incorporarán limpiadores adicionales o especiales para mantener una limpieza eficaz según lo determinen las características del material y las condiciones de la operación.

I. Fabricación/instalación

Para lograr un soporte de banda uniforme, los plenos de un transportador soportado por aire deben fabricarse con tolerancias estrictas y las secciones deben alinearse cuidadosamente durante la instalación.

EL TRANSPORTADOR ADECUADO PARA CADA SITUACIÓN

En resumen...

Aunque no son adecuadas para todas las situaciones, las bandas transportadoras soportadas por aire ofrecen mejoras significativas en comparación con los transportadores convencionales, incluyendo un mejor control del polvo y derrames. La clave para un sistema de transportador soportado por aire exitoso es el compromiso de proporcionar condiciones de carga de banda adecuadas. Al abordar cuestiones como, por ejemplo, una carga descentrada o de alto impacto con la instalación de cucharas que centran la carga, una planta puede obtener los beneficios de un transportador soportado por aire limpio, eficaz y de bajo mantenimiento. Las bandas transportadoras soportadas por aire pueden ser especialmente beneficiosas cuando se instalan en combinación con chutes de carga de flujo diseñado.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Transportadores soportados por aire, el tercer capítulo en la sección de Conceptos de vanguardia, explicó cómo éstos pueden mejorar el control del polvo y los derrames. El siguiente capítulo continúa con esta sección enfocándose en los Sistemas de lavado de la banda.

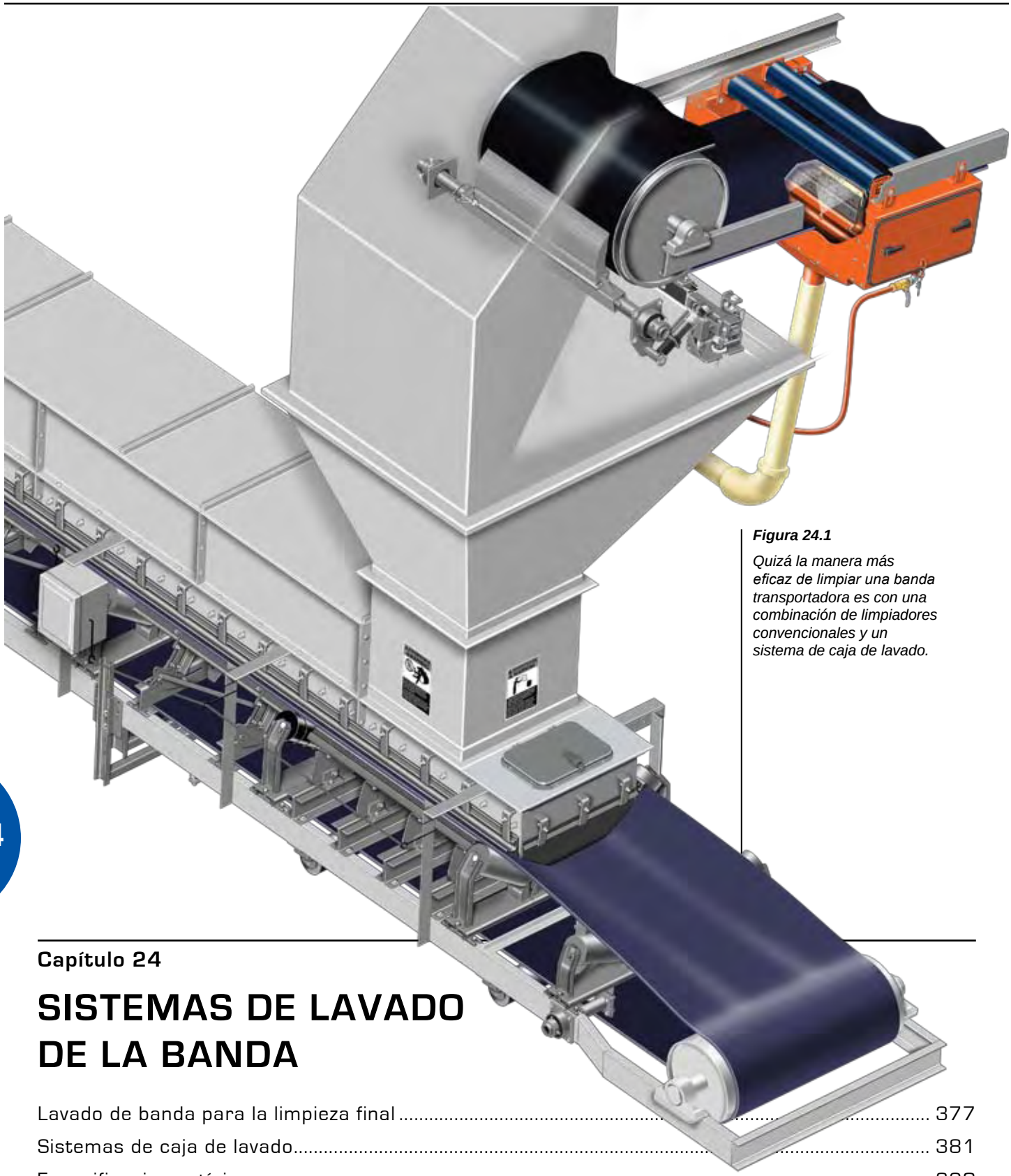


Figura 24.1

Quizá la manera más eficaz de limpiar una banda transportadora es con una combinación de limpiadores convencionales y un sistema de caja de lavado.

Capítulo 24

SISTEMAS DE LAVADO DE LA BANDA

Lavado de banda para la limpieza final 377

Sistemas de caja de lavado 381

Especificaciones típicas 390

Temas avanzados 391

Sobre el diseño de sistemas de lavado de banda 394

Cuestiones de seguridad 395

En este capítulo...

Este capítulo cubrirá los principios de los sistemas de caja de lavado, discutirá cómo se especifican y diseñan los sistemas de lavado y revisará las opciones para el manejo de agua, secado de la banda y reciclado de agua y sólidos.

Quizá la manera más eficaz de limpiar una banda transportadora es con una combinación de limpiadores convencionales y un sistema de caja de lavado **(Figura 24.1)**.

Los sistemas de lavado de banda tienen un método comprobado para eliminar el material residual de las bandas transportadoras en aplicaciones donde las cuestiones ambientales, las cuestiones regulatorias y otros problemas exigen una limpieza de alta eficacia. El sistema de lavado de banda típico, o caja de lavado, tendrá alguna configuración de barras o boquillas rociadoras de agua que cubren el ancho del lado de carga de la banda, seguidas de cualquier variedad de dispositivos de limpieza de banda, desde raspadores hasta cepillos rotativos. Alguna variación de un sistema de secado de banda, desde rodillos de presión hasta hojas secadoras o boquillas de aire forzado puede seguir después. Además, el sistema debe incluir arreglos para manejar la descarga del efluente (la pulpa de agua y sólidos retirados) y para la separación, reciclaje y/o desecho del agua y material retirado. El sistema también incluirá un compartimiento, componentes de sellado para reducir el exceso de rocío, controles y acceso para permitir la inspección y el mantenimiento **(Figura 24.2)**.

LAVADO DE BANDA PARA LA LIMPIEZA FINAL

Agua en el proceso de limpieza de banda

El agua ayuda al proceso de la limpieza de banda de varias maneras. *(Vea el Capítulo 14: Limpieza de la banda).* La adición del agua al proceso de limpieza de la banda tiene sus propias desventajas, no obstante, éstas pueden superarse con otros componentes y funciones del sistema de lavado de banda. Con el diseño apropiado, un sistema de lavado de banda puede reducir dramáticamente la cantidad de material que se adhiere a la banda a través del sistema de un transportador.

La preocupación principal es el uso de agua, lo cual se limita frecuentemente en operaciones industriales. Muchas plantas tienen restricciones severas en cuanto a la cantidad de agua que puede consumirse en la planta o agregarse al material.

Otras operaciones tienen requerimientos estrictos sobre lo que debe sucederle al efluente retirado (mezcla de sólidos/agua). El reciclaje de agua es una opción posible en estos casos. Algunas plantas usarán un depósito de sedimentación o una laguna de decantación para separar los materiales finos del agua de modo que pueda reutilizarse. Otras colectarán el agua o los sólidos para eliminarlos. Después, el material efluente se pasa por un sistema de reciclaje de agua (o sistema de separación de material) para extraer los sólidos y regresar el agua "limpia" al sistema para reutilizarla. Luego los sólidos pueden regresarse al sistema de manejo de material.

Una segunda desventaja de agregar agua al proceso de limpieza es que la misma agua puede provocar problemas "más adelante" en el transportador. El agua "desgastará" prematuramente los cojinetes, rodillos y otro equipo vital para la operación del transportador. Aun pequeñas cantidades de agua residual que permanecen en la banda pueden causar problemas. Los métodos para secar la banda se han desarrollado para ayudar a reducir estos problemas, manteniendo el agua de manera local en el sistema de lavado y no permitiendo que sea transportada de regreso al sistema de un transportador o a la planta.

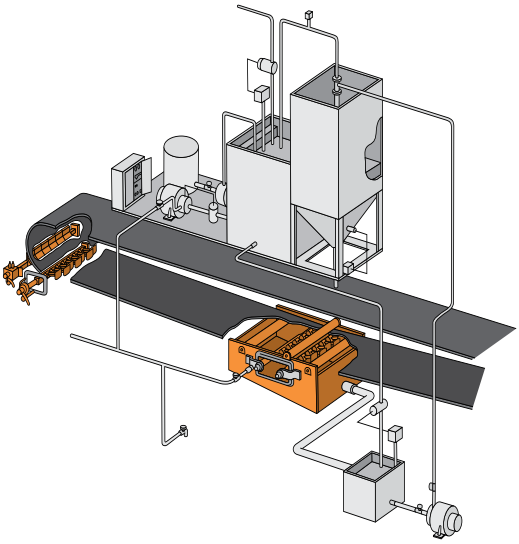


Figura 24.2

El sistema de lavado de banda típico contiene barras o boquillas rociadoras de agua, dispositivos de limpieza de la banda y posiblemente un sistema de secado de banda. Además, incluye arreglos para manejar la descarga del efluente y para la separación, reciclaje o desecho del agua y material eliminado, junto con un compartimiento, componentes de sellado, controles y acceso.

Muchas plantas u operaciones estarán renuentes a agregar agua al sistema de manejo de material en cualquier punto, principalmente debido al conocimiento un poco limitado del efecto que tiene el agua en el flujo de los materiales a granel. Aunque es cierto que un aumento en el contenido de humedad del material a granel puede afectar dramáticamente el comportamiento de éste lo cual es perjudicial a otros procesos y al equipo de manejo, la cantidad de agua agregada al sistema para eliminar el material adherido es muy pequeña en proporción con la carga transportada total. El material adherido causa muchos más problemas que la adición de estas cantidades pequeñas de agua al sistema.

La mayoría de los casos en donde las bandas transportadoras son lavadas por alguna versión de la tecnología discutida en este capítulo son aplicaciones donde se requieren altos niveles de desempeño de la limpieza de banda. Estas incluirían sistemas de carga y descarga de un barco, donde el escape de material adherido contamina el ambiente y conlleva a problemas con las agencias regulatorias, vecinos y activistas ambientales. Otra aplicación en donde las mismas cuestiones llevan a usar sistemas de lavado de banda es en transportadores terrestres, donde la naturaleza del campo a través de la trayectoria del transportador puede permitir que el material se escape hacia el ambiente exterior. Los sistemas de lavado de banda también se encuentran en sistemas de transportadores que se usan para transportar varias cargas diferentes; la banda se lava para eliminar el potencial de una contaminación cruzada.

Los principios del lavado de banda

Los principios de los sistemas de lavado de banda no son significativamente diferentes a los principios de los sistemas de limpieza de la banda en general. Sin embargo, los sistemas de lavado son técnicamente más sofisticados y son mucho más eficaces que los métodos mecánicos tradicionales para la limpieza de la banda. El agua mejora la eficacia de un sistema de limpieza de varias maneras:

A. El agua "ablanda" el material a granel, haciendo que sea más fácil de retirar.

B. El agua mantiene las hojas del limpiador de banda libres de acumulación, maximizando su eficacia de limpieza.

C. El agua reduce la fricción entre la banda y las hojas limpiadoras, disminuyendo las fuerzas que generan el desgaste de la hoja y la banda, lo cual mejora la expectativa de vida útil de las hojas y, por lo tanto, extiende el intervalo de mantenimiento.

Ablandamiento del material a granel

Durante el transporte por banda, el movimiento de la banda al pasar por los rodillos provocará que los finos y la humedad presente en la carga se ciernen hacia abajo y se compacten en la superficie de la banda. La misión del agua en el sistema de lavado de banda es ablandar el material a granel y reducir su fuerza interna (cohesión) y su habilidad de pegarse a la banda (adhesión). Esto permite a los elementos de limpieza retiren el material adherido a la banda de manera más eficaz.

La adición de agua típicamente aumenta la cohesión y adhesión de un material a granel hasta un nivel máximo, en cuyo momento estas propiedades disminuirán de manera dramática **(Figura 24.3)**. Este punto crítico es la humedad de saturación del material a granel. La fuerza de las propiedades de "acumulación" del material a granel depende de sus propiedades de cohesión y adhesión. Por lo tanto, la fuerza de un material a granel disminuirá dramáticamente una vez que el material esté más allá de su punto de saturación. En este momento, el material se parece más a una pulpa. Si el material puede "humectarse" lo suficiente, es mucho menos probable que se acumule o adhiera a cualquier superficie, incluyendo la banda y las hojas del limpiador de banda. Humedecer el material hace que el proceso de limpieza de la banda sea mucho más eficaz que usar únicamente el raspador mecánico.

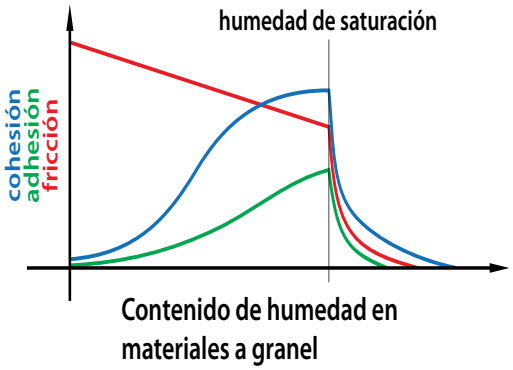


Figura 24.3

La adición de agua aumenta la cohesión y la adhesión de un material a granel hasta un nivel máximo, en cuyo momento estas propiedades disminuirán de manera dramática.

Impedir la acumulación en las hojas

Un segundo beneficio del agua en la limpieza de la banda es mantener el borde de ataque de las hojas limpiadoras libres de acumulación **(Figura 24.4)**. En instalaciones de limpiadores de banda convencionales ("secos"), esta región de material estancado casi ciertamente formará una acumulación de material en la punta de la hoja **(Figura 24.5)**. A menos que se "limpie", este material eventualmente pasará a través de las hojas del limpiador y el sistema del transportador lo cargará o continuará creciendo, aumentando el área de superficie en contacto con la banda y reduciendo la presión de la limpieza, lo que permite que se transporte más material adherido por el sistema. Los rociadores de agua se usan para impedir que el material forme esta capa estancada en la superficie de la hoja del limpiador de banda **(Figura 24.6)**.

Reducción de la fricción entre la hoja y la banda

El agua también mejora el desempeño de un sistema de limpieza de banda o de la estación de lavado de la banda al actuar como un lubricante entre la punta de la hoja y la superficie de la banda **(Figura 24.7)**. Esto tiene varias ventajas. La presencia del agua reduce el arrastre o las fuerzas de fricción en las hojas del limpiador de la banda y en la misma banda. La reducción de estas fuerzas aumenta la vida útil de las hojas del limpiador: menos fricción significa menos desgaste de la hoja.

Otra ventaja es que la reducción de estas fuerzas de fricción reducirá la acumulación de calor en la punta de las hojas del limpiador de la banda, minimizando la ruptura térmica de las hojas y así extendiendo su vida útil.

Además de mejorar la vida útil de las hojas, la presencia del agua también minimiza el desgaste de la banda transportadora.

Las pruebas de campo han demostrado que un solo rociador de agua de bajo volumen en un prelimpiador de un sistema de limpieza dual aumenta la eficacia de limpieza del sistema de siete a diez puntos porcentuales y puede duplicar el intervalo entre los procedimientos de mantenimiento requeridos. En un artículo presentado en la Conferencia Internacional de Ingenieros de Carbón en 1990 en Australia, J.H. Planner reportó que agregar un rociador de agua a diversos sistemas de limpieza convencionales aumentó la eficacia de la limpieza con un rango

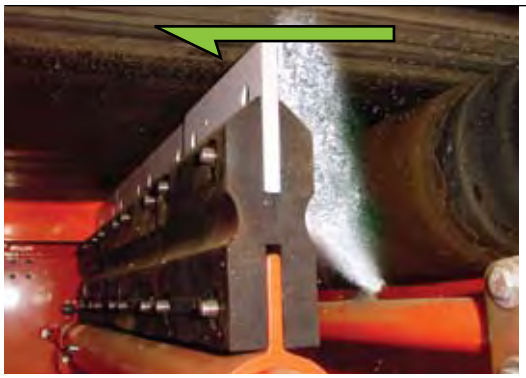


Figura 24.4

Un beneficio del agua en la limpieza de la banda es mantener el borde frontal de las hojas limpiadoras libres de acumulación.

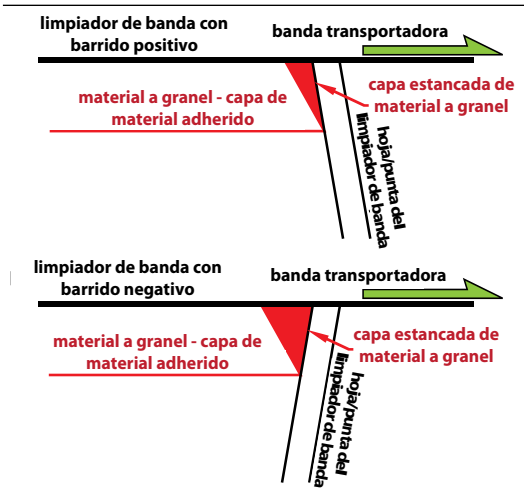


Figura 24.5

En instalaciones de limpiadores de banda convencionales ("seco"), una región de material estancado formará una acumulación de material en la punta de la hoja.

Figura 24.6

Los rociadores de agua se usan para impedir la formación de la capa estancada en la superficie de la hoja del limpiador de banda. Izquierda: el rociador de agua funciona. Derecha: el rociador de agua no funciona.

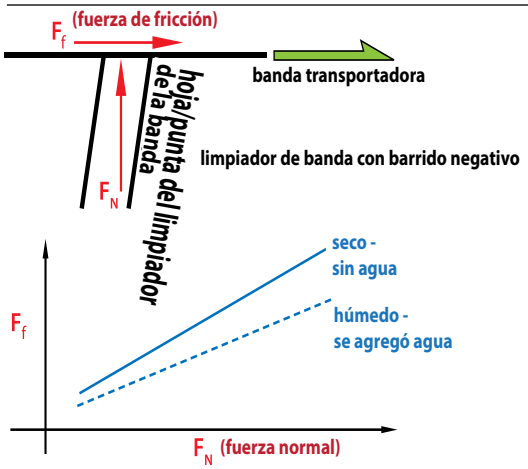


Figura 24.7

El agua también mejora el desempeño de un sistema de limpieza de banda o estación de lavado de la banda actuando como un lubricante entre la punta de la hoja y la superficie de la banda.

24

porcentual que pasó de 85 a 95 *(Referencia 24.1)*.

Métodos para el lavado de banda

Varios métodos se han usado para lavar las bandas transportadoras. Como lo describió Dick Stahura en un artículo en 1987 *Lavado de la banda transportadora: ¿es ésta la mejor solución?*, los métodos son inundación, baños y caja de lavado *(Referencia 24.2)*.

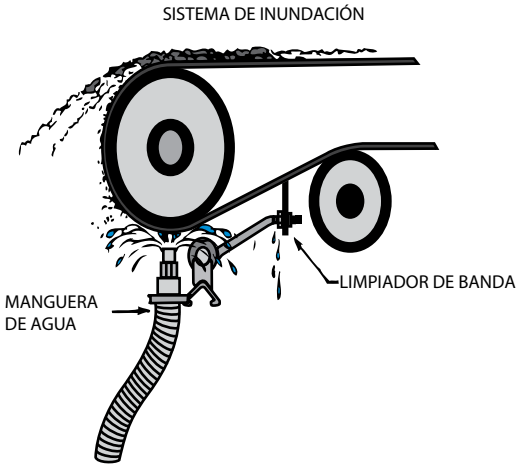
Método de inundación

El método de inundación utiliza chorros de agua que literalmente destrozan las partículas adheridas a la banda **(Figura 24.8)**. Se usan presiones de 400 a 700 kilopascales (60–100 lb_f /pulgada^2) y puede agregarse aire comprimido para aumentar el efecto. Los rociadores de alta presión pueden ser difíciles de usar en un sistema de lavado de banda, puesto que requieren boquillas especializadas y agua limpia para su operación. Atrás del chorro de agua, una hoja secadora se usa para retirar el agua.

La velocidad de la banda (es decir, el tiempo que la banda está expuesta al rociador) y la adherencia de la suciedad son los factores que generalmente limitan la aplicación de este método en transportadores que operan a menos de 5 metros por segundo (1000 pies/min) *(Referencia 24.3)*. El consumo de agua puede ser bastante alto con este método.

Figura 24.8

El método de inundación utiliza chorros de agua que literalmente destrozan las partículas adheridas a la banda.



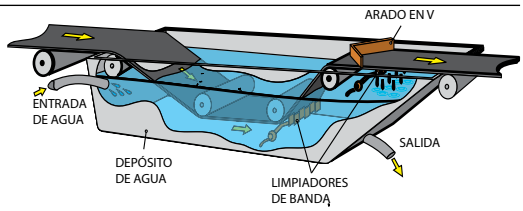
Método de baño

El método de baño consiste en pasar la banda por un compartimiento lleno de agua **(Figura 24.9)**. Este compartimiento debe ubicarse a lo largo del retorno de la banda o hasta en el ajuste de gravedad donde el peso de una "tina de baño" con agua puede volverse parte del sistema tensionador de contrapeso del transportador. No hay chorros ni boquillas rociadoras, sólo un método para mantener el nivel del agua. El agua se cambia según sea necesario para impedir que se acumule sedimento en el baño. La longitud de la "tina de baño" tiene que ser considerable para lograr cualquier tiempo de "inmersión" (banda en el agua) significativa.

Este sistema presenta algunas dificultades, incluyendo daños al armazón y problemas en el mantenimiento y el secado de la banda a medida que sale del baño.

Figura 24.9

El método de baño consiste en pasar la banda por un compartimiento lleno de agua.



Método de caja de lavado

El lavado de banda con tecnología de vanguardia es el método de la caja de lavado. En este sistema, un método de rociador de agua se combina con uno o más limpiadores de banda convencionales en un compartimiento instalado como un sistema de limpieza de banda terciario **(Figura 24.10)**. El diseño y la especificación de un sistema de caja de lavado dependerá de las especificaciones de la aplicación (como la velocidad de la banda, el material transportado, el ancho de banda y la composición de la banda); el nivel deseado de limpieza (y secado) y la presencia de cualquier restricción en el sitio (límites sobre el uso de agua o aire comprimido y/o requerimientos ambientales) **(Figura 24.11)**.

Figura 24.10

En el método de la caja de lavado, un método de rociado de agua se combina con uno o más limpiadores de banda convencionales en un compartimiento instalado como un sistema de limpiador de banda terciario.

24

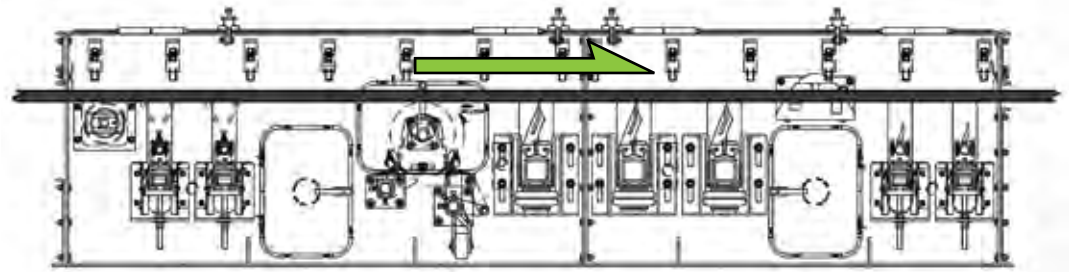


Figura 24.11

El diseño de un sistema de caja de lavado dependerá de los detalles específicos a la aplicación, el nivel deseado de limpieza y la presencia de cualquier restricción en el lugar.

SISTEMAS DE CAJA DE LAVADO

La configuración típica de la "caja de lavado" es una o más barras rociadoras para aplicar agua seguida de dos o tres limpiadores de banda secundarios de un diseño más o menos convencional **(Figura 24.12)**. El sistema de caja de lavado está diseñado de manera que el ajuste del ángulo de ataque del limpiador y la presión de limpieza pueda realizarse afuera del compartimiento con el operador observando a través de una puerta de acceso **(Figura 24.13)**.

Estos elementos de limpieza pueden ser limpiadores de banda secundarios convencionales o limpiadores de cepillo. Los limpiadores de cepillo pueden ser más eficaces en casos donde la banda está significativamente ranurada o dañada, lo que dificulta o hace imposible la limpieza con hojas de borde plano **(Figura 24.14)**. Dependiendo de la aplicación, los limpiadores de cepillo también requieren de un volumen significativo de agua para mantener limpio el cepillo y libre de acumulación de material que lo haría inútil.

Históricamente, la inmensa mayoría de las aplicaciones de cajas de lavado han sido diseñadas especialmente por necesidad debido a la mezcla única de especificaciones del transportador de cada aplicación, características del material y limitaciones del espacio. Un desarrollo más reciente ha sido el concepto de un sistema de caja de lavado "modular". A diferencia de las cajas de lavado habituales que se diseñan de aplicación en aplicación, las cajas de lavado modulares usan varios componentes "estándar" y módulos configurables para combinar una mayor flexibilidad y facilidad de uso con economía en ingeniería y construcción. El concepto incluye los "elementos básicos" de un sistema de caja de lavado en un contenedor modular **(Figura 24.15)**. Estas unidades modulares luego se "unirán" para formar sistemas más elaborados y soluciones personalizadas.

El método modular permite incorporar varias funciones con un aumento mínimo al costo del sistema. El método modular incluye opciones que proporcionan una mejor accesibilidad, instalación simplificada, mantenimiento más fácil y la habilidad de intercambiar fácilmente componentes a medida que los requerimientos de la aplicación cambien con el tiempo. De

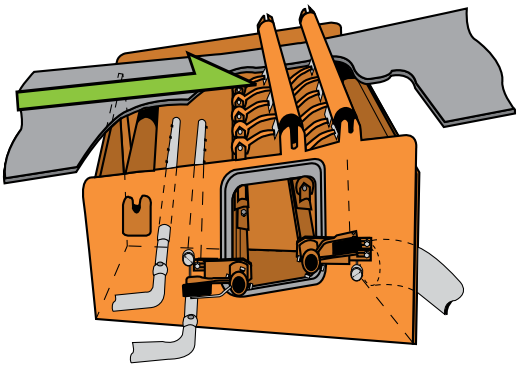


Figura 24.12

La configuración de una "caja de lavado" típica es una o dos barras rociadoras para aplicar agua, seguida de dos o tres limpiadores de banda secundarios en un diseño más o menos convencional.

Figura 24.13

El sistema de caja de lavado debe permitir la inspección y el ajuste de los limpiadores de banda desde afuera del compartimiento por parte del operador que observa a través de una puerta de acceso.

Figura 24.14

Los limpiadores de cepillo pueden ser más eficaces en un caja de lavado en casos donde la banda esté significativamente ranurada o dañada.

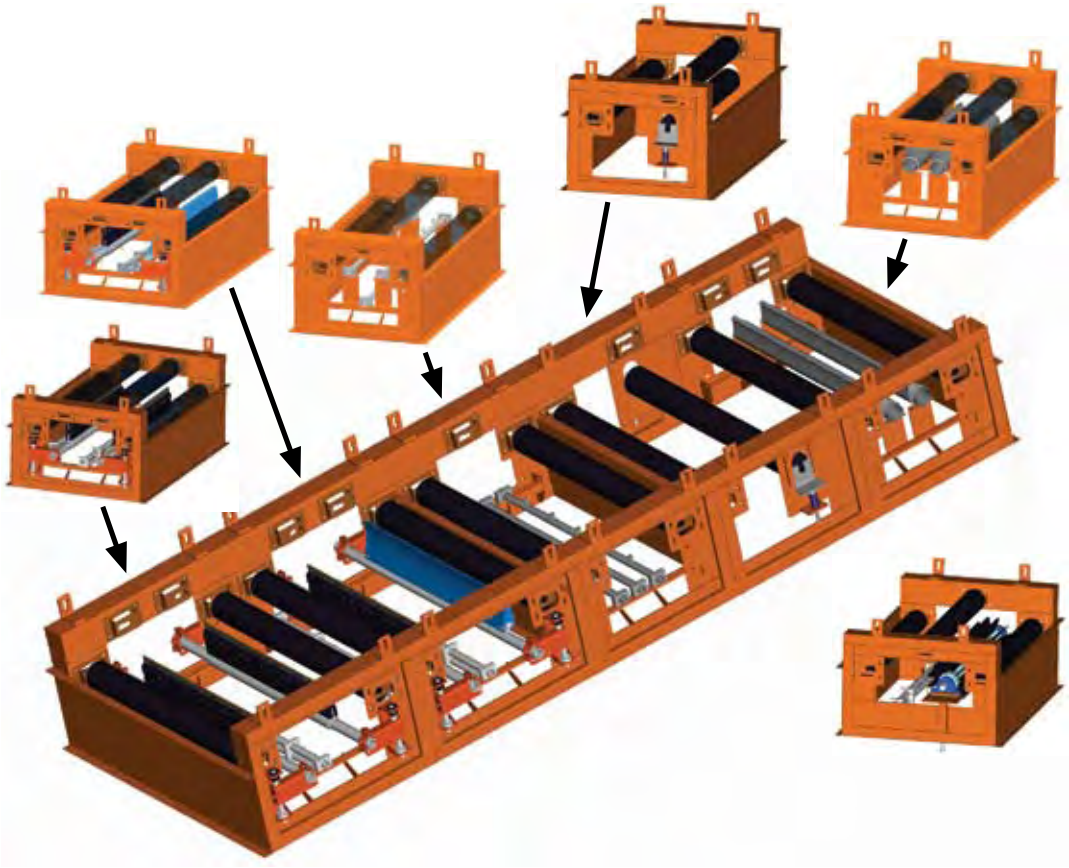


Figura 24.15

Una caja de lavado modular usa varios componentes "estándar" y módulos configurables para proporcionar flexibilidad con economía en ingeniería y construcción.

Figura 24.16

El método modular permite la separación de componentes para colocar mayor distancia entre los componentes o para una instalación alrededor de los miembros estructurales del transportador y otras obstrucciones.

Figura 24.17

Un sistema de caja de lavado puede requerir una distancia de más de 2 metros (7 pies) de longitud de banda y al menos 0.6 metros (2 pies) de franqueo superior para la instalación en un punto donde la banda está libre de las poleas de cabeza y de cambio de dirección.

hecho, el método modular permite la separación de componentes, colocando los mecanismos de secado en un compartimiento diferente a los componentes de raspado, por ejemplo, para permitir una mayor distancia entre los componentes o para permitir una instalación alrededor de los miembros estructurales del transportador y otras obstrucciones **(Figura 24.16)**. Un beneficio adicional es que el método de caja de lavado modular permite la expansión del sistema con diferentes módulos o módulos adicionales que se agregan posteriormente, a medida que cambian las características del material, los requerimientos de limpieza o las limitaciones presupuestarias.

Las desventajas de los sistemas de caja de lavado incluyen problemas como que el sistema de lavado de banda puede requerir una distancia de más de 2 metros (7 pies) de longitud de banda y al menos 0.6 metros (2 pies) de franqueo superior para la instalación en un punto donde la banda está libre de las poleas de cabeza y deflectoras **(Figura 24.17)**. El drenaje del efluente debe ser tan vertical como sea posible con curvas mínimas para impedir que se atasque **(Figura 24.18)**.

Lavado de banda para la limpieza final

Los sistemas de limpieza de la banda instalados de modo que la banda pase por ellos antes de llegar al sistema de lavado de banda afectan la cantidad y la presión de agua requerida y en la eficacia de la caja de lavado. Se recomienda firmemente que al menos un limpiador primario y uno o dos limpiadores secundarios se usen en cualquier transportador donde se está considerando una estación de lavado. Estos limpiadores, instalados antes (más cerca a la descarga de material) del punto donde se instalará la caja de lavado, reducirán enormemente la cantidad de material adherido a eliminar en una estación de lavado, lo que ahorra uso de agua y costos de operación **(Figura 24.19)**. Sin estos limpiadores, habrá más material que retirar de la banda en la caja de lavado y más sólidos en el efluente. Las estaciones de lavado de la banda pretenden ser lo mejor en la limpieza de bandas; están diseñadas para tratar con sólo la eliminación final de cualquier cantidad residual de material que pasa por el equipo de limpieza anterior.

Aplicación de agua

El desafío para cualquier aplicación de lavado de banda es colocar el agua en el lugar correcto del sistema de limpieza de una manera efectiva y eficaz. Existen varias maneras de aplicar agua a la banda y al material. Estas varían desde una simple manguera apuntada a la banda hasta un tubo con orificios barrenados **(Figura 24.20)** o hasta un sistema más elaborado de boquillas y barras rociadoras. Las boquillas diseñadas logran la aplicación de agua de una manera mucho más eficaz que una manguera o tubo con orificios. Aunque estos últimos son métodos eficaces de enviar agua, los requerimientos de uso del agua de una manguera o tubo son mucho mayores que los de un sistema que utiliza boquillas diseñadas. La pregunta entonces es: ¿cuál es la combinación más eficaz de presión de agua, patrón de rociado, ángulo de contacto y las demás variables?

La manera más efectiva y eficaz de rociar agua limpiadora en estos sistemas es con una serie de boquillas diseñadas colocadas a lo largo de un tubo **(Figura 24.21)**. La selección de una boquilla específica normalmente depende de varios factores, incluyendo el tipo y la cantidad de material adherido, la velocidad de la banda, la limpieza del suministro de agua, el patrón de rociado necesario para lograr un rociado uniforme a lo ancho de la banda, el impacto de la presión del agua necesario para saturar el material, la presión de agua y la tasa de flujo requerido para mantener limpias las hojas. Al igual que con muchos otros aspectos del diseño del sistema de un transportador, el sistema de lavado debe diseñarse para funcionar cuando las

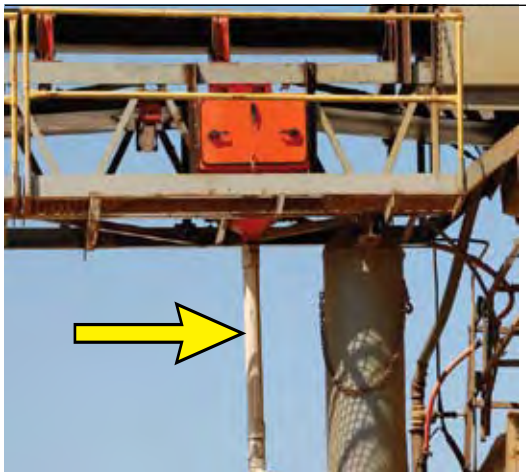


Figura 24.18

El drenaje del efluente debe ser tan vertical como sea posible con el mínimo de curvas para impedir que se atasque con sólidos.

Figura 24.19

Los limpiadores de banda convencionales instalados antes de la caja de lavado reducirán enormemente la cantidad de material adherido que llega a la estación de lavado.

Figura 24.20

Existen varias maneras de aplicar agua a la banda y al material: por ejemplo, una manguera simple apuntada hacia la banda o un tubo de agua con orificios barrenados.

condiciones del material adherido están en el peor de los casos.

Los dos factores más críticos para elegir las boquillas rociadoras son la cantidad de material adherido presente y la velocidad de la banda. Las bandas de mayor velocidad requieren más agua para cubrir por completo la banda y ablandar el material adherido durante el poco tiempo que la banda está expuesta al rociador. Altos niveles de material adherido requerirán de más agua: la capa de material adherido más gruesa requerirá de más agua para "ablandar" el material, puesto que hay más material a ablandar. Altos niveles de material adherido también requieren que se envíe agua al sistema a altas presiones, así el agua penetrará la masa de material para alcanzar la superficie de la banda. La presión no necesita ser suficientemente alta para retirar el material, sino más bien suficiente para permitir que el agua alcance la superficie de la banda.

Las boquillas que están disponibles ofrecen una amplia variedad de patrones de rociado, tasas de flujo y presiones. Los factores como la distancia desde la banda hasta la barra rociadora, el patrón de rociado, la tasa y la presión deben considerarse para determinar la configuración de las barras rociadoras. Normalmente, se usan ángulos de rociado amplios para maximizar el área de cobertura y al mismo tiempo minimizar el consumo de agua **(Figura 24.22)**. La boquilla seleccionada, con su patrón de rociado y ángulo de rociado, controlará el espaciado y la distancia de montaje de las barras rociadoras usadas en el sistema de lavado. En algunos casos se requieren boquillas especializadas. Pueden especificarse boquillas que sean resistentes a la corrosión, abrasión o químicos que se encuentran en el proceso.

Un caja de lavado típica, operando con rociadores a una presión moderada,138 kilopascales (20 lb_f/pulgada^2), requerirán aproximadamente 63 litros por metro (5.1 gal/pie) de ancho de banda por minuto de operación **(Tabla 24.1)**. Como se mencionó anteriormente, la presión y el volumen de agua apropiados deben seleccionarse después de considerar la velocidad de la banda y los niveles de suciedad (adhesión del material).

La necesidad y el uso de boquillas rociadoras de agua adicionales para mantener el movimiento de material al enjuagar la caja de lavado y el sistema de drenaje normalmente duplicará el volumen de agua requerida.

El diseño de un sistema de lavado de banda puede ser un proceso complicado con varias opciones combinadas con variables de amplio alcance en transportadores y materiales. Se requiere de una comprensión total del sistema, el material y los requerimientos del proceso. El personal experimentado y capacitado debe involucrarse para asegurarse de que el sistema cumplirá con las expectativas del cliente y los requerimientos de las aplicaciones.

Calidad del agua

La calidad del agua es quizás la parte más crítica del diseño de un sistema de alto desempeño y si se descuida puede hacer que el sistema no sea funcional o propenso a intervalos de mantenimiento y requerimientos de limpieza que son inaceptables.

Los sistemas de lavado de banda son mejores cuando se diseñan para la tasa y la presión de flujo de agua requerida, según se hayan determinado con la prueba del material y los detalles específicos de la aplicación. Algunas plantas tienen limitaciones severas sobre el uso de agua y la tasa/presión de flujo disponible.

Figura 24.21

La manera más efectiva y eficaz de rociar el agua limpiadora en estos sistemas es con una serie de boquillas diseñadas colocadas a lo largo de un tubo.

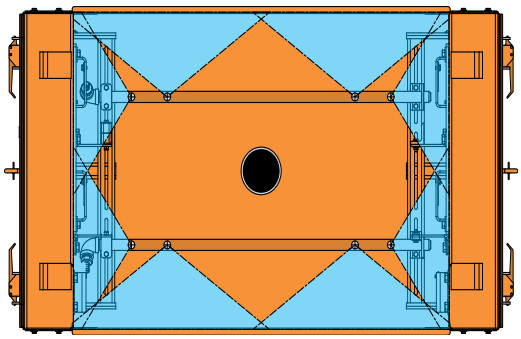


Figura 24.22

Los ángulos de rociado amplios se usan típicamente para maximizar el área de cobertura y al mismo tiempo minimizan el consumo de agua.

Estas restricciones pueden limitar la eficacia de la caja de lavado muy por debajo de lo que se diseñó o especificó.

Puesto que las boquillas diseñadas normalmente son "optimizadas" para proporcionar un área amplia de rociado, tasas de flujo minimizadas y presión óptima para una aplicación dada, el tamaño del orificio de las boquillas típicamente es pequeño y de una figura única. Si el agua que se usará en un sistema de lavado no está "suficientemente limpia", la calidad del agua debe evaluarse para asegurarse de que no haya partículas suficientemente grandes para obstruir las boquillas rociadoras. Esto a menudo es más difícil en la práctica, puesto que la calidad de agua de la planta puede cambiar dramáticamente en cuestión de minutos. Por lo tanto, un sistema de filtración de agua es una adición valiosa al sistema de lavado de la banda.

Secado de banda

Después de la adición del agua al proceso de limpieza, muchas aplicaciones requerirán que la banda se seque antes de salir del sistema de lavado. En algunos casos, esto es simplemente para impedir que el material adherido suspendido en el agua en la banda sea expulsado por los rodillos de retorno. En otros casos, el proceso del manejo de material requiere una banda seca. Y en otras aplicaciones más, la banda se usa para transportar varios materiales a granel y no puede permitirse una contaminación cruzada de modo que la banda debe limpiarse y secarse antes de cambiar la carga.

Consumo típico de agua para sistemas de lavado de banda — *Tabla 24.1*

Ancho de banda mm (pulg.)	Boquillas usadas	Litros aproximados por minuto (gal/min)						
		34 kPa (5 lb_f/pulgada²)	69 kPa (10 lb_f/pulgada²)	103 kPa (15 lb_f/pulgada²)	138 kPa (20 lb_f/pulgada²)	207 kPa (30 lb_f/pulgada²)	276 kPa (40 lb_f/pulgada²)	414 kPa (60 lb_f/pulgada²)
400-500 (18)	6	16 (4.3)	23 (6.0)	27 (7.2)	32 (8.4)	39 (10.2)	45 (12.0)	57 (15.0)
500-650 (24)	8	22 (5.7)	30 (8.0)	36 (9.6)	42 (11.2)	51 (13.6)	61 (16.0)	76 (20.0)
650-800 (30)	9	24 (6.4)	34 (9.0)	41 (10.8)	48 (12.6)	58 (15.3)	68 (18.0)	85 (22.5)
800-1000 (36)	11	30 (7.8)	42 (11.0)	50 (13.2)	58 (15.4)	71 (18.7)	83 (22.0)	104 (27.5)
1000-1200 (42)	13	35 (9.3)	49 (13.0)	59 (15.6)	69 (18.2)	84 (22.1)	98 (26.0)	123 (32.5)
1200-1400 (48)	15	40 (10.6)	57 (15.0)	68 (18.0)	79 (21.0)	97 (25.5)	114 (30.0)	142 (37.5)
1400-1600 (54)	16	43 (11.4)	61 (16.0)	73 (19.2)	85 (22.4)	103 (27.2)	121 (32.0)	151 (40.0)
1600-1800 (60)	18	48 (12.8)	68 (18.0)	82 (21.6)	95 (25.2)	116 (30.6)	136 (36.0)	170 (45.0)
1800-2000 (72)	22	59 (15.6)	83 (22.0)	100 (26.4)	117 (30.8)	142 (37.4)	166 (44.0)	208 (55.0)
2000-2200 (84)	26	70 (18.4)	98 (26.0)	118 (31.2)	138 (36.4)	167 (44.2)	197 (52.0)	246 (65.0)

Existen tres métodos básicos para secar una banda transportadora en movimiento que pueden aplicarse al transportador a medida que sale de la estación de lavado: evaporación, eliminación mecánica de agua y secado con aire forzado.

Evaporación

La evaporación es un proceso natural que secará la banda **(Figura 24.23)**. La evaporación puede acelerarse forzando aire caliente sobre la banda en movimiento. No obstante, la evaporación de la película de agua solamente con aire forzado no es un medio factible para eliminar el agua por completo en aplicaciones típicas de bandas transportadoras que manejan materiales a granel debido a que existe un límite sobre la rapidez con que puede evaporarse el agua.

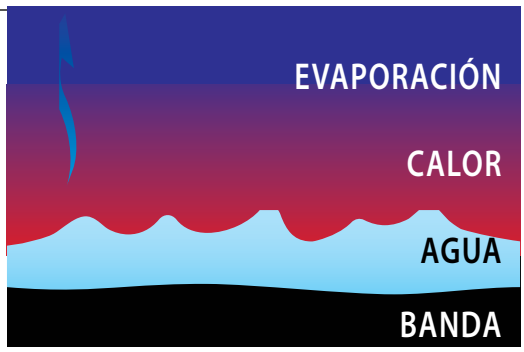


Figura 24.23

El proceso natural de evaporación puede acelerarse forzando aire caliente sobre la banda en movimiento.

Figura 24.24

Una hoja secadora es un medio eficaz y económico de eliminar agua de una banda transportadora.

Secado mecánico

Existen varios métodos mecánicos para eliminar el agua de la banda. El primero es limpiar mecánicamente la banda usando lo que comúnmente se llama una hoja "secadora". Ésta es similar a los parabrisas de un carro.

Una hoja secadora colocada como el dispositivo de limpieza final en el sistema de caja de lavado eliminará una cantidad significativa de agua excedente. El resultado variará dependiendo del tipo de hoja secadora usada, el material de su construcción y su ubicación así como también los detalles específicos de la aplicación como, por ejemplo, la velocidad de la banda y la cantidad de agua presente en la banda. En general, la hoja secadora es un medio eficaz y económico de eliminar agua **(Figura 24.24)**.

El uso de rodillos secadores, ya sea rodillos individuales o dobles, es también una manera eficaz de eliminar agua excedente de la banda transportadora en movimiento **(Figura 24.25)**. Un estudio de la University of Newcastle Research Associates (TUNRA) exploró la eficacia de un sistema de rodillo secador individual y examinó el efecto de usar rodillos de diferentes diámetros a diferentes velocidades de banda *(Referencia 24.4)*. Los resultados de este estudio demostraron claramente que entre más pequeño sea el rodillo, mejor será la acción secadora independientemente de la velocidad de la banda **(Figura 24.26)**. Los rodillos secadores generalmente son eficaces para reducir el grosor de la película de agua en la banda a aproximadamente 50 micrones, con un límite bajo eficaz de 20 micrones **(Figura 24.27)**.

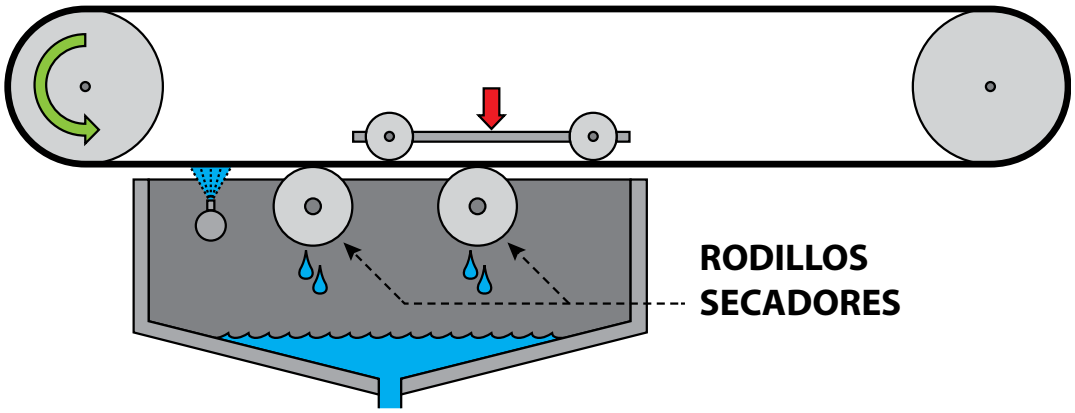


Figura 24.25

El uso de sistemas de rodillos secadores, ya sea rodillos individuales o dobles, es una manera eficaz de eliminar agua excedente de la banda transportadora en movimiento.

Secado con aire forzado

La tercera técnica para secar la banda es usando un aire a alta velocidad para separar la película de agua de la banda. Dos mecanismos pueden ser dominantes: la inestabilidad hidrodinámica y la separación. La inestabilidad hidrodinámica ocurre cuando la película de agua está expuesta al aire en movimiento. La película formará una ola que crecerá rápidamente provocando la formación de gotas que después se desprenden de la superficie. La separación ocurre cuando la película de agua es expuesta a aire de alta velocidad y el agua se "despega" de la superficie de la banda **(Figura 24.28)**.

El aire de alta velocidad puede ser altamente eficaz para eliminar películas de agua más gruesas. Existen varios sistemas comercialmente disponibles, incluyendo "cuchillas" de aire que usan sopladores para generar la velocidad de aire y la presión requerida; otros sistemas operan con líneas de aire comprimido **(Figura 24.29)**.

Para eliminar la mayor cantidad de agua, la velocidad de aire debe maximizarse. Sin embargo, la velocidad de aire alcanzable es limitada por varios factores que incluyen la energía consumida para generar altas velocidades usando un soplador o línea de aire

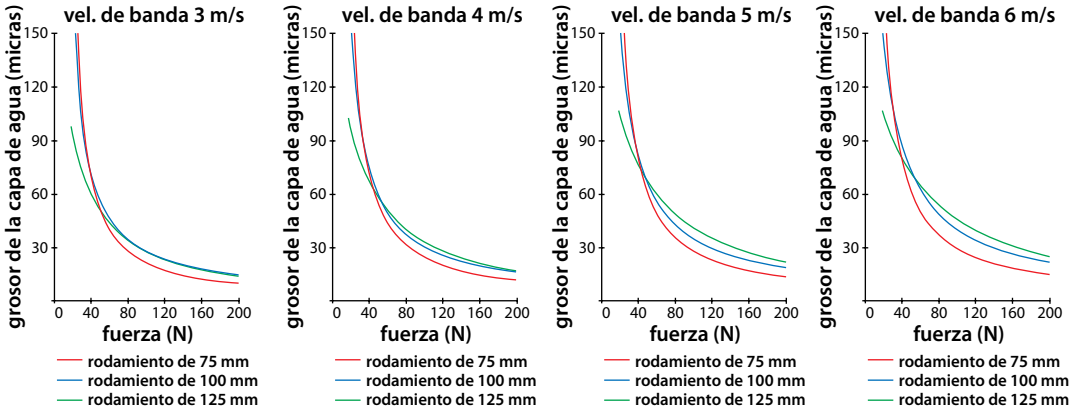


Figura 24.26

Los resultados de este estudio demostraron claramente que entre más pequeño sea el rodillo, mejor será la acción secadora, independientemente de la velocidad de la banda.

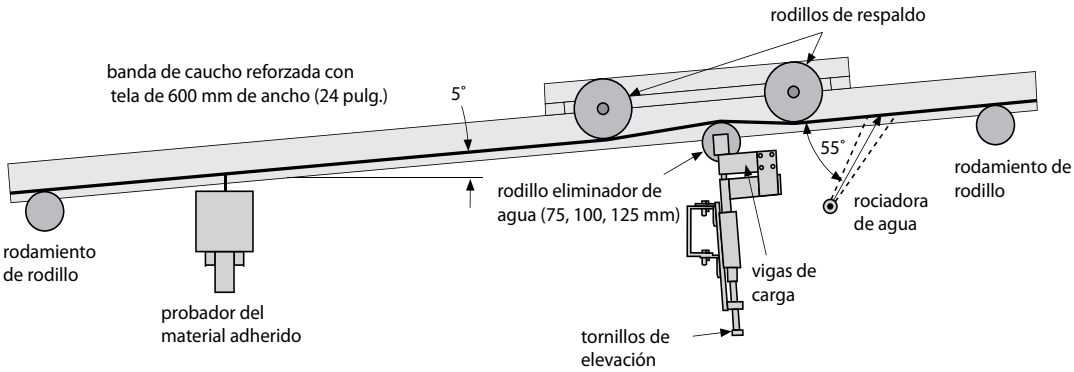


Figura 24.27

Los rodillos secadores generalmente son eficaces para reducir la película de agua en la banda a aproximadamente 50 micrones, con un límite bajo eficaz de 20 micrones.

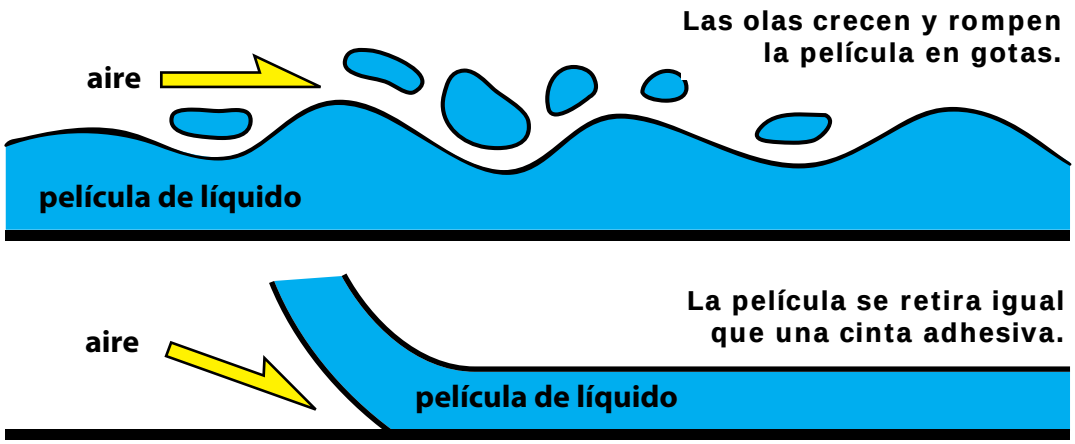


Figura 24.28

La inestabilidad hidrodinámica ocurre cuando el aire en movimiento forma una ola con la película de agua, de la cual pueden desprenderse gotas de la superficie. La separación ocurre cuando la película de agua es expuesta a aire de alta velocidad y el agua se "despega" de la superficie de la banda.

comprimido así como también el ruido asociado con velocidades de aire extremadamente altas.

Las investigaciones han indicado que el factor dominante en la eliminación de agua es la velocidad relativa del aire; el ángulo del contacto no fue tan crítico para la eliminación del agua. Un rango factible de velocidad de aire en la banda es de 80 a 100 metros por segundo (15000 a 20000 pies/min). Con este rango de velocidad de aire, los resultados experimentales demuestran que el agua puede reducirse de una banda en movimiento hasta tener un grosor de película de 7 a 11 micrones *(Referencia 24.5)*. Estas velocidades pueden alcanzarse con boquillas diseñadas especialmente y sopladores regenerativos para aproximadamente 7.5 kilowatts por metro (3 hp/pie) de ancho de banda secada. El aire comprimido también puede usarse, con otros tipos de boquilla de aire, con requerimientos de energía similares. Puesto que las velocidades de banda típicas son de 1 a 5 metros por segundo (200 a 1000 pies/min), la velocidad de la banda no es un parámetro importante en comparación con la velocidad del aire.

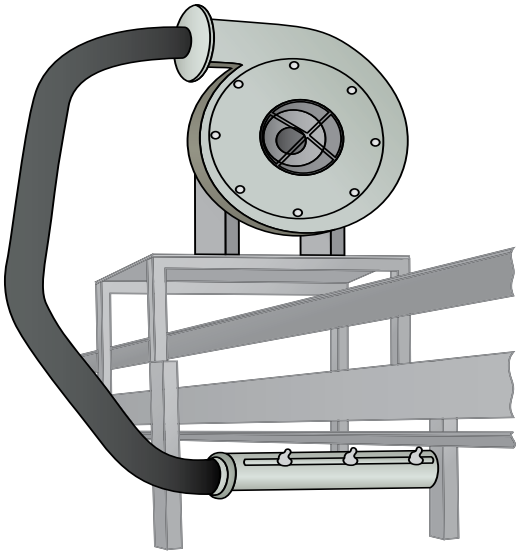


Figura 24.29

Existen varios sistemas comercialmente disponibles, incluyendo "cuchillas" de aire que usan sopladores para generar la velocidad y la presión de aire requeridas para secar la banda.

Desempeño de los sistemas eliminadores de agua

El desempeño relativo de diferentes sistemas eliminadores de agua puede evaluarse y compararse **(Tabla 24.2)**. Estas metodologías de eliminación de agua pueden usarse individualmente pero el mejor método puede ser usar una combinación de diferentes posibilidades.

Recuperación de agua

Una vez que se establecen los componentes básicos de un sistema de lavado de banda, es posible examinar los sistemas para tratar con el efluente (el agua sucia) retirado de la banda. En muchos entornos industriales, la cantidad de agua usada y la calidad del agua liberada son estrictamente controladas. En otros casos, el material tiene un alto valor y, por lo tanto, es rentable recuperar los sólidos. En ambos casos, a menudo se requiere un sistema para separar los sólidos del agua.

Al elegir un sistema de separación de agua mecánico, deben considerarse varios factores. El principal de ellos es la cantidad de agua y su contenido de sólidos así como también la ubicación en donde se puede instalar el sistema de reciclaje de agua. Dependiendo del método de tratamiento, la tasa de sedimentación del sólido en el agua puede ser el criterio principal pero debido al tamaño de los dispositivos, depender únicamente de la sedimentación a menudo es poco práctico.

En el sistema de tratamiento de agua más simple, el efluente es canalizado a un depósito de sedimentación y, por el proceso de sedimentación, el agua se clarifica y filtra para reutilizarse como agua de la planta **(Figura 24.30)**. Esto tiene varios problemas potenciales incluyendo impedir que el sistema de drenaje se obstruya con sólidos, la draga periódica de los sólidos en el depósito de sedimentación y el

Tabla 24.2

Comparación de diferentes métodos de eliminación de agua

Método	Eficacia de la eliminación de agua	Uso de energía	Costo de compra	Costo de operación
Hoja secadora	1	2	1	1
Rodillo secador	2	1	3	2
Cuchilla de aire comprimido	3	3	2	3
Soplador de alta presión	4	4	4	4

1 = más bajo, 4 = más alto

desecho posterior de este material recuperado.

Algunas veces se usan lagunas de decantación de concreto cerca del punto de la generación de efluentes. Estas pueden diseñarse de manera que un cargador frontal pueda conducirse hasta la laguna y colectar los sólidos sedimentados. En una escala más pequeña, los contenedores pueden usarse como el lugar para el sedimento, con la ventaja de que los sólidos a menudo pueden regresarse al sistema de manejo de material simplemente vaciando el contenedor **(Figura 24.31)**.

Los sistemas de recuperación y separación de agua diseñados están disponibles **(Figura 24.32)**. Los sistemas de reciclaje de agua modular pueden proporcionar hasta 1250 litros por minuto (300 gal/min) de reciclaje continuo; los módulos pueden combinarse para proporcionar altos volúmenes de agua limpia.

En algunos casos, un aditivo químico puede usarse para acelerar la sedimentación de sólidos, pero esto requerirá de una inspección periódica y servicio del equipo para asegurar que los químicos estén disponibles en el sistema en todo momento.

Los sistemas de aditivos químicos o filtración mecánica ocasionalmente son necesarios para materiales a granel que no se mojan con facilidad o que tienen una gravedad específica parecida o menor a la del agua. Existe una variedad de medios mecánicos disponibles que incluye prensas de filtrar, filtros desaguadores, hidrociclones y clarificadores. No obstante, la mayoría de los materiales a granel que se manejan en grandes cantidades son más pesados que el agua y, por lo tanto, pueden separarse usando un sistema de separador roscado inclinado que sea simple y eficaz.

Cuando se diseña un sistema de caja de lavado completo, la porción del lavado debe diseñarse primero para definir los requerimientos operativos del sistema. Después de eso, el sistema de reciclaje de agua puede desarrollarse para proporcionar la capacidad de manejo de agua que cumpla con los requerimientos de lavado. Un detalle que a menudo se pasa por alto es que la descarga de la caja de lavado es propensa a atascos. Por esta razón, la descarga debe ser un canal abierto o un tubo de diámetro grande con pocas curvas. Además debe tener accesorios o conectores desmontables para permitir su limpieza y usar

Figura 24.30

En el sistema de tratamiento de agua más simple, el efluente es canalizado a un depósito de sedimentación y, por el proceso de sedimentación, el agua se clarifica y filtra para reutilizarse como agua de la planta.

Figura 24.31

Los contenedores pueden usarse como un tanque de sedimentación, regresando los sólidos al sistema de manejo de material simplemente al vaciar el contenedor.

Figura 24.32

Los sistemas de recuperación y separación de agua diseñados pueden proporcionar hasta 1250 litros por minuto (300 gal/min) de reciclaje continuo.

bastante agua de lavado **(Figura 24.33)**.

Recuperación de sólidos

Los materiales en el efluente de la caja de lavado pueden recuperarse. Esto es importante en aquellas operaciones en donde la carga es especialmente valiosa y/o la carga ya se ha sometido a algún procesamiento o tratamiento.

Si la adición de agua al proceso no es una preocupación, la pulpa puede regresarse a la carga del transportador o al proceso de la planta directamente desde la caja de lavado a través de una bomba. Si la planta necesita minimizar el agua agregada a su proceso, ésta puede reciclarse y los sólidos recuperados pueden colocarse después en la banda o proceso a través de medios mecánicos como un transportador de tornillo sin fin. Una prueba de sedimentación simple, en donde el material se coloca en un contenedor con agua y se observa la tasa a la cual se sedimenta, dará una buena indicación del tiempo de permanencia y si pueden necesitarse aditivos químicos para promover la sedimentación.

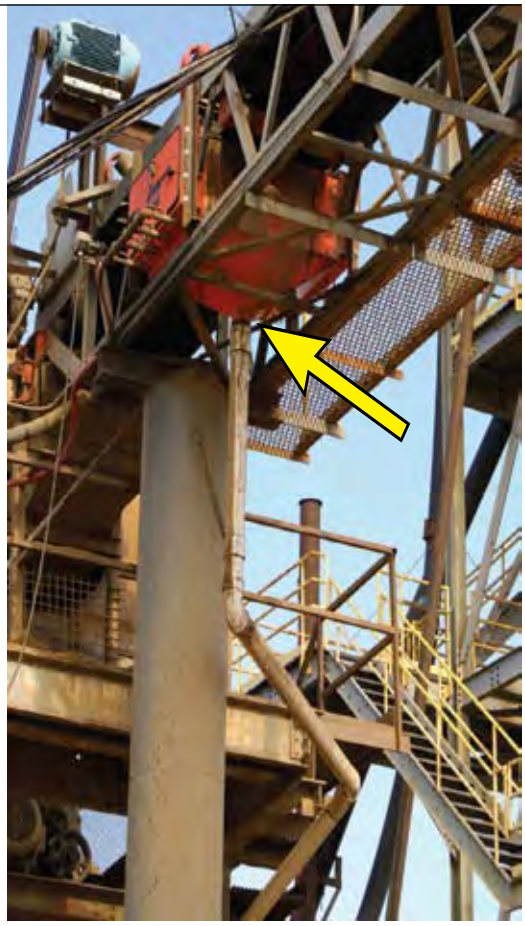


Figura 24.33

La descarga de una caja de lavado debe ser un canal abierto o un tubo de diámetro grande con pocas curvas, tiene varios accesorios desmontables para permitir la limpieza y usa bastante agua de lavado.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

A. Sistema de lavado con rociador

El sistema de un transportador será equipado con un sistema de lavado de banda con rociador instalado directamente después del chute de cabeza para la eliminación final de cualquier carga residual de la banda. Este sistema de lavado con rociador estará contenido en un compartimiento de metal hermético acondicionado con un suministro de agua y un drenaje grande.

B. Tamaño

El sistema de lavado de banda será dimensionado en base a la cantidad y propiedades del material adherido esperado por metro cuadrado (/pie^2) de banda.

C. Barra rociadora de agua

El compartimiento será acondicionado con al menos una barra rociadora de agua con boquillas diseñadas que están colocadas para humectar toda la porción transportadora de carga de la banda y para expulsar el material eliminado fuera de la caja a través del drenaje.

D. Limpiadores secundarios

La caja de lavado se acondicionará con un mínimo de dos limpiadores secundarios para eliminar finos y agua de la superficie del lado de carga de la banda.

E. Acceso

La caja de lavado se acondicionará con una puerta de acceso hermética para permitir una inspección y servicio fácil.

F. Rodillos de sujeción

El sistema de lavado con rociadores incluirá un mínimo de tres rodillos de sujeción arriba de la banda que sujetan la banda en posición contra el agua aplicada con rociador y los bordes de limpieza.

G. Sistema de drenaje

El volumen y la tasa de flujo del agua de lavado así como el diseño del sistema de drenaje serán suficientes para prevenir la sedimentación de sólidos a granel en el sistema de drenaje.

TEMAS AVANZADOS

El proceso para desarrollar un sistema de caja de lavado

Cuando se desarrolla una estación de lavado de banda, es importante proporcionar un análisis completo del sistema que tome en cuenta varios factores incluyendo los planes físicos del transportador y el sistema de reciclaje de agua, la cantidad de energía requerida para secar y reciclar el agua así como la capacidad de los sólidos de separarse del agua.

Al considerar la instalación de una caja de lavado, existen varias preguntas que deben tenerse en cuenta. Estas incluyen:

A. ¿Cuánta agua usará la caja de lavado?
B. ¿Qué tan limpia estará la banda a medida que entra a la caja de lavado?
C. ¿Qué tan limpia debe estar la banda a medida que sale de la caja de lavado?
D. ¿Qué tan seca estará la banda?
E. ¿Qué se hará con el efluente (la mezcla de sólidos y agua)?

Estas preguntas pueden responderse con exactitud razonable si hay información detallada disponible sobre las propiedades del material a granel, las condiciones de la interfaz de la banda y el material a granel, la cantidad de material adherido presente y la elección general del equipo dentro de la caja de lavado.

Problemas de muestra

El método para desarrollar un diseño preliminar de un sistema de caja de lavado es el siguiente:

A. Determinar la cantidad de material adherido que entra a la caja de lavado por día ($Cb_{día\text{-}entrada}$).
B. Determinar la cantidad de material adherido deseado que sale de la caja de lavado por día ($Cb_{día\text{-}salida}$).
C. Determinar la cantidad de efluente a manejar por minuto.
D. Considerar las opciones y otras preguntas.

Estas cuatro etapas pueden responderse siguiendo los cuatro pasos que se muestran a continuación.

Paso 1. Calcular el material adherido en la banda que entra a la caja de lavado por día ($Cb_{día\text{-}entrada}$) **(Ecuación 24.1)**

$$Cb_{día-entrada} = BW \cdot CW \cdot S \cdot T \cdot Cb_{entrada} \cdot k$$

Dado: *Una banda de 1.2 metros (48 pulgadas) con un ancho limpiado de 67 por ciento viajando a 3.5 metros por segundo (700 pies/min) tiene un material adherido medido de 100 gramos por metro cuadrado (0.33 oz/pie²) en una operación de 24 horas.* ***Calcular:*** *El material adherido que entra a la caja de lavado por día.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
$Cb_{día-entrada}$	Material adherido que entra a la caja de lavado por día	toneladas	toneladas cortas
BW	Ancho de banda	1.2 m	4 pies
CW	Ancho de banda limpiado	0.67 (67%)	0.67 (67%)
S	Velocidad de la banda	3.5 m/s	700 pies/min
T	Tiempo en un día	86400 s	1440 minutos
$Cb_{entrada}$	Cantidad de material adherido que llega a la caja de lavado	100 g/m²	0.33 oz/pie²
k	Factor de conversión	1×10^{-6}	3.12×10^{-5}
Métrico: $Cb_{día-entrada} = 1.2 \cdot 0.67 \cdot 3.5 \cdot 86400 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 24.3$			
Imperial: $Cb_{día-entrada} = 4 \cdot 0.67 \cdot 700 \cdot 1440 \cdot 0.33 \cdot 3.12 \cdot 10^{-5} = 27.8$			
$Cb_{día-entrada}$	Material adherido que entra a la caja de lavado por día	24.3 t	27.8 tc

Respuesta al Paso 1: Hay 24.3 toneladas (27.8 tc) de material adherido que entran a la caja de lavado por día.

Ecuación 24.1

Cálculo de la cantidad de material adherido que entra a la caja de lavado por día

24

Paso 2. Calcular el material adherido deseado en la banda a medida que sale de la caja de lavado por día ($Cb_{día\text{-}salida}$) **(Ecuación 24.2)**

Paso 3. Determinar la cantidad de efluente a manejar por minuto **(Ecuación 24.3)**

Paso 4. Considerar las opciones y preguntas adicionales

Un estudio más detallado y un análisis teórico combinado con una prueba de campo en el lugar concreto producirían factores y variables adicionales que podrían usarse para investigar más opciones. Las preguntas adicionales que ahora pueden considerarse incluyen:

A. ¿Son 10 gramos por metro cuadrado (0.033 oz/pie²) demasiado material adherido para dejar en la banda a medida que sale de la caja de lavado? (El material adherido se mide como el peso en seco del material).

B. ¿Qué tan mojada está la banda a medida que sale de la caja de lavado?

C. ¿Cómo puede reducirse el consumo de agua general?

A fin de acortar este ejemplo, deben hacerse algunas suposiciones acerca del contenido de humedad del material adherido (50 por ciento) y el efluente (15 por ciento) para responder estas preguntas. Estas suposiciones se basan en experiencias con el diseño de una caja de lavado.

¿Son 10 gramos por metro cuadrado demasiado material adherido para dejar en la banda a medida que sale de la caja de lavado?

Como se mencionó en la discusión de los niveles de material adherido, 10 gramos por metro cuadrado (0.033 oz/pie²) se considera como una banda limpia. *(Vea el Capítulo 31: Medidas de desempeño).* La prueba ha demostrado que en promedio, sólo aproximadamente 50 por ciento del material adherido dejado en la banda a este nivel de limpieza caerá de la banda en el recorrido de retorno.

La limpieza de la banda es un proceso con resultado en una curva en forma de campana. Un nivel de material adherido de 10 gramos por metro cuadrado podría variar de 20 gramos por metro cuadrado (0.066 oz/pie²) a algunas veces 0 gramos por metro cuadrado. Para lograr

Ecuación 24.2

Cálculo del material adherido deseado que sale de la caja de lavado por día

$$Cb_{día-salida} = BW \cdot CW \cdot S \cdot T \cdot Cb_{salida} \cdot k$$

Dado: *Una banda de 1.2 metros (48 pulgadas) con un ancho limpiado de 67 por ciento que viaja a 3.5 metros por segundo (700 pies/min) tiene un material adherido deseado de 10 gramos por metro cuadrado (0.033 oz/pie²) en una operación de 24 horas.* ***Calcular:*** *El material adherido que sale de la caja de lavado por día.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
$Cb_{día-salida}$	Material adherido deseado que sale de la caja de lavado por día	toneladas	toneladas cortas
BW	Ancho de banda	1.2 m	4 pies
CW	Ancho de banda limpiado	0.67 (67%)	0.67 (67%)
S	Velocidad de la banda	3.5 m/s	700 pies/min
T	Tiempo en un día	86400 s	1440 minutos
Cb_{salida}	Cantidad de material adherido deseado que sale de la caja de lavado	10 g/m²	0.033 oz/pie²
k	Factor de conversión	1×10^{-6}	3.12×10^{-5}
Métrico: $Cb_{día-salida} = 1.2 \cdot 0.67 \cdot 3.5 \cdot 86400 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 2.4$			
Imperial: $Cb_{día-salida} = 4 \cdot 0.67 \cdot 700 \cdot 1440 \cdot 0.033 \cdot 3.12 \cdot 10^{-5} = 2.8$			
$Cb_{día-salida}$	Material adherido deseado que sale de la caja de lavado por día	2.4 t	2.8 tc

Respuesta al Paso 2: el material adherido deseado que sale de la caja de lavado es 2.4 toneladas (2.8 tc) por día.

24

una banda más limpia de 10 gramos por metro cuadrado (0.033 oz/pie²) de material adherido, se necesitaría aplicar tanta presión de limpieza que pondría en peligro el recubrimiento superior de la banda. Por lo tanto, 10 gramos por metro cuadrado es un límite bajo aceptable y práctico para el material adherido que permanece en la banda.

¿Qué tan mojada está la banda a medida que sale de la caja de lavado?

La cantidad de agua dejada en la banda puede estimarse en base al tipo de sistema de eliminación de agua usado. El método más eficaz es un sistema de cuchilla de aire de alta velocidad.

La prueba ha confirmado que para bandas transportadoras en movimiento, el valor teórico de 6.0 gramos por metro cuadrado (0.020 oz/pie²) de agua dejada en la banda es aproximadamente lo más mínimo y práctico que puede obtenerse.

En el ejemplo, suponiendo 10 gramos por metro cuadrado (0.033 oz/pie²) (peso en seco) de material adherido que queda en la banda a 50 por ciento de contenido de humedad significa que habrá una cantidad igual, o 10 gramos por metro cuadrado, de agua restante en la banda. *(Nota: una película de material adherido o agua con un grosor de 1.0 micrones y una gravedad especifica de 1.0, es igual a 1.0 gramos por metro cuadrado).*

¿Cómo puede reducirse el consumo de agua general?

El consumo de agua general puede reducirse reciclando toda el agua del efluente y agregando sólo el agua de reposición requerida al sistema de caja de lavado. En teoría, la cantidad de agua de reposición necesaria igualaría la cantidad de

Ecuación 24.3

Cálculo de la cantidad de efluente manejado por minuto

$$E_m = \frac{(Cb_{día-entrada} - Cb_{día-salida}) \cdot k}{\rho \cdot T} + (W_{SB} + W_F)$$

Dado: *Una caja de lavado donde entran 24.3 toneladas (27.8 tc) de material adherido y salen 2.4 toneladas (2.8 tc) de material adherido y la densidad del material es 1 kilogramo por litro (62 lb_m/pie³). La barra rociadora y el sistema de enjuague en la caja de lavado consume cada uno 100 litros por minuto (25 gal/min) en una operación de 24 horas.* ***Calcular:*** *La cantidad de efluente por minuto de operación.*

Variables		Métrico	Imperial
E_m	Efluente manejado por minuto	litros por minuto	galones por minuto
$Cb_{día-entrada}$	Material adherido que entra a la caja de lavado por día	24.3 t	27.8 tc
$Cb_{día-salida}$	Material adherido deseado que sale de la caja de lavado por día	2.4 t	2.8 tc
k	Factor de conversión	1000	14960
ρ	Densidad del material a granel	1 kg/l	62 lb_m/pie³
T	Tiempo en un día	1440 minutos	1440 minutos
W_{SB}	Consumo de agua de la barra rociadora	100 l/min	25 gal/min
W_F	Consumo de agua para enjuagar la caja de lavado	100 l/min	25 gal/min

Métrico: $E_m = \frac{(24.3 - 2.4) \cdot 1000}{1 \cdot 1440} + (100 + 100) = 215$

Imperial: $E_m = \frac{(27.8 - 2.8) \cdot 14960}{62 \cdot 1440} + (25 + 25) = 54$

E_m	Efluente manejado por minuto	215 l/min	54 gal/min

Respuesta al Paso 3: El sistema maneja 215 litros por minuto (54 gal/min) de efluente.

agua que queda en la banda a medida que esta sale de la caja de lavado y en el efluente. No obstante, habrá otras pérdidas del sistema en una caja de lavado como fugas y salpicaduras, así como evaporación. La cantidad de agua que sale de la caja de lavado, contenida en el material adherido y sólidos reciclados, generalmente es al menos la mitad del agua de reposición requerida. Puesto que la adición del agua de reposición generalmente es controlada por algún tipo de indicador de nivel en el tanque de sedimentación, la demanda no es constante. Por lo tanto, el sistema de agua de reposición debe agrandarse para mantener el tanque en el nivel apropiado sin tener que correr a llenarlo continuamente.

El agua de reposición requerida puede ser calculada **(Ecuación 24.4)**.

La caja de lavado requiere de 200 litros por minuto (50 gal/min) de agua. Al usar sólo el agua de reposición requerida y reciclando el agua del efluente, la operación consumirá sólo 8.6 litros por minuto (2.5 gal/min). Esto produce un ahorro de agua de 191.4 litros por minuto (47.5 gal/min) de agua. El agua reciclada puede usarse para enjuagar la caja de lavado y/o en las barras rociadoras con orificios grandes. La mayoría del agua de reposición puede agregarse como un rociador de agua limpia de bajo volumen en el último limpiador u hoja secadora de la banda dentro de la caja de lavado. Este ejemplo, aunque está simplificado, es típico en un sistema de lavado de banda transportadora con este ancho y velocidad de banda usando medios mecánicos de reciclaje de agua y sólidos.

SOBRE EL DISEÑO DE SISTEMAS DE LAVADO DE BANDA

En resumen...

La combinación de limpiadores de banda eficaces, tecnología de lavado con rociadores, tratamiento del efluente y sistemas de secado

Ecuación 24.4

Cálculo del agua de reposición requerida por minuto

$$M_W = \left[\left(\frac{Cb_{\text{día-salida}}}{\left(\frac{1 - M_{Cb}}{M_{Cb}}\right)}\right) + \left(\frac{Cb_{\text{día-entrada}} - Cb_{\text{día-salida}}}{\left(\frac{1 - M_E}{M_E}\right)}\right)\right] \cdot SF \cdot k$$

Dado: *Una caja de lavado donde entran 24.3 toneladas (27.8 tc) de material adherido y salen 2.4 toneladas (2.8 tc) de material adherido, con un contenido de humedad en el material adherido de 50 por ciento y un contenido de humedad del efluente de 15 por ciento.* ***Calcular:*** *La cantidad del agua de reposición necesaria por minuto.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
M_W	Agua de reposición por minuto	litros por minuto	galones por minuto
$Cb_{\text{día–entrada}}$	Material adherido que entra a la caja de lavado por día	24.3 t	27.8 tc
$Cb_{\text{día–salida}}$	Material adherido deseado que sale de la caja de lavado por día	2.4 t	2.8 tc
k	Factor de conversión	0.69	0.17
M_{CB}	Contenido de humedad del material adherido	0.5 (50%)	0.5 (50%)
M_E	Contenido de humedad del efluente	0.15 (15%)	0.15 (15%)
SF	Factor de seguridad para justificar otras pérdidas	2	2

Métrico: $M_W = \left[\left(\frac{2.4}{\left(\frac{1 - 0.5}{0.5}\right)}\right) + \left(\frac{24.3 - 2.4}{\left(\frac{1 - 0.15}{0.15}\right)}\right)\right] \cdot 2 \cdot 0.69 = 8.6$

Imperial: $M_W = \left[\left(\frac{2.8}{\left(\frac{1 - 0.5}{0.5}\right)}\right) + \left(\frac{27.8 - 2.8}{\left(\frac{1 - 0.15}{0.15}\right)}\right)\right] \cdot 2 \cdot 0.17 = 2.5$

M_W	Agua de reposición por minuto	8.6 l/min	2.5 gal/min

24

CUESTIONES DE SEGURIDAD

En términos generales, las cuestiones de seguridad para las estaciones de lavado de la banda no son diferentes a aquellas de otros sistemas de limpieza de banda con las excepciones de que generalmente están presentes fluidos bajo presión y puede haber un equipo auxiliar como bombas o transportadores de tornillo sin fin que pueden arrancar automáticamente. *(Vea el Capítulo 14: Limpieza de la banda, para repasar las cuestiones de seguridad con los sistemas de limpieza de banda).*

Deben seguirse los procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación apropiados. El equipo auxiliar como, por ejemplo, bombas y transportadores de tornillo sin fin, debe desactivarse y todas las fuentes de presión como aire comprimido y agua deben apagarse y descomprimirse antes de proporcionar el servicio.

La inspección y el servicio de las cajas de lavado requieren de un acceso a ambos lados del transportador. Debe proporcionarse el espacio de trabajo adecuado. La presencia de agua puede hacer que las cubiertas, pisos y escaleras se vuelvan resbaladizas, de modo que siempre es aconsejable tener cuidado al acercarse o trabajar alrededor de estos sistemas. Los trabajadores deben tener precaución cuando inspeccionen los sistemas de lavado de bandas para evitar ser sometidos a un exceso de rocío y a las partículas de material que éste contiene.

de banda producen una estación de lavado de banda con tecnología de vanguardia. Una estación así puede cumplir con las necesidades de mantener la banda razonablemente limpia y seca, facilitando la recuperación y el reciclaje de sólidos a un costo razonable y usar una cantidad mínima de agua limpia. Donde el espacio es limitado, los elementos pueden diseñarse para ajustarse a espacios confinados, pero las dificultades pueden resultar en reducciones correspondientes a la eficacia de la limpieza y en un aumento de dificultad en la operación y mantenimiento.

Los sistemas de lavado de banda combinan todas las funciones deseadas en un sistema de limpieza de banda completo en un solo sistema operativo. Al seleccionar el equipo apropiado para la aplicación, el costo puede minimizarse y un retorno sobre la inversión puede calcularse en base al cumplimiento con las regulaciones ambientales, recuperación del material adherido, reducción del gasto de limpieza y aumento de la vida útil de los componentes.

Mirando hacia adelante...

En este capítulo sobre los Sistemas de lavado de la banda, el tercer capítulo en la sección Conceptos de vanguardia, se discutió el uso de agua en los sistemas de limpieza de banda para reducir el material adherido y el daño que éste puede causar al transportador. El siguiente capítulo, Ciencia del material, es el capítulo final de esta sección.

REFERENCIAS

24.1 Planner, J.H. (1990). “Water as a means of spillage control in coal handling facilities.” In *Proceedings of the Coal Handling and Utilization Conference: Sydney, Australia*, págs. 264–270. Barton, Australian Capital Territory, Australia: Institution of Engineers, Australia.

24.2 Stahura, Richard.P., Martin Engineering. (1987). “Conveyor belt washing: Is this the ultimate solution?” *TIZ-Fachberichte*, Volume 111, No. 11, págs. 768–771. ISSN 0170-0146.

24.3 University of Illinois. (1997). *High Pressure Conveyor Belt Cleaning System*. Estudio no publicado realizado para Martin Engineering.

24.4 University of Newcastle Research Associates (TUNRA). Estudio sin título y no publicado realizado para Engineering Services and Supplies P/L (ESS).

24.5 University of Illinois. (2005). *Design of Conveyer Belt Drying Station*. Estudio no publicado realizado para Martin Engineering.

24.6 Swinderman, R. Todd, Martin Engineering. (2004). "Standard for the specification of belt cleaning systems based on performance." *Bulk Material Handling by Conveyor Belt 5*, págs. 3–8. Publicado por Reicks, A. and Myers, M., Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME).

24.7 Roberts, A.W.; Ooms, M.; and Bennett, D. *Conveyor Belt Cleaning – A Bulk Solid/Belt Surface Interaction Problem*. University of Newcastle, Australia: Departamento de Ingeniería Mecánica.

24.8 Spraying Systems Company (http://www.spray.com) contiene una amplia variedad de material útil sobre los fundamentos y las opciones disponibles en boquillas de aspersión.

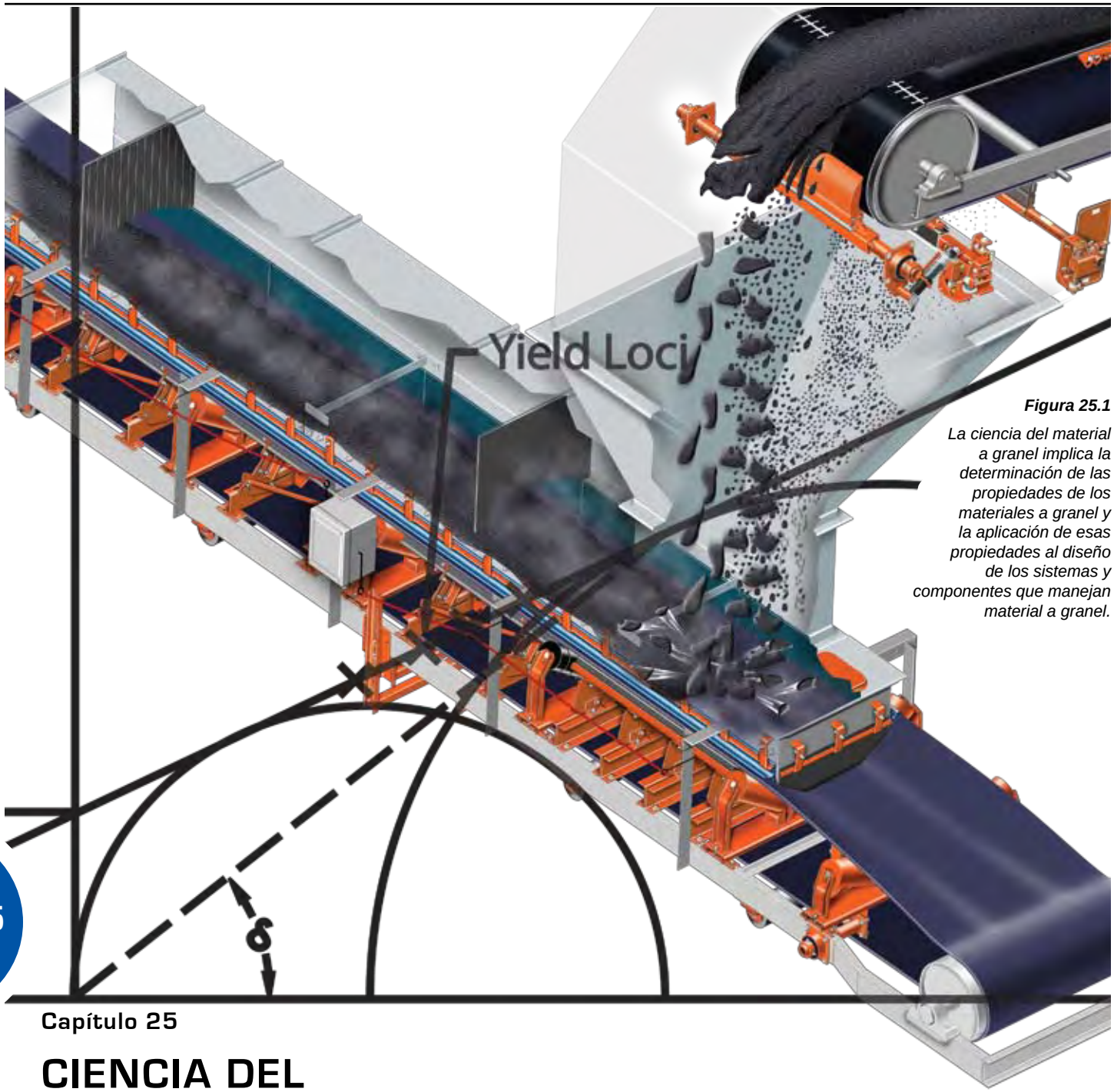


Figura 25.1

La ciencia del material a granel implica la determinación de las propiedades de los materiales a granel y la aplicación de esas propiedades al diseño de los sistemas y componentes que manejan material a granel.

Capítulo 25

CIENCIA DEL MATERIAL

Propiedades básicas de los materiales a granel 399
Propiedades avanzadas de los materiales a granel 402
Aplicaciones típicas de las propiedades del material a granel 406
Especificaciones típicas 407
Cuestiones de seguridad 408
Temas avanzados 409
Ciencia del material para un diseño mejorado 410

En este capítulo...

En este capítulo, discutimos la importancia de probar los materiales a granel reales a transportar para un diseño de transportador adecuado. Describimos las propiedades básicas y avanzadas de los materiales a granel y los métodos de prueba usados para medir esas propiedades junto con aplicaciones típicas para las cuales se realizan estas pruebas.

La ciencia del material a granel es un campo interdisciplinario que implica la determinación de las propiedades de los materiales a granel y la aplicación de esas propiedades al diseño de los sistemas y componentes que manejan material a granel. Esta ciencia investiga la interacción entre los materiales a granel (como cuerpo y como partículas individuales) y las superficies sobre las cuales fluirán los materiales.

Desde que se diseñaron los primeros transportadores, las propiedades básicas de los materiales a granel como, por ejemplo, la densidad aparente y el ángulo de reposo, se han usado para dimensionar el equipo y para calcular los requerimientos de potencia de los sistemas de manejo de material a granel. La ciencia moderna del material a granel tiene sus raíces en el trabajo de Andrew W. Jenike de la Universidad de Utah, en donde las dimensiones críticas requeridas para que operen los contenedores en una condición de flujo masivo fueron determinadas en base a la fuerza del material a granel bajo diferentes condiciones. Los métodos desarrollados por Jenike se usan para determinar la fuerza interna de los materiales a granel y la fricción entre el material a granel y las superficies con las que tendrá contacto (por ejemplo, la banda o el chute). Estas propiedades se usan cada vez con más éxito para predecir el comportamiento y el flujo de materiales a granel a medida que viajan en transportadores y a través de chutes, permitiendo así el diseño de sistemas más limpios, seguros y productivos.

Varias referencias se publican sobre las propiedades típicas de muchos materiales a granel *(Referencia 25.1)*. Estos datos de referencia normalmente son una descripción general y aunque son útiles para diseñar el equipo preliminar, no representan un material a granel específico bajo las condiciones de uso reales. Pueden cometerse errores graves al diseñar un sistema de manejo de material sin determinar las propiedades básicas y avanzadas apropiadas del material a granel específico.

Existen muchas aplicaciones para la ciencia del material a granel como en el diseño de contenedores, transportadores de tornillo sin fin y pilas de almacenamiento. Este capítulo discutirá la importancia de la aplicación de las propiedades de materiales a granel en el diseño de los sistemas y componentes de bandas transportadoras para el manejo de materiales a granel **(Figura 25.1)**.

PROPIEDADES BÁSICAS DE LOS MATERIALES A GRANEL

Muchas de las propiedades básicas y pruebas para los materiales a granel se describen en la publicación del ESTÁNDAR 550-2003 de CEMA la Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas Transportadoras. A continuación se describen las propiedades que se usan (o se usan mal) con mayor frecuencia en el diseño de sistemas de bandas transportadoras.

Densidad aparente

La densidad aparente (ρ) de un material a granel es el peso por unidad de volumen, kilogramos por metro cúbico (lb_m/pie^3). Las diferencias en la densidad aparente ocurrirán a diferentes contenidos de humedad y a medida que el material a granel viaja por la banda transportadora y se compacta debido a la vibración.

Densidad aparente suelta

La densidad aparente suelta (ρ_1) de un material a granel es el peso por unidad de volumen que se ha medido cuando la muestra está en una condición suelta o no compactada **(Figura 25.2)**. La densidad aparente suelta siempre debe usarse cuando se diseñan chutes de zona de carga y, la altura y ancho de los chutes laterales, de lo contrario la capacidad del diseño puede no fluir a través del punto de transferencia debido al aumento de volumen en el estado suelto.

Densidad aparente consolidada

La densidad aparente consolidada (ρ_2)—algunas veces llamada densidad aparente vibratoria—es normalmente la densidad más pesada que pueda encontrarse en el transporte de materiales a granel **(Figura 25.3)**. Esto se logra aplicando una fuerza de compresión (F) o energía vibratoria al cuerpo del material. La densidad aparente consolidada se usa para

Figura 25.2

La densidad aparente suelta (ρ_1) de un material a granel es el peso por unidad de volumen que se ha medido cuando la muestra está en una condición suelta o no compactada.

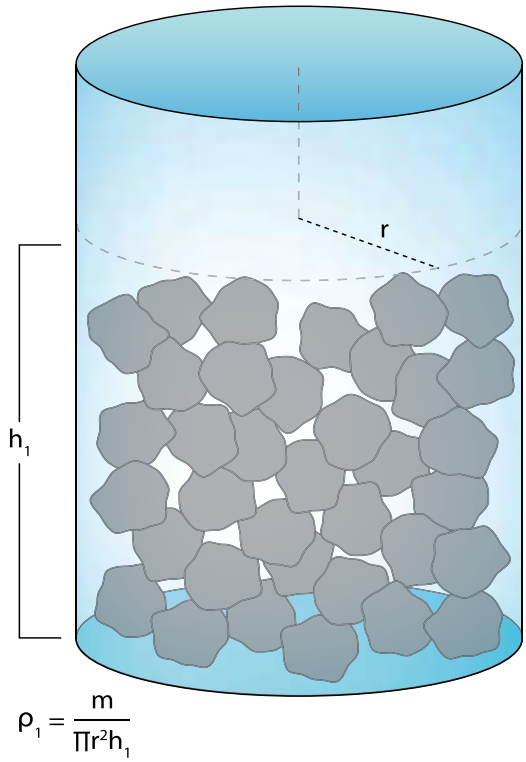


Figura 25.3

Densidad aparente consolidada (ρ_2), algunas veces llamada densidad aparente vibratoria, es normalmente la densidad más pesada que puede encontrarse en el transporte de materiales a granel, que se logra aplicando una fuerza de compresión (F) o una energía vibratoria al cuerpo del material.

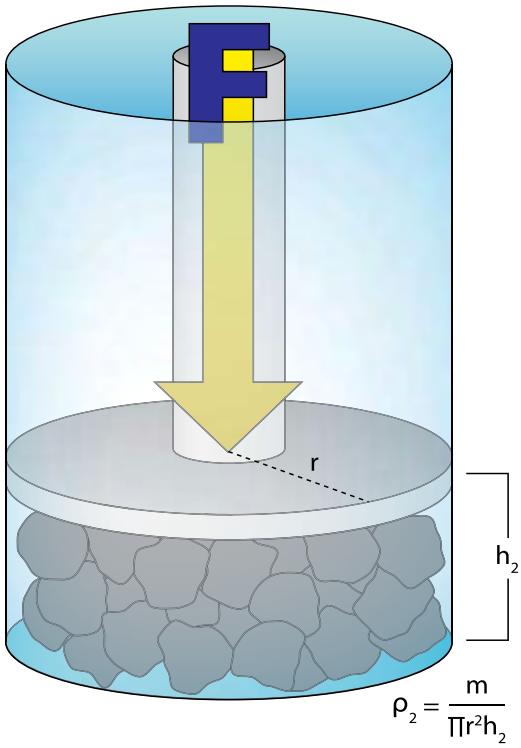
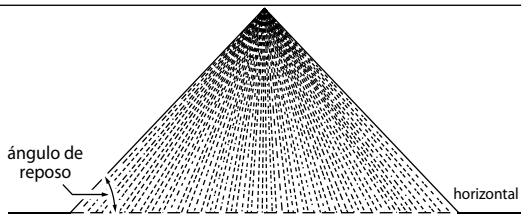


Figura 25.4

Ángulo de reposo



determinar el peso del material transportado en la banda en base al ángulo de carga. Un porcentaje de compresibilidad puede encontrarse tomando la densidad aparente vibratoria menos la densidad aparente suelta dividida entre la densidad aparente vibratoria multiplicada por 100. La proporción anterior raramente es mayor a 40 por ciento y puede ser un mínimo de 30 por ciento, indicando que debe tenerse cuidado al hacer cálculos relacionados con la densidad.

Existen varios estándares publicados para determinar la densidad aparente como el ASTM D6683-01 de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales Internacional (ASTM) *(Referencia 25.2)* pero se recomienda que los métodos de prueba descritos en el ESTÁNDAR 550-2003 DE CEMA se usen cuando la densidad se aplique al transporte de materiales a granel.

Ángulo de reposo

El ángulo de reposo suelto de materiales a granel es el ángulo entre una línea horizontal y la línea inclinada que va desde la parte superior de una pila libremente formada de material a granel hasta la base de la pila **(Figura 25.4)**. No obstante, el ángulo de reposo de un material dado puede variar dependiendo de cómo se creó la pila y la densidad, la forma de la partícula, el contenido de humedad y la consistencia del tamaño del material. Puesto que el ángulo de reposo es relativamente fácil de medir, a menudo se usa como un parámetro de diseño conveniente. Sin embargo, esto puede llevar a cometer errores graves debido a las grandes variaciones en el ángulo para una categoría dada de material a granel. Por ejemplo, el rango del ángulo de reposo para diferentes tipos de carbón como se indica en el ESTÁNDAR 550-2003 de CEMA varía de 27 a 45 grados. La aplicación del ángulo de reposo debe limitarse a la forma de las pilas de almacenamiento libremente formadas.

Ángulo de sobrecarga

El ángulo de sobrecarga es el ángulo de la sección transversal de la carga medido por la inclinación en grados a la horizontal **(Figura 25.5)**. El símbolo Θ_s se usa con frecuencia para representar el ángulo de sobrecarga. El ángulo de sobrecarga de un material a granel en un transportador en movimiento depende del tipo de transportador implicado. Con una banda transportadora canalizada, la superficie

superior de la sección transversal de la carga del material a granel se asume como parte de un arco circular, los extremos del arco se juntan con los lados inclinados de la banda en la distancia del borde libre. *(Vea el Capítulo 11: Chutes Laterales, para una discusión sobre la distancia del borde).* En transportadores con lados de bandejas verticales, la parte superior de la sección transversal de la carga puede asumirse como una porción de un arco circular, los extremos del cual se juntan con los lados verticales **(Figura 25.6)**. El ángulo de sobrecarga se mide por la inclinación de la línea tangente al arco circular. En una banda plana o transportador de mandil, se asume que la superficie superior de material a granel es triangular en la sección transversal **(Figura 25.7)**.

El ángulo de sobrecarga es útil en el diseño de un transportador para determinar el perfil de la carga en la banda para diferentes anchos de banda y ángulos de canalización, lo que por lo tanto proporciona la capacidad de transporte teórica de la banda. Los métodos de prueba estándares para determinar los ángulos de sobrecarga de materiales a granel se describen en el ESTÁNDAR 550-2003 de CEMA.

Tamaño del material

El tamaño del material a granel a menudo se describe usando el tamaño de terrón máximo del material o como el porcentaje de partículas que pasan por una serie de tamices definidos a través de un proceso normalmente llamado cribado. Ambas mediciones son importantes para el diseño de transportadores.

El tamaño del material a menudo se describe como el ancho y la altura del terrón más grande. Por ejemplo, un material con un ancho y altura de terrón máximo de 50 milímetros x 50 milímetros (2 pulgadas x 2 pulgadas) se describiría como 50 milímetros (2 pulgadas) de material menos. No obstante, es una práctica común suponer que la longitud del terrón puede ser máximo tres veces el largo del ancho o la altura; el ejemplo anterior da una longitud de hasta 150 milímetros (6 pulgadas) de largo. Esta información es útil para determinar el tamaño de diferentes componentes incluyendo el ancho de los chutes y chutes laterales. Una "norma general" común es que el ancho del chute o chute lateral debe ser al menos dos veces el terrón más grande para evitar obstrucciones.

El análisis de cribado proporciona la representación más completa del tamaño del material a granel **(Figura 25.8)**. ASTM D6393-99(2006) *(Referencia 25.3)* proporciona un

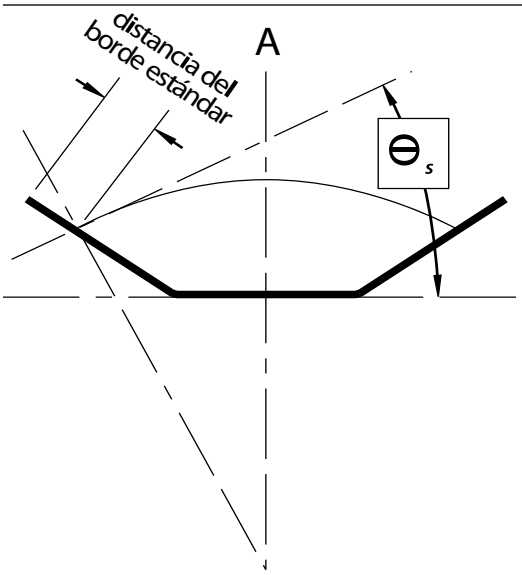


Figura 25.5

Ángulo de sobrecarga (Θ_s) para una banda canalizada

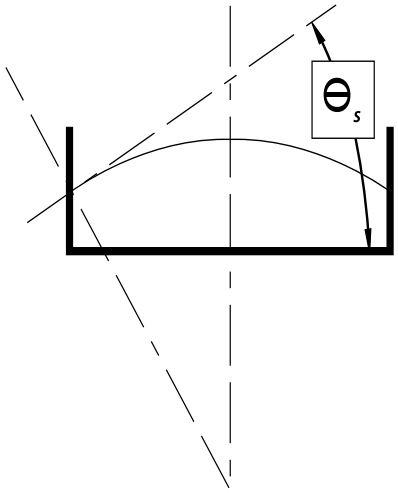


Figura 25.6

Ángulo de sobrecarga (Θ_s) para una bandeja o alimentador de mandil

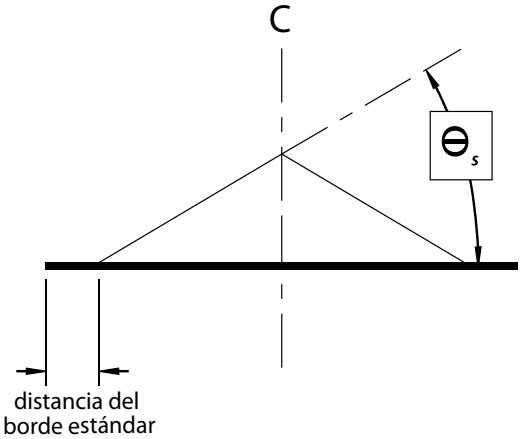


Figura 25.7

Ángulo de sobrecarga (Θ_s) para una banda plana

método de prueba para el análisis de cribado de materiales a granel. La distribución del tamaño de partículas es una tabulación del porcentaje de material representado en cada rango de tamaño como una parte de la muestra total, como se demuestra al pasar a través de un tamaño de criba dado y quedar retenido en la siguiente criba más pequeña. Una curva de distribución del tamaño de la partícula generalmente es un gráfico semilogarítimico que usa el tamaño de la partícula como la abscisa en una escala logarítmica y el porcentaje acumulativo por peso que pasa por un tamaño de criba dado como la ordenada **(Figura 25.9)**. La figura de la curva y la inclinación de cualquier porción recta indica la uniformidad relativa de la distribución del tamaño de la muestra. Esta información es útil para determinar el tamaño de partícula necesaria para calcular el flujo de aire. *(Vea el Capítulo 7: Control del aire, para calcular el aire inducido que incluye el diámetro de la partícula (D) en el denominador).* La cantidad de aire inducido es inversamente proporcional al diámetro de la partícula; entre más pequeño sea el diámetro más será el aire inducido. Saber el diámetro de la partícula promedio presenta una manera simplificada de calcular el aire inducido en base al porcentaje de las partículas en cada tamaño de tamiz.

PROPIEDADES AVANZADAS DEL MATERIAL A GRANEL

Contenido de humedad

El contenido de humedad es la cantidad total de agua presente en un material a granel. Un material a granel puede tener humedad de superficie (o estar libre de ella) y contenido de humedad inherente. La humedad de la superficie es la masa de agua que se encuentra entre las partículas, en la superficie, y en los poros abiertos. El contenido de humedad de la superficie puede tener un efecto importante en los valores de adhesión y cohesión del material así como en el ángulo de fricción de

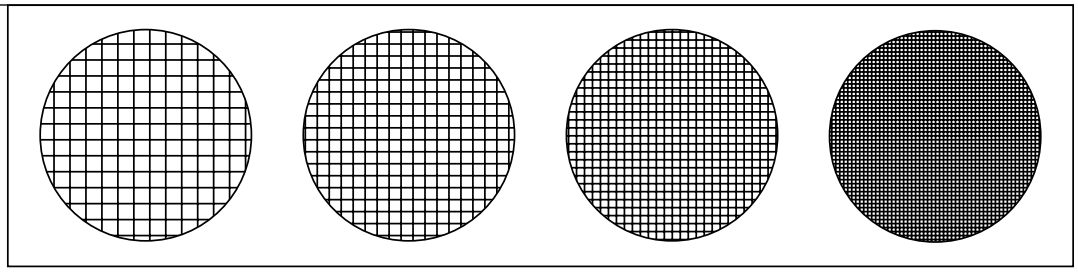


Figura 25.8

El análisis de cribado proporciona la representación más completa del tamaño del material a granel.

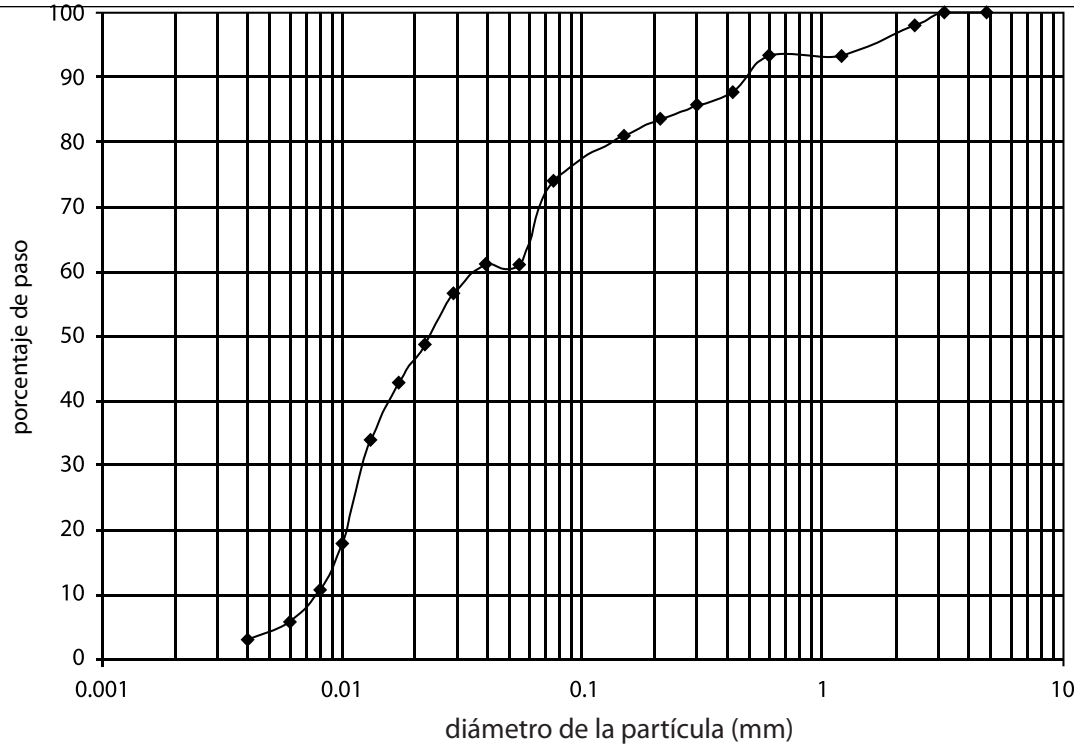


Figura 25.9

Una curva de distribución del tamaño de la partícula es generalmente un gráfico semilogarítmico.

la pared. El contenido de humedad inherente es la masa de agua contenida dentro de los poros cerrados pero no incluye la humedad que está químicamente ligada dentro de las partículas. En la industria del manejo de materiales a granel el contenido de humedad se define en una base húmeda; el contenido de humedad se expresa como un porcentaje del peso húmedo total. El método más común para determinar la humedad de la superficie es secar una muestra en un horno hasta alcanzar un equilibrio y luego medir la pérdida de peso.

Tasa de humectación y sedimentación

La habilidad de humectación de una solución es una medida de su capacidad para "humectar" (esparcirse) y penetrar un material a granel. Esto es importante puesto que afecta y refleja el desempeño de los sistemas de supresión de polvo y químicos con el material en especial.

Los métodos de medición de sedimentación se basan en la aplicación de la ley de Stokes, la cual describe la velocidad terminal de una esfera aislada asentándose en un fluido viscoso bajo la influencia de un campo gravitacional, es decir, en caída libre. Para materiales con números bajos de Reynolds, es decir, condiciones de flujo laminar, la velocidad terminal depende del contraste de densidad entre la partícula y el medio, la viscosidad y el tamaño de la partícula.

La sedimentación o la tasa de sedimentación es igualmente importante para ayudar a evaluar el desempeño de los sistemas de lavado de la banda y supresión de polvo con materiales específicos. Una prueba simple y común para encontrar la tasa de sedimentación de materiales a granel en el agua se llama comúnmente una "prueba de frasco". En su forma más simple, una muestra del material a granel se coloca en un vaso de laboratorio con agua y se registra el tiempo que tarda el material en asentarse en el fondo de éste. Los procedimientos detallados se describen en ATSM D2035-08 *(Referencia 25.4)*.

Esfuerzos internos

El esfuerzo interno en un material no puede medirse directamente. Debe deducirse de la fuerza que actúa a través de un área de unidad de un material a granel, a medida que resiste la separación, compactación o deslizamiento inducido por fuerzas externas. El esfuerzo normal se refiere al esfuerzo provocado por fuerzas que son perpendiculares a un área de sección transversal del material. El esfuerzo cortante surge de las fuerzas que son paralelas al plano de la sección transversal **(Figura 25.10)**. El esfuerzo es expresado como una fuerza dividida entre un área.

El trabajo original de Jenike se centró en las propiedades de los materiales a granel derivadas de la capacidad del esfuerzo cortante del material. El trabajo de Jenike se concentró en determinar las dimensiones de salida de un contenedor de almacenamiento para un flujo de gravedad confiable y los esfuerzos en la pared de la tolva para un diseño de contenedor seguro. Muchos de los mismos métodos de su trabajo original se aplicaron exitosamente al transporte de materiales a granel sobre bandas transportadoras.

Las propiedades de flujo de un material a granel pueden derivarse al medir la fuerza para cortar el material a granel usando una célula de corte **(Figura 25.11)**. Existen varios fabricantes de células de corte y métodos de prueba que se usan para determinar las propiedades del material a granel como ASTM D6128-06 *(Referencia 25.5)* o ASTM D6773-02 *(Referencia 25.6)*. Normalmente, sólo se prueban los finos del material a granel puesto que típicamente estos producen los valores más altos de adhesión y cohesión. Las pruebas de la célula de corte toman tiempo debido al gran número de pruebas requeridas para determinar las propiedades a diferentes niveles de humedad y presiones de consolidación. La repetición de los resultados de la prueba requiere de la cuidadosa preparación de la muestra y de que los procedimientos de prueba sean realizados por un técnico calificado.

Al realizar estas pruebas, los valores que se conocen son la fuerza principal o de

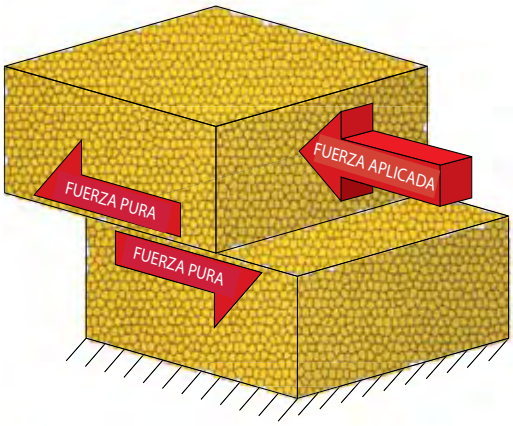


Figura 25.10

El esfuerzo cortante surge de las fuerzas que son paralelas al plano de la sección transversal.

Figura 25.11

Usando una célula de corte, pueden derivarse las propiedades de flujo de un material a granel al medir la fuerza para cortar el material a granel.

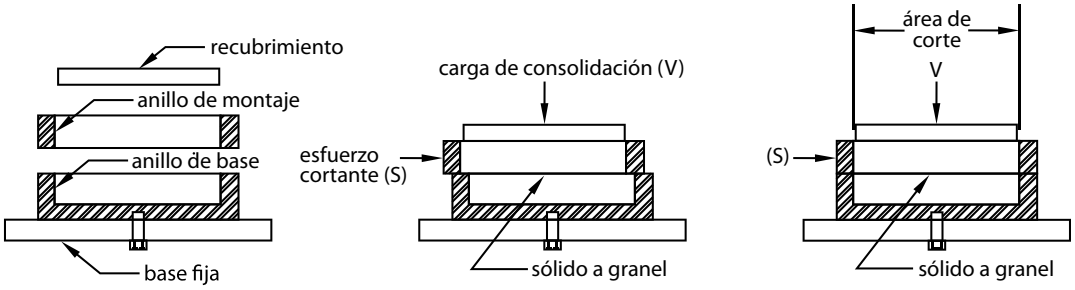
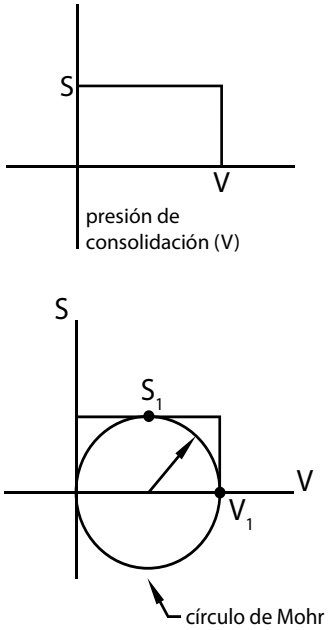


Figura 25.12

Concepto del círculo de Mohr



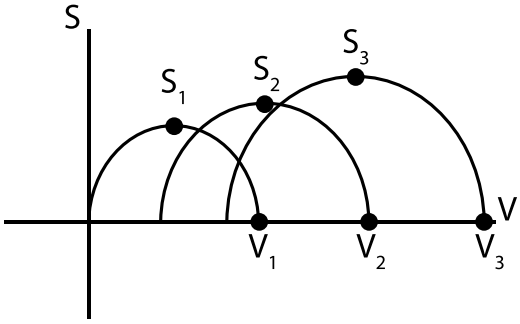
consolidación (V) y el área de la muestra. Lo que se mide es la fuerza cortante (S) requerida para cortar el material a granel. La fuerza cortante y el área de corte se usan para determinar los esfuerzos cortantes y normales a diferentes presiones de consolidación y contenidos de humedad usando un circulo de Mohr para esfuerzos. El círculo de Mohr para esfuerzos representa los esfuerzos al cortar los planos que se inclinan a todos los ángulos posibles. La posición del circulo de Mohr para esfuerzos se define por los dos esfuerzos principales **(Figura 25.12)**. Es importante observar que un material a granel puede transmitir esfuerzos cortantes aun si está en reposo. Además, en los materiales a granel, los esfuerzos de compresión se definen como esfuerzos positivos.

Ángulo de fricción interna

Al realizar una serie de pruebas de corte a diferentes presiones de consolidación, pueden determinarse los valores de la fricción interna. El ángulo de fricción interna es el ángulo al cual las partículas dentro del material a granel se deslizan una sobre la otra dentro de una pila o, en otras palabras, la falla debido al corte. Este ángulo está entre la horizontal y la tangente de la línea que define el cambio en el esfuerzo cortante a medida que se aumenta el esfuerzo de consolidación **(Figura 25.13** y **Figura 25.14)**.

Figura 25.13

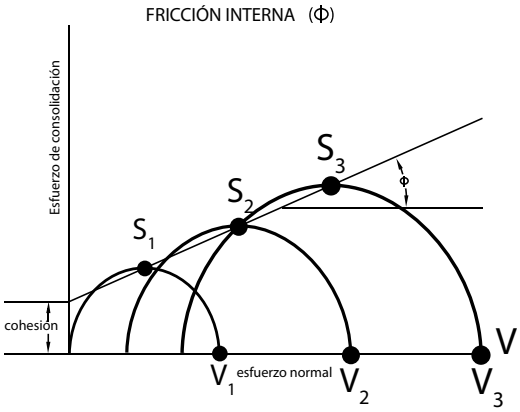
Una serie de pruebas de corte de diferentes presiones de consolidación



El método de Jenike usa exclusivamente un ángulo de fricción interna efectivo, el cual es el ángulo de la horizontal de una línea que pasa por el origen mientras que la tangente restante al círculo de Mohr representa la condición de consolidación **(Figura 25.15)**.

Figura 25.14

Fricción interna (Φ)



Los materiales a granel no se amoldan a las relaciones de esfuerzo-deformación a los que se amoldan el metal, el vidrio y los materiales de plástico rígido. Los materiales a granel no tienen un límite elástico único como el acero u otros materiales, sino más bien tienen una superficie

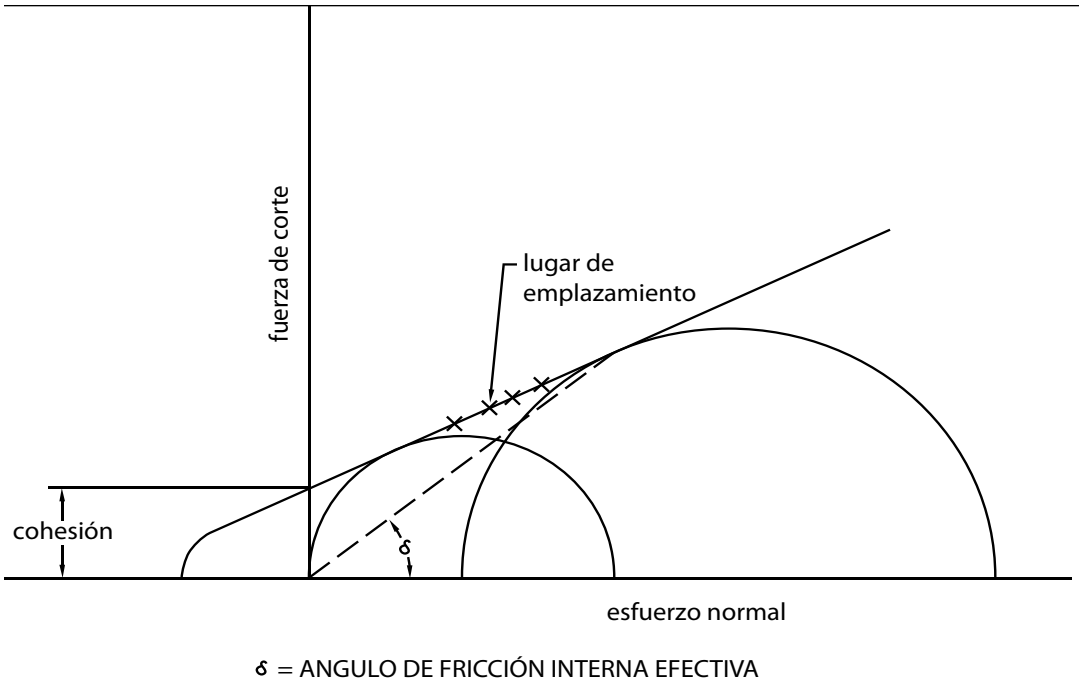


Figura 25.15

Ángulo de fricción interna efectivo

flexible. Esta superficie está formada de puntos de fluencia o emplazamientos. Estos puntos de fluencia aumentan en longitud a medida que aumenta el esfuerzo de consolidación en un tamaño de partícula y contenido de humedad fijos. Aumentar el esfuerzo de consolidación aumenta la densidad aparente, dando a la gráfica una superficie de falla tridimensional.

Fricción de la interfaz

La fricción de la interfaz (Θ) para chutes que manejan materiales a granel puede determinarse con una célula de corte y una muestra del material de interfaz real, es decir, el material que estará en contacto con el material a granel **(Figura 25.16)**.

La fricción de la interfaz (algunas veces llamada fricción de pared) generalmente es alta a presiones de consolidación bajas y se reduce rápidamente a medida que aumenta la presión **(Figura 25.17)**. El significado de esto en el diseño de chutes se relaciona con la profundidad de la cama del material que fluye en el chute. Esta propiedad es especialmente crítica al determinar la inclinación necesaria para que un chute se limpie automáticamente cuando el flujo se detiene y la profundidad de la cama de material se acerca a cero. En esta situación, la resistencia al flujo del material que sale del chute está al máximo.

Dos valores de fricción (μ) son importantes en el diseño de un chute: el coeficiente de fricción entre el material a granel y la pared del chute, y el coeficiente de fricción entre el material a granel y la banda. El coeficiente de fricción es igual a la tangente del ángulo de fricción de la interfaz (determinado de la misma manera que el ángulo de fricción interna efectivo) **(Figura 25.18)**. Los materiales a granel, especialmente los finos, tienen la habilidad de colgarse al revés en las superficies horizontales y por lo

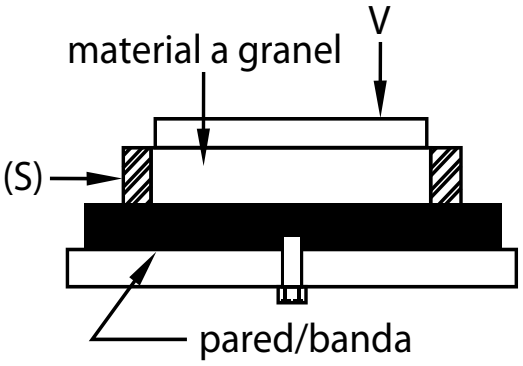


Figura 25.16

Prueba de la célula de corte para los valores de fricción de la interfaz del material a granel (Θ)

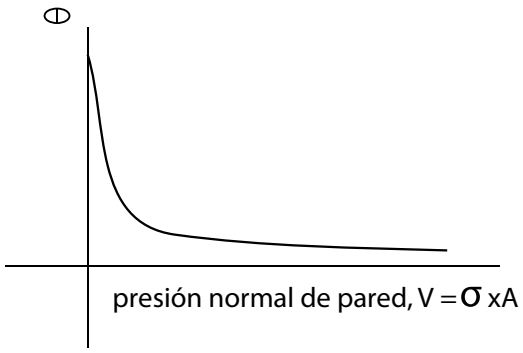


Figura 25.17

Efecto de la presión de consolidación en la fricción de pared

tanto exhiben una fuerza aun bajo fuerzas de consolidación negativas mayores que las de la gravedad. La fuerza cortante a fuerzas de consolidación negativas es de interés especial en el diseño de chutes para determinar los valores de adhesión y cohesión. Puede usarse una adaptación de la célula de corte para aplicar fuerzas de consolidación negativas o el punto de fluencia de la pared puede extrapolarse para estimar estos valores **(Ecuación 25.1)**.

Cohesión

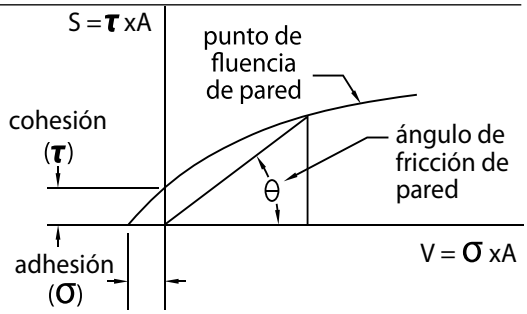
La cohesión (τ) es la resistencia del material a granel a cortar a un esfuerzo normal de compresión de cero. La cohesión puede considerarse como la capacidad de las partículas de adherirse entre ellas. El contenido de humedad (tensión de la superficie), la atracción electroestática y la aglomeración son las tres condiciones principales que afectan el nivel de esfuerzo de cohesión en un material a granel. El esfuerzo de cohesión aumenta a medida que se agrega humedad al material a granel hasta alcanzar un valor máximo **(Figura 25.19)**. A medida que se agrega más humedad, la capacidad del material a granel de soportar el corte, su cohesión, empieza a disminuir. El esfuerzo de cohesión puede determinarse con las pruebas de célula de corte. Es un hecho dado por la relación que el esfuerzo de cohesión es igual al esfuerzo de consolidación multiplicado por la tangente del ángulo de fricción interna más una constante [$\tau = \sigma_c \tan \Phi + k$].

Adhesión

La adhesión (σ) es la resistencia del material a granel al movimiento a un esfuerzo cortante de cero. La adhesión puede considerarse como la adhesividad del material a las superficies como los chutes y bandas. La condición, la humedad y las impurezas de la superficie como la arcilla son las tres condiciones principales que afectan el nivel del esfuerzo de adhesión en un material a granel. El esfuerzo de adhesión puede determinarse con las pruebas de célula de corte y es muy útil para determinar la probabilidad con que el material se pegará o aferrará a las superficies.

Figura 25.18

El coeficiente de fricción es la inclinación o tangente del ángulo de la fricción de pared.



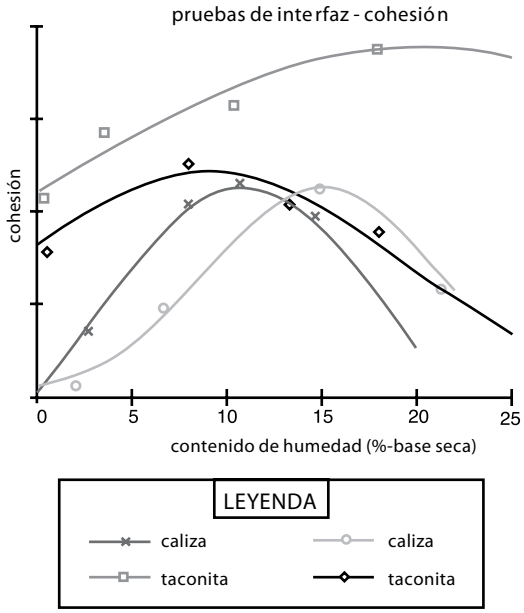
Ecuación 25.1

Relación de la fricción de la interfaz

$$\tan \Theta = \frac{S}{V} = \frac{\tau}{\sigma} = \mu$$

Figura 25.19

Realizar la prueba ha demostrado que la cohesión y la adhesión aumentan a medida que aumenta la humedad hasta que suficiente humedad se ha aplicado para empezar a transformar el material en líquido y reducir la cohesión. La variación exacta en la adhesión y cohesión con contenido de humedad variará de material a material y de lugar a lugar. Nota: el contenido de humedad es el % de peso perdido entre el material húmedo y el material después de haberse secado.



APLICACIONES TÍPICAS DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES A GRANEL

Capacidad del transportador

La capacidad del transportador, generalmente expresada como toneladas por hora (tc/h), es uno de los parámetros de diseño básicos calculado directamente a partir de la densidad, kilogramos por metro cúbico (lb_m/pie^3), del material a granel.

La densidad es un término conocido que se usa cuando se habla de material como el acero o el concreto; a esto se le llama la densidad de la partícula. En el diseño de un transportador, deben considerarse las densidades sueltas y vibratorias. La densidad aparente del material cambia de su estado en el depósito, a través de los puntos de transferencia y mientras está siendo transportado. Si un punto de transferencia está diseñado usando un valor de densidad aparente vibratoria, es probable que el chute se obstruirá a menos de la capacidad nominal. A medida que cae el material a granel, el aire se induce, aumentando el volumen

del material; hay muy poco espacio para que el material suelto se mueva a la tasa de flujo total. La densidad aparente suelta puede ser como mínimo la mitad de la densidad aparente vibratoria.

Si el diseñador busca en un manual de ingeniería general la densidad de un material, el valor mencionado muy probablemente será la densidad de partículas, la cual puede compararse con la densidad vibratoria. Si se usa este valor, se realizará un diseño demasiado pequeño por un factor de 2 a 4 veces. El diseñador necesita estar consciente de los cambios en las densidades y diseñar según sea el caso.

Diseño del chute

El diseño del chute es más que una cuestión de tener el área de sección transversal correcta en base a la densidad aparente suelta. El flujo confiable de materiales a granel a través del chute depende, entre otros factores, de la fricción entre el material a granel, las paredes del chute y los revestimientos de desgaste. El diseño de los chutes curvos para un flujo confiable depende de conocer las propiedades del material a granel en relación con las superficies de flujo. Cuando se usa un valor típico de ángulos de chute, el resultado a menudo son acumulaciones de material que conllevan a bloqueos en el chute. Por ejemplo, el lignito tiene un coeficiente de fricción significativamente mayor sobre el acero inoxidable que el carbón bituminoso, pero los coeficientes de fricción son similares cuando el polietileno de Peso Molecular Ultra Alto (UHMW) es el revestimiento. Pueden ocurrir problemas serios con el flujo por no probar el material a granel real y los revestimientos que se están considerando para usarse en el diseño.

Una propiedad significativa de los materiales a granel que no se considera normalmente en el diseño del chute es el efecto que tiene el tiempo y la presión de consolidación sobre la fuerza del material. Los materiales a granel generalmente ganan fuerza durante el almacenaje. No obstante, en el diseño del chute, las presiones de consolidación son generalmente bajas y el tiempo que pasa en el chute debe ser el mínimo. No obstante, el efecto de los cambios en el contenido de humedad es significativo, especialmente en cuanto a las acumulaciones de material en los chutes. Un resultado de este fenómeno es que el material adherido generalmente gana fuerza a medida que se seca en las bandas o placas deflectoras.

Limpieza de banda

La adhesión y la cohesión son propiedades importantes que se usan para predecir la naturaleza de los desafíos de la limpieza de la banda. Saber cómo la fuerza del material se afecta por los cambios en el contenido de humedad ofrece una guía sobre el uso del agua para debilitar el material a granel de modo que el material adherido pueda limpiarse eficazmente de la banda. Conocer el contenido de humedad crítico permite al diseñador calcular el volumen de agua necesario. Sin este conocimiento, el punto de vista que "agregar agua al proceso es algo malo" continuará aun cuando su uso puede ofrecer ventajas significativas.

Diseñar un sistema de lavado de banda funcional requiere información acerca del comportamiento del material a granel en el agua. El transporte y el tratamiento del efluente está directamente relacionado con la tasa a la cual se asienta el material en el agua. El tamaño del tanque de separación o del depósito de sedimentación está directamente relacionado con la tasa de sedimentación del material. Los materiales pesados como, por ejemplo, el mineral de hierro, necesitan mucho flujo de agua para impedir la obstrucción de las cajas de lavado y la tubería. Otros materiales que no se sedimentan, como algunos carbones, pueden no ser adecuados para una estación de lavado de banda.

Supresión de polvo

Para seleccionar un método de supresión de polvo se requiere saber cómo el material reaccionará con el agua y con diferentes químicos utilizados para mejorar la humectación y la aglomeración de las partículas. Algunos materiales a granel no reaccionan, o reaccionan muy lentamente, para ser buenos candidatos para usar solo agua como agente de supresión. Debe realizarse una prueba para determinar si necesitan usarse aditivos químicos para proporcionar una supresión de polvo eficaz.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

Cuando se prueban los materiales a granel para diseñar sistemas de manejo de material, el material a granel deberá probarse con el rango de condiciones que se anticipa estén presentes

durante las condiciones de operación normales y extremas y con todas las variaciones esperadas en la fuente, calidad y propiedades del material. Estas pruebas incluirían las siguientes:

A. Tamaño de la partícula

Un análisis de tamiz se realizará para todas las calidades y variaciones esperadas del material a granel en conformidad con los métodos de prueba descritos en ASTM D6393- 99(2006) *(Referencia 25.3)* o en el ESTÁNDAR 550-2003 de CEMA.

B. Densidad

La densidad aparente del material será determinada a tres presiones de consolidación diferentes, que representan las densidades aparentes esperadas sueltas, promedio y máximas, en conformidad con los métodos de prueba descritos en ASTM D6393-99(2006) *(Referencia 25.3)* o en el ESTÁNDAR 550-2003 de CEMA.

C. Ángulos de reposo y sobrecarga

Los ángulos de reposo y sobrecarga serán determinados para el material a granel en conformidad con los métodos de prueba descritos en ASTM D6393-99(2006) *(Referencia 25.3)* o en el ESTÁNDAR 550-2003 de CEMA.

D. Fuerza del material

Los valores de adhesión y cohesión serán determinados a un mínimo de tres contenidos de humedad diferentes al probar a niveles de humedad mínimo, promedio y de saturación y a cada una de las tres presiones de consolidación diferentes, presión cero, promedio y máxima, en conformidad con el método de prueba de ASTM D6128-06 *(Referencia 25.5)* o de ASTM D6773-02 *(Referencia 25.6)*.

E. Valores de fricción de la interfaz

Los valores de fricción de la interfaz serán determinados para el material a granel, la pared del chute y los materiales del revestimiento de desgaste a un mínimo de tres niveles de humedad diferentes y tres presiones de consolidación diferentes, en conformidad con el método de prueba de ASTM D6128-06 *(Referencia 25.5)* o de ASTM D6773-02 *(Referencia 25.6)*. Los valores de fricción de la interfaz para el material a granel y la banda serán determinados a un mínimo de tres niveles de humedad diferentes y tres presiones de consolidación diferentes en conformidad con el método de prueba de ASTM D6128-06 *(Referencia 25.5)*.

25

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Probar las propiedades de un material a granel mejora la habilidad de un diseñador para crear métodos seguros de almacenamiento y transporte. Por ejemplo, se sabe que los materiales a granel en flujo pueden crear presiones desiguales en la pared de los silos. Sin probar los materiales específicos bajo las condiciones esperadas para el almacenamiento, un diseñador sólo puede adivinar las fuerzas implicadas. Muchos ejemplos de fallas en los contenedores de almacenamiento demuestran la prudencia de probar el material y de usar la estructura sólo para los materiales especificados. Menos catastróficos, pero igual de nocivos para la productividad, son los sistemas que no cumplen con la capacidad del diseño debido al uso de valores típicos o "publicados en el manual" de las densidades aparentes de un material.

La mayoría de los materiales a granel son inertes. Generalmente, la prueba de las propiedades de los materiales a granel es un proceso relativamente seguro si se siguen los procedimientos en los estándares de la prueba. Algunos materiales representarán riesgos químicos, explosivos o de salud. Las hojas de datos de seguridad del material son una buena fuente de información sobre el manejo seguro de un material en particular.

TEMAS AVANZADOS

Ejemplo de la capacidad de la banda con diferentes propiedades del carbón

La sexta edición de *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS (BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL)* de CEMA ofrece ecuaciones detalladas para calcular la capacidad de un transportador en base al ángulo de canalización y el ángulo de sobrecarga. Las mismas fórmulas pueden usarse con el ángulo de reposo para determinar la capacidad del material a granel en un estado suelto como cuando el material se transfiere por primera vez de una banda a otra.

El ESTÁNDAR 550-2003 de CEMA menciona nueve clasificaciones diferentes para el carbón. Las densidades aparentes sueltas mencionadas para estas diferentes clasificaciones van de 720 a 960 kilogramos por metro cúbico (45 a 60 lb_m/pie^3); los ángulos de reposo varían de 27 a 40 grados. Los ángulos de sobrecarga tienen típicamente 10 a 15 grados menos que los ángulos de reposo. *(Nota: CEMA ofrece sólo medidas imperiales; las medidas métricas son conversiones realizadas por Martin Engineering).*

En este ejemplo, las capacidades del diseño se comparan con todo el rango de propiedades de nueve carbones diferentes **(Ecuación 25.2)**. Esto demuestra lo sensible que es el diseño de un transportador o punto de transferencia a las propiedades del material a granel. El ejemplo 1 analiza el carbón más denso y el ejemplo 2 analiza el carbón con la menor densidad.

Para estos ejemplos, una comparación de las áreas de sección transversal que se encontraron usando los valores cerca a los extremos de nueve carbones diferentes demuestra lo sensible que un diseño será a las propiedades del material a granel.

$Q = A \cdot \rho_{lb} \cdot S \cdot k$

Dado #1: *Una banda transportadora que transporta carbón con una densidad de 960 kilogramos por metro cúbico (60 lb_m/pie^3) está viajando a 2.5 metros por segundo (500 pies/min). El carbón tiene un ángulo de sobrecarga de 30°.* ***Calcular:*** *La capacidad de la banda transportadora.*

Variables		Unidades métricas	Unidades imperiales
Q	Capacidad de la banda	toneladas por hora	toneladas cortas por hora
A	Área de sección transversal de la carga (según CEMA)	0.195 m^2	2.1 $pies^2$
ρ_{lb}	Densidad aparente suelta	960 kg/m^3	60 lb_m/pie^3
S	Velocidad del transportador	2.5 m/s	500 pies/min
k	Factor de conversión	3.6	0.03
Métrico: $Q = 0.195 \cdot 960 \cdot 2.5 \cdot 3.6 = 1685$			
Imperial: $Q = 2.1 \cdot 60 \cdot 500 \cdot 0.03 = 1890$			
Q	Capacidad de la banda	1685 t/h	1890 tc/h

Dado #2: *Una banda transportadora que transporta carbón con una densidad de 720 kilogramos por metro cúbico (45 lb_m/pie^3) está viajando a 2.5 metros por segundo (500 pies/min). El carbón tiene un ángulo de sobrecarga de 20°.* ***Calcular:*** *La capacidad de la banda transportadora.*

Q	Capacidad de la banda	toneladas por hora	toneladas cortas por hora
A	Área de sección transversal de la carga (según CEMA)	0.168 m^2	1.804 $pies^2$
ρ_{lb}	Densidad aparente suelta	720 kg/m^3	45 lb_m/pie^3
S	Velocidad del transportador	2.5 m/s	500 pies/min
k	Factor de conversión	3.6	0.03
Métrico: $Q = 0.168 \cdot 720 \cdot 2.5 \cdot 3.6 = 1089$			
Imperial: $Q = 1.804 \cdot 45 \cdot 500 \cdot 0.03 = 1218$			
Q	Capacidad de la banda	1089 t/h	1218 tc/h

Ecuación 25.2

Cálculo de la capacidad de la banda con diferentes propiedades del carbón

Nuestros ejemplos asumen:

- Densidad aparente suelta: 720 a 960 kilogramos por metro cúbico (45 a 60 lb_m/pie^3)
- Ángulo de reposo: 27 a 45 grados
- Ángulo de sobrecarga: 20 a 30 grados
- Ancho de banda: 1200 milímetros (48 pulgadas)
- Ángulo de canalización: 35 grados
- Distancia del borde: Distancia del borde de CEMA estándar
- Velocidad de la banda: 2.5 metros por segundo (500 pies/min)

Análisis

Si un transportador fuera diseñado usando los valores del carbón publicados en un libro en vez de probar el carbón real, la capacidad del diseño sería incorrecta por más de 600 toneladas por hora. Esta discrepancia tendría un efecto importante en el resto del proceso y las salidas deseadas. Este ejemplo demuestra que deben medirse las propiedades del material real.

CIENCIA DEL MATERIAL PARA UN DISEÑO MEJORADO

En resumen...

Sin importar cual sea la clasificación genérica, ningún material a granel es igual. Por lo tanto, la prueba física de los materiales reales es de importancia crucial para el diseño apropiado de los sistemas que manejarán los materiales a granel. Los costos típicos para determinar las propiedades del flujo requeridas para diseñar correctamente un chute varían de $1,000 a $3,000 dólares por muestra por nivel de humedad. El costo de esta prueba es una parte pequeña del costo general de la ingeniería y construcción del sistema de un transportador. Contar con estos datos básicos será una herramienta importante para la resolución de problemas futuros del transportador a medida que cambian los procesos o la materia prima.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Ciencia del material, el quinto y último capítulo de esta sección de Conceptos de vanguardia, explicó cómo probar las propiedades de los materiales a granel para ayudar a diseñar sistemas de transportadores con un control total de material. El siguiente capítulo, Accesibilidad del transportador, empieza la nueva sección sobre el mantenimiento del transportador.

REFERENCIAS

25.1 Density Standards: Aggregates–ASTM C29 / C29M-07, Crushed Bituminous Coal–ASTM D29-07, and Grains–U.S. Department of Agricultural Circular #921.

25.2 ASTM International. (2001). *Standard Test Method for Measuring Bulk Density Values of Powders and Other Bulk Solids*, ASTM D6683-01; Artículo de trabajo: ASTM WK14951 – *Revision of D6683-01 Standard Test Method for Measuring Bulk Density Values of Powders and Other Bulk Solids*. West Conshohocken, Pennsylvania. Disponible en línea: http://www.astm.org

25.3 ASTM International. (2006). *Standard Test Method for Bulk Solids Characterization by Carr Indices*, ASTM D6393-99(2006). West Conshohocken, Pennsylvania. Disponible en línea: http://www.astm.org

25.4 ASTM International. (2001). *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*, ASTM D2035-08. West Conshohocken, Pennsylvania. Disponible en línea: http://www.astm.org

25.5 ASTM International. (2006). *Standard Test Method for Shear Testing of Bulk Solids Using The Jenike Shear Cell*, ASTM D6128-06. West Conshohocken, Pennsylvania. Disponible en línea: http://www.astm.org

25.6 ASTM International. (2002). *Standard Shear Test Method for Bulk Solids Using Schulze Ring Shear Tester*. ASTM D6773-02; Work Item: ASTM WK19871 – *Revision of D6773-02 Standard Shear Test Method for Bulk Solids Using the Schulze Ring Shear Tester*. West Conshohocken, Pennsylvania. Disponible en: http://www.astm.org

SECCIÓN 6

MANTENIMIENTO DEL TRANSPORTADOR

• Capítulo 26 414
ACCESIBILIDAD DEL TRANSPORTADOR

• Capítulo 27 424
INSPECCIÓN DEL SISTEMA DEL TRANSPORTADOR

• Capítulo 28 434
MANTENIMIENTO

• Capítulo 29 444
EL FACTOR HUMANO

Figura 26.1

En un sistema de manejo de material a granel, el acceso significa los puntos de observación, puertas de entrada y espacio de trabajo para realizar reparaciones y limpieza.

Capítulo 26

ACCESIBILIDAD DEL TRANSPORTADOR

26

Facilidad de acceso 415
Espacio alrededor de los transportadores 416
Colocación de guardas 418
Puertas de observación y entrada 419
Espacios confinados 420
Cuestiones de seguridad 421
Especificaciones típicas 422
El beneficio del acceso 422

En este capítulo...

En este capítulo, discutiremos la importancia del acceso fácil al sistema del transportador para aumentar la seguridad, facilitar el mantenimiento y ahorrar dinero. Nos enfocamos en la cantidad de espacio necesario alrededor de diferentes partes del sistema de un transportador para diferentes necesidades de mantenimiento. Además examinaremos los requerimientos y diferentes tipos de guardas de barrera y puertas de observación/entrada. También se presentan los problemas alrededor de los espacios confinados y cuestiones de seguridad.

El acceso puede definirse como el "derecho a entrar o usar". En el sistema de manejo de material a granel, el acceso se entiende como los puntos de observación, puertas de entrada y espacio de trabajo para realizar reparaciones y limpieza **(Figura 26.1)**.

Para el personal de mantenimiento y de operaciones, el acceso apropiado es crucial para la productividad. Esto significa que el acceso seguro, rápido y fácil a un problema debe ser más importante que otras consideraciones, como el costo. Se ha estimado que proporcionar un acceso apropiado en el diseño de un sistema de manejo de materiales a granel puede constituir tanto como el 15 por ciento del costo de capital de un proyecto.

Aún así, cuando el sistema de un transportador se está diseñando, muy pocas veces hay suficiente dinero que se asigna para proporcionar más del acceso mínimo requerido por el código. Esta práctica resulta no sólo en una pérdida de tiempo de producción y en un aumento de tiempo requerido para el mantenimiento sino también en un aumento en los costos de seguridad y salud. Desde las perspectivas de propiedad y administración, el acceso inadecuado contribuye a prolongar los problemas de pérdida de productividad y los costos de mantenimiento innecesariamente altos. La falta de acceso apropiado conlleva a prácticas de mantenimiento pobres; el mantenimiento pobre a menudo genera interrupciones de emergencia, lo que a su vez afecta la productividad y la rentabilidad de la operación.

Por supuesto que agregar un acceso apropiado más adelante, después de que el sistema de manejo de materiales se haya terminado y se determine que los mecanismos de acceso son deficientes, costará mucho más.

El acceso insuficiente al equipo ocasiona pérdida de productividad y sistemas sucios debido a la dificultad para limpiarlos y realizar las reparaciones requeridas. Se ha estimado que un acceso pobre podría agregar un máximo de 65 por ciento a los costos de mantenimiento y limpieza de un sistema de manejo de materiales a granel durante su vida útil.

FACILIDAD DE ACCESO

Es frustrante para el personal de mantenimiento cuando no pueden trabajar en equipo que requeriría un tiempo mínimo de reparación debido a que no puede tener un acceso seguro y adecuado al mismo. Los retrasos para el acceso pueden deberse a un requerimiento de permiso para entrar a espacios confinados, de pruebas del aire, de instalación de andamios o elevadores, de grúas o polipastos, o de herramientas especiales necesarias para abrir las puertas de acceso. En algunos casos, es necesario retirar todo el sistema sólo para tener acceso al componente que requiere atención. Estos retrasos pueden atenuarse por medio de un diseño de acceso apropiado e instalando herramientas y partes cercanas a la ubicación requerida.

Deben incluirse los tres elementos de facilidad cuando se diseña el acceso apropiado a un sistema de manejo de materiales:

A. Facilidad para ver

Si el equipo desarrolla un problema que el personal de la planta no puede ver, el problema tiende a crecer sin ser detectado hasta convertirse en una situación catastrófica.

B. Facilidad para alcanzar

Si una pieza del equipo desarrolla un problema, pero es difícil que el personal de mantenimiento pueda llegar al equipo, es muy probable que se posponga la reparación, lo que de nuevo arriesga la creación de una situación catastrófica.

C. Facilidad para reemplazar

Si el problema de un equipo es conocido, pero requiere innecesariamente de una interrupción para corregirlo, es probable que el equipo averiado continúe fuera de servicio por un período extendido.

Cuando los sistemas son difíciles de ver,

alcanzar y reemplazar, las operaciones de la planta o el personal de mantenimiento pueden intentar tomar atajos durante las reparaciones. Estos atajos a menudo aumentan los riesgos de seguridad y agregan el potencial de dañar más el equipo. Tomar atajos, ya sea intencionalmente o debido a la falta de un acceso apropiado y, por lo tanto, la inhabilidad de seguir los procedimientos de mantenimiento apropiados, fácilmente puede reducir la seguridad, acortar la vida útil del equipo, reducir la eficacia del proceso y aumentar la emisión de materiales fugitivos.

ESPACIO ALREDEDOR DE LOS TRANSPORTADORES

Para poder ahorrar costos, el equipo de un transportador a menudo se coloca en galerías o compartimientos pequeños. **(Figura 26.2)**. Un lado del transportador normalmente es puesto contra la pared, un transportador adyacente u otro equipo. Es extremadamente difícil dar servicio con este tipo de instalación. Si el transportador está instalado directamente contra una pared, compartimiento u otra estructura, los requerimientos básicos de servicio como, por ejemplo, la lubricación de los cojinetes o reemplazo de rodillos, se convierten en operaciones importantes que requieren de interrupciones de producción extendidas.

Figura 26.2

El equipo de un transportador a menudo se coloca en galerías o compartimientos pequeños, colocados contra la pared, un transportador adyacente u otro equipo.

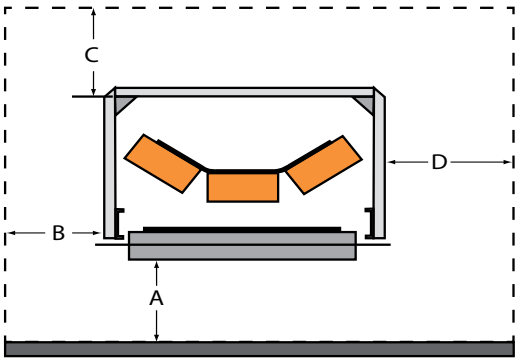


Figura 26.3

El espacio de acceso debe medir un mínimo de 750 milímetros (30 pulgadas) de ancho para el pasaje para caminar (B) y 1000 milímetros (36 pulgadas) de ancho en áreas donde deba realizarse el trabajo de servicio (D).

A. Permitir limpieza	600 milímetros (24 pulg.)
B. Andador	750 milímetros (30 pulg.)
C. Franqueo superior	1200 milímetros (48 pulg.)
D. Área de trabajo	1000 milímetros (36 pulg.)

Generalmente debe haber suficiente espacio para permitir el acceso a todas las secciones del sistema de un transportador y, en especial, a ambos lados del transportador. No proporcionar acceso a ambos lados del transportador es una deficiencia común al construir transportadores mantenibles.

El espacio abierto a lo largo del lado más crítico de un transportador (el lado del área de trabajo donde deben realizarse los trabajos más importantes o donde hay acceso para alzar un equipo u otros recursos) debe tener al menos el ancho de la banda (BW) más 300 milímetros (12 pulgadas) con un mínimo de 1000 milímetros (36 pulgadas). El lado del pasillo del transportador debe tener un espacio igual o al menos de la mitad del ancho de banda (BW/2) con un espacio mínimo de 750 milímetros (30 pulgadas) a lo largo de toda la longitud. Este acceso dual facilita el reemplazo de equipo como los rodillos que no pueden manejarse fácilmente por un solo trabajador. Si una polea u otro objeto grande necesita reemplazarse, entonces el espacio abierto debe aumentarse al menos el ancho de la banda (BW) más 300 milímetros (12 pulgadas).

Capítulo 2: "Consideraciones en el diseño" en la sexta edición de *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS (BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL)* de la Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas Transportadoras incluye recomendaciones detalladas para los espacios libres mínimos.

Pasillos y espacios de trabajo

El acceso adecuado requiere proporcionar pasillos y plataformas de trabajo a un lado de los transportadores. Estos deben proporcionar un camino firme adyacente al transportador y alrededor de las poleas de cabeza y cola, con fácil acceso a todos los puntos donde se requiera observación, lubricación, limpieza u otras tareas de mantenimiento.

Como se mencionó anteriormente, los pasillos deben tener un mínimo de 750 milímetros (30 pulgadas) de ancho para la pasada y 1000 milímetros (36 pulgadas) de ancho en áreas donde debe realizarse trabajo de servicio mayor **(Figura 26.3)**. Ambas áreas deben tener franqueo superior amplio; cualquier lugar

donde una persona deba pararse o arrodillarse para realizar el servicio o inspección, la "parte superior" o "franqueo superior" de dicho lugar debe medir al menos 1200 milímetros (48 pulgadas) **(Figura 26.4)**. Las áreas donde se requiere un servicio o limpieza frecuente deben tener un suelo sólido en vez de una rejilla abierta.

Cuando los transportadores corren paralelos entre ellos, el espacio entre estos debe ser un mínimo de 750 milímetros (30 pulgadas o el ancho de la banda, la medida que sea mayor, para permitir la reparación de la banda y el reemplazo de rodillos.

Otra deficiencia común en el diseño de un transportador es no proporcionar el espacio adecuado para la limpieza. Un estudio de accidentes relacionados con transportadores en minería demostró que un tercio de todos los accidentes ocurrieron a trabajadores que intentaban limpiar abajo o alrededor del recorrido de carga de un transportador. Las áreas que requieren de una limpieza frecuente deben permitir una limpieza mecánica como, por ejemplo, el uso de una mini cargadora o un camión de vacío abajo del transportador. Si esto no es práctico, debe proporcionarse un espacio libre mínimo de 600 milímetros (24 pulgadas) entre la parte inferior de los rodillos de retorno y el suelo.

Requerimientos de acceso alrededor del equipo

El acceso mínimo alrededor del equipo es el área necesaria para alojar la pieza más grande del equipo. Esto se determina midiendo el elemento más grande y agregando 450 a 600 milímetros (18 a 24 pulgadas). Además debe haber un acceso a ambos lados de la estructura con un mínimo de 1000 milímetros (36 pulgadas) en el segundo lado (no crítico) con un camino despejado hacia un área de elevación o un sistema por hilo aéreo con trole, para retirar el equipo. Es una buena idea tener una zona de almacenamiento conveniente para piezas de reemplazo grandes.

Acceso para reparación de la banda y reemplazos

El acceso para el mantenimiento de la banda requiere de un área conveniente para elevar y descender el equipo vulcanizado y exponer la banda transportadora en sí. Retirar los recubrimientos del transportador o los chutes laterales de la zona de carga y la pared del chute agregará un tiempo significativo al proceso. Se requiere de al menos 1000 milímetros (36 pulgadas) más el ancho de la banda en cada lado del transportador. Además, se requiere un área de 3 metros (10 pies) de largo donde la banda se expone, es decir, no está encerrada, para facilitar las operaciones de reparación.

Acceso al ajuste

El mantenimiento y la reparación de un sistema de ajuste de gravedad puede ser peligroso y tomar tiempo. Normalmente se requieren dos polipastos de cadena con suficiente capacidad para elevar y bajar el contrapeso. Puesto que muchos de estos sistemas de ajuste están cerca de la polea de cabeza, el área de acceso de mantenimiento en los transportadores inclinados puede elevarse. Las plataformas de acceso que proporcionan el espacio adecuado para el mantenimiento de cojinetes y poleas y para instalar los polipastos de cadena son esenciales. Un mecanismo de elevación que pueda retirar la presión del contrapeso del ajuste de gravedad de la banda puede ahorrar muchas horas de trabajo durante la reparación del transportador.

Pasadizos

Un número sorprendente de accidentes ocurren al personal que cruza por arriba o abajo del transportador. Para eliminar esta cuestión, las plataformas de acceso, las escaleras, los pasadizos y otro equipo necesario para alcanzar el lado opuesto del transportador deben incluirse en el diseño y las especificaciones del sistema. Aunque se escribió para transportadores de unidades, el CEMA SPB-001 (2004) *Recomendación de mejores prácticas de seguridad (Referencia 26.3)* proporciona lineamientos útiles para el diseño de pasadizos de transportadores para transportadores que manejan materiales a granel. Como siempre, cualquier regulación local debe tener precedencia.

Figura 26.4

En cualquier lugar en donde una persona deba pararse o arrodillarse para realizar el servicio o la inspección, el "franqueo superior" debe medir al menos 1200 milímetros (48 pulgadas).

Intrusión de otros sistemas

No es poco común ver un transportador o un punto de transferencia atrapado en una red de conductos eléctricos, tubería de supresión de polvo, paneles de control o sistemas de aspersión **(Figura 26.5)**. Cualquier intento de alcanzar los componentes del punto de transferencia debe evitar primero la "maraña" que rodea al punto de transferencia. La interrupción de estos otros sistemas resulta en una variedad de complicaciones distintas a las operaciones de la planta.

Para controlar el crecimiento de estos sistemas auxiliares alrededor del transportador y punto de transferencia, el diseñador debe especificar el equipo al cual es necesario el acceso. Al incluir áreas específicas en los planos del transportador para la instalación de paneles de control, actuadores de compuertas y otro equipo, se podrán evitar obstáculos innecesarios.

COLOCACIÓN DE GUARDAS

Guardas de barrera

Simplemente caminar por el pasillo representa un riesgo que pudiera resultar en una fatalidad: los pasillos cercanos al transportador proporcionan áreas donde los empleados pueden quedar atrapados en el transportador. Ha habido ocasiones en donde los empleados se resbalaron en un pasillo y luego quedaron atrapados en el transportador, simplemente por intentar evitar su caída o equilibrarse.

Figura 26.5

No es poco común ver un transportador o un punto de transferencia atrapado en una red de conductos eléctricos, tubería de supresión de polvo, paneles de control o sistemas de aspersión.

Figura 26.6

Una guarda de barrera es un cerco u otro obstáculo que mantiene al personal lejos de un transportador y sus componentes.

Aunque puede no ser un requerimiento gubernamental, las bandas deben tener guardas a lo largo de los pasillos para impedir que empleados incautos queden atrapados en el transportador en movimiento.

Una guarda de barrera es un cerco u otro obstáculo que mantiene al personal lejos de un transportador y sus componentes **(Figura 26.6)**. Las guardas de barrera, usadas ampliamente en Australia y Europa, están diseñadas para impedir lesiones haciendo imposible alcanzar físicamente una pieza potencialmente peligrosa del equipo como, por ejemplo, puntos de presión de las poleas, rodillos, ruedas de engranaje, cadenas o bandas, o el peligro de una carga suspendida debido a un contrapeso de ajuste.

Es importante que se proporcionen guardas en cada parte peligrosa de un transportador que normalmente son accesibles al personal. Los peligros se consideran protegidos por su ubicación si están ubicados a una distancia suficiente por encima del suelo o pasillo para impedir el contacto.

El desafío para el diseño e instalación eficaz de las guardas es proteger las operaciones y al personal de mantenimiento sin interferir con la operación de la planta. Una guarda de barrera bien diseñada impedirá que el personal alcance partes de la maquinaria en movimiento, pero su tamaño y forma permitirá el manejo seguro de las partes durante su retiro o reemplazo (cuando la guarda se ha retirado o desactivado y el transportador se ha bloqueado / etiquetado / suspendido / comprobado).

Normalmente, las guardas de barrera requieren de una herramienta para retirarse y puede incluir una señal indicando qué equipo debe aislarse (es decir, bloquearse / etiquetarse / suspenderse / comprobarse) antes de poder retirar la guarda. La inspección visual de los componentes del transportador y el acceso a los puntos de lubricación debe poder realizarse sin retirar las guardas de barrera **(Figura 26.7)**.

Las guardas de barrera pueden tener bisagras que les permitan sacarlas de su posición o pueden ser fijadas con pernos en su lugar

(Figura 26.8). Deben ser construidas de materiales que sean resistentes al desgaste y la corrosión, y deben ser capaces de soportar la vibración de la operación del sistema.

Nueva tecnología de guardas

En muchas plantas, las barreras físicas convencionales se están reemplazando con tecnologías más nuevas que monitorean los perímetros del área y detectan la entrada a áreas peligrosas.

No obstante, estas tecnologías más nuevas, como los rayos láser y cortinas de luz infrarroja, son eficaces sólo cuando están activadas, y pueden ser burladas por alguien determinado a entrar a un área segura. Estos sistemas requieren de cuidado y buen mantenimiento para poder ser confiables. Por ejemplo, pueden no funcionar bien donde el polvo en el ambiente puede asentarse en los receptores de la celda fotoeléctrica. Es prudente tener sistemas de control de acceso mecánicos como sistemas redundantes o de respaldo pues es posible que una falla de los dispositivos de "alta tecnología" no sea obvia.

Figura 26.7

La inspección visual de los componentes del transportador y el acceso a los puntos de lubricación debe ser posible sin retirar las guardas de barrera.

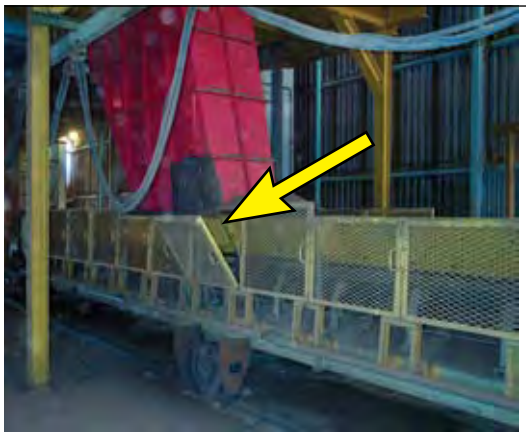


Figura 26.8

Las guardas de barrera pueden tener bisagras que les permiten sacarlas de su posición o pueden ser fijadas con pernos en su lugar.

PUERTAS DE OBSERVACIÓN Y ENTRADA

Requerimientos de observación

Deben instalarse sistemas de acceso, incluyendo puertas y plataformas de trabajo, para facilitar el alcance y la observación del equipo. Los problemas de flujo dentro de los chutes pueden ser fáciles de resolver si puede observarse la trayectoria del material. La trayectoria real del material dentro de un chute no siempre podrá predecirse, de modo que es necesaria la observación para poder ajustar los desviadores, compuertas y parrillas **(Figura 26.9)**. Muchos chutes de transferencia sólo tienen una puerta de inspección. Ésta se instala generalmente cerca de la polea de cabeza, donde no permite una vista de la trayectoria del material real en el chute inferior y el área de faldeo, donde a menudo se presentan los problemas **(Figura 26.10)**.

El chute debe incorporar aberturas de observación con recubrimientos fáciles de operar ubicadas lejos de la trayectoria del material. Estas aberturas deben permitir la observación segura del flujo de material y el desgaste de componentes en áreas críticas de la

Figura 26.9

Los problemas de flujo dentro de los chutes pueden ser fáciles de resolver si puede observarse la trayectoria del material a través de una puerta de inspección.

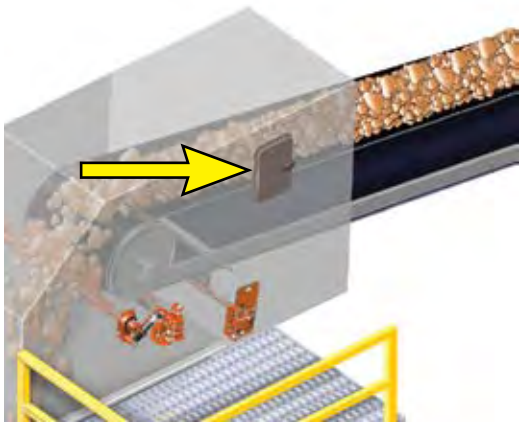


Figura 26.10

Una puerta mal colocada no permitirá la observación de la trayectoria del flujo de material.

instalación. Las aberturas deben ser limitadas de tamaño y/o protegidas con barras o pantallas fijas para impedir que el personal introduzca una mano o que material sea expulsado.

Además debe considerarse proporcionar bastante iluminación en los puntos de acceso. En algunos casos, la iluminación de techo es suficiente, pero en otras aplicaciones puede ser necesario proporcionar focos de alto poder o luces estroboscópicas dirigidas hacia el chute para observar el movimiento del material. Para el mantenimiento general y la reparación de la máquina, se recomienda una luz de 540 a 1080 lux (50 a 100 pies candela). Puesto que muchos materiales a granel absorben luz, y debido a la distancia del problema que se observa, es común que una instalación necesite una iluminación con una clasificación de 10 millones de lux (900000 pies candela) para lograr este nivel de iluminación.

Puertas

Las puertas de inspección deben abrirse hacia los lados y ser de un tamaño adecuado para que el personal pueda ver de manera segura y fácil los componentes dentro de la estructura. Las puertas deben instalarse en los lados no desgastados del chute (es decir los lados alejados del flujo del material de impacto o abrasivo).

Las puertas deben diseñarse para una operación fácil en espacios libres reducidos con bisagras resistentes a la corrosión y sistemas de enganchadura. Es importante que todos los puertos sean herméticos al polvo por medio del uso de una puerta con sellado seguro. Ahora están disponibles puertas de metal con bisagras y con enganchaduras fáciles de abrir para proporcionar acceso **(Figura 26.11)**. Las puertas a presión de caucho y flexibles proporcionan un cierre hermético al polvo mientras que ofrecen una apertura y cierre simple sin necesidad de herramientas aun en lugares con espacios libres limitados.

Las puertas deben ser fáciles de cerrar de manera segura una vez que termine el procedimiento de servicio.

Los tamaños de las puertas deben ser suficientemente grandes para proporcionar el acceso requerido. Si los requerimientos de observación y servicio son limitados a los sistemas como los limpiadores de banda, una puerta que mide 225 por 300 milímetros (9 por 12 pulgadas) ó 300 por 350 milímetros (12 por 14 pulgadas) generalmente es suficiente. Si será necesario el servicio a los componentes principales, como los revestimientos del chute, o si el personal necesitará usar la puerta como una entrada a la estructura, entonces se necesitará un tamaño de puerta de 450 por 600 milímetros (18 por 24 pulgadas), 600 por 600 milímetros (24 por 24 pulgadas) o más.

Las puertas mal diseñadas pueden tener bisagras y enganchaduras difíciles de operar y como resultado impiden el acceso. Además, los sellos de la puerta que no pueden soportar la abrasión y el maltrato de los materiales, así como los implementos usados para entrar por las puertas se convierten en fuentes de polvo. Algunas puertas de acceso también tienen bordes pequeños o áreas de repisas planas, donde los combustibles como el carbón pueden acumularse creando un riesgo de incendio y explosión.

Figura 26.11

Existen puertas de metal con bisagras y con enganchaduras fáciles de abrir para proporcionar acceso.

ESPACIOS CONFINADOS

Toda discusión sobre el acceso al equipo, ya sea para un mantenimiento de rutina o una reparación de emergencia, debe incluir el tema de espacios confinados. La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional del Departamento de Trabajo de EE.UU. (OSHA) define el "espacio confinado" como un área que:

A. Es suficientemente grande y configurada de manera que un empleado puede entrar y realizar el trabajo asignado.

B. Tiene medios limitados o restringidos para entrar o salir.

C. No está diseñado para la ocupación continua del empleado.

El "espacio confinado que requiere permiso" (comúnmente llamado "espacio que requiere permiso") es un espacio confinado que tiene una o más de las siguientes características:

A. Puede contener una atmósfera peligrosa
B. Contiene un material que tiene el potencial de agobiar al trabajador
C. Tiene una configuración interna que pudiera atrapar o asfixiar al trabajador con paredes que convergen hacia dentro o un suelo que se inclina hacia abajo y se reduce hasta una sección transversal más pequeña.
D. Contiene cualquier otro riesgo de salud o seguridad serio reconocido

"Espacio confinado que no requiere permiso" significa un espacio confinado que no contiene ningún peligro capaz de provocar la muerte o daño físico grave o que no tiene el potencial de contener peligros atmosféricos.

Los espacios confinados que requieren permiso requieren procedimientos de seguridad engorrosos y costosos, incluyendo capacitación del personal, arneses y estructuras de seguridad y más personal para el sistema de acompañantes. Por lo tanto, diseñar sistemas para minimizar los espacios confinados que requieren permiso puede proporcionar un retorno sobre la inversión significativo: cuando el trabajo de mantenimiento y reparación puede realizarse sin requerir permisos ni personal especialmente capacitado, el gasto de la mano de obra asociado con dichas tareas se minimiza.

Los diseños que incorporan las siguientes funciones de espacios confinados que no requieren permiso son rentables con el tiempo:

A. Acceso fácil y suficiente para entrar y salir del compartimiento
B. Ventilación natural de las áreas de trabajo internas
C. Materiales que no crean una atmósfera peligrosa

CUESTIONES DE SEGURIDAD

El beneficio obvio de las puertas de acceso y las guardas de barrera es su habilidad de impedir el acceso a partes móviles, independientemente de si están activadas o no, o si los controles están funcionando apropiadamente. Estas guardas son fáciles de detectar y pueden crearse de manera que sea imposible evitarlas sin las herramientas adecuadas.

Es importante que el personal de la planta cumpla con todos los procedimientos apropiados de apagado y bloqueo cuando abra las puertas de acceso para observar o entrar. Es también esencial que las puertas de acceso y los recubrimientos se cierren después de usarse, para impedir el escape de material y el riesgo de lesiones al personal desprevenido.

En la sexta edición de *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS (BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL)*, CEMA recomienda que "se coloquen etiquetas de advertencia en un lugar claramente visible cerca o alrededor de la puerta de acceso que adviertan sobre los peligros potenciales que pueden encontrarse cuando se abre la puerta" **(Figura 26.12)**.

Tiene sentido ubicar los puntos de unión para los arneses de seguridad en línea con las puertas de acceso.

Las áreas encerradas que tienen dispositivos promotores de flujo, como cañones de aire, deben bloquearse (con los avisos correctos en su lugar) para evitar lesiones a los empleados que abrirían la puerta para la inspección.

Figura 26.12

CEMA recomienda que "se coloquen etiquetas de advertencia en un lugar claramente visible cerca o alrededor de la puerta de acceso que adviertan sobre los peligros potenciales que pueden encontrarse cuando se abre la puerta".

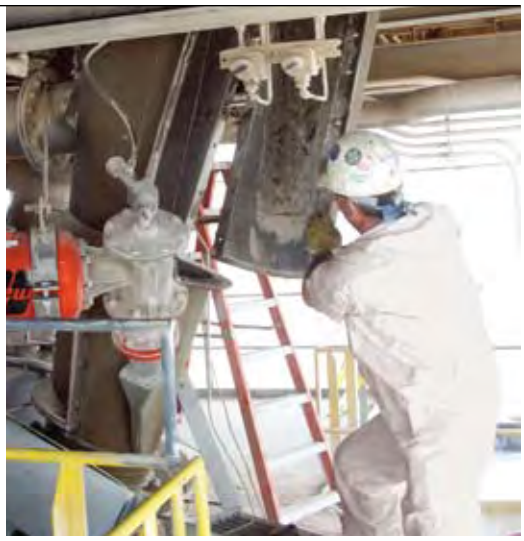


Figura 26.13

Otro método es diseñar un "acceso a chutes de espacio no reducido" que permita que secciones enteras de chutes se abran fácilmente.

Otro método es diseñar "accesos al chute con espacio no reducido" que permita la apertura fácil de secciones enteras de chutes, especialmente aquellas porciones que sufren de desgaste abrasivo continuo **(Figura 26.13)**. Este tipo de diseño permite que se logren reparaciones sin requerir que los trabajadores se encierren dentro del chute. El mismo tipo de acceso puede diseñarse para alimentadores, compuertas, silos y bunkers.

ESPECIFICACIONES TÍPICAS

A. Pasillos

Para facilitar la inspección y el servicio, el transportador será acondicionado con pasillos en ambos lados. Estos pasillos proporcionarán suficiente espacio para las actividades de mantenimiento requeridas en puntos donde necesitará realizarse el trabajo de servicio.

B. Guardas

Los componentes rodantes y puntos de presión serán acondicionados con guardas eficaces para prevenir la intrusión de personal mientras el transportador está funcionando. Las guardas deben bloquearse de manera segura pero deben poder retirarse para permitir las actividades de servicio.

C. Acceso

Se proporcionará un acceso adecuado para observar y dar servicio al transportador, al punto de transferencia y otros sistemas relacionados. Se proporcionarán suficientes aberturas para permitir la inspección de todas las áreas internas.

D. Puertos de observación

Las puertas se colocarán fuera de la trayectoria del flujo de material. Estos puertos de observación serán acondicionados con puertas herméticas al polvo. Las puertas serán proporcionadas con pantallas para evitar que el material sea expulsado por la abertura si se realiza una observación mientras el transportador está funcionando.

EL BENEFICIO DEL ACCESO

En resumen...

Un acceso al transportador bien diseñado no necesita sacrificar la seguridad, accesibilidad y el costo. El acceso al equipo para el mantenimiento y la reparación es esencial para un sistema limpio, seguro y productivo. El acceso seguro que se ubica cuidadosamente y es del tamaño adecuado aumentará la confiabilidad, reducirá los paros en producción y las horas de trabajo requeridas para el mantenimiento, además que minimizará los peligros como el polvo y la entrada a espacios confinados. Con el tiempo, un acceso bien diseñado mejora la seguridad y ahorra dinero.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo acerca de la Accesibilidad del transportador es el primer capítulo en la sección de Mantenimiento del transportador. El siguiente capítulo, Inspección del sistema del transportador, continúa con la discusión sobre el tipo de mantenimiento necesario para extender la vida útil del sistema de un transportador y reducir el polvo y los derrames.

REFERENCIAS

26.1 Mine Safety and Health Administration (MSHA). (2004). *MSHA's Guide to Equipment Guarding*. Otro material de capacitación OT 3, 40 páginas. U.S. Department of Labor. Disponible como descarga gratuita: http://www.msha.gov/s&hinfo/equipguarding2004.pdf

26.2 Giraud, Laurent; Schreiber, Luc; Massé, Serge; Turcot, André; and Dubé, Julie. (2007). *A User's Guide to Conveyor Belt Safety: Protection from Danger Zones*. Guía RG-490, 75 páginas. Montreal, Quebec, Canadá: IRSST (Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail), CSST. Disponible en inglés y en francés como PDF de descarga gratuita: http://www.irsst.qc.ca/files/documents/PubIRSST/RG-490.pdf or html: http://www.irsst.qc.ca/en/_publicationirsst_100257.html

26.3 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2004). CEMA SPB-001 (2004) *Safety Best Practices Recommendation: Design and Safe Application of Conveyor Crossovers for Unit Handling Conveyors*. Naples, Florida.

26.4 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*. Naples, Florida.

Capítulo 27

INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTADOR

Motivos para recorrer la banda 425
Censo del sistema 425
Inspección de mantenimiento 428
Inspección de la planta 428
Transportador encendido o transportador apagado 429
Uso de recursos externos 430
Cuestiones de seguridad 430
Qué buscar en un contratista externo 431
Qué hacer cuando se termina el recorrido 431
Al recorrer la banda se mantiene el transportador en buen estado 432

En este capítulo...

En este capítulo, discutimos la importancia de las inspecciones rutinarias de "recorrido" por el transportador de una planta y los diferentes requerimientos de los tres tipos de "recorrido de transportador". Éstos son censo del sistema, inspección de mantenimiento e inspección de la planta. También se incluyen consideraciones de seguridad así como los beneficios de usar contratistas externos para estas inspecciones de transportador.

"Recorrido por la banda" es una frase usada en la industria para describir un recorrido por el sistema de transportador de una planta con el objeto de inspección y mantenimiento. El recorrido, que empieza en un extremo y continúa a todo lo largo de un transportador individual, o desde un extremo a través de toda la cadena de transportadores, se usa para evaluar el estado del equipo y dar oportunidades para mantenimiento, ajuste y limpieza de rutina de los diferentes componentes del sistema **(Figura 27.1)**.

Walk the Belt℠ es un término que Martin Engineering Company usa para describir una evaluación de la condición de un sistema de banda transportadora y de sus componentes.

MOTIVOS PARA RECORRER LA BANDA

Este capítulo discutirá los tres tipos distintos de "recorridos de transportador". Estas diferentes inspecciones pueden combinarse, pero la misión, frecuencia y equipo requeridos para realizar cada tipo serán diferentes. Los tres tipos son:

A. Censo del sistema

El censo del sistema es a menudo la inspección inicial, en la que la inspección primaria es encontrar datos para capturar las especificaciones básicas del sistema y la información de la marca de fabricación. Esto proporciona un inventario del equipo y de los componentes del sistema del transportador.

B. Inspección periódica de mantenimiento

En la inspección periódica de mantenimiento se revisan las operaciones diarias del transportador y se realiza mantenimiento, ajuste y limpieza simple o de rutina.

C. Inspección de la planta

La inspección de la planta es una inspección detallada y análisis de desempeño de algunos o todos los sistemas de manejo de materiales, a menudo es preparación para los proyectos de mejora del sistema.

CENSO DEL SISTEMA

Primeros pasos: encontrar datos

Muy a menudo, los detalles de un sistema de transportador como las especificaciones de los componentes o hasta información básica de su marca y modelo, se pierden u olvidan con el tiempo. Los propietarios o gerentes de la planta cambian; el personal de operaciones, mantenimiento e ingeniería cambia de responsabilidades o abandona la compañía. Hasta los componentes de un sistema de transportador cambiarán del equipo original, evolucionando a medida que se incorporan al sistema mejoras o partes de reemplazo. La información de la marca de fabricación sobre los diferentes componentes puede no estar actualizada en el departamento de mantenimiento, la oficina de ingeniería o el departamento de compras. El archivo se vuelve obsoleto, o quizá, peor aún, la información es retenida sólo en la mente de una persona.

Como consecuencia, la captura de información actualizada en un formato consistente debe ser un requisito principal del primer recorrido por la banda o la inspección inicial del transportador. El recorrido inicial de la banda se convierte en una misión de búsqueda de datos además de ser una inspección de mantenimiento. La colección de toda la información pertinente puede hacer que este recorrido sea muy prolongado, lo que a menudo causa que un proveedor, contratista o consultor termine la inspección. La persona que "recorre la banda" hace un censo del sistema.

Se puede requerir equipo especial para completar adecuadamente la inspección de una planta **(Tabla 27.1)**. Tener todas las herramientas necesarias para capturar los datos clave permite que la inspección se complete sin tener que volver a la planta a buscar una dimensión o número de serie más.

Tabla 27.1

Herramientas para la inspección de la planta	
Herramienta	**Función**
Equipo de protección personal (PPE)	Ofrece seguridad personal, adecuado a los lugares que se van a inspeccionar. **USAR SIEMPRE**.
Anemómetro	Captura las velocidades del aire usado en la supresión de polvo
Localizador de ángulo	Documenta la pendiente de las estructuras
Medidor de decibelios	Mide los niveles de ruido
Lector shore	Determina la dureza de la superficie de la banda transportadora y del sello de chute lateral
Termómetro infrarrojo	Encuentra la temperatura de los componentes
Nivel	Determina si los componentes están instalados de forma nivelada
Esteatita	Marca temporalmente los componentes de acero
Tacómetro	Mide la velocidad de la banda
Cinta métrica	Mide las distancias
Linterna	Permite la inspección de áreas oscuras o cerradas
Cámara	Captura imágenes fijas o de video de las condiciones
Lápiz y papel	Registran los datos
Cinturón de herramientas/arnés	Transporta las herramientas con seguridad

Tabla 27.2

Censo del sistema de transportador		
Realizado por:		Fecha:
Datos básicos	Identificación del transportador *[nombre o número]*	
	Ubicación	
	Centros de longitud de polea *[m (pies)]*	
	Capacidad del transportador *[toneladas/h (st/h]*	
	Elevación total (cambio de elevación) *[+/-m (pies)]*	
	Horas de funcionamiento del transportador/día *[horas]*	
	Días que opera el transportador/semana *[días]*	
	Ancho de banda *[mm (pulg.)]*	
	Velocidad de la banda *[m/seg (pies/min)]*	
	Ángulo del canal *[grados]*	
Banda	Fabricante y tipo de banda	
	Clasificación de banda *[kN/mm (PIW)]*	
	Instalación de la banda *[fecha]*	
	Grueso de banda *[mm (pulg.)]*	
	Tipo de empalme de la banda *[mecánico o vulcanizado]*	
	Número de empalmes (uniones) de la banda	
Carga	Material transportado	
	Tamaño del material (terrón más grande) *[mm (pulg.)]*	
	Temperatura del material *[Centígrados (°F)]*	
	Altura de caída del material *[m (pies)]*	
	Contenido de humedad (máximo) *[%]*	
	Contenido de humedad (normal) *[%]*	
Energía motriz del transportador	Fabricante y modelo	
	Potencia de salida *[kW (hp)]*	

Registro de la información

Durante el censo de un sistema de transportador, se reúne y registra una gran variedad de información del fabricante, modelo y especificación del sistema **(Tabla 27.2)**. Una vez que esta información se reúne, debe archivarse en un solo lugar en el archivo de mantenimiento de la planta.

Tiene sentido ubicar esta información, junto con sus distintos documentos, en una biblioteca central del material relacionado con el sistema de banda transportadora. Esto incluiría los manuales de mantenimiento, los procedimientos de servicio, las listas de las refacciones, las instrucciones de operación, la información del proveedor y los planos. Esta información capturada puede ser transferida al sistema de mantenimiento-administración computarizado de una planta (CMMS por sus siglas en inglés).

Algunos sistemas computarizados especializados permiten la incorporación de materiales como planos de ingeniería, diagramas mecánicos, listas de partes, manuales del operador y otros documentos a una biblioteca digital de recursos. Este sistema se convierte en una biblioteca centralizada para el personal, tanto de la planta como contratista, para tener rápido acceso a la información para acortar el tiempo requerido para realizar las tareas de mantenimiento.

Algunos contratistas y proveedores de mantenimiento ofrecen la colección de datos como servicio especializado. Este servicio se puede realizar como parte de una evaluación regular del sistema de manejo de materiales de una planta, como parte del contrato de servicio de mantenimiento, como un servicio independiente o como parte de un proceso de selección e implementación de CMMS.

Tabla 27.2 Continuación

Censo del sistema de transportador (continuación)		
Rodillos	Marca, modelo y clasificación de CEMA	
	Rodillos de carga	
	Rodillos de impacto	
	Camas de impacto	
	Camas de soporte para bandas	
	Rodillos de retorno	
Flujo de aire	Área de salida de la zona de carga *[m² (pies²)]*	
	Velocidad máxima del aire de salida de la zona de carga *[m/s (pies/min)]*	
Componentes	Marca y modelo	
	Sacamuestras	
	Escala de la banda	
	Imán	
	Sistema de detección de rasgaduras	
	Interruptores de seguridad de cordón de tiro	
	Interruptores de desalineación	
	Dispositivos guía de lado de carga	
	Dispositivos guía de lado de retorno	
	Sistemas primarios de limpieza de banda	
	Sistemas secundarios de limpieza de banda	
	Arados de protección de cola	
	Colectores de polvo	
	Sistemas de supresión de polvo	
	Dispositivos promotores de flujo del chute	
	Puertas de acceso	

Es importante mantener los datos actualizados; también es una buena práctica retener la información de diseño original y cualquier registro de cambios. La mejor práctica es actualizar con regularidad los datos con cambios como parte del ciclo regular de inspección.

INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO

"Recorrer la banda" para inspección de rutina

En su uso más común, el "recorrido por la banda" es una inspección de rutina y una oportunidad de servicio del transportador en una operación determinada. El inspector de la banda (la persona encargada o el "jefe de la banda") hace un recorrido por el sistema: inspecciona su operación, realiza ajustes menores o actividades de limpieza y observa condiciones más significativas o problemas para su atención posterior.

La persona que recorre la banda toma nota de los problemas observados. Por ejemplo: "el rodamiento central del rodillo número 127 del Transportador B no gira" o "hay mucho derrame en la cola del Transportador 3". Es mejor tomar notas cuando el problema se ve, en lugar de esperar hasta que el inspector termine con un transportador en particular o hasta regresar al cuarto de mantenimiento.

La información se puede anotar en una libreta o en un asistente personal digital (PDA) o en un "teléfono inteligente". Se puede usar un teléfono celular convencional para llamar al correo de voz del inspector de la banda para registrar cosas observadas durante el recorrido, especialmente aquellas que pueden olvidarse al momento de que el inspector regrese a la oficina para ser bombardeado con otros detalles cotidianos. Una cámara digital, o hasta muchos teléfonos celulares, permitirán que el inspector tome fotografías de los problemas. Estas fotografías permitirán que el inspector envíe las imágenes del problema para que otras personas las evalúen.

Pararse en un solo lugar

Estar parado mientras se recorre el transportador no es tan contradictorio como parece. Es importante que el inspector del transportador observe el funcionamiento de la banda a medida que completa por lo menos una rotación de la estructura. Esto permitirá que el inspector estudie la condición de la banda, (los bordes, los empalmes, el recubrimiento superior donde pasa debajo del chute lateral, la centralización) para observar cualquier problema. El inspector de la banda también puede revisar si la banda está centrada cuando se carga y se descarga.

Cuándo detener el transportador: ¡AHORA MISMO!

Puede llegar el momento en que el inspector vea algo que represente tanto riesgo para la banda, el transportador o el personal de la planta que la banda deberá detenerse inmediatamente. El problema podría ser un pedazo de hierro atascado o un terrón de material afilado incrustado en la estructura donde podría rasgar la banda. O podría ser un rodillo sobrecalentado, acumulación de material candente u otra condición que podría causar un incendio. La persona que hace el recorrido por la banda, (y el resto del equipo de mantenimiento y operación de la banda y el personal administrativo de la planta), debe comprender que la misión esencial es garantizar la seguridad y preservar el equipo, incluso al costo de una parada no programada.

Qué buscar

Es extremadamente importante que la persona que realiza la inspección tenga una lista de los componentes generales que deben revisarse durante cada inspección del transportador de "recorrido por la banda". Esta guía se puede usar como lista de verificación para que el trabajador realice la inspección. *(Vea el Capítulo 28: Mantenimiento, para la lista de piezas que se deben considerar y evaluar).*

Se debe añadir a cada lista de verificación específica de cada planta las recomendaciones de mantenimiento del fabricante para los distintos componentes y subsistemas (como sacamuestras, balanzas, detectores de metal e imanes).

INSPECCIÓN DE LA PLANTA

La inspección de la planta es el tercer tipo (o razón para) un recorrido del transportador. El objetivo de esta inspección es determinar problemas que interfieren con la operación segura y eficaz de un transportador, verificar los datos de inventario del transportador y preparar proyectos que mejorarán el

desempeño. Los detalles de este análisis de sistema completo pueden interferir con la recopilación de información y las actividades de mantenimiento de rutina o retrasarlas, por lo que la combinación de esta inspección con un censo o inspecciones de mantenimiento dependerá del tiempo disponible y normalmente no se recomienda.

Además de una evaluación de la condición general de un sistema existente y la factibilidad de las mejoras propuestas, una inspección de planta debe incluir otras consideraciones relacionadas con el proyecto **(Tabla 27.3)**. Al realizar una inspección de la planta, se debe poner atención al sistema general, la estructura del sistema y a cualquier equipo relacionado que pueda interferir con un proyecto planeado o que pueda ser afectado por los cambios al sistema.

Para completar una adecuada inspección de la planta, se deben usar las mismas herramientas que se usaron al hacer el censo del sistema **(Tabla 27.1)**.

TRANSPORTADOR ENCENDIDO O TRANSPORTADOR APAGADO

Vale la pena considerar la cuestión de recorrer la banda si está en operación en lugar de recorrer la banda cuando el transportador NO está en funcionamiento. Recorrer el sistema cuando la banda está en movimiento permite al personal ver más los problemas reales que afectan el desempeño del transportador y la vida de los componentes. Los problemas como el derrame de material y la influencia de la carga de material en la centralización de la banda son más aparentes. Si el transportador no se mueve, hay muchos indicadores clave ocultos, desde vibraciones en la estructura y la línea de recorrido por la banda hasta los ruidos que hacen los empalmes cuando pasan por un rodillo.

Obviamente, los transportadores son más seguros cuando no están en funcionamiento, y es más seguro hacer cualquier acción correctiva en los transportadores cuando están apagados.

Tabla 27.3

Consideraciones de la inspección de la planta	
Problema	¿Cuál es el problema que se debe resolver? ¿Cuáles son las expectativas para considerarlas un éxito?
Transferencias	¿Quién es responsable de los problemas de interfaz como controles, energía o abastecimiento por separado de los componentes clave?
Resultados no anticipados	¿Qué efectos tendrá la solución propuesta en otros procesos?
Capacitación	¿Qué capacitación y documentación general o específica a la planta se exigirá a los trabajadores?
Requerimientos de código	¿Necesitan los sistemas mejoramiento para cumplir con los códigos actuales o las políticas de la compañía?
Acceso	¿Cómo se traerá el nuevo equipo al punto de instalación?
Infraestructura	¿Hay infraestructura disponible para actividades de demolición y construcción?
Peligros	¿Hay materiales o condiciones peligrosas que requieren atención especial?
Trabajo elevado	¿Se requerirán procedimientos o precauciones de seguridad especiales por el trabajo en alturas?
Espacios confinados	¿Requerirá el trabajo en espacios confinados trabajadores especialmente capacitados y permisos?
Desecho de desperdicios	¿Quién es responsable del desecho de desperdicios?
Planta	¿Hay servicios (por ejemplo, sala de descanso, sanitarios, regaderas) para los trabajadores del proyecto?
Clima	¿Afectarán el clima y la hora del día (por ejemplo, el sistema está disponible únicamente en el segundo turno) la capacidad de completar el proyecto?
Entregables	¿Qué entregable se espera de la inspección?

Algunas inspecciones, como la inspección del revestimiento de desgaste dentro del chute lateral, no se pueden realizar mientras la banda está en funcionamiento. Sin embargo, algunas inspecciones y ajustes se pueden hacer sólo cuando la banda está en operación. La persona asignada a recorrer la banda debe estar consciente de los riesgos, tener experiencia con los sistemas de transportador y estar capacitada y autorizada para hacer una cantidad limitada de correcciones en un transportador en funcionamiento.

Por lo tanto, la decisión de "recorrer las bandas" cuando los transportadores están en funcionamiento o no puede depender de factores externos, incluyendo si hay mano de obra disponible y el nivel de trabajo de servicio esperado o requerido. De cualquier manera, se aconseja tener mucha precaución.

USO DE RECURSOS EXTERNOS

Un par de ojos diferentes: usar contratistas externos para recorrer la banda

Cada vez es más difícil para los empleados regulares de la planta (ya sea personal de producción o de mantenimiento) darse tiempo para actividades de servicio regular como inspecciones de transportador y ajustes de rutina.

Puede haber otros problemas con el "recorrido por la banda", sin importar el objetivo, con el personal interno. Una persona que está familiarizada con una operación puede estar condicionada a ver sólo lo que espera ver, en lugar de lo que debería buscar. Las operaciones de una planta o el trabajador de mantenimiento

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Las inspecciones de transportador requieren que los trabajadores inspeccionen a conciencia el sistema de manejo de materiales a granel. Esto es bueno para el equipo, pero puede ser malo para los empleados, ya que los pone en situaciones potencialmente peligrosas durante el proceso de inspección. El personal que recorre las bandas debe estar capacitado adecuadamente en los procedimientos correctos para trabajar alrededor del transportador y debe mantener un sano respeto hacia su potencial de lesionar o matar a una persona descuidada.

La observación de prácticas de trabajo seguro debe ser parte de cualquier rutina de recorrido por la banda. El personal que realiza la inspección de la planta debe tener el equipo adecuado de protección personal (PPE). Éste puede incluir casco, lentes de seguridad, tapones para los oídos y un respirador. También se debe incluir un medio de comunicación, como radio o teléfono celular. Y por supuesto, se exigen los procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación.

Es aconsejable usar un "sistema de compañeros" en un recorrido de transportador. Esto permitirá que un trabajador inspeccione cada lado del transportador (asumiendo que haya dos pasillos), además de hacer más segura la inspección. Si un operador debe hacer el recorrido solo (algo común en esta era de reducción de personal), el trabajador debe mantenerse en contacto por radio con la sala de control, la oficina de mantenimiento u otra base de operaciones. Se debe considerar una especie de sistema de seguridad de vigilancia nocturna, en el que la patrulla del transportador "llama" en puntos específicos de la ruta, por ejemplo en la cabeza de cada transportador. Esto proporciona una mayor seguridad para el trabajador, así como la oportunidad de reportar condiciones inusuales o problemas que requieren el paro del sistema.

que ha vivido con un problema puede de hecho creer que es el procedimiento estándar de operación o una condición aceptable. También existe el peligro de que un problema puede "pasar desapercibido" en la inspección, porque la persona que la hizo sabe que se le llamará para resolver el problema: el proyecto será otro "trabajo sucio" añadido a la lista del empleado.

Una solución es el uso de personal contratado para este mantenimiento de rutina: censo de datos, inspección del sitio y actividades de mantenimiento de rutina. La subcontratación tiene varias ventajas. La primera es que un transportador se puede inspeccionar sin requerir la atención del personal de la planta: tienen la libertad de hacer su trabajo usual. Una segunda ventaja es que el inspector externo puede ser un experto en las prácticas adecuadas del transportador y las reglamentaciones gubernamentales actuales. Este recurso objetivo podrá decirle al personal de la planta cuando las prácticas "estándar" de la planta no son la mejor manera de hacer las cosas.

Aunque los recorridos de bandas pueden ser herramientas útiles para el personal de mantenimiento de la planta, pueden ser aún más útiles cuando se usa un servicio de mantenimiento subcontratado. Una planta podría dar los resultados de la inspección a un contratista de mantenimiento como una lista de "cosas por hacer". Esto daría al contratista de mantenimiento claridad y dirección, a la vez que se proporciona una gran cantidad de información útil necesaria para corregir los problemas.

Seguridad para el personal externo

El personal contratado debe tener la misma capacitación en seguridad que los empleados regulares. De hecho, puede ser más importante que estén capacitados, ya que no tendrán la experiencia ni el refuerzo de la exposición diaria a las capacidades y limitaciones del equipo. Es imperativo asegurarse de que las conozcan.

QUÉ BUSCAR EN UN CONTRATISTA EXTERNO

Es importante que los contratistas externos estén familiarizados con el tipo de sistemas que observarán: no se le debe pedir a un fontanero que arregle el sistema eléctrico de una planta. Los trabajadores contratados que no tienen habilidades ni experiencia no pueden brindar ningún beneficio; podrían no saber qué buscar o qué están viendo. Una mayor experiencia costará más pero brindará un beneficio real. Es útil la comprensión básica de los transportadores que operan en industrias semejantes. Es importante que las personas que van a realizar el trabajo, y no sólo la persona que vendió el servicio, cuenten con experiencia. Es mejor si el personal ya tiene el conjunto de habilidades, y el conjunto de herramientas, para realizar el servicio requerido cuando lo observa, en lugar de tener que pedir permiso y después tener que regresar a realizarlo.

Estos recursos externos no son, por definición, empleados de la operación. Pero tendrán que hacer propio el sistema de transportador y el uso eficaz y productivo de la planta de ese sistema. Deben demostrar dedicación a la operación y a sus responsabilidades y deberes. Si se elige de manera inteligente y se usa eficazmente, este personal externo mejorará los transportadores y añadirá valor a la operación.

QUÉ HACER CUANDO SE TERMINA EL RECORRIDO

Más importante que recorrer la banda es hacer algo con la información adquirida en el recorrido. Anotar las observaciones y después entregarlas a la gerencia es el motivo por el que se hace el recorrido.

Una vez que todos los datos se reúnen en un recorrido de transportador, se deben almacenar; después se debe actuar. El personal de la planta o los consultores externos pueden evaluar cada uno de los problemas observados e identificar sus causas raíz. Cuando las causas de los problemas han sido identificadas, se pueden concretar las soluciones. Las cosas que se pueden arreglar de inmediato se deben arreglar de inmediato. Las inquietudes restantes deben documentarse, para que los recursos adecuados puedan ser asignados para proporcionar las soluciones requeridas. Una inspección de "recorrido por la banda" no muestra cómo resolver los problemas, pero es una herramienta valiosa usada en la identificación de problemas.

Con unos buenos registros de las inquietudes observadas en un recorrido de transportador, o mejor aún, una serie regular de recorridos de transportador, la operación tiene la oportunidad de evitar problemas, aumentar la eficacia de la operación y mejorar la rentabilidad. Esos son

Figura 27.2

Un recorrido regular de la banda transportadora es una manera eficaz de evaluar el sistema, catalogar sus componentes e identificar áreas que necesitan servicio o que ofrecen oportunidades de mejorar la eficacia.

los objetivos reales de cualquier recorrido del sistema de transportador.

AL RECORRER LA BANDA SE MANTIENE EL TRANPORTADOR EN BUEN ESTADO

En resumen...

Una operación de manejo de materiales a granel es un sistema de componentes vinculados. Si un componente o subsistema deja de funcionar, se verán afectados los procesos ascendentes y descendentes. En términos más simples, una banda detenida puede parar a toda la planta. Por lo tanto, un transportador es un equipo crítico en una operación de manejo de materiales a granel **(Figura 27.2)**. Un recorrido regular de la banda transportadora es una manera eficaz de evaluar el sistema, catalogar sus componentes e identificar áreas que necesitan servicio o que ofrecen oportunidades de mejorar la eficacia.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Inspección del sistema del transportador sigue al de Accesibilidad del transportador en la sección Mantenimiento del transportador. Los siguientes dos capítulos continúan esta sección sobre medidas de mantenimiento para reducir los derrames y el polvo enfocándose en Mantenimiento y el Factor humano.

REFERENCIAS

27.1 Sitio web de Martin Engineering: http://www.martin-eng.com

27.2 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, sexta edición*. Naples, Florida.

27.3 El sitio web http://www.conveyorbeltguide.com es un valioso recurso que abarca muchos aspectos de las bandas.

Figura 28.1

Sin importar qué tan bien estén diseñados y construidos, los transportadores y sus sistemas de componentes requieren mantenimiento oportuno para mantener el desempeño a los niveles diseñados.

28

Capítulo 28

MANTENIMIENTO

Planeación de mantenimiento 435
Personal y procedimientos 436
Programaciones de mantenimiento 438
La importancia del mantenimiento 438
Cuestiones de seguridad 439
Temas avanzados 442
Aspectos económicos del mantenimiento 442

En este capítulo...

Este capítulo cubrirá las prácticas de mantenimiento recomendadas para ayudar a controlar materiales fugitivos, mejorar la seguridad y reducir los paros no programados de transportador. Se sugiere un cálculo del costo de paros en producción no programados de transportador.

Sin importar qué tan bien estén diseñados y construidos, los transportadores y sus sistemas de componentes requieren mantenimiento oportuno para mantener el desempeño a los niveles diseñados **(Figura 28.1)**. Es vital que el personal de mantenimiento esté adecuadamente capacitado y equipado para detectar problemas potenciales así como para realizar mantenimiento y reparaciones de rutina.

PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO

Planear el mantenimiento

La experiencia ha demostrado que, con el tiempo, aumenta el requerimiento de producción de una planta. Muchas veces los paquetes de prestaciones de la gerencia y los empleados se basan en el logro de los objetivos de producción. Como resultado, los paros en producción asignados para mantenimiento invariablemente disminuyen. En este panorama, a menudo se queda sin servicio la estructura del transportador y no se realizan las reparaciones necesarias, a medida que la planta se esfuerza para lograr sus metas de producción.

Esto causa que se descuide y sobreexplote el sistema de transportador hasta el punto de una falla catastrófica. Es esencial que la programación de producción del transportador incluya paros en producción adecuados para realizar el mantenimiento necesario. Para permitir estos procedimientos de mantenimiento, el transportador debe detenerse (siguiendo los procedimientos de bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación), por lo que los paros en producción programados para realizar estas funciones deben estar siempre disponibles. Es esencial planear un tiempo de interrupción en la programación de producción para el mantenimiento para evitar el "manejo de crisis" de los sistemas de transportador, en el que los sistemas funcionan a tiempo completo todo el tiempo y el único mantenimiento se da cuando algo falla.

El axioma "la falta de planeación conduce al fracaso" es cierto en los transportadores. El sistema de transportador en el que no se planea el mantenimiento está planeado para fallar.

Diseñar para mantenimiento

La gestión de mantenimiento debe considerarse cuando el sistema de transportador está en la fase de diseño o planificación. Muchas veces, las necesidades del Departamento de Mantenimiento no se incluyen durante la fase de diseño; en estos casos, el sistema nuevo no está diseñado de manera que permita un fácil acceso y mantenimiento. Frente a las condiciones industriales (con el estrés continuo de las operaciones diarias en combinación con las demandas de cambio de condiciones y cantidades de material) el servicio del sistema se vuelve un requisito real. El problema aumenta si el sistema no está diseñado desde el inicio con disposiciones adecuadas para el mantenimiento. En muchas plantas, la suposición común es "si es difícil, tardado o potencialmente peligroso, entonces es inevitable tomar atajos". En el caso de las actividades de mantenimiento, esto significa que si un sistema es difícil de mantener, probablemente las actividades de servicio no se realicen. O si se realiza el trabajo, se hará de manera superficial o con el menor esfuerzo. De cualquier manera, el creciente riesgo de falla de los componentes da como resultado una pérdida de productividad.

En muchos casos, el proceso de diseño permite, o hasta promueve, los problemas de mantenimiento. Los ejemplos incluyen un mal espaciamiento, componentes inaccesibles alineadores "permanentes" u otros sistemas que no se pueden reparar. Los diseñadores generalmente piensan y hacen disposiciones para proyectos de servicio mayor; sin embargo, descuidan las disposiciones necesarias para realizar el mantenimiento de rutina fácil o eficazmente. Como ejemplo, muchos transportadores incluyen un bastidor para levantar y reemplazar la polea de cabeza, un evento que puede ser necesario cada cinco años; sin embargo, no se hacen ajustes para el servicio regular, como la lubricación de rodillos o el mantenimiento de los limpiadores de banda transportadora.

Existen maneras de resolver estos problemas incluyéndolos en el diseño del sistema. Los ejemplos incluyen pasillos, plataformas y accesos adecuados y servicios como agua, electricidad y aire comprimido disponible para

poder completar tareas de una manera más oportuna y eficaz. Los ejemplos adicionales incluirían el uso de componentes que son ajustables a "martillazos" o que se montan sobre rieles para un ajuste deslizable hacia dentro y hacia fuera. Hacer que estas características estén ya "diseñadas" aumentará enormemente la probabilidad de que el mantenimiento de rutina se efectúe adecuadamente.

La clave es considerar los requerimientos de mantenimiento en la etapa inicial de diseño de cualquier proyecto. La Asociación de Fabricantes de Equipos para Transportadores (CEMA) ofrece directrices de acceso al transportador para mantenimiento en *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS (BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL), sexta edición.*

Ergonomía y mantenimiento

Siempre que hay personal involucrado en un sistema, (ya sean diseñadores, operadores, personal de mantenimiento o gerencia), el desempeño humano estará muy influenciado por la eficacia y eficiencia general de ese sistema. La ergonomía (o diseño de factores humanos, como a veces se le conoce) es una ciencia aplicada que se relaciona con el diseño y disposición de componentes que la gente usa para que los componentes interactúen de manera más eficaz y segura. Para que un sistema mecánico alcance todo su potencial, se debe dar la suficiente reflexión y compromiso para optimizar el papel humano en ese sistema.

El equipo se debe diseñar para mejorar la confiabilidad y consistencia de los operadores y personal de mantenimiento en la realización del servicio regular.

Figura 28.2

El uso de contratistas para la instalación y mantenimiento de los transportadores permite al personal de la planta dedicarse a actividades importantes que son únicas a la operación.

PERSONAL Y PROCEDIMIENTOS

El departamento de mantenimiento

Es importante que sólo personal competente y bien capacitado (equipado con herramientas y equipo de pruebas adecuados) realice el mantenimiento del transportador. Por motivos de seguridad y eficacia, el personal de mantenimiento debe constar de empleados expertos y veteranos con la autoridad de apagar un transportador para hacer reparaciones menores que evitarán un paro mayor o gastos de equipo.

Como los equipos de mantenimiento son reducidos y las demandas de los sistemas de transportador aumentan, es vital maximizar la eficacia del personal disponible. Una manera de maximizar la eficacia del personal es documentar los procedimientos para realizar cada tarea con seguridad. Esto asegurará que todos los trabajadores sepan cómo realizar las tareas de la manera más segura y eficaz posible y qué herramientas y equipo se necesitará para completar la tarea. También permitirá que una planta capacite mejor a los nuevos empleados, a medida que el personal con más experiencia se jubila o es transferido.

Un sistema computarizado de administración del mantenimiento (CMMS) es una buena herramienta para almacenar los procedimientos de mantenimiento/reparación. El sistema administrará las órdenes de trabajo y manejará la información, para que el personal de mantenimiento pueda realizar las tareas en base a prioridades. La mayoría de los sistemas también rastrearán los gastos de mantenimiento de equipo específico: esto es esencial para justificar las mejoras o la compra de nuevo equipo.

Un programa de mantenimiento que utiliza estos tipos de procedimientos será más eficaz y confiable a la larga.

Servicios contratados

A medida que las plantas reducen su cantidad de empleados, muchas compañías confían parte o toda la instalación y mantenimiento de equipo de transportadores a contratistas externos. La utilización de contratistas permite al personal

dedicarse a las actividades centrales que son específicas de la operación **(Figura 28.2)**.

Los contratistas que predominan en la industria del manejo de materiales se pueden categorizar como generales o especialistas/ de nicho. Ambos tienen mérito y brindarán valor a la planta si se usan adecuadamente y se comprenden las limitaciones de cada uno.

Un contratista general está dispuesto a hacer casi cualquier tarea y tiene una comprensión general de muchas cosas; sin embargo, el contratista general no tiene muchas destrezas en todos los aspectos o componentes del sistema de transportador.

Los contratistas especialistas/de nicho, por otra parte, son expertos en ciertas áreas o componentes; a menudo son directamente empleados por un fabricante o han sido capacitados y certificados por el fabricante. Esta capacitación les da las destrezas y el conocimiento necesario para instalar adecuadamente o dar mantenimiento al equipo de manera más eficaz que un contratista general. Los contratistas especialistas/de nicho deben estar dispuestos a ofrecer garantías de desempeño tanto en mano de obra como en los productos y componentes que proveen.

La limpieza de derrames es otra área en la que un contratista externo puede ayudar a desocupar al personal de la planta. La contratación de limpieza de derrames en una planta puede, de hecho, ayudar a identificar la causa raíz del derrame, causando un cambio en los procedimientos de operación o justificando la mejora o reemplazo de un sistema existente.

Inspecciones

Las inspecciones de mantenimiento de rutina pueden extender la vida de la banda y los componentes y mejorar el desempeño evitando que problemas menores y fáciles de corregir se conviertan en dolores de cabeza serios y costosos.

En algunas de las mejores operaciones, los trabajadores de mantenimiento "recorren" el sistema de transportador rutinariamente, buscando indicadores de problemas potenciales **(Figura 28.3)**. *(Vea el Capítulo 27: Inspección del sistema del transportador)*. Es importante que la "persona que hace el recorrido" esté desocupada para que pueda tener seguridad y eficacia en el paseo de inspección.

El equipo básico incluye:

A. Linterna

Si el inspector del transportador revisa chutes cerrados o áreas subterráneas como chutes y túneles de rotopalas.

B. Medios para anotar información

Que van desde una libreta de papel hasta una computadora portátil

C. Equipo de protección personal (EPP)

Casco, lentes de seguridad, protección auditiva y respirador según corresponda a las condiciones de la planta

D. Radio o teléfono celular

Para permitir la comunicación con la sala de control o la oficina de mantenimiento

A menudo una opinión externa ayuda a enfocar la atención a las áreas que el personal de la planta ha llegado a ver como normales. Algunos proveedores o fabricantes ofrecerán hacer el recorrido por el sistema de la planta y darán un reporte del "estado del sistema".

La manera más eficaz de detectar o solucionar problemas en un sistema de transportador es recorrer el sistema mientras está en operación. Aunque no se debe hacer mantenimiento o reparaciones mientras el sistema está trabajando, observar la operación del sistema y escuchar los ruidos que hace permitirá al personal de mantenimiento identificar los componentes que se deben reparar/reemplazar.

Figura 28.3

En algunas de las mejores operaciones, los trabajadores de mantenimiento "recorren" el sistema de transportador rutinariamente, buscando indicadores de problemas potenciales.

Es difícil realizar una inspección de banda útil cuando la banda opera a velocidades mayores a 1.0 metros por segundo (200 pies/min). Se puede detectar un daño importante, pero los defectos más pequeños escaparán a la detección a velocidades mayores que esta. Una solución a este problema es recorrer toda la longitud de una banda detenida, revisándola sección por sección. Una alternativa sería el uso de una potencia de baja velocidad para la inspección. Algunos transportadores tienen una potencia de operación complementaria o de "arrastramiento" de 0.1 a 0.25 metros por segundo (20 a 50 pies/min) para permitir una inspección a baja velocidad.

PROGRAMACIONES DE MANTENIMIENTO

Los intervalos de servicio del transportador y los requerimientos específicos de servicio de un transportador dependerán tanto de construcción y componentes como del volumen y naturaleza de los materiales que transporta. Se deben seguir las directrices del fabricante en la inspección, mantenimiento y reparaciones. Sin embargo, si no hay directrices publicadas, se dan algunas reglas básicas para ayudar a guiar o establecer una programación de servicio **(Tabla 28.1)**. Muchos componentes del transportador pueden y deben ser inspeccionados mientras la banda está en operación. Se debe tener cuidado de sólo inspeccionar los componentes del transportador mientras la banda está en funcionamiento, en lugar de intentar darles servicio. Si se descubre que hay piezas que requieren mantenimiento, éstas se deben documentar. Muchas actividades de mantenimiento se pueden realizar sólo cuando el transportador no está en operación. *(Para más información sobre mantenimiento, vea la página web de Martin Engineering [Referencia 28.1]).*

LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO

Manuales

Es importante revisar el manual del propietario/operador publicado por el proveedor de cualquier pieza de equipo para las instrucciones específicas sobre los requerimientos, procedimientos e itinerarios de servicio. Se debe mantener un archivo integral de los manuales del equipo y debe ser accesible a todos los trabajadores en todos los turnos.

Además, el personal de mantenimiento debe tener registros detallados de las inspecciones y servicio realizados. Esto asegurará el mantenimiento adecuado del equipo.

Crear un archivo de información

Se debe crear un archivo o base de datos de los diferentes componentes y ensambles secundarios existentes de los transportadores. Este archivo debe incluir los diferentes manuales, listas de piezas y otros documentos asociados con los componentes incluidos en el sistema de manejo de materiales. Los datos como números de parte del fabricante y fechas de instalación son valiosos para determinar cuándo se requiere el servicio y qué procedimientos se deben realizar cuando ese intervalo llegue.

Debe haber un repositorio centralizado para esta información. Éste puede ser un archivador, o, en estos días, alguna forma de base de datos electrónica que contenga o vincule los diferentes documentos, especificaciones y páginas web de los proveedores. La información debe estar disponible en una fuente, para que no haya archivos separados y potencialmente contradictorios. La decisión de si ese archivo o base de datos se debe guardar dentro de la operación de manejo de material a granel o en la oficina de mantenimiento es decisión de la planta, pero con la disponibilidad de redes electrónicas, esta información se puede y debe compartir. La información también se pone a disposición de otros departamentos, aun aquellos que están fuera de la planta, como el grupo corporativo de ingeniería.

Hay proveedores que pueden dar este servicio de colección y organización de información a una planta, quizá como parte de su oferta de mantenimiento o como un servicio aparte. Ellos compilarán y mantendrán estas referencias en una base de datos. Este servicio puede ser especialmente útil si los registros del sistema de transportador existente se han vuelto obsoletos. Con una base más amplia de experiencia sobre el equipo y fuentes de información, estos servicios deben poder rastrear la información del proveedor que de lo contrario podría no estar disponible.

Piezas de repuesto

Debe haber en el inventario algunas piezas de repuesto. Esto permitirá el reemplazo de rutina de las partes desgastadas y una finalización rápida de las reparaciones inesperadas para regresar más rápido a las operaciones. Este inventario debe incluir las partes que "tienen más probabilidad de dañarse" y las "piezas de desgaste" de repuesto, como hojas de limpiadores de banda, barras de impacto y rodillos. También se debe incluir en los almacenes de mantenimiento un abastecimiento de alineadores de banda de "reparación de rasgaduras" para reparaciones de emergencia.

Al estandarizar los diferentes componentes en toda la planta, se puede minimizar el tamaño de esta pila de reservas de las piezas de repuesto y, por lo tanto, el gasto de estas piezas sin uso.

Puede ser conveniente tener un depósito de chatarra donde se puedan almacenar los componentes retirados de servicio y estar disponibles para ser desmontados y usados como piezas de repuesto según se requieran. Por supuesto, las partes tomadas de equipo usado deben ser limpiadas e inspeccionadas a fondo antes de reutilizarlas.

Lubricación

La lubricación es muy importante debido al gran número de cojinetes presentes en los sistemas de transportador y su influencia en la tensión de la banda y los requerimientos de energía. Seguir las recomendaciones del fabricante del tipo, cantidad y frecuencia de la lubricación mejorará la expectativa de vida de los componentes de rodamiento del sistema.

Se debe tener cuidado de no lubricar de más. La lubricación excesiva puede dañar los sellos de los cojinetes, lo que permite que los materiales fugitivos entren en el cojinete, aumentando la fricción y disminuyendo la vida del cojinete. El exceso de aceite o grasa puede derramarse en la banda, donde puede atacar al recubrimiento, disminuyendo la vida de servicio. La grasa en exceso también puede caer en los pasamanos, pasillos o pisos haciéndolos resbalosos y peligrosos.

CUESTIONES DE SEGURIDAD

La inspección y mantenimiento del transportador puede representar un riesgo significativo para los empleados, porque estas actividades acercan a los trabajadores al sistema de transportador bajo condiciones potencialmente peligrosas **(Figura 28.4)**. Hay muchos sistemas diseñados que ofrecen condiciones más seguras tanto para el personal como para el equipo. El mejor enfoque para la seguridad es un programa de seguridad que desarrolle y mantenga un sano respeto de los ingenieros, personal de operación y equipo de mantenimiento por el poder del transportador y los riesgos potenciales de su operación.

Algunos ajustes se pueden hacer sólo con la banda en operación, y existen ventajas realizar algo de mantenimiento de rutina mientras la banda está en funcionamiento. La mayoría de las reglamentaciones de seguridad reconocen esta necesidad y establecen que "sólo el personal capacitado que esté consciente de los peligros" puede realizar estas rutinas.

Hay sistemas diseñados para proporcionar condiciones seguras tanto para el personal como para el equipo cuando se siguen los procedimientos establecidos de inspección y mantenimiento. Los proveedores de los sistemas usualmente ofrecen capacitación para estos procedimientos. Es importante que sólo personal competente y bien capacitado, equipado con herramientas y equipo de pruebas adecuados, realice el mantenimiento del transportador. *(Es esencial una revisión a fondo del Capítulo 2: Seguridad y del Capítulo 27: Inspección del sistema del transportador).*

Figura 28.4

La inspección y mantenimiento del transportador puede representar un riesgo significativo para los empleados, porque estas actividades acercan al trabajador al sistema de transportador bajo condiciones potencialmente peligrosas.

Mantenimiento preventivo de la banda transportadora | Tabla 28.1

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Siempre inspeccione si el área de trabajo es peligrosa antes de comenzar las inspecciones o el trabajo.

LUGAR	PROCEDIMIENTO: Semanalmente
Poleas deflectoras	Asegurarse de que la banda esté centrada en la polea
Rodillos de apoyo	Asegurarse de que todos los rodamientos giren*
	Asegurarse de que todos los rodamientos del rodillo estén libres de material acumulado*
	Asegurarse de que la banda toque los tres rodamientos en estados de carga y descarga*
Banda del transportador	Revisar si hay daño o maltrato en la banda:
	Revisar si la banda está cóncava
	Revisar si la banda tiene combadura
	Revisar el daño por impacto
	Revisar el daño por contacto
	Revisar el daño químico
	Revisar si la banda tiene rasgaduras o roturas
	Revisar si hay falla de conexión de los empalmes en la banda
	Revisar si hay resquebrajamientos en el recubrimiento superior de la banda
Energía motriz del transportador	Revisar el reductor del nivel de aceite
	Revisar si hay fugas en el reductor
	Inspeccionar el acoplamiento del sistema motriz
	Revisar el nivel de aceite en la barrera e inspeccionar fugas
	Asegurar que todas las barreras del sistema motriz estén en su lugar y en buenas condiciones
Estructura del transportador	Revise si hay partes estructurales oxidadas, dobladas, rotas o faltantes
	Revise que los pasamanos y las placas de protección para pies estén en buenas condiciones
	Revise si hay en los pasillos derrames o acumulaciones
	Revise si las rejas de seguridad funcionan adecuadamente
Ajuste de gravedad	Revisar si el carro de ajuste opera de manera libre y directa*
	Asegurarse de que la banda esté centrada en la polea*
	Asegurarse de que todas las barreras estén en su lugar y en buenas condiciones
Guardas	Revisar si hay daño y su instalación es adecuada.

**** NOTA: Las inspecciones marcadas con un asterisco pueden requerir que la banda esté en funcionamiento.***

LUGAR	PROCEDIMIENTO: Semanalmente
Polea de cabeza	Inspeccionar si los limpiadores de banda tienen hojas desgastadas o faltantes
	Inspeccionar la limpieza de los limpiadores de banda en los bastidores y hojas
	Revisar la tensión del limpiador de banda según la recomendación del fabricante
	Asegurarse de que la banda esté centrada en la polea
	Revisar si las boquillas de supresión de polvo están obstruidas
Zona de carga	Inspeccionar el desgaste de los rodillos de impacto
	Inspeccionar el desgaste del recubrimiento superior de las barras de impacto
	Inspeccionar el desgaste de las camas de soporte de sellado
	Inspeccionar y ajustar los sellos de polvo
	Inspeccionar las boquillas de supresión de polvo*
Rodamientos de retorno	Asegurar que los rodamientos giren libremente
	Inspeccionar si hay acumulación de material en los rodamientos
	Inspeccionar el desgaste por problemas de centralización de la banda en los soportes de montaje
Interruptores de seguridad	Inspeccionar la tensión correcta de los cables
	Asegurar que las banderas no tengan acumulación de material
Polea deflectora	Asegurarse de que la banda esté centrada en la polea
	Inspeccionar si hay acumulación de material en la polea
Empalmes	Mecánicos: revisar el desgaste del empalme y los sujetadores
	Vulcanizados: revisar separación en el empalme
Polea de cola	Asegurarse de que la banda esté centrada en la polea
	Revisar el desgaste de la hoja de arado en V
	Revisar el montaje del arado en V
	Revisar la tensión del arado en V
Rodillos de alineación	Revisar el giro libre del bastidor*
	Asegurarse de que todos los rodamientos giren*
	Revisar si hay acumulación de material en los rodamientos

Siempre inspeccione el área de trabajo y revise el procedimiento de trabajo por si hay peligros antes de comenzar la inspección o realizar el trabajo. Revise los requerimientos de seguridad local y de la compañía antes de realizar cualquier actividad de mantenimiento. Algunas plantas pueden permitir que ciertas actividades específicas de inspección o mantenimiento sean realizados en transportadores en movimiento por técnicos adecuadamente certificados y capacitados. En aquellos procedimientos que no se pueden hacer con seguridad mientras la banda está en operación o aquellas plantas que no permiten que se haga el mantenimiento mientras la banda está en operación, se deben seguir los procedimientos adecuados de Bloqueo / Etiquetado / Suspensión / Comprobación antes de realizar cualquier trabajo.

Mantenimiento preventivo de la banda transportadora | Tabla 28.1

CUESTIONES DE SEGURIDAD

Siempre inspeccione si el área de trabajo es peligrosa antes de comenzar las inspecciones o el trabajo.

LUGAR	PROCEDIMIENTO: Mensualmente
Poleas deflectoras	Revisar evidencia de movimiento de los bujes en el eje
	Revisar la condición de los cojinetes y el ajuste de las arandelas
	Revisar resquebrajamientos y desgaste en los extremos del frente y del centro
	Revisar la lubricación en los cojinetes del eje
Ajuste de gravedad	Revisar evidencia de movimiento del buje en el eje
	Revisar la condición de los cojinetes y el ajuste de las arandelas
	Revisar resquebrajamientos y desgaste en los extremos del frente y del centro
	Revisar la lubricación en los cojinetes del eje
Polea de cabeza	Revisar evidencia de movimiento del buje en el eje
	Revisar la condición de los cojinetes y el ajuste de las arandelas
	Inspeccionar el desgaste y sujeción del recubrimiento térmico de la polea a la polea de cabeza
	Revisar resquebrajamientos y desgaste en los extremos del frente y del centro
	Revisar la lubricación en los cojinetes del eje
Polea deflectora	Revisar evidencia de movimiento del buje en el eje
	Revisar la condición de los cojinetes y el ajuste de las arandelas
	Revisar resquebrajamientos y desgaste en los extremos del frente y del centro
	Revisar la lubricación en los cojinetes del eje
Polea de cola	Revisar evidencia de movimiento del buje en el eje
	Ajustar el ajuste mecánico para la tensión correcta de la banda
	Revisar resquebrajamientos y desgaste en los extremos del frente y del centro
	Revisar la lubricación en los cojinetes del eje
	Revisar la lubricación en los ajustadores mecánicos de ajuste
	Revisar la condición de los cojinetes y el ajuste de las arandelas

LUGAR	PROCEDIMIENTO: Mensualmente
Rodillos de apoyo	Revisar la lubricación de los cojinetes de los rodillos
Energía motriz del transportador	Revisar la lubricación en los cojinetes de la barrera
	Revisar la lubricación en los cojinetes del eje
	Inspeccionar el desgaste y la tensión correcta en los sistemas motrices de la banda
Zona de carga	Inspeccionar fugas en los chutes y en los chutes de compensación*
	Inspeccionar los sellos de entrada
	Inspeccionar los sellos de salida
	Inspeccionar fugas en la recuperación de la colección de polvo *
Rodamientos de retorno	Revisar la lubricación en los cojinetes de los rodillos
Bocinas de seguridad	Probar para asegurar que funcionan correctamente antes de arrancar el transportador
Interruptores de seguridad	Los interruptores de paro de emergencia se deben probar en cooperación con la gerencia
Rodillos de alineación	Revisar la lubricación en los rodamientos y puntos de giro
LUGARES	**PROCEDIMIENTO: Cada 6 meses**
Frenos/Barreras	Probar la operación adecuada con carga completa*
Estructura del transportador	Revisar los fundamentos del asentamiento
Zona de carga	Inspeccionar el desgaste de los revestimientos de desgaste
Interruptores de seguridad	Probar la operación para la interrupción del transportador*
Dispositivos/ Señales de advertencia	Probar la operación y funcionalidad auditiva/ visual o legible*
LUGAR	**PROCEDIMIENTO: Anualmente**
Sistema eléctrico	Revisar si hay cableado expuesto, conductos dañados, sobrecarga y las bases del sistema
Bloqueos de seguridad	Probar para asegurar los bloqueos de seguridad adecuados de los transportadores*
Interruptores de seguridad	Probar el circuito de arranque del transportador con banderas
LUGAR	**PROCEDIMIENTO: Circunstancias especiales**
Empalmes	Después de un nuevo empalme: revisar si hay empalmes torcidos*

**** NOTA: Las inspecciones marcadas con un asterisco pueden requerir que la banda esté en funcionamiento.***

Nota: En todos los casos, se deben seguir las recomendaciones de inspección y mantenimiento del fabricante, incluyendo las recomendaciones de lubricación. La lista anterior cubre la mayoría de los componentes y los sistemas comunes encontrados en la mayoría de los transportadores. Los componentes y sistemas específicos o únicos para el transportador que se inspecciona deben añadirse con una frecuencia adecuada. Algunos ejemplos son: básculas, puertas de inspección, detección de rasgaduras, limpiadores de banda, arados, promotores de flujo, sacamuestras, detectores de nivel, iluminación, sistema de protección contra incendios, componentes y sistemas de control de polvo, protección de iluminación, aseo general, artículos prohibidos, etc.

Hoy, algunas plantas usan rodillos y otros componentes de rodamiento equipados con cojinetes sellados. Los cojinetes sellados no requieren lubricación y, por lo tanto, reducen el mantenimiento.

Arranque del transportador

Una banda es como un nuevo par de zapatos: debe ajustarse gradual y cuidadosamente para evitar momentos dolorosos. La atención insuficiente en el arranque del transportador (ya sea en el funcionamiento inicial de un sistema nuevo o después de un paro por mantenimiento), puede causar un daño significativo y costoso.

Típicamente, la operación del transportador no requiere de la atención de una gran cantidad de personal. Esto es generalmente uno de los motivos de venta en la selección de bandas transportadoras sobre otras formas de acarreo. Sin embargo, sería un error arrancar una banda, especialmente en un transportador nuevo o en una línea que ha recibido muchas modificaciones, sin la atención de personal adicional a lo largo de su ruta. Debe haber observadores a lo largo del recorrido de la banda donde se pueden anticipar problemas o donde serían más costosos. Estos observadores deben estar equipados con radios de dos vías o teléfonos celulares y estar cerca de los interruptores de apagado de emergencia. Una inspección cuidadosa antes del arranque debe confirmar que no hayan quedado materiales de construcción, herramientas o componentes estructurales donde puedan perforar o cortar la banda a medida que ésta empiece a moverse.

La banda debe caminar vacía, lentamente al principio y después a una velocidad normal de operación. La banda entonces debe cargarse gradualmente a su capacidad total mientras se revisan los posibles problemas.

TEMAS AVANZADOS

El costo de los paros no programados

A menudo los transportadores son la línea vital de una operación y la disponibilidad (o el tiempo de actividad) de estos sistemas tiene un impacto directo en la rentabilidad. En muchas operaciones, la producción perdida atribuida a paros en producción de un transportador deriva en una oportunidad perdida que no se puede recuperar.

Aunque es obvia la relación entre la disponibilidad de un transportador y las ganancias, las suposiciones de las relaciones entre el mantenimiento eficaz, la calidad de los componentes y el diseño fundamental del transportador no son tan obvias. Como los efectos de estas condiciones y prácticas son difíciles de identificar, a menudo no se abordan las causas raíz de los paros en producción de un transportador, llevando a transportadores con problemas crónicos. Las investigaciones publicadas por la Asociación Australiana de Carbón indican que cuando la causa raíz de paros en producción de un transportador está relacionada con la calidad de los componentes, el costo de paros en producción es de aproximadamente cinco veces el costo de reemplazar el componente. Cuando la causa raíz de paros en producción está relacionada con el diseño básico del transportador, el costo de paros en producción es de aproximadamente dos veces el costo del rediseño *(Referencia 28.2)*. Al principio estas proporciones pueden parecer incorrectas o invertidas, pero considere que una falla de los componentes a menudo incluye mantenimiento con paros en producción relativamente cortos, mientras que un error básico de diseño a menudo incluye un gran gasto de capital y un paro muy prolongado para corregirlo.

Cada situación es diferente, pero es claro que tratar el síntoma en lugar de la causa raíz genera costos repetitivos por paros en producción. Siendo que el costo de los paros en producción es de dos a cinco veces el costo de la acción correctiva, es claro que mantener registros exactos y realizar un análisis a fondo del problema puede justificar casi cualquier acción correctiva necesaria.

Al calcular el costo de paros en producción, los gastos comunes que hay que incluir son:

A. Costo de la oportunidad perdida
B. Costo de la compra de componentes de reemplazo
C. Costo de mano de obra de mantenimiento
D. Costo del subcontratista
E. Gastos de asesoría y diseño
F. Costos de pruebas y análisis

El costo de la oportunidad se puede calcular multiplicando el índice de producción por hora y número de horas de paros en producción por el precio de venta del producto. Como los

transportadores pueden transportar grandes cantidades por hora, este costo aumenta rápidamente. Por ejemplo, una mina de carbón que produce 4000 toneladas por hora, que se vende a $50 dólares estadounidenses por tonelada, pierde la oportunidad de vender $200,000 dólares estadounidenses de carbón cada hora de paros en producción no programados. Se debe añadir a ello el gasto de servicios externos, los componentes de reemplazo y el costo total de paros en producción en el costo general de ese incidente.

Usar este costo de oportunidad perdida es una buena manera de capturar los costos directos e indirectos, porque se incluyen en el costo de venta todos los costos de producción, gestión y administración, así como las ganancias. Aunque se puede discutir que el carbón que no se ha extraído de la mina se puede vender en una fecha posterior, este puede o no ser el caso, dependiendo del mercado y del contrato de la mina con el cliente. En cualquier caso, el flujo de efectivo de ese período de paros en producción se ha perdido.

ASPECTOS ECONÓMICOS DEL MANTENIMIENTO

En resumen...

El mantenimiento eficaz y efectivo reduce los costos, no sólo para el departamento de mantenimiento, sino para la operación total. El objetivo es proporcionar trabajo de calidad con una mínima interrupción a la rutina de producción. Esto brindará beneficios a la eficacia de operación, la disponibilidad del sistema y, finalmente, las finanzas.

Irónicamente, las plantas que economizan, o "escatiman" en las actividades de mantenimiento y limpieza a menudo terminan pagando más a la larga en términos ambientales y de efectivo para hacer frente al material fugitivo en su planta. La clave para minimizar estos paros en producción no programados es el mantenimiento eficaz.

Los paros en producción no programados son muy costosos. Un autor mencionó el costo de servicio como de tres a siete veces más en un paro de emergencia que durante paros en producción programados. En 2002, otra fuente calcula los costos de paros en producción en las minas de carbón de tajo largo en $30,000 dólares estadounidenses por hora. Dependiendo del tamaño de la planta, una diferencia del uno por ciento en la disponibilidad del sistema en una planta de energía a carbón puede valer de uno a dos millones de dólares estadounidenses en ingreso anual. Una interrupción o falla no programada de transportador que disminuye la disponibilidad de producción hasta la décima parte del uno por ciento es un costo significativo. Hasta el costo de la interrupción no programada más corta es prohibitivo. Obviamente, el mantenimiento para evitar los paros en producción no programados es un factor crítico en la rentabilidad total de la operación.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Mantenimiento continúa la sección de Mantenimiento de transportador. El siguiente capítulo, El factor humano, concluye esta sección sobre la relación entre el mantenimiento regular y oportuno y la reducción de derrames y polvo fugitivo.

REFERENCIAS

28.1 Sitio web de Martin Engineering: http://www.martin-eng.com

28.2 Roberts, Alan. (Noviembre de 1996). *Conveyor System Maintenance & Reliability*, ACARP Project C3018. Author is from Centre for Bulk Solids and Particulates, University of Newcastle, Australia. Publicado por el Programa de Investigación de la Asociciación Australiana de Carbón; puede comprarse en http://www.acarp.com.au/abstracts.aspx?repId=C3018

Figura 29.1

El personal que opera y gestiona un sistema de manejo de material es una clave para su éxito.

Capítulo 29

EL FACTOR HUMANO

29

Limitaciones de la maquinaria 445
Proceso para la mejora continua 446
Educación y capacitación 446
La importancia del servicio 447
Consulta con los expertos 447
Desarrollo de sociedades con los proveedores 448
Para el control total del material 450

En este capítulo…

En este capítulo, no nos enfocamos ni en la tecnología ni en la maquinaria necesaria para el manejo exitoso de materiales a granel; en lugar de ello, nos enfocamos en el factor humano: las personas que hacen la diferencia entre una operación exitosa o no exitosa. Este capítulo discute la necesidad de un compromiso con un proceso hacia la mejora continua en el control de material y en la educación y capacitación requeridas para lograrlo. Además, este capítulo analiza la importancia y los beneficios de consultar con los expertos y de desarrollar sociedades con los proveedores.

Las industrias de las economías establecidas están experimentando una tendencia en la que la fuerza de trabajo establecida está envejeciendo y su base de conocimiento y experiencia rápidamente se está agotando.

En muchos casos, esta base de conocimiento se está reemplazando con tecnología moderna como sistemas de monitoreo y control más sofisticados. Al personal de la planta que permanece se le pide que amplíe sus esfuerzos y capacidades para cubrir la falta de mano de obra.

Gran parte de este libro trata de los sistemas de maquinaria requeridos para proporcionar un control total del material, incluyendo la prevención y control de derrames y polvo. La nueva tecnología y los componentes actualizados de los sistemas existentes aumentarán la probabilidad de éxito, pero un progreso real y sostenido requiere educar a las personas responsables del desempeño general de la operación. No se puede ignorar el factor humano en la operación y mantenimiento de un sistema de manejo de material.

De muchas formas, una planta es el reflejo de la manera de pensar de su personal: del personal de alta gerencia, operaciones y mantenimiento por igual **(Figura 29.1)**. Si estos grupos ven y aceptan que la planta sea sucia, ineficaz, desagradable y poco segura, se permitirá que se haga y se quede así. En muchos sentidos, permitir que el polvo y los derrames se acumulen en el ambiente de trabajo puede crear una "fatiga" de material fugitivo. Con el tiempo, quienes trabajan en este ambiente cada día aceptan las condiciones y simplemente ya no las ven como un problema. Aun cuando se implementan algunas mejoras, los resultados se aceptan rápidamente como la norma. Sin un proceso de mejora continua, los primeros mejoramientos pronto se aceptarán como lo mejor que se puede lograr.

Para hacer mejoras verdaderamente beneficiosas y duraderas en el desempeño de los sistemas de maquinaria, es crítico que la actitud y acciones del personal de la planta de todos los niveles se transforme en un deseo de mejorar continuamente. El personal de la planta que espera estándares más altos de desempeño, que toma las acciones necesarias para lograr estos niveles y que se compromete a mantener estándares aún más altos verá mejoras en la eficacia, las condiciones de trabajo y la seguridad.

Los sistemas mejorados de maquinaria para la contención de material y el manejo de polvo descritos en este libro son pasos importantes para lograr el control total del material. Sin embargo, es el factor humano lo que dará la clave final del éxito.

LIMITACIONES DE LA MAQUINARIA

El objetivo de lograr el control total de material requiere más que nueva tecnología y maquinaria.

Muchas veces, se instalan nuevos componentes para actualizar un sistema de transportador para generar mejoras en el control de material y aumentar la eficacia de la planta. En la mayoría de los casos, estos sistemas se desempeñan según lo esperado y proporcionan beneficios perceptibles, por lo menos cuando los sistemas son nuevos. Sin embargo, la solución para controlar el material fugitivo no se detiene con las instalaciones de equipo nuevo, sin importar qué tan bien diseñado esté o qué tan costoso sea. La nueva maquinaria representa sólo el primer paso en el camino a la mejora del proceso.

PROCESO PARA LA MEJORA CONTINUA

Desarrollar un proceso de mejora continua

Mejorar el desempeño del transportador reduciendo el derrame de material y controlando el polvo en el ambiente no es sólo cuestión de la tecnología más reciente o de la pieza de maquinaria del siguiente proveedor que pase por la puerta principal de la planta. En lugar de ello, la solución está en el desarrollo de un proceso que pueda actualizar continuamente el desempeño del equipo, materiales, proveedores y personal de la planta. El proceso empieza con el compromiso de toda la planta para mejorar el manejo del material fugitivo. Éste consiste en la educación y capacitación de los gerentes y personal para comprender el valor y ver oportunidades para el control total del material. Incluye la optimización y la facultación para que los departamentos de servicio mantengan el desempeño de los componentes y mejoren la eficacia de operación de la planta en general. Consiste en el desarrollo de las relaciones con los asesores y proveedores que puedan ayudar a la planta a enfocarse en los desafíos del manejo de material. Estos pasos ayudan a desarrollar un proceso de refinamiento continuo en la búsqueda del esquivo objetivo del control total del material.

Este proceso de la mejora continua no se desarrolla de la noche a la mañana; no se puede lograr por mandato de la alta gerencia. Aunque sí requiere el respaldo de los directivos, igualmente requiere el compromiso y facultación del personal de operaciones y mantenimiento. Este proceso debe ser cuidadosamente fomentado a través de la educación y la experiencia.

Existen muchas técnicas comprobadas para el desarrollo de una cultura de mejora continua. Los nombres pueden ser familiares: Manufactura Esbelta, Sistema de Producción Toyota, Administración del Proceso Comercial, Seis Sigma y otros, actuales y futuros. Sin importar el plan específico seleccionado, el factor más importante para el éxito es el compromiso de la gerencia con esa técnica.

Compromiso con la mejora

El control de material eficaz requiere un proceso para la mejora continua en las operaciones de manejo de material. Los resultados son afectados por las condiciones cambiantes del material, la operación inadecuada del sistema y el mantenimiento mínimo o inexistente.

Los requisitos corporativos obligan a la planta a buscar continuamente oportunidades para reducir los costos y aumentar la rentabilidad, a la vez que se mantiene una operación segura y eficaz. Presionar a los proveedores preferidos para concesiones en los precios puede orillarlos a encontrar otras maneras de recuperar sus costos y cubrir los márgenes requeridos, por lo que termina costando más a la planta a la larga.

La mejora requiere un proceso completo de compromiso, empezando desde el nivel de alta gerencia y extendiéndose a nivel de las operaciones de la planta y gestión de mantenimiento hasta los operadores, equipo de mantenimiento y cualquier otra persona de la organización.

La gerencia debe reconocer y demostrar un compromiso para resolver los problemas, mientras que los empleados deben tener acceso a recursos, tiempo, herramientas y equipo requeridos para desarrollar, implementar y mantener las soluciones. Es crítico que la planta haga inversiones inteligentes en la selección de sistemas que ayuden a reducir el mantenimiento; que sean fáciles de mantener y que aumenten la confiabilidad, el desempeño y la seguridad del equipo.

EDUCACIÓN Y CAPACITACIÓN

Un aspecto clave del proceso para la mejora continua es la capacitación de personal. Los empleados deben estar completamente capacitados para comprender el objetivo y capacidades del equipo que manejarán, mientras desarrollan un nivel de comodidad y confianza en sus propias habilidades. Esta educación debe incluir cómo identificar los desafíos, cómo solucionar problemas y cómo tomar la acción correctiva ajustando el equipo para corregir y minimizar problemas.

La educación debe identificar los peligros asociados con la operación del equipo y mostrar a los operadores cómo usar el equipo de manera eficaz sin riesgo al personal o a la planta.

La educación y capacitación pueden ser proporcionadas por asesores que ofrezcan

información sobre las características de los materiales a granel y el desempeño del equipo en general. Los proveedores calificados ofrecen capacitación sobre la instalación, mantenimiento y solución de problemas de sus sistemas.

LA IMPORTANCIA DEL SERVICIO

El axioma "pague ahora o pague después" es quizá más cierto cuando se refiere a la consideración del mantenimiento del equipo del manejo de material. el viejo dicho significa que si se descuida el mantenimiento regular, aumentará la probabilidad de reemplazar el componente cuando falle, posiblemente de manera prematura.

Con el "recorte de personal" de las compañías para reducir presupuestos y la jubilación temprana de los empleados experimentados, un área que parece ser de las más afectadas es el departamento de mantenimiento. Los costos ocultos del recorte de personal pueden provenir de una gran variedad de causas como la falta de conocimiento del mantenimiento preventivo adecuado, la falta de los recursos suficientes para completar las reparaciones tempranas y los mayores ciclos de mantenimiento a medida que los empleados nuevos aprenden a manejar el equipo.

La creciente tendencia para satisfacer la necesidad de servicio al equipo es contratar a contratistas externos para que realicen hasta las tareas de mantenimiento de rutina. La subcontratación de los procedimientos de mantenimiento especializado es una manera aceptable de determinar y estabilizar los costos del servicio de rutina. Típicamente, estos especialistas de mantenimiento son expertos en un sistema en particular o en un conjunto de componentes: ofrecen mejoras en la calidad, eficacia y velocidad del servicio. Estos especialistas en servicio también pueden ayudar en la capacitación especializada requerida para mejorar las destrezas y conocimiento del personal de mantenimiento de la planta sobre procedimientos complicados y nuevas tecnologías.

Un ejemplo sería la copiadora de la oficina. Si una copiadora se descompone, la reparación requerida normalmente no es responsabilidad de la persona de mantenimiento de la planta: la acción adecuada es contactar a un técnico experto en la reparación de copiadoras. Una copiadora es un equipo complejo que representa una inversión considerable de capital. El personal de mantenimiento de la oficina no está familiarizado con las sutilezas de una copiadora y las reparaciones irían más allá de su área de especialización. No se recomienda que los usuarios de la máquina copiadora intenten arreglarla, ya que sus reparaciones usualmente empeoran las cosas.

Los sistemas de manejo de material son usualmente colecciones de piezas complejas de equipo que representan una inversión considerable de capital. El personal de mantenimiento y operación puede no estar familiarizado con las sutilezas de una maquinaria específica. El proveedor especialista debe tener el mejor acceso al conocimiento técnico y las sutilezas de los productos a los que se les está dando mantenimiento, eliminando la curva de aprendizaje y permitiendo que el proveedor de mantenimiento tenga un historial completo del equipo que pueda ser usado para predecir los intervalos y métodos de fallo. Cuando tal maquinaria del manejo de material necesite servicio o se descomponga, se debe llamar a los técnicos de reparación experimentados.

Desafortunadamente, este no es el método normal que se usa en la mayoría de las operaciones. El equipo se repara temporalmente para que la planta subsista hasta el siguiente ciclo de mantenimiento. Para cuando llega el siguiente ciclo de mantenimiento, la reparación temporal se olvida y otros problemas más inmediatos reciben la atención.

Si los proveedores del equipo ofrecen contratos de mantenimiento, se puede aprovechar este recurso por el bien de la planta.

CONSULTA CON LOS EXPERTOS

A veces las personas están tan ocupadas con las necesidades y problemas diarios que no pueden ver las oportunidades que hay frente a ellas. La tarea diaria de la operación y mantenimiento de un sistema de manejo de materiales consume su tiempo y energía, por lo que se limita su capacidad para identificar desafíos o ver los beneficios de las posibles mejoras.

Una actitud de complacencia, o "como siempre lo hemos hecho", puede vencer a los

empleados que se han acostumbrado a cierta condición, cierto procedimiento, cierto estilo o cierto nivel de desempeño.

Las encuestas muestran que los empleados dicen que sus trabajos les permiten hacer lo que hacen "mejor" sólo un tercio de las veces *(Referencia 29.1)*. Gestionar de tal manera que los empleados puedan hacer lo que "hacen mejor" la mayoría del tiempo permite y motiva a los empleados a aumentar su productividad.

Los recursos externos pueden hacer contribuciones significativas a la operación de una planta **(Figura 29.2)**. Pueden ser expertos en una industria específica, procesos específicos o piezas particulares de tecnología usadas en la industria. Estos profesionales pueden ser especialistas del manejo de material que pueden analizar los sistemas de la planta, identificar los desafíos y ofrecer recomendaciones. Ofrecen una visión más amplia de la industria y del manejo de material y son recursos valiosos para las soluciones a los desafíos asociados con el transporte y almacenamiento de materiales a granel. Pueden ofrecer un "plan de acción" con instrucciones para lograr una planta más limpia, segura y más productiva.

Figura 29.2

Los asesores pueden ayudar al personal de la planta a ver las fortalezas y debilidades del sistema de manejo de material de la operación.

Una excusa común es que las personas temen hacer mejoras porque se reducirá su seguridad en el trabajo o dará a la gerencia un motivo para reasignar una pieza clave de equipo. De hecho, lo contrario es cierto. Las compañías siempre tienen más proyectos que recursos. Si los trabajadores están abiertos al cambio y se enfocan en lo que saben hacer mejor, es más probable que esas personas sean las que la compañía elija para una nueva tarea o el siguiente proyecto. Esto mejora la seguridad de empleo. Además, si la compañía se vuelve más rentable como resultado de las contribuciones individuales, es más probable que continúe en el negocio, aumentando de nuevo la seguridad de empleo.

Con la filosofía y tecnologías mejoradas discutidas en este libro, está claro que hay "nuevas" maneras de hacer las cosas, maneras que ayudarán a las plantas a mejorar sus procesos y a trabajar más eficazmente. A menudo la planta puede usar aun el mismo equipo básico para aumentar la capacidad y resultado y tener una planta más limpia y segura sin invertir en un sistema de manejo de material completamente nuevo.

DESARROLLO DE SOCIEDADES CON LOS PROVEEDORES

Para lograr sus objetivos de mejoras del proceso en cualquier área, especialmente en el manejo de material, la planta debe aprovechar la base de conocimiento disponible con los proveedores clave calificados **(Figura 29.3)**.

Figura 29.3

Al hacer una contribución importante para el éxito de una planta, los proveedores pasan de ser vendedores a socios.

Una relación abierta con los proveedores clave puede ser una ventaja competitiva importante mientras que los ambientes de negocios cambian continuamente. Muy a menudo, el trabajo de proyecto se ha contratado para compañías de instalación y mantenimiento

no especializadas, sino generales, dejando excesos de costos y equipo que no se desempeña según las expectativas. Cuando los proveedores deben canalizar sus productos y servicios a través de unos pocos distribuidores principales para llegar a la planta, el personal de la planta se aísla de un recurso significativo en la resolución de problemas, aquellos fabricantes y compañías de servicio con experiencia en las áreas técnicas específicas.

A menudo existe un temor de que la contratación externa signifique menos trabajo para los empleados y por lo tanto se reduzca la seguridad de empleo. El servicio de los sistemas que controlan el material fugitivo es a menudo la prioridad más baja en la programación diaria de mantenimiento y casi nunca es una prioridad durante las interrupciones. Aunque los gerentes discutirán que tienen personal interno con el tiempo para realizar el trabajo, la realidad es que los empleados usualmente no están capacitados ni motivados para tomar las acciones necesarias para controlar los materiales fugitivos por la crisis del momento. Como consecuencia, el trabajo simplemente no se hace. El personal experto de mantenimiento debe enfocarse en lo que hace mejor: nunca hay escasez de trabajo central de mantenimiento que requiera conocimiento especializado del proceso de una planta y sus procedimientos de mantenimiento.

Una organización de proveedores calificados tendrá personal de ventas y recursos corporativos con experiencia y conocimiento, incluyendo expertos en aplicaciones, gerentes de industria, ingenieros de proyecto y especialistas en instalación, que pueden hacer contribuciones significativas al programa de una planta para contener los derrames y controlar el polvo fugitivo. La clave es que los proveedores sean socios de la planta.

A menudo este concepto de sociedad ha fracasado, por no reconocer la experiencia del proveedor ni la importancia del conocimiento del proveedor y la experiencia que aporta al personal de la planta.

Las relaciones prosperarán si el proveedor tiene la capacidad de superar las resistencias comunes al cambio dentro de una organización. Un problema común, pero no expresado a menudo, se conoce como el síndrome de "No se inventó aquí" (NIH por sus siglas en inglés). Esta "enfermedad" se refiere a la incapacidad de una persona o de una organización de aceptar las soluciones, equipo o ideas, que no se desarrollaron internamente. Un proveedor experimentado ayudará a encontrar maneras de permitir cambios en los procedimientos operativos estándar para que se hagan mejoras sin causar resentimientos.

Los proveedores que se esfuerzan por convertirse en parte del equipo y son capaces de adaptarse al ambiente único de cada planta tienen muchas más probabilidades de tener éxito en la edificación de una relación a largo plazo, beneficiosa para ambas partes. Los proveedores y representantes de ventas tienen que ser sensibles a estos problemas y estar preparados para hacer cambios a las primeras señales de incompatibilidad.

El control total de material requiere de una gran cantidad de especialización y atención a los detalles. Al elegir un asesor o compañía de servicio para ayudar a lograr el control total de material, se deben considerar cuidadosamente las competencias centrales del proveedor y su capacidad para cumplir con los compromisos adquiridos. La capacidad del proveedor para diseñar soluciones específicas a la situación, para fabricarlas e instalarlas y después darles mantenimiento en un sólo estándar de desempeño es una ventaja estratégica para la planta y para el proveedor.

Un socio compartirá el riesgo y la recompensa de las mejoras en el sistema. Más importante, un socio se gana el derecho a estar ahí, con energía, esfuerzo y resultados. La clave para el éxito en esta sociedad, tanto para la operación como para el proveedor, es el establecimiento de una relación a largo plazo centrada en la mejora de la eficacia y la rentabilidad. El ingrediente más esencial de este proceso es una comunicación abierta y honesta entre el proveedor y la planta dando como resultado una confianza mutua.

PARA EL CONTROL TOTAL DEL MATERIAL

En resumen...

Existen muchas nuevas y comprobadas tecnologías y soluciones actualizadas de maquinaria que se discutieron en esta edición. Van desde los chutes de flujo diseñados hasta los sistemas mejorados de limpieza de bandas, todos dirigidos al control total de material. Sin embargo, el único ingrediente clave para el éxito en la contención de los derrames y en el control de polvo son las personas, aquellas que operan y dan mantenimiento a los transportadores y al resto de la planta. Es y siempre será, "el factor humano" lo que finalmente determinará el éxito o fracaso de un sistema de manejo de material.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo, El factor humano, concluye la sección Mantenimiento del transportador, en la que discutimos varios aspectos del mantenimiento requerido para reducir los materiales fugitivos y extender la vida del sistema de transportador. El siguiente capítulo empieza la sección Visión global del manejo de materiales a granel, que empieza con el capítulo que se enfocará en la Gestión total del proyecto.

REFERENCIAS

29.1 Sullivan, Dr. John. *Increasing retention and productivity: let employees do what they do best!* Artículo #163. Disponible en línea: http://ourworld.compuserve.com/homepages/GATELY/pp15s163.htm

SECCIÓN 7

VISIÓN GLOBAL DEL MANEJO DE MATERIALES A GRANEL

• Capítulo 30 454
GESTIÓN TOTAL DEL PROYECTO

• Capítulo 31 464
MEDIDAS DE DESEMPEÑO

• Capítulo 32 484
CONSIDERACIONES PARA INDUSTRIAS ESPECÍFICAS

• Capítulo 33 504
CONSIDERACIONES PARA LOS TRANSPORTADORES DE ESPECIALIDAD

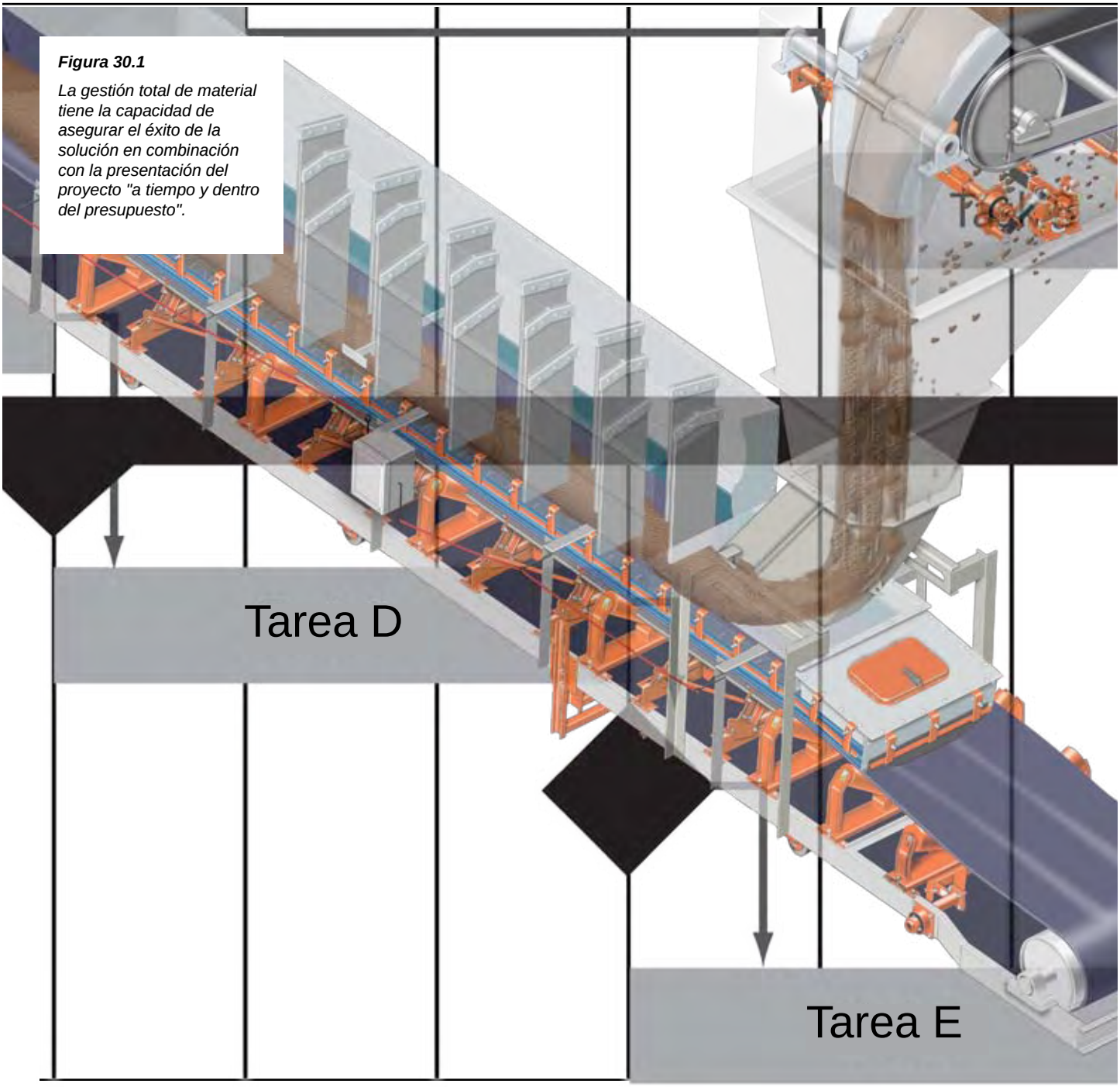


Figura 30.1

La gestión total de material tiene la capacidad de asegurar el éxito de la solución en combinación con la presentación del proyecto "a tiempo y dentro del presupuesto".

Capítulo 30

GESTIÓN TOTAL DEL PROYECTO

Qué esperar de la gestión del proyecto 455
Gerente del proyecto 455
Seguimiento del proyecto 456
Secuencia del proyecto 456
Cómo se juzga el éxito 462

30

En este capítulo…

En este capítulo nos enfocamos en la gestión del proyecto, el valor de un gerente de proyecto con experiencia y el trabajo que hace la persona que le da seguimiento al proyecto hasta su exitosa finalización. Se explican la secuencia del proyecto y las tareas principales que se deben llevar a cabo.

Entre otros beneficios, el enfoque de gestión total del proyecto tiene la capacidad de asegurar el éxito de la solución en combinación con el uso más eficaz del capital para proporcionar un resultado mutuamente benéfico tanto para el cliente como para el proveedor **(Figura 30.1)**. Este capítulo proporciona un resumen breve de cada área de la gestión del proyecto. Existe una gran cantidad de libros sobre este tema; se recomienda estudiarlo más a fondo.

QUÉ ESPERAR DE LA GESTIÓN DEL PROYECTO

Las agencias que ofrecen servicios de gestión total de proyectos ofrecen a sus clientes un servicio integral para guiar los proyectos desde su origen hasta su puesta en servicio. Esta responsabilidad de una sola fuente permite que el gerente del proyecto reúna investigación, concepto, cotizaciones, diseño, adquisición y construcción de forma que controle los riesgos del proyecto y agilice la entrega eficazmente. Con un solo contrato que administrar, la gerencia o los propietarios de la planta se benefician de las líneas de comunicación simplificadas. La integración de las funciones de diseño, adquisición y construcción dan oportunidades para una finalización rápida.

Las funciones de la gestión del proyecto funcionan sin problemas cuando la rendición de cuentas, la responsabilidad y la autoridad son tarea del gerente del proyecto. En las situaciones en que esto no es posible, es importante definir los papeles y responsabilidades al inicio del proyecto, para que las partes interesadas sepan quién tiene la responsabilidad y qué procedimientos se deben seguir para entrar en acción.

La certificación de la Organización Internacional de Normalización (ISO), que asegura un riguroso control de calidad de principio a fin de un proyecto, es una característica deseable en una compañía que ofrece servicios de gestión de proyectos. El registro ISO 9001 certifica que se aplican procesos consistentes de negocio a las funciones de diseño y fabricación. Se puede esperar más experiencia profesional si el gerente del proyecto está certificado por el Instituto de Gestión de Proyectos (PMI por sus siglas en inglés). PMI es la asociación líder mundial no lucrativa para la profesión de gestión de proyectos.

Una compañía que ofrece proyectos totalmente gestionados típicamente utiliza un sistema de gestión de calidad proactivo que da soporte y guía a todos los niveles de diseño, fabricación y construcción. Esta función opera en todas las etapas de un proyecto y sus complementos, pero no reemplazas los procedimientos existentes de diseño, revisión de diseño y revisión del proyecto.

GERENTE DEL PROYECTO

El gerente del proyecto es la persona responsable del éxito general de un proyecto. Al establecer expectativas claras y razonables para sus compañeros de trabajo, proveedores y subcontratistas, el gerente del proyecto gestiona la calendarización y presupuesto del proyecto en general para asegurar que el trabajo se asigne y complete para proporcionar una solución de calidad para las necesidades del proyecto (y los propietarios) a tiempo y dentro del presupuesto.

En términos generales, el gerente del proyecto es responsable de:

A. Definir las metas y los objetivos del proyecto
B. Dividir los objetivos en tareas
C. Especificar los recursos requeridos
D. Asignar el presupuesto entre los objetivos del proyecto
E. Desarrollar la calendarización del proyecto
F. Implementar el plan del proyecto
G. Gestionar y controlar el trabajo
H. Resolver conflictos
I. Comunicarse con autoridad

Un gerente de proyecto calificado y experimentado puede hacer la diferencia entre el éxito y el fracaso de un proyecto. Sin importar

si un trabajo es un cambio de equipo o una nueva construcción, un gerente de proyecto con experiencia en el campo de manejo de materiales a granel podrá implementar exitosamente un punto de transferencia o un proyecto de transportador desde el análisis y diseño hasta la instalación y puesta en servicio. Es probable que un gerente de proyecto experimentado tenga conocimiento de las tecnologías relevantes, como los componentes de vanguardia de los transportadores, chutes diseñados y minimización de polvo.

Además de conocimiento en el campo, un gerente de proyecto eficaz tiene habilidades de organización y liderazgo y es capaz de coordinar la comunicación con los propietarios/gerencia, proveedores y subcontratistas. El gerente del proyecto mantiene una relación con los propietarios/gerencia en asuntos cotidianos y monitorea el progreso del trabajo contra el alcance del proyecto, las expectativas de los propietarios y los paros programados u otras fechas límite. Algunas áreas importantes de conocimiento para un gerente de proyecto incluyen la gestión de tiempo, gestión de calidad, gestión de recursos humanos y gestión de riesgos. La gestión eficaz de un proyecto requiere de una persona analítica que sea organizada, tenga buenas habilidades de seguimiento, sea capaz de desempeñar múltiples tareas y sea buen estimador, administrador de presupuestos y comunicador.

SEGUIMIENTO DEL PROYECTO

A medida que el proyecto avanza en su proceso hacia la finalización, todos los pasos deben ser capturados y registrados. Se deben incluir en el seguimiento del proyecto todos los tiempos y costos conocidos y estimados. Esos costos y tiempos que se estimaron se pueden resaltar para ser verificados o ajustados cuando se obtenga información adicional. Los tiempos estimados pueden estar en forma de tiempo de acción (por ejemplo, "el acero tomará dos semanas para la entrega después de que se ordene") o puede estar en forma de mano de obra (por ejemplo, "se requerirán 40 horas para ensamblar el bastidor con dos personas"). Entonces se pueden identificar los pasos anteriores y colocarlos para generar la línea de tiempo del proyecto o un diagrama Gantt.

Una diagrama Gantt es un tipo popular de gráfica de barras que ilustra la calendarización de un proyecto. Los diagramas Gantt ilustran las fechas de inicio y finalización de los elementos terminales y los elementos resumidos de un proyecto. Las distintas subtareas se alimentan en el diagrama y se muestran las relaciones en precedencia entre las actividades. Los diagramas Gantt se pueden usar para mostrar el estatus de calendarización actual usando sombreados de los porcentajes completados y una línea vertical de "Hoy". Actualmente muchos programas de software producen diagramas Gantt.

A medida que el proyecto avanza hacia su finalización, todo lo que se ha hecho (no sólo en el sitio de trabajo, sino también durante el proyecto entero), debe ser rastreado y actualizado en el plan del proyecto o en una bitácora de actividades diarias del proyecto. Se deben organizar y archivar para su control todos los recibos de material y mano de obra, certificaciones y bitácoras de inspección. En muchos lugares, es un requisito legal mantener registros diarios de estas actividades.

SECUENCIA DEL PROYECTO

Definición del problema

Para definir un proyecto, primero se debe definir el problema. Esto se debe hacer de modo que el problema que requiera solución sea una pregunta, no una solución sugerida. Un ejemplo de esto podría ser, "necesitamos una banda transportadora". Aunque esta podría ser de hecho la solución, no define el problema o la oportunidad. Una mejor definición de este problema podría ser, "necesitamos mover nuestro material del punto A al punto B. ¿Cómo lo podemos hacer?" Con esta descripción abierta, no hay expectativas para la solución. La mejor solución aun es una opción por identificar. Esta descripción del problema debe definirse y acordarse mutuamente tanto por el cliente como por el gerente del proyecto. Al definir el problema, se abre la oportunidad de una lluvia de ideas de soluciones diferentes, en lugar de comprometerse con una solución que pudiera no ser óptima.

Plan inicial del proyecto

En este punto, se debe generar el plan inicial del proyecto. Aun si todos los detalles y datos

no están definidos o no se comprenden se debe hacer un bosquejo. Esto se puede hacer en papel; también existe una gran variedad de paquetes de software de gestión de proyectos que no sólo ayudarán a desarrollar el plan, sino que también le darán seguimiento y lo actualizarán.

La mayoría de este software permitirá la planeación y seguimiento de los cuatro aspectos principales del proyecto:

A. Cronograma
B. Mano de obra
C. Costos
D. Materiales

Tareas principales

Para iniciar con el plan del proyecto, se debe hacer una lista de las tareas requeridas del proyecto. Esto se puede hacer en el software o en una hoja de papel o una carpeta para archivo (dependiendo del tamaño del proyecto total) por cada tarea. Estas tareas incluyen:

A. Definir el alcance y las especificaciones
B. Crear un diseño conceptual
C. Definir un diseño preliminar
D. Asegurar la cotización del presupuesto
E. Finalizar las especificaciones/diseño
F. Solicitud de presupuesto (RFQ por sus siglas en inglés) y oferta final
G. Revisión de los propietarios
H. Orden de compra (PO por sus siglas en inglés)
I. Diseño de detalles
J. Fabricación
K. Instalación
L. Operación
M. Verificación de desempeño del sistema
N. Mantenimiento

Cada uno de estos encabezados (las tareas primarias del proyecto) pueden ser complementados con subtareas a medida que se encuentren más detalles. El plan del proyecto debe ser un documento enmendado y actualizado continuamente.

Una vez definidas las tareas primarias, se facilitará a quienes están involucrados visualizar el proyecto total en cuanto a las estimaciones de mano de obra y tiempo. Esto mejora la calidad de las estimaciones y de la comunicación entre los propietarios, el gerente del proyecto y los diferentes proveedores y contratistas.

Tarea 1: Definir el alcance y las especificaciones

El siguiente paso es definir la necesidad de los requerimientos del sistema como especificaciones generales (volumen, tiempo, material, distancia, limitaciones) basándose en las sugerencias del cliente y las limitaciones conocidas. Un ejemplo podría ser:

> Necesitamos transportar arena seca (menos de 2 por ciento de humedad) 1.2 kilómetros (4000 pies) con una pendiente continua de 5 por ciento. No tenemos una superficie de camino decente. La trayectoria del material debe pasar por encima de una cerca de 1.8 metros (6 pies) y cambiar de ángulo a 45 grados.

Otro problema abordado en esta fase sería la identificación de criterios indulgentes y estrictos. Los criterios estrictos incluirían elementos como cuánto, qué tan rápido, qué tan lejos. Los criterios indulgentes serían los elementos deseables u opcionales. Algunos ejemplos podrían incluir velocidades variables, altura ajustable de descarga o una selección específica de un limpiador de banda.

Tarea 2: Crear un diseño conceptual

El primer paso en cualquier diseño conceptual sería una lluvia de ideas de soluciones. La incorporación de los propietarios/gerencia de la operación al grupo de lluvia de ideas les permitiría adueñarse de la solución, tener una mejor comprensión de los problemas y una visión más positiva sobre el éxito del diseño. La lluvia de ideas significa identificar todas las posibles soluciones, sin importar si son prácticas o no. Este ejercicio asegura que se consideren todas las opciones. Todas las ideas se deben aceptar libremente y observarse para su análisis en el siguiente paso.

La definición de los parámetros de diseño es inherente a este paso. Este paso se puede beneficiar de las pruebas de material para definir un rango aceptable de parámetros de diseño.

Otro aspecto importante de la fase conceptual es identificar cualquier limitación del campo con la verificación en el sitio de los puntos de trabajo, elevaciones y obstrucciones. En caso de que intervengan las condiciones reales del campo que están más allá del rango de los parámetros de diseño, se deben considerar medidas para compensar esas condiciones. Esto puede requerir la adición de "características a prueba de fallas" que permitan un fácil mantenimiento, así como la inclusión de métodos para mitigar estas circunstancias no previstas.

El siguiente paso es enumerar los pros y los contras de cada idea. Aquí es donde se realiza el análisis crítico de cada idea. Una combinación de soluciones puede ofrecer el mejor valor: los problemas con una idea pueden ser resueltos con la inclusión de una segunda idea.

Después del análisis crítico de cada idea, el alcance y las especificaciones se concluyen en un formato determinado. El alcance identifica lo que específicamente se debe cubrir o qué equipo se debe proveer; las especificaciones son los detalles de las necesidades. El alcance debe enumerar los elementos, conceptos y especificaciones incluidas en el proyecto; también puede detallar los elementos no incluidos en el proyecto. Las opciones se pueden enumerar por separado, y el uso de un formato predeterminado facilita más el mantenerse alejado de especificaciones "grises" o imprecisas.

El sistema de transportador incluye:

A. Estructura
B. Puntos de transferencia
C. Banda
D. Limpiadores de banda
E. Instalación
F. Arranque del sistema
G. Pruebas de desempeño
H. Revisión de mantenimiento con el equipo de propietarios/gerencia
I. Transferencia del sistema
J. La preparación del sistema NO se incluye
K. El servicio eléctrico a la planta NO se incluye

Especificaciones:

A. Transportador de 1800 milímetros (72 pulg.) de ancho
B. 81 metros (265 pies) de longitud
C. 1 punto de transferencia (carga)
D. Cuchara ajustable de carga central
E. Sistema motriz
   a. 480 voltios
   b. 50 Hz
   c. 25 kW (30 hp)
F. Garantía de servicio
G. 2400 horas para el primer intervalo de servicio importante
H. 90 por ciento de tiempo "productivo" en el primer año (con contrato de servicio)

Tarea 3: Definir un diseño preliminar

Ya definidos el alcance y las especificaciones, un diseño preliminar puede identificar las necesidades del sistema para las consideraciones de costo y tiempo de acción.

Trabajando con un diseñador o un ingeniero de diseño, se hace un bosquejo del sistema identificado en la etapa de concepto. En el trabajo de transportadores, a menudo a esto se le llama Hoja de flujo de proceso **(Figura 30.2)**. Muestra los datos clave y la disposición general del transportador. Con este bosquejo y los demás documentos del proyecto, las partes o ensambles secundarios, se identifican como "hacer" o "comprar". Esta identificación debe revisarse dos veces para asegurarse de que se incluyen todos los detalles. Los elementos que se pasaron por alto en esta etapa crearán un retraso en la entrega y un aumento de costos cuando se descubra la necesidad durante la instalación o el arranque.

Tarea 4: Asegurar la cotización del presupuesto

En este punto, debe estar disponible la información requerida para hacer una cotización del presupuesto. Una cotización del presupuesto ofrece una estimación razonable del precio y de la entrega de una solución. No es un precio firme y su fin no es asegurar una orden de compra.

Tarea 5: Finalizar las especificaciones o el diseño

Después de determinar que el proyecto se va a ajustar a los parámetros del presupuesto y va a proveer el desempeño requerido, se pueden finalizar el diseño y las especificaciones del sistema.

Tarea 6: Solicitud de presupuesto (RFQ por sus siglas en inglés) y oferta final

En cada uno de los elementos resaltados como estimación del plan, el proyecto debe tener cotizaciones estrictas. Hay cuatro áreas que requieren de una acción específica para la cotización:

A. Materiales

Al buscar cotizaciones de materiales, se debe considerar el tiempo de acción, no sólo para la entrega de los materiales, sino también para las operaciones secundarias que se necesitarán para convertir la materia prima en "partes" utilizables (por ejemplo, soportes para corte, perforación y soldadura).

B. Componentes adquiridos

Es importante asegurar que se proporcionen todas las especificaciones necesarias al proveedor cuando se emita la RFQ. Si un proveedor identifica una necesidad de información adicional, se le puede decir cuándo se le dará la respuesta. Aun si no se sabe con seguridad cuándo estará disponible la información solicitada, al proveedor se le debe dar una expectativa de cuándo se le dará la respuesta. Debe haber un seguimiento con el proveedor. En este seguimiento, al proveedor se le puede dar una actualización del proceso de obtención de la respuesta a su pregunta y se le puede decir cuándo se le dará. Se debe recordar que los retrasos en la respuesta pueden generar retrasos en la capacidad del proveedor de completar la cotización.

C. Mano de obra contratada

De las cuatro áreas que requieren cotizaciones estrictas, la mano de obra contratada es la más difícil para las estimaciones o cotizaciones exactas. Cualquier proveedor potencial debe revisar el alcance, especificaciones, bosquejos y fotografías para observar cualquier excepción o revisión requerida.

D. Mano de obra directa

El gerente del proyecto deberá discutir la mano de obra directa con varios recursos de la compañía para esbozar tanto los requerimientos como la duración. El método más exacto de lograr la estimación es dividir el trabajo en tareas, estimar cada tarea y después resumir para generar el total.

Las cotizaciones y estimaciones se pueden comparar con cualquier historial existente de un trabajo semejante, para asegurar que el costo sea

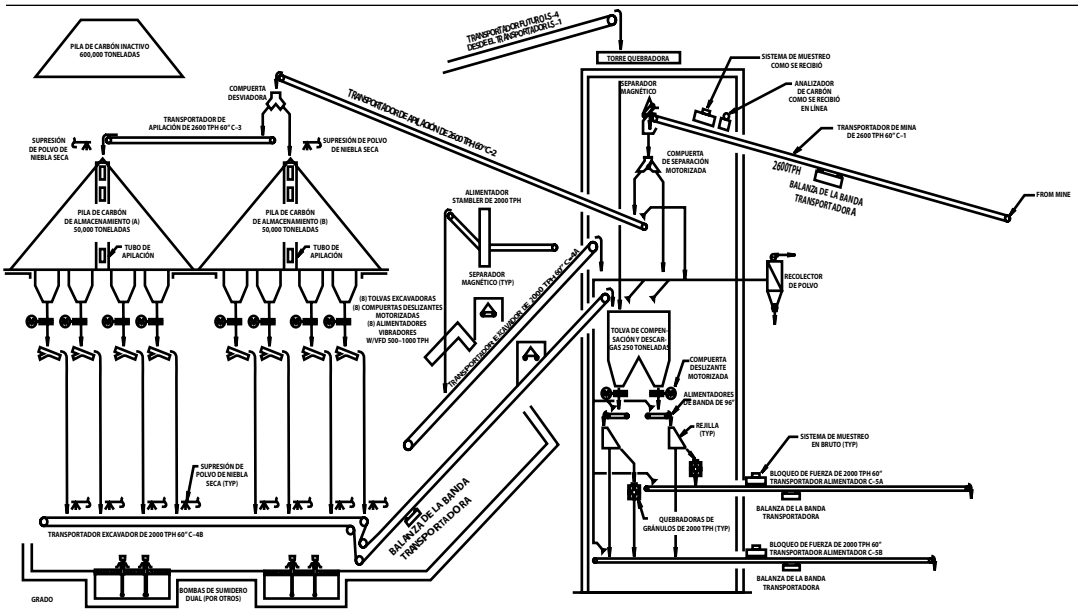


Figura 30.2

Una hoja de flujo de proceso muestra los datos clave y la disposición general del transportador.

razonable y no se haya escapado nada obvio en la consideración.

La línea de tiempo y plan del proyecto (diagrama Gantt) deben actualizarse, cuando se hayan considerado la mano de obra, tiempo, costos y flujo de efectivo, antes de que se finalice la cotización para el cliente.

La información mínima que debe ser incluida en la cotización es:

A. Alcance
B. Especificaciones
C. Etapas y puntos de revisión principales
D. Costo
E. Calendarización de pago

Si se incluye información adicional en la cotización, deben existir constancias de confidencialidad. Si se incluyen bocetos o dibujos, deben ser marcados como preliminares, según sea adecuado.

La programación de pago de la cotización debe estar vinculada con la finalización de las etapas o logros específicos del proyecto.

Tarea 7: Revisión de los propietarios

La cotización debe ser revisada a detalle por el gerente del proyecto con el propietario/gerencia del proyecto. Si es posible, esta tarea no debe ser manejada por correo electrónico, fax o teléfono, sino en persona. La comprensión de las expectativas detalladas en este punto reducirá significativamente los malentendidos en el camino hacia la finalización del proyecto.

Cualquier preparación del proyecto que va a proporcionar la planta también debe ser revisada y las condiciones de transferencia deben ser definidas. El gerente del proyecto debe verificar que los propietarios/gerencia de la planta comprendan los requerimientos así como el hecho de que cuando se emite la orden de compra (PO), la planta se compromete con el trabajo y la calendarización.

Tarea 8: Orden de compra

Una vez que la PO o requisición ha sido recibida por el gerente del proyecto y ha sido documentada, con una copia de la cotización y la PO en el mismo archivo del proyecto, se pueden hacer compromisos con los materiales y la mano de obra. No se pueden hacer compromisos en una aprobación del proyecto verbalmente. Hasta que se reciba la orden de compra real, la línea de tiempo y los compromisos para el alcance y los costos deben ser flexibles y estar sujetos a cambios. Si la PO se entrega a tiempo sin revisiones ni cambios, no son necesarias las revisiones de calendarización ni costos.

Si la PO se entrega con anterioridad, se pueden lograr ciertos aspectos antes de lo programado (por ejemplo, órdenes de materiales o compromisos con los subcontratistas para que mantengan su puesto en su calendarización), pero una entrega temprana del proyecto debe depender de una revisión cuidadosa de la cadena de suministro entera, incluyendo los compromisos de mano de obra y las condiciones de la planta.

Si la orden de compra se recibe después de la fecha especificada en la RFQ, todos los aspectos de la calendarización (incluyendo el trabajo de los proveedores, diseñadores y subcontratistas) deberán ser verificados de nuevo por el gerente del proyecto.

Tarea 9: Diseño de detalles

Cuando se entrega un proyecto al equipo de diseño, el gerente del proyecto debe asegurar que el alcance y las especificaciones se revisen a detalle con el equipo de diseño. Cada uno de estos documentos de alcance y especificación tiene su propia importancia. El alcance es para asegurar que todos los aspectos del trabajo cotizado estén planeados y cubiertos. Las especificaciones aseguran que el equipo diseñado se desempeñe según lo previsto e identificado en el contrato.

Una revisión de la calendarización es tan importante como la revisión del alcance y las especificaciones. Antes de cotizar este trabajo, el gerente del proyecto habrá recibido una línea de tiempo estimada del equipo de diseño. En este punto, el gerente del proyecto revisará este compromiso y obtendrá un compromiso renovado del gerente del equipo de diseño. Esta revisión es necesaria en cada paso del proyecto para obtener una entrega a tiempo del proyecto.

A lo largo de todo este proceso, se requieren

revisiones de diseño para lograr cuatro objetivos principales de diseño: costo, tiempo, alcance y fabricabilidad. A cada uno de ellos se le debe dar seguimiento durante el proceso de diseño. Un representante del equipo de fabricación debe participar en las revisiones de diseño.

Tarea 10: Fabricación

A medida que se finalizan los diseños de los componentes y los ensambles secundarios, se debe realizar la transferencia entre el diseño y la fabricación. Al igual que con el equipo de diseño, la calendarización, alcance y especificaciones deben ser revisados por el gerente del proyecto con todos aquellos involucrados en la manufactura de los componentes y ensambles secundarios del proyecto.

Después de que un proyecto se pone en marcha no es momento para experimentar con proveedores nuevos para la fabricación. Si es posible, el gerente del proyecto debe utilizar fabricantes que tengan antecedentes de entregar productos de calidad a tiempo y de evitar proveedores que no han sido probados o sean dudosos en el aspecto financiero. A veces, esto no se puede evitar, pero en esos casos, se requeriría la diligencia debida. Se deben revisar las referencias cuidadosamente, solicitando estadísticas de calidad y entrega a tiempo, así como una revisión de documentos, como las certificaciones del sistema de calidad ISO.

A medida que los materiales, componentes y ensambles secundarios se entregan, deben ser inventariados e inspeccionados. Se les debe informar de inmediato a los proveedores si hay desabasto o artículos desconformes y la resolución deseada, para evitar retrasos en el proyecto.

Tarea 11: Instalación

Los dos problemas más importantes de control en la instalación para una entrega de calidad y a tiempo son la flujo de efectivo y la calendarización. De hecho, si el gerente del proyecto trata con proveedores o subcontratistas en el lugar de trabajo, la flujo de efectivo es la herramienta principal para controlar la calendarización también. Al igual que el compromiso del gerente del proyecto con el cliente para la entrega, así es el compromiso del proveedor o subcontratista con el gerente del proyecto. En el desarrollo del plan de la flujo de efectivo (parte del plan del proyecto), un porcentaje considerable del pago total del proveedor debe estar reservado para la entrega exitosa de los materiales o mano de obra contratada. El pago retrasado, retenido sin razón, puede afectar la capacidad del proveedor para mantener las calendarizaciones o la calidad de entregas futuras.

Una vez que los materiales, componentes o ensambles secundarios se reciban y aprueben en el lugar del trabajo, deben organizarse por orden de instalación, almacenarse en un área controlada y protegerse. La merma de material (por vandalismo o hurto) es una inquietud en muchas plantas del mundo y puede afectar el costo del proyecto y la calendarización por el tiempo y gastos del reemplazo de materiales faltantes o dañados.

El gerente del proyecto es responsable de controlar todo el trabajo producido en las instalaciones bajo el alcance del proyecto. El gerente debe estar pendiente y controlar cuidadosamente cualquier cambio en el alcance, comúnmente llamado "deslices del alcance”. Los cambios en el alcance por cualquier motivo deben documentarse (orden de cambio) y normalmente requerirán de una revisión o adéndum al contrato para asegurar su validez. Éstos pueden deteriorar rápidamente el presupuesto del proyecto y son uno de los motivos principales de una entrega no exitosa del proyecto.

Tarea 12: Operación

En el arranque inicial de cualquier equipo se debe seguir una inspección a conciencia y un ajuste de todos los componentes y sistemas eléctricos realizada por el gerente del proyecto, quien debe revisar la lista de verificación del arranque si ésta está disponible.

Antes del arranque, el equipo en movimiento debe ser revisado visualmente para asegurar que todos los componentes estén según lo anticipado, el gerente del proyecto debe identificar y hacer cualquier ajuste necesario. Después del arranque y las pruebas iniciales, el equipo debe cargarse para revisar el desempeño, de nuevo haciendo los ajustes necesarios.

La operación del equipo debe ser demostrada a los representantes del cliente de los propietarios o la gerencia, con un recorrido de cada componente importante, su función y sus necesidades de mantenimiento. Se deben proporcionar instrucciones paso a paso para los procedimientos de arranque y ajustes.

Tarea 13: Verificación de desempeño del sistema

En conjunto con el arranque de la máquina y en un período de horas / días / o semanas, según se definió en el alcance del proyecto, se debe evaluar el desempeño del sistema para asegurar que cumpla o que exceda las expectativas del cliente medidas contra los requerimientos iniciales en la fase del alcance y especificaciones del proyecto. En las primeras fases del proyecto, cuando se define el alcance, hay problemas y expectativas. Esta fase del proyecto utilizará esos problemas y expectativas (claramente definidos) como mediciones o indicadores clave de desempeño (KPI por sus siglas en inglés) para medir el éxito de la solución e instalación.

Tarea 14: Mantenimiento

Como mínimo, se debe proporcionar una guía detallada y una revisión de los requerimientos de mantenimiento del sistema. La revisión de los requerimientos de mantenimiento se debe hacer con un mínimo de dos representantes del cliente presentes para asegurar que una vez que se transfiera el trabajo, haya un nivel de entendimiento y colaboración del trabajo necesario para que la solución continúe desempeñándose en su máxima eficacia.

Se puede obtener una posición mejorada de mantenimiento (y por lo tanto un mejor desempeño) si el proveedor de la solución también se apropia del mantenimiento del equipo por medio de un contrato de mantenimiento. A través de este concepto, se pueden fijar los costos de mantenimiento (para el usuario), la programación de mantenimiento tendrá la prioridad necesaria y se pueden minimizar los paros en producción del equipo, maximizando la productividad.

CÓMO SE JUZGA EL ÉXITO

En resumen...

Finalmente, al seleccionar una compañía para la gestión total del proyecto, se aconseja que se seleccione una que respalde su desempeño (y el desempeño de la solución propuesta e instalada del manejo de material) con una garantía de desempeño. Las mejores garantías son aquellas escritas por una compañía que tiene antecedentes de éxito; que cubre un servicio de diseño, adquisición, instalación, puesta en servicio y seguimiento; y que tiene la solidez financiera para cumplir con sus garantías.

Un proyecto sin un gerente de proyecto o con un gerente ineficaz tiene más probabilidad de encontrar costos excesivos, falla de equipo y fechas límite sin cumplir. Es también más probable que estos proyectos padezcan problemas de calidad debido a la falta de propiedad del proyecto por un gerente de proyecto capacitado y experimentado. Una gestión eficaz conduce a mejores proyectos y mejores resultados.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre Gestión total del proyecto es el primer capítulo en la sección Visión global del manejo de materiales a granel. Los siguientes tres capítulos continúan esta sección, empezando con Medidas de desempeño en el Capítulo 31, seguido de Consideraciones para industrias específicas en el Capítulo 32 y Consideraciones para los transportadores de especialidad en el Capítulo 33.

REFERENCIAS

30.1 Project Management Institute (PMI). En el sitio web de la organización se encuentra información adicional acerca de la gestión de proyectos y el programa de acreditación para gerentes de proyecto: http://www.pmi.org

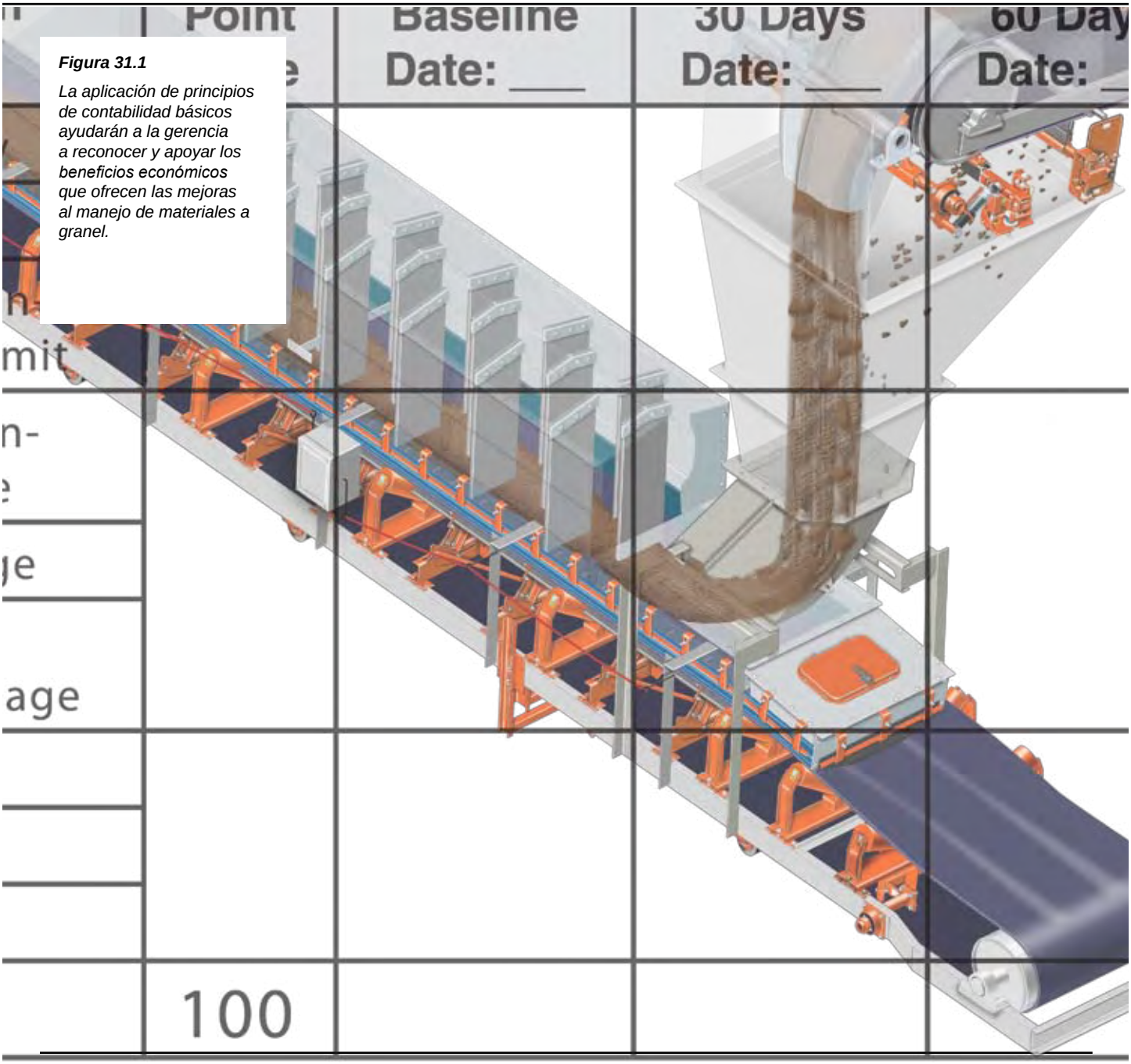


Figura 31.1

La aplicación de principios de contabilidad básicos ayudarán a la gerencia a reconocer y apoyar los beneficios económicos que ofrecen las mejoras al manejo de materiales a granel.

Capítulo 31

MEDIDAS DE DESEMPEÑO

Medición del desempeño 465
Cálculo del ROI 468
Medición de los materiales fugitivos 471
Medición de la eficacia 480
Temas avanzados 481
La recuperación económica de los cálculos del ROI 483

31

En este capítulo

Este capítulo proporciona herramientas para medir los efectos de las mejoras en seguridad, limpieza y productividad del manejo de materiales a granel en operaciones industriales. Propone medidas cualitativas y cuantitativas para evaluar los beneficios de estas mejoras. El objetivo es ayudar a un ingeniero o gerente de una operación que maneja materiales a aplicar los principios de contabilidad básicos al financiamiento y administración de sistemas que mejoran el manejo de materiales a través del control de materiales fugitivos. Estas medidas ayudarán a la gerencia a reconocer y apoyar los beneficios económicos que estas mejoras proporcionarán **(Figura 31.1)**.

MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO

La importancia de la medición del desempeño

Un indicador clave de la filosofía administrativa de una compañía es su procedimiento para evaluar el Retorno Sobre la Inversión (ROI, en inglés) de sus gastos. Según un reportaje del 2007 escrito por el Grupo Aberdeen (como se destacó en la publicación de febrero del 2007 de *The Manufacturer*), menos del 25 por ciento de las compañías estiman de manera consistente su ROI antes de decidirse por un proyecto propuesto y sólo el 20 por ciento miden los costos y las ganancias reales para calcular el ROI después de haber terminado el proyecto. Por otro lado, las empresas líderes en su clase tienen un 88 por ciento más de probabilidad de estimar el ROI antes de iniciar proyectos y un 130 por ciento más de probabilidad que sus competidores de medir el ROI después de terminar el proyecto. Las compañías líderes en su clase que calculan el ROI producen 93 por ciento más mejoras en toda una variedad de mediciones del desempeño en comparación con aquellas empresas que no realizan esta evaluación *(Referencia 31.1)*.

Medir el desempeño en el manejo de materiales a granel implica mediciones cuantitativas (un valor exacto en base a cálculos o mediciones) y cualitativas (una aproximación o valor intuitivo en base a la opinión y juicio personal). Estas mediciones de desempeño son herramientas para tomar decisiones, asignar responsabilidades y determinar la mejora. Estas mediciones deben ser parte de un proceso estratégico utilizado para evaluar el cumplimiento de las metas y los objetivos de una persona, equipo o compañía. Otro nombre común para las mediciones de desempeño es Indicadores Clave de Desempeño (KPI, en inglés). Estas mediciones de desempeño a menudo se muestran en gráficas u hojas de cálculo, de manera que se puedan reconocer fácilmente las tendencias y los progresos en comparación con la meta.

La condición y la gestión de los sistemas de manejo de materiales a granel tienen un efecto directo en todos los aspectos del desempeño de una compañía. La medición del desempeño más común con los estándares de salud y seguridad es el cumplimiento de la compañía con las regulaciones de seguridad y ambientales.

La medición de desempeño más universal es el desempeño financiero de una compañía, como se expresa en los estados de balance general y de pérdidas y ganancias.

Desempeño financiero

Una compañía debe obtener una ganancia para tener dinero y así comprar materiales, pagar salarios, pagar dividendos y reinvertir en el negocio. Las ventas (o productividad o ingresos) a menudo se confunden con ganancias, lo que conlleva a equivocaciones sobre cuánto ha ganado la compañía y lo que hace con ese dinero. Una compañía cuyo negocio principal es el manejo de materiales a granel típicamente tiene ganancias de menos del cinco por ciento después de impuestos. Es decir, los inversionistas dan su dinero por adelantado y al final de un año, habrán ganado menos de 5 dólares por cada 100 dólares que arriesgaron. Si la compañía no genera ganancias, los inversionistas pierden dinero. Una razón por la que la gente está dispuesta a invertir en operaciones de manejo de materiales a granel en vez de depositar el efectivo en el banco y recibir intereses, es el potencial de mayores ganancias si la compañía (y por lo tanto, sus sistemas de manejo de materiales a granel) tiene un desempeño óptimo.

Para evaluar el desempeño de una compañía, se necesitan el balance general y el estado de pérdidas y ganancias. Un estado de pérdidas y ganancias es una colección de los ingresos

(ventas, rentas, regalías) menos los gastos por un período de tiempo, generalmente un mes, un trimestre del año o un año completo. Un balance general es una contabilidad de los activos (lo que es propiedad de la empresa o se debe a la empresa) menos el pasivo (préstamos y facturas que la compañía debe pagar) y el capital contable (las pérdidas y ganancias acumuladas) en cierto momento, generalmente el último día del mes, el trimestre o el año.

Es común comparar los estados financieros de años anteriores con el año actual para juzgar el progreso de la compañía hacia el cumplimiento de sus metas financieras. Las metas financieras generalmente son fijadas por un consejo de directores o inversionistas. Las compañías públicas venden acciones de la compañía al público como una manera de captar dinero para el crecimiento del negocio. Las compañías privadas obtienen su financiamiento de los dueños, que usan sus propios fondos o toman dinero prestado para financiar el crecimiento del negocio más allá de lo que solo las ganancias pueden financiar.

El dinero que se usa para operar un negocio generalmente se divide en dos categorías: recursos y fondos operativos. Los fondos operativos generalmente vienen del proceso continuo de vender un producto, cobrar el dinero y pagar todas las facturas. Para permanecer en el negocio, la compañía debe vender sus productos por más dinero de lo que costó producirlos, de lo contrario pronto tendrá problemas financieros. Es importante cobrar rápidamente el dinero de las ventas, de lo contrario no habrá suficientes fondos operativos para activar el negocio. Si no hay ganancias, el negocio tendrá que pedir dinero prestado o los inversionistas tendrán que invertir más.

Los recursos se usan para compras que durarán mucho tiempo como, por ejemplo, terrenos, edificios y equipo. Los recursos vienen de las ganancias netas después de impuestos, venta de acciones o préstamos. Para tener dinero para inversiones en activo fijo, la compañía necesita acumular ganancias o pedir dinero prestado. Para pedir dinero prestado para inversiones en activo fijo, la compañía debe tener un registro de ganancias año tras año, o la tasa de interés será más alta, lo que refleja el riesgo agregado que el banco está tomando al prestar dinero a la compañía. Puesto que las inversiones en activo fijo generalmente implican grandes cantidades de dinero, la compañía debe planear a futuro y confiar que la inversión generará suficientes ganancias para pagar el dinero. Por esta razón, las inversiones en activo fijo a menudo se planean un año o más antes de realizarse.

El costo del capital total implica una combinación del valor del dinero retenido en el negocio después de los gastos e impuestos (capital social total), el valor de los préstamos existentes (deuda total), la cantidad que los inversionistas esperan ganar por su inversión (costo de capital propio) y la cantidad que la compañía debe pagar para pedir dinero prestado e invertirlo en el negocio (costo de la deuda). Muy a menudo, el costo del capital se usa como el Retorno Sobre la Inversión (ROI) mínimo requerido para un proyecto. Estas cifras varían enormemente, dependiendo de cómo se financia una compañía, pero generalmente el costo del capital es de cinco a diez puntos porcentuales más alto que la tasa de interés que cobraría un banco.

El costo del dinero usado para invertir en equipo nuevo o mejoramientos no es sólo el costo de pedir dinero prestado en el banco **(Ecuación 31.1)**. Entre más riesgosa sea la inversión, mayor será el retorno que una compañía debe generar para justificar el gasto del dinero.

El costo del capital normalmente es un costo promedio establecido para toda la compañía por el departamento de finanzas. No debe confundirse con los requerimientos corporativos para proyectos individuales que a menudo suele llamarse ROI o reembolso. El valor del ROI requerido en una compañía dada normalmente podría variar de 10 a 33 por ciento. Una inversión a largo plazo mayor como en el caso de un sistema de transportador completamente nuevo generalmente tendrá un requerimiento de ROI en el extremo inferior del rango. Las mejoras a los transportadores para hacerlos libres de polvo y derrames a menudo tienen requerimientos de ROI muy altos, quizá de más de 100 por ciento **(Ecuaciones 31.2-4)**. En otras palabras, se espera que estas inversiones se recuperen en menos de un año **(Tabla 31.1)**.

$$CC = \left(\frac{TE}{TE + TD} \cdot CE\right) + \left(\frac{TD}{TE + TD} \cdot CD \cdot (1 - T)\right)$$

Ecuación 31.1

Cálculo del costo del capital

Dado: *Una compañía vale $2,000,000 de dólares estadounidenses y tiene una deuda de $500,000 dólares estadounidenses al 8 por ciento; el capital contable esperado es de 15 por ciento y la tasa tributaria corporativa es de 35 por ciento.* ***Calcular:*** *El costo del capital total.*

CC	Costo del capital	porcentaje
TE	Capital social total	2000000
TD	Deuda total	500000
CE	Costo de capital propio	.15 (15%)
CD	Costo de la deuda	.08 (8%)
T	Tasa tributaria corporativa	.35 (35%)

$$CC = \left(\frac{2000000}{2000000 + 500000} \cdot 0.15\right) + \left(\frac{500000}{2000000 + 500000} \cdot 0.08 \cdot (1 - 0.35)\right) = 0.13$$

CC	Costo del capital	0.13 (13%)

$$ROI = \frac{TPS}{TPC}$$

Ecuación 31.2

Cálculo del retorno sobre la inversión

Dado: *Un proyecto ahorrará $10,000 dólares estadounidenses y costará $25,000 dólares estadounidenses.* ***Calcular:*** *El retorno sobre la inversión.*

ROI	Retorno sobre la inversión	porcentaje
TPS	Ahorro del proyecto total	10000
TPC	Costos del proyecto total	25000

$$ROI = \frac{10000}{25000} = 0.4$$

ROI	Retorno sobre la inversión	0.4 (40%)

$$ROI(años) = \frac{1}{ROI}$$

Ecuación 31.3

Cálculo del retorno sobre la inversión en años

Dado: *Un proyecto tiene un retorno sobre la inversión de 40 por ciento (0.4).* ***Calcular:*** *Los años necesarios para regresar la inversión.*

ROI(años)	Retorno sobre la inversión en años	años
ROI	Retorno sobre la inversión en porcentaje (como decimal)	0.4

$$ROI(años) = \frac{1}{0.4} = 2.5$$

ROI(años)	Retorno sobre la inversión en años	2.5 años

$$ROI(meses) = \frac{12}{ROI}$$

Ecuación 31.4

Cálculo del retorno sobre la inversión en meses

Dado: *Un proyecto tiene un retorno sobre la inversión de 40 por ciento (0.4).* ***Calcular:*** *Los meses necesarios para recuperar la inversión.*

ROI(meses)	Retorno sobre la inversión en meses	meses
ROI	Retorno sobre la inversión en porcentaje (como decimal)	0.4

$$ROI(meses) = \frac{12}{0.4} = 30$$

ROI(meses)	Retorno sobre la inversión en meses	30 meses

Tabla 31.1

Conversiones del retorno sobre la inversión

ROI	Reembolso en años	Reembolso en meses
10%	10.0	120.0
20%	5.0	60.0
30%	3.3	40.0
40%	2.5	30.0
50%	2.0	24.0
60%	1.7	20.0
70%	1.4	17.1
80%	1.3	15.0
90%	1.1	13.3
100%	1.0	12.0

CÁLCULO DEL ROI

Datos necesarios para calcular el ROI de un proyecto

Es difícil justificar un proyecto o comprobar que tiene un ROI aceptable si no se han registrado los costos de la operación del sistema. Hay docenas de parámetros que podrían medirse para justificar un proyecto; sin embargo, no es necesario reunir todas las cifras de costos y producción. Pueden usarse los datos de una lista de datos común para justificar los proyectos para el control de polvo y derrames en los sistemas de transportadores **(Tabla 31.2)**.

Tener estas cifras como números concretos, los gastos reales y las oportunidades perdidas, proporciona la munición necesaria para justificar los proyectos de mejora. Los registros exactos y oportunos son esenciales para verificar el desempeño y justificar los gastos. Si

Tabla 31.2

Datos usados en los cálculos del retorno sobre la inversión

Datos	Unidades
Administrativo/operativo	
Costo de cumplimiento: documentación de registros y reportes	divisa
Aumentan las primas del seguro médico y responsabilidad civil	divisa
Reducción en la vida útil del equipo	divisa
Multas de seguridad/ambientales	divisa
Costos legales	divisa
Costos de energía	divisa
Costos de la eliminación de desecho	divisa
Producción	
Rendimiento: por hora, día, semana o mes	toneladas (tc)
Tiempo de producción	horas
Costo por tonelada de material a granel	divisa/tonelada (tc)
Costo de paros en producción	divisa/hora
Limpieza manual (1 tonelada por hora es el promedio)	costo de mano de obra/hora
Máquina de limpieza (5 toneladas por hora es el promedio)	costo de mano de obra y máquina/hora
Pérdida de producción debido a polvo y derrames	La tasa de producción de 0.5 a 3 por ciento es típica
Seguridad *(Referencia 31.2)*	
Costo de incidente registrable	divisa
Costo de incidente con tiempo perdido	divisa
Mantenimiento	
Instalación nueva: *costo estimado de la mano de obra y materiales*	divisa
Ajuste: *costo de mano de obra estimado por ajuste*	divisa
Partes de repuesto: *costo de las partes y mano de obra*	divisa
Desgaste del equipo: *costo de la banda y materiales resistentes al desgaste*	divisa

no se lleva un registro, todo lo que queda son argumentos sin hechos que los respalden, lo que muy a menudo genera oportunidades perdidas y desempeños inferiores al promedio.

Usar el ROI para justificar el equipo

Cada planta tiene diferentes prioridades y expectativas acerca del tratamiento de su sistema de manejo de materiales a granel. Mientras que una planta puede tratar con un material seco y de flujo libre, una segunda operación puede tratar con un material húmedo y pegajoso y una tercera planta puede tratar con un material peligroso que puede exponer a los trabajadores a riesgos de salud y a la compañía a violaciones ambientales, multas, indemnización a la comunidad y costos médicos considerables. Al igual que las plantas manejan diferentes tipos de material, también tienen diferentes prácticas de contabilidad, estilos de administración y procedimientos de mantenimiento. El proceso para determinar cuánto invertir en qué sistema puede variar significativamente de compañía a compañía.

No obstante, con registros de datos exactos, hay métodos racionales para la consideración de proyectos que mejoran el manejo de materiales a granel a través del control de polvo, derrames y material adherido. A continuación se presenta un ejemplo de cómo determinar cuánta inversión en los sistemas de limpieza de banda es lógica económicamente.

Un cálculo simple: evaluar el ROI de los limpiadores de banda

El éxito de una operación para eliminar el material adherido puede clasificarse en "niveles" arbitrarios. Lograr estos niveles sería determinado por una medición de la cantidad de material adherido que aún permanece en un área predeterminada (generalmente un metro cuadrado) de banda. Para los propósitos de esta discusión, la base del material adherido restante en la banda (o limpieza de "nivel 0") sería más de 250 gramos de material por metro cuadrado.

La limpieza de nivel I se definiría como aceptar de 101 a 250 gramos de material adherido por metro cuadrado que aún permanece en la banda. Un sistema de limpieza de banda típico que pudiera lograr una limpieza de nivel I sería un limpiador primario individual o un limpiador secundario estilo lámina.

Una limpieza de nivel II se define como dejar de 11 a 100 gramos de material adherido por metro cuadrado de banda. Un sistema de limpieza típico para lograr este nivel de material adherido sería un sistema de limpieza diseñado doble o triple formado por un prelimpiador con un limpiador secundario y algunas veces hasta un limpiador terciario.

La limpieza de nivel III se define como dejar niveles de material adherido entre 0 a 10 gramos por metro cuadrado. Un sistema de limpieza que puede alcanzar este nivel de desempeño en circunstancias típicas sería un sistema de lavado de banda que implica una o varias barras rociadoras de agua, conjuntos de limpieza múltiples y un método para eliminar el exceso de humedad en la banda. Estos sistemas más complicados o sofisticados logran mejorar el desempeño de la limpieza; además, son más costosos de comprar y mantener.

A medida que la compañía aumenta sus gastos en los limpiadores de banda, disminuirán sus costos para limpiar el material fugitivo (el material adherido liberado de la banda). La relación entre la compra (y el mantenimiento) de sistemas de limpieza y los costos para la limpieza requerida puede trazarse en una gráfica **(Figura 31.2)**. En algún punto, el costo de los limpiadores adicionales superará los ahorros logrados al reducir el gasto de la limpieza. El punto de equilibrio se ubicará en el punto donde la curva del costo de limpieza se cruza con la curva de la inversión en el sistema de limpieza de banda y el costo del mantenimiento.

El punto de beneficio económico óptimo en este ejemplo está en el desempeño de limpieza de nivel II o cerca de este nivel. Cada vez que disminuye el nivel deseado de material adherido (o aumenta la eficacia de la limpieza), se afectarán dos costos relacionados: aumenta el costo de la inversión, mientras que disminuye el costo de la limpieza del material adherido. A medida que la compañía aumenta sus gastos en limpiadores de banda, deben disminuir sus costos de limpieza. El material adherido puede suprimirse a casi cero, pero la inversión en un sistema de limpieza de banda para lograr esto puede ser mayor de lo que puede justificarse debido al costo total de la instalación, mantenimiento y operación del sistema. En algún punto, el costo invertido en limpiadores de banda adicionales es mayor que los ahorros

que resulten de la reducción en el gasto de la limpieza del material adherido. Por lo tanto, puede ser una mala decisión, en base a sólo este cálculo de ROI, agregar limpiadores de banda adicionales más allá de ese punto.

Puede haber un costo similar en comparación con el análisis de beneficios realizado para el mantenimiento y ajuste de los sistemas de limpieza de banda. El desempeño de limpieza será mejor cada vez que las hojas limpiadoras se limpian y vuelven a tensionarse contra la banda; sin embargo, en algún punto a lo largo de la línea, el costo de la mano de obra será mayor que el valor del desempeño mejorado. Como ejemplo, el beneficio de la inspección semanal y los ajustes de los sistemas de limpieza pueden recuperarse, en tanto que el costo de la mano de obra por el ajuste en cada turno o cada programa diario puede no hacerlo.

Por supuesto, esta es una evaluación completamente económica del beneficio de las mejoras a los sistemas de limpieza de banda. No incluye ninguna de las variables por los problemas de salud, seguridad y relaciones con la comunidad. No hay una respuesta universal a estas preguntas: el equilibrio entre la salud y la seguridad, los costos de mantenimiento y el retorno sobre la inversión deben evaluarse y optimizarse para cada planta.

ROI en mejoras relacionadas con la seguridad

A menudo se piensa que los accidentes son moretones, cortadas y fracturas de huesos, pero los efectos sobre la salud a una exposición de largo plazo al polvo y derrames pueden ser aún más significativos. En una fuerza laboral mundial de 2 mil 800 millones de trabajadores, se estima que hay 270 millones de accidentes con tiempo perdido y 2.2 millones de accidentes letales relacionados con el trabajo en un año. Las enfermedades ocupacionales suman otros 160 millones de incapacidades a largo plazo. Se ha estimado que el 95 por ciento de estos accidentes y enfermedades ocurren en economías en vías de desarrollo *(Referencia 31.3)*.

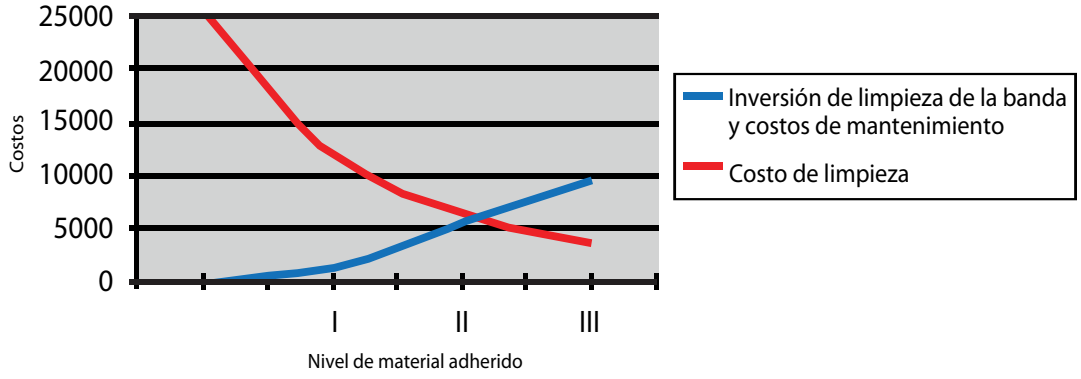
Excluyendo los daños a la propiedad, el costo promedio de todos los accidentes con tiempo perdido en el lugar de trabajo y enfermedades ocupacionales en las economías de mercado establecidas es de aproximadamente $35,000 dólares estadounidenses por incidente. En economías en vías de desarrollo, el costo promedio por accidente con tiempo perdido es de aproximadamente $4,700 dólares estadounidenses. El costo en las economías de mercado establecidas por accidente letal está bien documentado en aproximadamente $1 millón de dólares estadounidenses. No hay estimaciones confiables del costo de una fatalidad en el lugar de trabajo en los mercados en vías de desarrollo, pero si se mantiene la proporción entre los accidentes con tiempo perdido entre las economías establecidas y en vías de desarrollo, un accidente letal en una economía en vías de desarrollo podría costar $132,500 dólares estadounidenses.

Estos valores representan los costos directos e indirectos totales estimados a la compañía. Estos valores, junto con los costos por los daños ambientales y a la propiedad, pueden usarse en los cálculos del ROI de una compañía para ayudar a justificar las mejoras a las condiciones de seguridad y laborales relacionadas con el control de material fugitivo.

Sin embargo, no representan el costo para los trabajadores y sus familias, el cual a menudo es de dos o tres veces mayor en salarios caídos, costos sin reembolsar e inhabilidad de regresar al mismo nivel de trabajo. Puede

Figura 31.2

Costos típicos y parámetros de producción relacionados con los proyectos para el control de polvo y derrames en comparación con el costo de limpieza.



31

ser fácil racionalizar el bajo costo de un accidente a una compañía en un país en vías de desarrollo en comparación con el costo en países desarrollados. No obstante, eso ignora el costo del sufrimiento humano y el hecho de que cualquier compañía puede beneficiarse siendo más productiva que sus competidores locales.

Algunos han debatido que para los países en vías de desarrollo no es rentable tener la salud y seguridad como prioridades y que las naciones en vías de desarrollo deben hacer lo posible para generar ingresos que las vuelvan económicamente viables o competitivas. Eso coloca a la seguridad en segundo plano y sólo se considera después de que el país se vuelve competitivo en el mercado.

No obstante, los datos muestran algo diferente: en el 2003, la Organización Internacional del Trabajo (ILO, en inglés) de Ginebra reportó una investigación sugiriendo que los países con trabajo más seguro también tienen las mejores clasificaciones de competitividad. Observando que los países más competitivos también son los más seguros, un reporte del 2005 *Trabajo decente - Trabajo seguro* del Congreso Mundial sobre Seguridad y Salud en el Trabajo indica que "no existe evidencia de que algún país se haya beneficiado de bajos niveles de higiene y seguridad". El reporte continúa: "seleccionar una estrategia de seguridad baja puede no llevar a una alta competitividad o sostenibilidad" *(Referencia 31.3)*.

El reporte de la ILO llamado *La seguridad en cifras: consejos para una cultura de seguridad global* ofrece una lista de varias repercusiones que tienen en los resultados financieros de una compañía la mala higiene y seguridad *(Referencia 31.2)*. Estos impactos incluyen:

A. Mayor ausentismo y más paros en producción, lo que lleva a una pérdida de producción
B. Subutilización de plantas de producción costosas y una disminución posible en economías de escala
C. Bajo estado de ánimo que conlleva a una pérdida de productividad
D. Pérdida de empleados calificados y experimentados así como también la pérdida de la inversión de la compañía en su capacitación
E. Dificultad para reclutar empleados de alta calidad
F. Pago de indemnización y/o daños a los trabajadores lesionados o enfermos o a dependientes de los trabajadores que murieron en un accidente

Además, la compañía sufraga:

A. Costos legales asociados
B. Pago de bonificaciones por peligros
C. Mayores primas de seguros
D. Daños materiales al equipo e instalaciones debido a incidentes y accidentes
E. Multas
F. Disputas con sindicatos, autoridades públicas y/o residentes locales
G. Pérdida de imagen
H. Reducción de ventas

En algunos casos, el costo será la pérdida completa o parcial de la "licencia para operar" de la compañía.

En cuanto a ser competitivo, todas las compañías pueden beneficiarse de ser más productivas que sus competidores locales. Operar de manera segura es una parte esencial de ser competitivo.

MEDICIÓN DE LOS MATERIALES FUGITIVOS

Cuantitativa y cualitativa

Sin la información cualitativa y cuantitativa, la discusión sobre la eficacia de los esfuerzos para controlar el material fugitivo se convierte en un debate inútil en base a las opiniones en vez de los hechos. Las mediciones cuantitativas de la cantidad de material fugitivo colectado proporcionan una fuerte evidencia de la naturaleza de los problemas específicos en una operación. Estas son evaluaciones que capturan la cantidad real de materiales perdidos a través de pruebas al sistema realizadas antes y después de instalar los proyectos de mejora.

Los tipos de material fugitivo observados en una operación de manejo de materiales a granel a menudo pueden determinarse por el tamaño de

las partículas en el material a granel y la figura de la pila de material. El polvo está formado de partículas muy pequeñas que tienden a soltarse en el ambiente y acumularse cubriendo un área. El derrame generalmente es granular por naturaleza, representa el tamaño de partícula promedio del material a granel que se está transportando y se acumula en pilas cónicas con una inclinación igual al ángulo de reposo del material a granel. En algunos casos, el orificio a través del cual se fuga el derrame actúa como una criba y la pila de material derramado será de un tamaño uniforme. En otros casos, el proceso crea una separación de tamaños de partículas a través del flujo de aire o degradación.

Aunque medir el derrame es relativamente simple, determinar la fuente del material fugitivo a menudo necesita un poco de trabajo de investigación. Es importante mirar hacia arriba cuando se busca la fuente de un derrame e intentar deducir el lugar donde se pudo originar el material. Si no hay una fuente obvia, puede ser que el derrame haya sido provocado por un problema operativo como, por ejemplo, una obstrucción en el chute, el desalineamiento de la banda, una banda sobrecargada o un problema de mantenimiento como, por ejemplo, un indicador defectuoso.

Además de la información cuantitativa, puede haber ocasiones en que las mediciones por sí solas no transmiten la naturaleza del problema o denotan la cantidad de mejora requerida o lograda. En estos casos, existe la oportunidad de usar estándares más cualitativos. No obstante, para ser eficaces y valiosos, estos estándares deben definirse por adelantado y someterse a un sistema de puntuación bien intencionado y versátil.

La escala de materiales fugitivos

Es la naturaleza humana olvidar cuáles eran las condiciones anteriores y cambiar inconscientemente la definición de lo que es aceptable. Una escala de materiales fugitivos es un sistema de evaluación que usa valores de puntos predeterminados y fotografías comparativas de una operación o instalación específica como el estándar de evaluación. Una escala establece un índice que asigna valores al desempeño de un sistema para el control de materiales fugitivos. Requiere de la asignación de puntuación al control de polvo, derrames y material adherido de un sistema dado, usando un sistema de puntuación específico a la operación y preestablecido. Usando estas puntuaciones, una operación puede evaluar el desempeño de su equipo (y sus proveedores) para lograr controlar los materiales fugitivos.

Una escala, cuando se combina con datos cuantitativos colectados de las tasas de producción, los costos de mantenimiento y la seguridad del trabajador, puede usarse para preparar una evaluación completa de los esfuerzos de la gerencia hacia una mejora continua del proceso.

Sistema de puntuación

El sistema de puntuación se basa en la comparación de una inspección visual con rangos de condiciones divididas en categorías e ilustradas con fotografías relevantes. A cada categoría se le asigna una puntuación numérica ponderada. La gerencia establece la ponderación para poder concentrar los esfuerzos en un problema específico. El total de todas las puntuaciones numéricas ofrece una clasificación general, mientras que una lista de las puntuaciones de categorías proporciona un medio de dividir el problema en fuentes controlables de materiales fugitivos.

Cada operación de manejo de materiales debe establecer su propio sistema de puntos, en base a lo que es aceptable y el uso de fotos reales de la planta para la puntuación del desempeño del sistema.

Definición de la escala de Swinderman

La escala Swinderman de materiales fugitivos que se muestra a continuación es un intento de desarrollar un sistema de puntuación.

Se pretende que el material presentado sea como una muestra o demostración de esta escala. Cada operación desarrolla su propia escala de puntuación para adecuarse a su situación específica y usa esa escala con el tiempo para medir la mejora del desempeño.

La escala puede revisarse periódicamente, quizá anualmente, con aumentos a los requerimientos para apoyar la mejora continua a medida que mejora la limpieza de la planta. El sistema de puntuación y los objetivos no deben cambiarse muy a menudo, pues así se perderá el progreso.

A continuación se presenta una definición de este sistema.

Polvo

Definición: partículas de material fugitivo lo suficientemente pequeñas para ser transportadas en el ambiente, generalmente miden menos de 10 micrones de diámetro. El polvo generalmente se distribuye uniformemente en toda un área. El polvo puede ser emitido por cualquier fuente del proceso.

Nivel D1: extremadamente polvoso ____ puntos
(Figura 31.3)

- Más de 10 miligramos de polvo por metro cúbico
- Opacidad mayor al 30 por ciento
- Visibilidad de menos de 15 metros (50 pies) a través del polvo
- Imposible respirar sin un respirador
- Ojos irritados y constantemente lacrimosos

Nivel D2: polvoso ____ puntos
(Figura 31.4)

- 1.2 a 10 miligramos de polvo por metro cúbico
- Opacidad de 11 a 30 por ciento
- Visibilidad de menos de 50 metros (150 pies) a través del polvo
- Posible irritación de boca y/o nariz con alguna dificultad menor para respirar

Nivel D3: libre de polvo ____ puntos
(Figura 31.5)

- Menos de 1.2 miligramos de polvo por metro cúbico
- Opacidad de 0 al 10 por ciento
- Visibilidad de más de 100 metros (300 pies) a través del polvo

Figura 31.3

Clasificación D1—Extremadamente polvoso

Figura 31.4

Clasificación D2—Polvoso

Figura 31.5

Clasificación D3—Libre de polvo

Figura 31.6

Clasificación S1—Derrame extremo

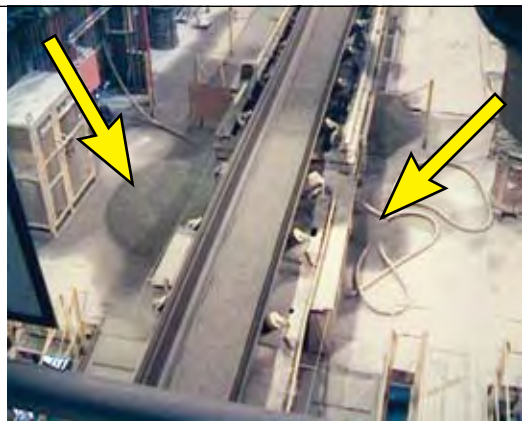


Figura 31.7

Clasificación S2—Derrames frecuentes

Figura 31.8

Clasificación S3—Libre de derrames

Derrame

Definición: material que se escapa del equipo del proceso o una banda transportadora en lugares indeseados. El derrame es generalmente granular por naturaleza y típico de la distribución de tamaño de material a granel. El derrame normalmente se acumula cerca y/o abajo de la fuente de la fuga.

Nivel S1: derrame extremo ____ puntos
(Figura 31.6)

- Lluvia constante de material desde las fugas en los chutes y el equipo de proceso resultando en pasillos y equipo que quedan sepultados por esa lluvia.
- Acumulaciones semanales de más de 2 toneladas de material fugitivo
- Dificultad para caminar a lo largo del equipo o por pasillos del transportador
- Las partículas se alojan en los ojos, orejas y nariz
- Requiere de una limpieza manual constante para mantener la producción

Nivel S2: derrame frecuente ____ puntos
(Figura 31.7)

- Capas de derrame sin ninguna fuente aparente o errores de operaciones repetidos
- Acumulaciones semanales de hasta 2 toneladas de material fugitivo
- Alguna dificultad para caminar por los pasillos y a través de las acumulaciones.
- Requiere una limpieza manual cada 1 a 2 semanas

Nivel S3: libre de derrame ____ puntos
(Figura 31.8)

- El derrame que es el resultado de una alteración ocasional del proceso o un mantenimiento retardado intencionalmente.
- Caracterizado por la ausencia de terrones o gránulos de material acumulado
- Requiere de limpieza manual ocasional

Material adherido

Definición: el material fugitivo que se adhiere a la banda después de que ésta ha descargado su carga. Caracterizado por pilas de material fino y húmedo u hojuelas secas abajo de los rodillos de retorno y ajuste de gravedad; acumulación de material en las poleas deflectoras y otros componentes. El material adherido es una posible fuente de polvo.

Nivel C1: sucio ____ puntos
(Figura 31.9)

- 101 a 250 gramos por metro cuadrado de material adherido en la superficie de la banda (limpieza de nivel I) (para referencia: 1.0 g/m^2 = 0.003 oz/pie^2.)
- Caracterizado por una capa de material de 0.5 a 1 milímetro (0.02 a 0.04 pulgadas) de grosor en la banda.
- El material se acumula abajo de los rodillos
- Requiere de limpieza al menos una vez a la semana
- Adecuado para operaciones de explotación a tajo abierto donde se usa la limpieza mecanizada.
- Puede solucionarse con un sistema de limpiadores de banda individuales o dobles.

Nivel C2: limpio ____ puntos
(Figura 31.10)

- 11 a 100 gramos por metro cuadrado de material adherido en la superficie de la banda (limpieza de nivel II)
- Se observa como una película o rayas de material adherido en la banda que decoloran levemente la superficie
- Pequeña cantidad de acumulación abajo de los rodillos de retorno, puede ser en la forma de hojuelas
- Requiere una limpieza manual 2 a 4 veces al mes
- Adecuado para la mayoría de las aplicaciones de transporte de materiales a granel.
- Puede solucionarse con un sistema de limpiadores de banda individuales o dobles

Nivel C3: muy limpio ____ puntos
(Figura 31.11)

- 0 a 10 gramos por metro cuadrado de material adherido en la superficie de la banda (limpieza de nivel III)
- Caracterizado por una banda en su mayor parte levemente húmeda con pocas rayas o sin rayas de material adherido
- Requiere de limpieza manual menos de una vez al mes
- Generalmente requiere del uso de rociadores de agua y una caja de lavado para lograr este nivel de manera consistente

Figura 31.9
Clasificación C1—Sucio

Figura 31.10
Clasificación C2—Limpio

Figura 31.11
Clasificación C3—Muy limpio

La planta debe determinar los máximos puntos posibles para cualquier categoría dada después de revisar sus metas para el control de material fugitivo e ingresar los valores de puntos en el formato **(Tabla 31.3)**.

Muestra del procedimiento de la escala de Swinderman: Happy Company

Procedimiento

La meta es reducir la cantidad de limpieza requerida y cumplir con el requerimiento legal del polvo. La gerencia selecciona un área para el monitoreo del desempeño. La gerencia y el proveedor de servicio se reúnen para acordar la ponderación de los tres elementos: polvo, derrame y material adherido **(Tabla 31.4)**.

En este ejemplo, los supervisores de producción y mantenimiento en Happy Company se reúnen para desarrollar las definiciones y los niveles de desempeño de su operación en base a los problemas y los resultados deseados de su operación. Una vez al mes recorren el área en equipo y califican las condiciones ambientales para asignar las puntuaciones que reflejan el desempeño del sistema de manejo de materiales. En el sistema de puntuación de muestra, el material adherido tiene una gran ponderación, con valor de hasta 60 puntos para una operación limpia. Por lo tanto, las mejoras en el control del material adherido aparecerán como la mayor mejora en la puntuación general.

Inspección inicial

La gerencia y un proveedor de servicio recorren el área y toman fotos representativas que proporcionan una escala de comparación visual desde aceptable a no aceptable. Se establece una clasificación básica y se implementa un plan para la mejora. En la inspección realizada anteriormente a cualquiera de las mejoras del sistema, las operaciones de manejo de material de Happy Company tuvieron una puntuación de 15 **(Tabla 31.5)**. Esta puntuación refleja una planta cubierta de polvo con problemas significativos de derrames y material adherido.

Inspección de 30 días

Después de 30 días, Happy Company ha mejorado el desempeño con una puntuación de 45 **(Tabla 31.6)**. La instalación de los sistemas de limpieza de banda mejoraron el desempeño de limpieza, aumentando la clasificación del material adherido de sucio a limpio. La planta aún está evaluada como polvosa con derrame extremo.

Inspección de 60 días

Después de 60 días, Happy Company ha mejorado el desempeño con una puntuación de 60 **(Tabla 31.7)**. Las mejoras a los sistemas de manejo de materiales han mejorado el nivel de derrames de derrame extremo a derrame frecuente. El polvo y el material adherido continúan en la misma clasficación que la inspección anterior.

Inspección de 90 días

Después de 90 días, Happy Company ha mejorado el desempeño a una puntuación de 70 **(Tabla 31.8)**. El polvo y el derrame prácticamente se han eliminado y el material adherido se ha reducido a niveles aceptables con la instalación de sistemas de limpieza múltiples.

Resultados de Happy Company

Al comparar la puntuación básica con los resultados provisionales, el análisis puede deducir que primero se abordó el problema del material adherido, luego el derrame y por último el polvo. Al observar la puntuación final, parece que la meta original se cumplió pero aún es posible realizar más mejoras. Se toman fotos que documentan el nuevo nivel de desempeño y se entregan con los estándares originales como prueba del desempeño.

Tabla 31.3

Formato de puntuación para la escala Swinderman						
Sistema de ponderación para calificar el área _____ sobre las emisiones de material fugitivo						
Nivel	**Descripción**	**Clasificación**				
		Escala puntos	**Nivel inicial Fecha: ___**	**30 días Fecha: ___**	**60 días Fecha: ___**	**90 días Fecha: ___**
D1	Extremadamente polvoso					
D2	Polvoso					
D3	Libre de polvo y bajo el límite regulatorio					
S1	Derrame extremo y continuo					
S2	Derrame frecuente					
S3	Libre de derrames o derrames ocasionales					
C1	Sucio					
C2	Limpio					
C3	Muy limpio					
	PUNTUACIÓN TOTAL	100				

Entre mayor sea la puntuación mejor será el desempeño. Máxima puntuación posible = 100; mínima = 0

Tabla 31.4

Formato de puntuación de la escala de Swinderman (con ponderación de la gerencia)						
Sistema de ponderación para calificar el área _____Disparador 1____ sobre las emisiones de material fugitivo						
Nivel	**Descripción**	**Clasificación**				
		Escala puntos	**Nivel inicial Fecha: 23/05**	**30 días Fecha: 23/06**	**60 días Fecha: 23/07**	**90 días Fecha: 23/08**
D1	Extremadamente polvoso	20				
D2	Polvoso					
D3	Libre de polvo y bajo el límite regulatorio					
S1	Derrame extremo y continuo	20				
S2	Derrame frecuente					
S3	Libre de derrames o derrames ocasionales					
C1	Sucio	60				
C2	Limpio					
C3	Muy limpio					
	PUNTUACIÓN TOTAL	100				

Entre mayor sea la puntuación mejor será el desempeño. Máxima puntuación posible = 100; mínima = 0

Tabla 31.5

Inspección inicial

Sistema de ponderación para calificar el área Disparador 1 sobre las emisiones de material fugitivo

Nivel	Descripción	Clasificación				
		Escala puntos	Nivel inicial Fecha: 23/05	30 días Fecha: 23/06	60 días Fecha: 23/07	90 días Fecha: 23/08
D1	Extremadamente polvoso	20	15			
D2	Polvoso					
D3	Libre de polvo y bajo el límite regulatorio					
S1	Derrame extremo y continuo	20	0			
S2	Derrame frecuente					
S3	Libre de derrames o derrames ocasionales					
C1	Sucio	60	0			
C2	Limpio					
C3	Muy limpio					
PUNTUACIÓN TOTAL		100	15			

Entre mayor sea la puntuación mejor será el desempeño. Máxima puntuación posible = 100; mínima = 0

Resultados de la inspección inicial			
Área	Disparador 1	Clasificaciones	D2, S1, C1
Fecha	5/23	Puntuación	15

Tabla 31.6

Inspección de 30 días

Sistema de ponderación para calificar el área Disparador 1 sobre las emisiones de material fugitivo

Nivel	Descripción	Clasificación				
		Escala puntos	Nivel inicial Fecha: 23/05	30 días Fecha: 23/06	60 días Fecha: 23/07	90 días Fecha: 23/08
D1	Extremadamente polvoso	20	15	15		
D2	Polvoso					
D3	Libre de polvo y bajo el límite regulatorio					
S1	Derrame extremo y continuo	20	0	0		
S2	Derrame frecuente					
S3	Libre de derrames o derrames ocasionales					
C1	Sucio	60	0	30		
C2	Limpio					
C3	Muy limpio					
PUNTUACIÓN TOTAL		100	15	45		

Entre mayor sea la puntuación mejor será el desempeño. Máxima puntuación posible = 100; mínima = 0

Resultados de la inspección de 30 días			
Área	Disparador 1	Clasificaciones	D2, S1, C2
Fecha	6/23	Puntuación	45

Tabla 31.7

Inspección de 60 días						
Sistema de ponderación para calificar el área ____Disparador 1____ sobre las emisiones de material fugitivo						
Nivel	Descripción	Clasificación				
		Escala puntos	Nivel inicial Fecha: 23/05	30 días Fecha: 23/06	60 días Fecha: 23/07	90 días Fecha: 23/08
D1	Extremadamente polvoso	20	15	15	15	
D2	Polvoso					
D3	Libre de polvo y bajo el límite regulatorio					
S1	Derrame extremo y continuo	20	0	0	15	
S2	Derrame frecuente					
S3	Libre de derrames o derrames ocasionales					
C1	Sucio	60	0	30	30	
C2	Limpio					
C3	Muy limpio					
	PUNTUACIÓN TOTAL	100	15	45	60	

Entre mayor sea la puntuación mejor será el desempeño. Máxima puntuación posible = 100; mínima = 0

Resultados de la inspección de 60 días			
Área	Disparador 1	Clasificaciones	D2, S2, C2
Fecha	7/23	Puntuación	60

Tabla 31.8

Inspección de 90 días						
Sistema de ponderación para calificar el área ____Disparador 1____ sobre las emisiones de material fugitivo						
Nivel	Descripción	Clasificación				
		Escala puntos	Nivel inicial Fecha: 23/05	30 días Fecha: 23/06	60 días Fecha: 23/07	90 días Fecha: 23/08
D1	Extremadamente polvoso	20	15	15	15	20
D2	Polvoso					
D3	Libre de polvo y bajo el límite regulatorio					
S1	Derrame extremo y continuo	20	0	0	15	20
S2	Derrame frecuente					
S3	Libre de derrames o derrames ocasionales					
C1	Sucio	60	0	30	30	30
C2	Limpio					
C3	Muy limpio					
	PUNTUACIÓN TOTAL	100	15	45	60	70

Entre mayor sea la puntuación mejor será el desempeño. Máxima puntuación posible = 100; mínima = 0

Resultados de la inspección de 90 días			
Área	Disparador 1	Clasificaciones	D3, S3, C2
Fecha	8/23	Puntuación	70

MEDICIÓN DE LA EFICACIA

El manejo de materiales a granel es un proceso; por lo tanto, muchas de las medidas tomadas para medir el desempeño no son valores absolutos sino más bien puntos de datos individuales en una gráfica estadística del control del proceso. La mayoría de los resultados del proceso para controlar el material fugitivo como la colección de polvo o la limpieza de la banda siguen una clásica curva normal. Algunas veces los resultados son mayores al promedio y otras veces son menores al promedio. También es muy poco probable que sea posible eliminar al 100 por ciento el polvo o material adherido sin un costo extraordinario o sin consecuencias indeseadas como, por ejemplo, raspar la banda tan fuerte que se retira alguna parte del recubrimiento superior.

Puesto que el control de materiales fugitivos es un proceso continuo, entre más puntos de datos se obtengan, más representativos serán los resultados. Por lo tanto, es mejor considerar los resultados de todos los transportadores, en vez de sólo uno, para juzgar el desempeño continuo de la planta para reducir el polvo y el derrame.

De manera similar, es erróneo referirse a la eficacia como un valor que aplica sin importar la condición del transportador o las propiedades del material a granel. La respuesta es que todo es relativo al material a granel en particular y a la condición del equipo y no necesariamente a la función del diseño del limpiador de banda. Si un limpiador de banda se clasifica como 90 por ciento eficaz para eliminar una capa de material adherido, ¿la capa restante mide 100 milímetros (4 pulgadas) de grosor o mide 1 milímetro (0.04 pulgadas) de grosor? Ambos pueden ser 90 por ciento eficaces, no obstante el costo de limpieza resultante y los problemas operativos serán drásticamente diferentes. Sería mejor tener un limpiador que retire el material adherido a un grosor de 0.1 milímetros (0.004 pulgadas) en vez de la marca de eficacia abstracta de 90 por ciento.

Debido al gran número de variables en el manejo de materiales a granel, los materiales a granel en sí y la condición de los transportadores, es física, financiera y estadísticamente imposible reducir las emisiones de material fugitivo a cero por un período largo de tiempo. En muchas operaciones, un desempeño de limpieza de banda aceptable es uno donde el material fugitivo pueda mantenerse al nivel que requiera una limpieza de una vez a la semana sin provocar problemas de seguridad o pérdida de producción.

Tabla 31.9

Estado de pérdidas y ganancias (con limpieza de nivel II)

Estado de pérdidas y ganancias de Happy company para el período del 1 de enero al 31 de diciembre		Divisa USD	% de ventas
Ingresos	Ventas	$1,000,000	100%
	Ingresos totales	$1,000,000	100%
Costo de bienes vendidos	Mano de obra de producción	$250,000	25%
	Materiales de producción	$150,000	15%
	Costo total de bienes vendidos	**$400,000**	**40%**
Gastos	Salarios y provisiones de oficina	$100,000	10%
	Salarios y provisiones de mantenimiento	$250,000	25%
	Agua, gas y electricidad	$100,000	10%
	Intereses, permisos y multas	$50,000	5%
	Gastos totales antes de impuestos	**$500,000**	**50%**
Ganancias	Ingresos menos gastos	$100,000	10%
	Impuestos (Tasa tributaria de 50%)	$50,000	5%
	Ganancias netas después de impuestos	**$50,000**	**5%**

TEMAS AVANZADOS

Cálculo de muestra: ROI de la limpieza de banda y el impacto en un estado de pérdidas y ganancias

Para ilustrar los efectos de diferentes situaciones en los estados financieros, usaremos un estado de pérdidas y ganancias de una compañía ficticia: Happy Company **(Tabla 31.9)**.

Happy Company: ROI de la limpieza de banda

Happy Company está considerando comprar limpiadores de banda para reducir los costos de limpieza, de modo que estima el costo del equipo y la mano de obra para la limpieza **(Tabla 31.10)**. Se usa una vida útil de tres años para el equipo de limpieza de banda para así extender el costo del equipo en ese tiempo.

El costo de limpieza y el costo de limpieza de la banda se cruzan entre la limpieza de nivel II y nivel III. Happy Company decide comprar el equipo que logrará una limpieza de nivel II (11 a 100 gramos por metro cuadrado de material adherido a la banda después de limpiarla). Este equipo de limpieza producirá un ROI adecuado: 336 por ciento con un reembolso en 3.6 meses **(Ecuación 31.5)**.

Aunque el reembolso es excelente, si Happy Company hubiera mantenido registros detallados, hubiera podido obtener ahorros adicionales derivados de la instalación y el mantenimiento de los limpiadores de banda. Por ejemplo, se obtienen ahorros adicionales por un aumento en la vida útil de la banda y los rodillos o una reducción de los accidentes con tiempo perdido del personal de limpieza. Los gastos operativos reducidos, aparte de la limpieza, muestran un reembolso de $27,000 dólares estadounidenses **(Tabla 31.11)**.

Esta información adicional cambia el panorama financiero y la gráfica ahora muestra que vale la pena reducir el material adherido al nivel III (0 a 10 gramos por metro cuadrado) instalando un sistema sofisticado de limpiadores de banda **(Figura 31.12** y **Ecuación 31.6)**.

Tabla 31.10

Costos estimados para alcanzar los niveles especificados de limpieza

Material adherido aceptable		Costos en USD de compra e instalación de limpiadores de banda (del proveedor)	Costo en USD de limpiadores de banda por año (depreciación de 3 años en equipo)	Costo estimado en USD de limpieza de la banda por año de mantenimiento y equipo	Costo anual total en USD de instalación y mantenimiento de limpiadores de banda	Costos de limpieza estimados en USD
Nivel	g/m²					
0	>250	N/D	N/D	N/D	N/D	$25,000
I	101–250	$1,500	$500	$1,000	$1,500	$12,000
II	11–100	$6,000	$2,000	$3,500	$5,500	$6,500
III	0–10	$15,000	$5,000	$4,500	$9,500	$3,500

Ecuación 31.5

Cálculo del retorno sobre la inversión para Happy Company con limpieza de nivel II

$$ROI = \frac{SCU}{ACBC}$$

Dado: *Un limpiador de banda ahorrará $18,500 dólares estadounidenses en limpieza anual. El costo del limpiador de banda es de $5,500 dólares estadounidenses por año.* ***Calcular:*** *La tasa de retorno.*

ROI	Retorno sobre la inversión en porcentaje (como decimal)	
SCU	Ahorros anuales en limpieza	18500
ACBC	Costo anual de limpieza de la banda	5500

$$ROI = \frac{18500}{5500} = 3.36$$

ROI	Retorno sobre la inversión en porcentaje (como decimal)	ROI = 3.36 (336%)(12/3.36 = 3.57 ó 3.6 meses para el reembolso)

31

Estado de pérdidas y ganancias de Happy Company

Tomando los ahorros del ejemplo del ROI de limpiadores de banda en donde Happy Company instaló un equipo de limpieza de la banda para alcanzar una limpieza de nivel III y colocándolos en el estado financiero anterior en la línea de salarios y provisiones de mantenimiento, el panorama financiero de Happy Company cambia como se muestra en el estado de pérdidas y ganancias enmendado **(Tabla 31.12)**.

Al reducir el costo general de las operaciones con la instalación y el mantenimiento de un sistema de limpieza de banda sofisticado, la ganancia neta después de impuestos de Happy Company aumentó aproximadamente un 30%, de 5 a 6.5 por ciento.

Tabla 31.11

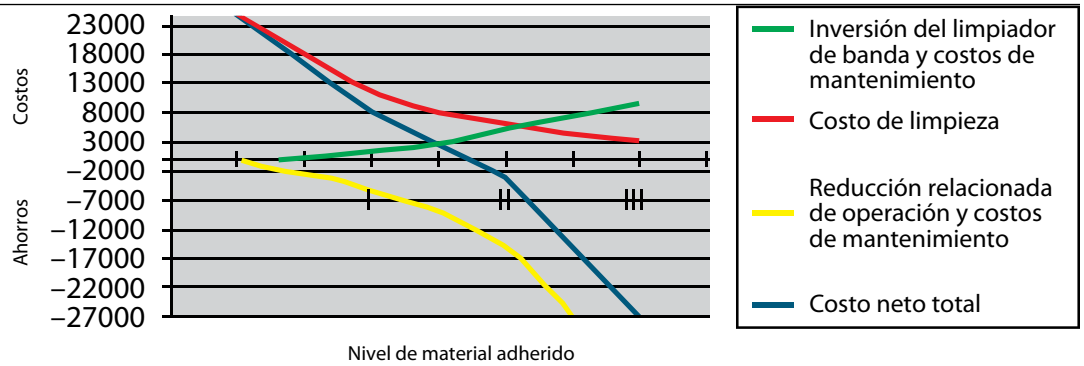
Costos/ahorros estimados para alcanzar los niveles especificados de limpieza

Material adherido aceptable		Costo total en dólares estadounidenses para la instalación y mantenimiento de limpiadores de banda	Costos de limpieza estimados en dólares estadounidenses	Ahorros de operación adicionales en dólares estadounidenses	Costo neto total en dólares estadounidenses
Nivel	g/m²				
0	>250	N/D	$25,000	0	$25,000
I	101–250	$1,500	$12,000	($5,000)	$8,500
II	11–100	$5,500	$6,500	($15,000)	($3,000)
III	0–10	$9,500	$3,500	($40,000)	($27,000)

Los valores en ( ) representan números negativos.

Figura 31.12

La gráfica actualizada muestra que el costo neto total en realidad es un ahorro de $27,000 dólares estadounidenses con limpieza de nivel III.



Ecuación 31.6

Cálculo del retorno sobre la inversión para Happy Company con limpieza de nivel III

$$ROI = \frac{SCU + ROC}{ACBC}$$

Dado: *Un limpiador de banda ahorrará $21,500 dólares estadounidenses en costos de limpieza y reducirá los costos operativos por $40,000 dólares estadounidenses. El costo del limpiador de banda es de $9,500 dólares estadounidenses por año.* ***Calcular:*** *El retorno sobre la inversión.*

ROI	Retorno sobre la inversión en porcentaje (como decimal)	ROI
SCU	Ahorros anuales en limpieza	21500
ROC	Costos operativos reducidos	40000
ACBC	Costo anual de limpieza de la banda	9500

$$ROI = \frac{21500 + 40000}{9500} = 6.47$$

ROI	Retorno sobre la inversión en porcentaje (como decimal)	ROI = 6.47 (647%)(12/6.47 = 1.85 meses para el reembolso)

31

Tabla 31.12

Estado de pérdidas y ganancias enmendado (con limpieza de nivel III)			
Estado de pérdidas y ganancias ENMENDADO de Happy Company ENMENDADO para el período del 1 de enero al 31 de diciembre		**Divisa USD**	**% de ventas**
Ingresos	Ventas	$1,000,000	100%
	Ingresos totales	$1,000,000	100%
Costo de bienes vendidos	Mano de obra de producción	$250,000	25%
	Materiales de producción	$150,000	15%
	Costo total de bienes vendidos	**$400,000**	**40%**
Gastos	Salarios y provisiones de oficina	$100,000	10%
	Salarios y provisiones de mantenimiento	$223,000	22%
	Agua, gas y electricidad	$100,000	10%
	Intereses, permisos y multas	$50,000	5%
	Gastos totales antes de impuestos	**$473,000**	**47%**
Ganancias	Ingresos menos gastos	$127,000	13%
	Impuestos (Tasa tributaria de 50%)	$63,500	6.5%
	Ganancias netas después de impuestos	**$63,500**	**6.5%**

LA RECUPERACIÓN ECONÓMICA DE LOS CÁLCULOS DEL ROI

En resumen...

La discusión y las ecuaciones en este capítulo no tienen valor intrínseco. La clave de su valor está en su aplicación, deben usarse en la evaluación de un sistema para valorar el impacto económico de la mejora. Al aplicar estas consideraciones económicas, uno puede evaluar el valor a una operación de mejoras en los sistemas de manejo de materiales a granel, especialmente en las áreas de control de material fugitivo. Con una documentación de registros convincente y un análisis del desempeño, podrán entenderse las implicaciones financieras de los cambios propuestos.

La meta de estos procedimientos es facilitar a la gerencia la aprobación de los proyectos de mejora y luego, después de terminar el proyecto, dar un seguimiento y hacerlos sentir bien por haber tomado esa decisión. Esto facilitará la obtención de las aprobaciones para proyectos adicionales y hará que sea más difícil que la gerencia se niegue a realizarlos en el futuro.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre medidas de desempeño proporcionó las herramientas para evaluar la necesidad y los beneficios de las mejoras en el control de materiales fugitivos. A continuación encontrará los últimos dos capítulos, los cuales examinarán los transportadores utilizados en situaciones específicas.

REFERENCIAS

31.1 "Measuring ROI pushes it higher, say Harte Hanks Aberdeen of Enterprise Solutions." (Febrero 12, 2007). *The Manufacturer* (Edición para EE.UU.).

31.2 Organización Internacional del Trabajo. (2003). *Safety in Numbers, Pointers for a Global Safety Culture at Work*. Ginebra, Suiza.

31.3 Takala, J. (18 a 22 de septiembre, 2005). *Introductory Report: Decent Work – Safe Work*. XVII Congreso Mundial sobre Higene y Seguridad en el Trabajo, Orlando, Florida. Disponible en: http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/wdcongrs17/intrep.pdf

31.4 Dorman, Peter. (April 2000). *The Cost of Accidents and Diseases*. Ginebra, Suiza. Disponible en línea: http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/papers/ecoanal/wr_chp1.htm

31.5 Occupational Safety & Health Administration, U.S. Department of Labor, sitio web para el control del polvo del procesamiento de minerales: http://www.osha.gov/SLTC/silicacrystalline/dust/

Figura 32.1

En la aplicación de sistemas de banda transportadora y componentes de las industrias específicas se deben considerar una gran cantidad de factores relacionados con el material, condiciones, equipo y estándares.

Capítulo 32

CONSIDERACIONES PARA INDUSTRIAS ESPECÍFICAS

Conglomerado, piedra triturada, arena y grava 486
Transporte a granel 488
Cemento 490
Generación de energía a carbón 492
Minería de carbón (subterránea) 494
Minería de rocas duras (metales y minerales no combustibles) 496
Fundición de metal 498
Industrias de proceso 499
Pulpa y papel/productos forestales 500
Minería de superficie (carbón u otros minerales) 502
Conozca al "enemigo" 503

En este capítulo…

En este capítulo, damos las generalidades de algunas de las condiciones específicas que pueden tener impacto en los esfuerzos para reducir los derrames y el polvo en una gran variedad de industrias que transportan materiales a granel. Se incluyen observaciones generales e información específica sobre los transportadores y transferencias, limpieza de banda y manejo de polvo de diez industrias diferentes.

Aunque hay muchas cosas que son válidas para todas las bandas transportadoras que manejan materiales a granel sin importar la industria, se deben considerar numerosos factores en cada industria específica. Estos factores tienen que ver con los materiales, condiciones, equipo y estándares de la industria **(Figura 32.1)**.

En general, las tendencias constantes en el manejo de materiales a granel incluyen transportadores más rápidos con mayores capacidades, mayores límites en los paros en producción y reducciones en los paros por mantenimiento y la fuerza de trabajo de la planta.

Debido a la inversión requerida de capital en el manejo de materiales a granel, la mayoría de las industrias están en contra de los riesgos y renuentes al uso de tecnologías no comprobadas. La seguridad es siempre un problema, como lo es la evasión de problemas regulatorios. Lo que es básico en todas las operaciones es que los materiales se deben mover para que la planta tenga éxito. La eficacia añadida en el manejo de materiales generalmente es recompensada con una mayor rentabilidad.

Las siguientes son cápsulas de algunos de estos problemas relacionados con la industria. Aunque estas observaciones pueden ser ciertas en la mayoría de las situaciones, podrán aplicar o no a una operación específica.

CONGLOMERADO, PIEDRA TRITURADA, ARENA Y GRAVA

(Vea también Cemento y/o Minería de superficie).

En general

- En muchas áreas geográficas, es muy difícil obtener los permisos de operación. Esto significa que las operaciones existentes deben ser explotadas completamente mientras se rodean de desarrollos comerciales y residenciales. Estas operaciones estarán conscientes de problemas como polvo, derrames y ruidos para minimizar los problemas con los vecinos.
- En general y alrededor del mundo, esta industria se está consolidando. Las compañías multinacionales más grandes están adquiriendo negocios para extender sus territorios geográficos, y se están integrando verticalmente, (por ejemplo, añadiendo concreto listo para mezclar y plantas quebradoras de piedras a la producción de cemento).
- Esta industria depende mucho de la construcción y de los mercados de obras públicas (pavimento de caminos).
- Las plantas portátiles se usan ahora en muchas operaciones más pequeñas, reduciendo los costos de transporte (lo que es bueno en una industria en la que la eficacia se mide por costo de tonelada de material) y permitiendo el uso de depósitos más pequeños.
- Las operaciones más pequeñas pueden consistir de apenas tres o cuatro miembros de personal.
- Una ventaja de esta industria es que los materiales manejados tienden a ser muy consistentes, debido al procesamiento mínimo requerido para el producto final. Esto permite una mayor estandarización de los accesorios a nivel de la planta que en otras industrias.

- El reciclaje de los materiales (por ejemplo, concreto y pavimentos de asfalto) representa desafíos adicionales para el equipo de manejo de materiales.
- El control del gasto es un tema común en esta industria. Las mejoras en los transportadores deben proporcionar una rentabilidad obvia y una utilidad inmediata.
- El mantenimiento tiende a realizarse en base a interrupciones, particularmente en las plantas pequeñas, y a menudo el equipo no esencial se descuida, causando dificultades para controlar los materiales fugitivos.

Transportadores y transferencias

- Las plantas varían enormemente en tamaño y sofisticación. Las bandas tienden a estar en condiciones más malas que en la mayoría de las industrias, y los transportadores pueden usar bandas usadas y bandas con numerosos empalmes mecánicos.
- El impacto puede ser severo bajo los vertederos de los camiones y las trituradoras; las fuerzas de carga serán más ligeras en las bandas de productos terminados. Es común el uso de camas de impacto, pero es esencial una cuidadosa atención a las clasificaciones de uso de las camas.
- La obstrucción de chutes es un problema común en las áreas de cribado de la planta. Los cañones de aire o vibradores son un medio eficaz para reducir estas obstrucciones.
- El derrame de rocas grandes representa un peligro para las poleas, por lo que las poleas jaula de ardilla se usan más comúnmente como poleas de cola, deflectoras y, en algunos casos, de cabeza. Estas poleas jaula de ardilla crean la aleta de la banda, dificultando la limpieza y el sellado. La instalación de arados de la banda de retorno y la envoltura de las poleas jaula de ardilla pueden resolver estos problemas.
- Los ajustes de gravedad a menudo están cubiertos con material derramado. Esto causa una tensión excesiva o dispareja y desalineamiento. A menudo los bastidores de ajuste se aflojan para evitar las uniones, pero esto causa desalineamiento de la banda. Los bastidores de ajuste se pueden apretar

al reconstruir, y se pueden instalar "casetas" sobre las poleas de ajuste para evitar que el material derramado impida la operación de ajuste.

- A menudo los sellos de chute lateral son rudimentarios; el uso de bandas usadas como tiras de sellado es una práctica mala, pero común. A menudo el chute de compensación está desgastado, oxidado o endeble y los revestimientos de desgaste están ubicados muy alto en la banda, haciendo que la instalación de los sellos de chute lateral diseñados sea un verdadero desafío. Sin embargo, por la construcción generalmente abierta de estos transportadores, la reconstrucción de los chutes laterales por lo general se logra fácilmente. La reconstrucción del sistema de chute lateral y de sellado en los estándares discutidos en este libro puede controlar la mayoría de los problemas de sellado. Los sellos auto ajustables funcionan bien.
- Las bandas a menudo se desalinean debido a las malas prácticas de carga. La instalación de dispositivos satelitales de pivotes múltiples antes de la polea de cola y después de la zona de carga puede controlar la mayoría de los problemas.

Limpieza de banda

- El nivel requerido de limpieza de banda a menudo es mínimo y se usan limpiadores de banda de fabricación interna. Cuando se usan limpiadores diseñados, típicamente se usan sólo en bandas difíciles; y aún así, normalmente son de menor tamaño y no se les da buen mantenimiento. Un sistema de limpieza de banda típico es un solo limpiador primario. El material adherido es una fuente importante de polvo en el ambiente, por lo que la limpieza de banda tendrá una mayor atención en esta industria; los sistemas diseñados mantenidos por contratistas se volverán más comunes, para poder cumplir continuamente con las regulaciones.
- Los materiales triturados en bandas húmedas pueden ser muy difíciles de limpiar, porque los materiales se adhieren a la banda. A menudo, las partículas son duras o tienen bordes afilados, lo que causa un rápido desgaste de hoja.
- El uso de uretanos más suaves para la fabricación de las hojas, en combinación con aspersores de agua para remover los materiales, puede reducir el desgaste de los prelimpiadores.
- En algunos casos, las hojas secundarias de metal duro se desgastan en un patrón disparejo "almenado". Esto es provocado por pequeñas partículas que se quedan incrustadas entre la banda y la hoja y permiten que otras partículas se deslicen más allá de la hoja limpiadora. En algunos casos, el desgaste es acelerado por la calidad ligeramente ácida del agua. Este desgaste se puede reducir por medio del uso de hojas de carburo de tungsteno y la aspersión de agua en la banda. El enjuague frecuente del limpiador con una manguera de agua también ayuda.

Manejo de polvo

- El agua aplicada con aspersor es el método típico de supresión de polvo. El alto índice de aplicación de agua "pura" (sin tratar/sin surfactante) aumenta los problemas en el manejo de material, como la acumulación en las cribas o el aumento de material adherido. Además, algunos gobiernos estatales y locales han restringido el uso (y eliminación) de agua. Como resultado, algunas operaciones agregadas ahora usan supresión de surfactante o espuma como alternativa.
- El vertedero de los camiones es un lugar de la planta que requiere un control de polvo eficaz. Esto puede requerir la combinación de varios métodos de control de polvo para obtener un resultado satisfactorio.

TRANSPORTE A GRANEL

(Vea también las guías para los materiales específicos que se van a manejar, por ejemplo, cemento, conglomerado, carbón, productos forestales).

Esta es una revisión de la carga y descarga de los sistemas de transporte a granel, (incluyendo barcos, barcazas, camiones y vagones), y el manejo de materiales hacia y desde las terminales a granel.

En general

- Se puede enviar a granel una gran variedad de materiales (desde carbón hasta químicos, desde caliza hasta minerales en bruto o procesados y desde granos hasta cemento). Es importante que los sistemas estén diseñados para ser flexibles y trabajar con una gran variedad de materiales. En muchos casos, se cargan diferentes tipos de material en el mismo transportador o el lado de retorno de la banda se usa para transportar, y la contaminación entre cargas es un problema.
- Existe una gran cantidad de sistemas para el transporte de materiales a granel y para la carga y descarga de esos sistemas. Los materiales se pueden transportar por barco, barcaza, tren o camión; los materiales se pueden descargar por banda, transportador de tornillo, transportador neumático. La tendencia en la industria son índices más altos de "toneladas por hora" en carga y descarga, para reducir los cargos por demora.
- Hay poca tolerancia para los paros en producción en estas plantas, porque las interrupciones inesperadas resultarán en cargos por demora debido al retraso de la salida programada.

- En muchos casos, estas instalaciones ocupan un alto lugar en tamaño y velocidad de las bandas.
- La descarga de barcos es particularmente desafiante. En los barcos auto descargables a menudo se usan transportadores de ángulo alto que ponen el material en medio de dos bandas. Estos transportadores típicamente operan a velocidades mayores a 4.5 metros por segundo (900 pies/min.). El equipo que se usa en los sistemas de descarga de barcos debe ser capaz de soportar condiciones severas, incluyendo temperaturas extremas y exposición al agua salada.
- Las vías fluviales y los puertos comparten el uso para las operaciones industriales y los usuarios recreativos. El polvo y los derrames en estas áreas rápidamente atraerán quejas de los usuarios no comerciales con las autoridades reguladoras.
- La descarga de vagones es una situación particularmente difícil para el control eficaz de polvo, así como el mantenimiento del flujo de material.

Transportadores y transferencias

- La alineación de la banda es crítica para mantener la carga en la banda y para evitar derrames en el transportador. El uso de dispositivos de alineación de banda de pivotes múltiples es eficaz en el control de los problemas de alineación.
- A menudo se sacrifica el acceso en los transportadores de barcos por consideraciones de espacio y peso. Esto aumentará la dificultad para dar mantenimiento a los accesorios del transportador; por lo tanto, se reduce la calidad y la frecuencia del servicio causando polvo y derrames excesivos. A menudo, en las descargas de plumas, el acceso es difícil o imposible y se deben considerar las plataformas portátiles de trabajo o la capacidad de mover la descarga a un lugar donde se le pueda dar servicio. La incorporación de un acceso de servicio aumentará enormemente la eficacia de los accesorios, porque recibirán mantenimiento con más frecuencia.
- La eliminación de derrames es especialmente importante (en aplicaciones de carga), porque los materiales tienen un alto valor por tonelada y se consideran contaminados e inservibles si se caen al suelo o al agua. Cada

vez en más jurisdicciones, estos materiales son considerados desperdicio peligroso.

- El derrame en los transportadores viajeros es un problema común, porque deben alcanzar alturas mínimas de carga y transportan varios tipos de carga. Las paredes de chutes laterales a lo largo de toda la pendiente y deflectores colgantes ayudan a controlar el descenso del material. A menudo se ponen bandejas de derrame debajo del transportador en áreas críticas, con disposiciones para un constante enjuague o limpieza fácil.
- Las bandas de los atracaderos deben diseñarse con una distancia de borde mayor de lo normal para sellar para controlar los derrames. Como estas estructuras a menudo están montadas en estructuras que deben doblarse, son propensas al desalineamiento.

Limpieza de banda

- En los transportadores de alta velocidad y en las poleas de descarga que son difíciles de alcanzar, la mejor alternativa son los limpiadores de banda duraderos que automáticamente mantienen la presión y el ángulo de limpieza.
- Como algunas bandas terminales se usan para materiales múltiples y/o transportan en ambas direcciones, se puede requerir el lavado de la banda para reducir la contaminación cruzada.
- Las cajas de lavado han demostrado ser útiles para asegurarse de que las bandas que viajan sobre superficies acuáticas estén muy limpias. Las cajas de lavado también son eficaces para reducir la contaminación cuando se usan bandas para manejar varios materiales diferentes. Se debe usar agua dulce en las cajas de lavado y para el enjuague, o el equipo se corroerá.
- Las cuchillas flotantes y los sistemas de succión son eficaces en materiales muy finos

como la alúmina. Estos materiales a menudo presentan una tendencia de "adherencia estática", en la que el material raspado regresará a la banda; en estos casos, se necesita una colección con aspiradora.

Manejo de polvo

- La colección de polvo se usa típicamente, desde los enormes sistemas centrales hasta los colectores de fuente de puntos individuales.
- A menudo no son suficientes los métodos convencionales de control de polvo y derrames. Es necesario el uso de cajas de lavado y las programaciones de mantenimiento tan frecuentes como una vez en cada ciclo de carga/descarga.
- A menudo se usan chutes de carga curvos especiales para centrar los materiales y reducir la generación de polvo.

CEMENTO

(Vea también Conglomerado).

En general

- La consolidación de la propiedad ha hecho que esta industria sea realmente global. Existe una gran cantidad de intercambio de información y un interés en la resolución de problemas del manejo de materiales. Esto permite que las nuevas tecnologías sean adoptadas rápidamente a un nivel corporativo. Las tendencias generales de esta industria reflejan directamente la economía global.
- El cemento (y/o clinker) se envía fácilmente a nivel mundial por tren, barcaza, camión y barco.
- La limpieza y sellado de materiales muy finos, secos y abrasivos es un desafío constante.
- La mayoría de las plantas de cemento también tienen sistemas de manejo de combustible para el carbón o el coque de petróleo que se usa para encender el horno. Probablemente seguirá aumentando la necesidad de sistemas que manejen el combustible derivado de desperdicios, incluyendo llantas, plásticos, pintura, desperdicios agrícolas y pañales.
- Los materiales que se encuentran en esta industria varían de grandes terrones de caliza en la cantera, materiales de alta temperatura en el enfriador de clinker, hasta polvos finos y secos que ponen en riesgo la fluidez de la operación de empaque/envío.
- El cemento terminado se debe mantener seco.
- Las elevadas temperaturas que se encuentran en el manejo de clinker presentan un problema común.

Transportadores y transferencias

- En la cantera, las aplicaciones requieren clasificaciones de uso mediano a pesado en el equipo de transportador.
- Las bandas primarias de descarga de quebradoras a menudo están sujetas a enormes fuerzas de impacto que deben evaluarse cuidadosamente para reducir el daño a la banda, los derrames y las fugas.
- Del lado del procesamiento de cemento, las bandas son más pequeñas y el impacto generalmente no es un problema. Después de la trituración, la clasificación de equipo de uso ligero es generalmente suficiente.
- Las bandas para cemento en bruto y terminado son excelentes aplicaciones para transportadores soportados por aire, para reducir los derrames y la contaminación.
- El cemento terminado tiende a airearse, creando problemas en el transporte sobre bandas transportadoras desde polvo hasta el deslizamiento de material. Las velocidades de banda y el ángulo de inclinación deben seleccionarse cuidadosamente.
- El clinker es abrasivo y se maneja a altas temperaturas. Esto requiere bandas especiales y accesorios diseñados para temperaturas elevadas.

Limpieza de banda

- La limpieza de bandas que transportan clinker puede requerir de sistemas de limpieza de banda de altas temperaturas.
- Al limpiar las bandas que se usan para combustible derivado de desperdicios, se prefieren los prelimpiadores de una sola hoja, para reducir la probabilidad de que el material se acumule en las aberturas que hay entre las hojas.

Manejo de polvo

- Para el control de polvo en las pilas de reserva de materia prima, el agua ha sido

el sistema de supresión predilecto. El uso de supresión de espuma es eficaz en la quebradora y tiene efectos residuales.

- Del lado del cemento terminado, no se permite la adición de humedad, por lo que las únicas opciones son la contención y la colección de polvos.
- Los transportadores soportados por aire se pueden usar eficazmente en esta industria para el control de polvo.
- Por la naturaleza abrasiva del clinker y el tamaño de las partículas muy finas del cemento terminado, el derrame de los chutes y de los sellos del chute lateral es un problema común. La atención especial a la reparación y el sellado de orificios en los chutes mejorará el control de polvo. El soporte de banda y los sellos auto ajustables son útiles en el control de polvo en los puntos de transferencia.

GENERACIÓN DE ENERGÍA A CARBÓN

En general

- La regulación está disminuyendo la rentabilidad. Para mejorar la confianza y reducir los costos, la gerencia busca hacer más con menos.
- El control de polvo es una inquietud importante para la industria, particularmente en plantas que han cambiado a carbón sub-bituminoso bajo en azufre, como el carbón de Powder River Basin (PRB) de Estados Unidos, o que calcinan lignito.
- Todas las operaciones de manejo de carbón deben ocuparse de los problemas de incendios y explosiones, incluyendo las acumulaciones de gas metano y las "zonas candentes" de material.
- El manejo de cenizas en el aire y asentadas y del sedimento de la desulfuración del gas de proceso (FGD por sus siglas en inglés) puede requerir sistemas de manejo de material y experiencia adicionales.
- Como servicios regulados, a muchas plantas generadoras de energía se les exige proporcionar una productividad estable, minimizando el riesgo de interrupciones no programadas.
- El equipo diseñado para un tipo particular de carbón puede volverse problemático cuando se cambia el carbón. Por ejemplo, la producción más baja de BTU de lignito o de carbón PRB requiere que se queme más carbón para lograr la misma producción térmica. Esto puede requerir cambios en el diseño u operación del sistema de manejo de materiales, como hacer que los transportadores aumenten la velocidad u operen por períodos más largos. El sistema existente de chute de material puede no coincidir con las características del nuevo flujo de material y los requerimientos de producción total (tonelaje).

- Los cambios de clima de las estaciones pueden resultar en cambios en el desempeño del carbón a medida que se mueve por el sistema de manejo de materiales.
- Los cambios del material día con día afectarán el desempeño del transportador. Debido a las condiciones climáticas, el carbón puede ir desde muy húmedo/lodoso hasta muy seco/polvoriento.
- Generalmente, el carbón es un material de relativamente poca abrasión. Las excepciones son el carbón en bruto o los desechos de una mina como se ve en las plantas generadoras de boca de mina.
- Se está haciendo cada vez más común quemar combustibles auxiliares en combinación con carbón. Estos combustibles son llantas trituradas y desperdicios agrícolas. La introducción adecuada de estos materiales al carbón es crítica; si no se mide bien, esto creará derrames, obstrucciones y otros problemas de operación.
- Las acumulaciones de materiales fugitivos representan un serio potencial de incendio o explosión por combustión espontánea y pequeños sucesos crean altas concentraciones de polvo y posiblemente explosiones secundarias.
- El carbón (lignito o carbón PRB en particular) es vulnerable a la combustión espontánea del material estancado: la acumulación de material en las paredes de los chutes y debajo de los transportadores como polvo y derrames. Las buenas prácticas de aseo y los sistemas adecuados de limpieza y sellado son esenciales para minimizar el riesgo.

Transportadores y transferencias

- Las bandas transportadoras generalmente están vulcanizadas y tienen una larga vida de servicio.
- Los anchos de transportador son moderados, con anchos comunes que van de 900 a 1800 milímetros (36 a 72 pulg.) y velocidades típicas de 2.0 a 3.0 metros por segundo (400 a 600 pies/min). Es una práctica común disminuir las velocidades de la banda y limitar la capacidad para controlar los problemas con los materiales fugitivos.
- El transporte de carbón triturado es particularmente adecuado para los transportadores soportados por aire.

- Los problemas de alineación de la banda en el manejo de carbón se pueden resolver con dispositivos de alineación de pivotes múltiples. Los dispositivos de pivote estándar a menudo sobre conducen las bandas de manejo de carbón; es por eso que estos alineadores de banda a menudo están atados en un lado. La desactivación de estos dispositivos de alineación puede crear problemas aún más grandes que a menudo resultan en daño a la banda y problemas con el derrame de material
- El sellado de chute lateral es importante en el manejo de carbón. Los transportadores son particularmente adecuados para las camas de soporte para bandas y sellado auto ajustable.
- La preocupación por una producción total constante y la reducción de la generación de polvo lleva a la consideración de chutes de flujo diseñados en muchas aplicaciones de manejo de carbón.

Limpieza de banda

- La limpieza de transportadores que manejan carbón es normalmente muy simple y se puede considerar como la aplicación típica. Un sistema de limpieza de banda de una planta de energía estándar es un sistema dual o triple, con un limpiador primario de uretano y uno o dos limpiadores secundarios de punta de carburo de tungsteno.
- Algunos carbones contienen arcillas que dificultan la limpieza. Este material tiende a embarrarse en la banda y a acumularse como "hojuelas de maíz" debajo de los rodillos de retorno. La solución normal es operar los limpiadores de banda con la presión de limpieza más alta o usar un ángulo más agresivo de limpieza.
- El uso de agua es beneficioso para mantener la eficacia del limpiador de banda, pero las plantas generadoras de energía tienen edictos mal concebidos de "no usar agua" por la penalización de BTU. La cantidad de agua requerida para mantener la eficacia de la limpieza de banda es tan pequeña que no se puede distinguir de otras fuentes de agua, como la supresión de polvo, lluvia y hasta el agua absorbida por la alta humedad.

Manejo de polvo

- Las regulaciones de emisión de polvo afectan el manejo de carbón, desde la descarga de vagones, a través del sistema de manejo de materiales hasta los búnkers que están arriba de las planchas.
- El carbón bajo en azufre tiene una combustión más limpia, pero es típicamente más friable. A medida que las plantas cambian al carbón de combustión más limpia, necesitan encontrar métodos para reducir el polvo. Estos pueden incluir chutes de flujo diseñados, sistemas de supresión de polvo y el mejoramiento de los sistemas de colección de polvo existentes (filtros de manga).
- La supresión de polvo que es sólo a base de agua no es rentable, porque reduce la producción térmica del carbón. La supresión química es la elección de muchas plantas, porque sus niveles reducidos de humedad minimizan la penalización de la humedad añadida.
- Los vertederos de vagones giratorios de los trenes de carbón crean enormes problemas de polvo. La supresión de espuma o surfactante ofrece beneficios, incluyendo un efecto residual que se queda en el carbón cuando va a la pila de reservas.
- Los colectores de polvo insertables (modulares) están bien adaptados para el manejo de polvo específico de la planta si la contención no es práctica o suficiente.

MINERÍA DE CARBÓN (SUBTERRÁNEA)

(Vea también Minería de superficie y/o Minería de rocas duras).

En general

- Las restricciones de altura son un factor importante de esta aplicación. Esto afectará el estilo de la estructura del transportador, lo que a su vez afecta los sistemas complementarios que se pueden usar. Debido a las dificultades en el movimiento e instalación de equipo subterráneo, las dimensiones de los chutes son mínimas y rara vez se usan las camas de impacto.
- Se necesitan diseños modulares de muchos componentes para contrarrestar las limitaciones de espacio y acceso.
- La tendencia es usar transportadores más anchos a velocidades más altas. Las líneas principales del transportador están generalmente vulcanizadas, pero otras bandas pueden contener una gran cantidad de empalmes mecánicos. Existe un importante uso de bandas usadas, así como bandas que ya sobrepasaron su vida real de servicio. Esto significa que las bandas están en malas condiciones y; por lo tanto, son más difíciles de limpiar, sellar y alinear.
- Las bandas que alimentan las líneas principales están diseñadas para extenderse. A medida que la superficie de trabajo se mueve, se instalan secciones adicionales (paneles) de banda en el transportador. Esto significa que estas bandas tienen múltiples empalmes mecánicos.
- Las aprobaciones administrativas (basadas en cuestiones de seguridad) son un factor en la selección de materiales para los componentes. En Estados Unidos, la Administración de Seguridad y Salubridad Minera (MSHA) establece estándares para las bandas transportadoras y los materiales que están en contacto con la banda, como los sistemas de limpieza y sellado. Fuera de EE.UU. los estándares del British and Deutsches Instit für Normung (DIN/EN) son aceptados ampliamente para los materiales usados subterráneamente. En la mayoría de los mercados fuera de Norteamérica, no se puede usar aluminio en subterráneo, por su bajo umbral de encendido. También se deben considerar las regulaciones y autoridades regionales (como ATmospheres EXplosibles [ATEX] o Association for Mining of North Rhine-Westphalia “Landesoberbergamt” [LOBA]).
- Hasta el momento de este escrito, una regla final publicada por MSHA en Estados Unidos vigente desde diciembre de 2008 requiere que las bandas transportadoras en uso en las minas subterráneas de carbón sean más resistentes al fuego que las requeridas anteriormente a partir del 31 de diciembre de 2009. La regla también requiere que las bandas actuales se reemplacen en diez años.
- Exige que los rodamientos de otros componentes de transportador se reparen o reemplacen, que las bandas se alineen adecuadamente, que no se permitan materiales en la entrada de la banda y que los empalmes tengan propiedades de resistencia al fuego a partir del 2 de marzo de 2009. Además, reduce el promedio de concentración de polvo respirable en el aire que está en el curso de la banda, también a partir del 2 de marzo de 2009. Se puede poner en contacto con MSHA o con un proveedor confiable de bandas para más información actualizada.
- El uso de contratistas especializados para el mantenimiento complementario es común en esta industria. Esto se debe al papel crítico que la limpieza y sellado de las bandas juega en la prevención de incendios, explosiones e interrupciones de producción.
- Las capacidades del equipo continúan creciendo, elevando las toneladas de carbón producidas por hora, la desventaja de esto es el tiempo reducido para el mantenimiento.
- Las operaciones subterráneas típicamente usan agua para la supresión de polvo. Esto resuelve un problema pero crea otros. La humedad afectará las propiedades de los materiales transportados y el diseño del equipo, hasta el tipo de metal usado para reducir la corrosión.

- Con los métodos modernos de minería, el tamaño de los terrones es bastante consistente. Sin embargo, el carbón en bruto de una mina, que contiene rocas y arcilla, presenta problemas de manejo.
- Las regulaciones de seguridad de minería con respecto a los procedimientos de mantenimiento hacen obvio que se deben usar sistemas de cambio rápido o que sean fáciles de mantener.

Transportadores y transferencias

- Los transportadores están diseñados para moverse, excepto en las líneas principales y las "bandas de pendientes" que transportan el material fuera de los túneles. Las bandas son más grandes, gruesas y típicamente requieren limpiadores de trabajo pesado y sistemas de faldeo. Los sistemas auto ajustables de sellado son útiles.
- Las transferencias a menudo están a 90 grados o tienen distancias de caída muy grandes, creando situaciones de alto impacto y dificultando el sellado. La obstrucción en las transferencias es común, los cañones de aire son útiles para resolver estos problemas.
- Los derrames son difíciles de controlar porque la variación constante de condiciones de carga crea problemas de alineación de banda. Es necesario el uso de dispositivos de alineación de trabajo pesado, por el impacto constante de los empalmes mecánicos y por las malas condiciones de la banda en general.
- La detección y remoción de objetos extraños de los transportadores es un problema en las bandas subterráneas, ya que la presencia de herramientas de minería, bandas de techo y hierro atascado puede causar daño en la banda y obstrucción en los chutes.
- Los espacios cerrados y un espacio limitado sobre la cabeza representan dificultades en el uso y reemplazo de revestimientos dentro de los chutes en las aplicaciones de transportadores subterráneos.

Limpieza de banda

- Los materiales que se manejan en operaciones subterráneas contienen una gran cantidad de agua con el carbón. Esto aumenta los problemas de material adherido. Como resultado, muchas operaciones usan tres, cuatro o hasta más limpiadores en una banda.
- Muchas operaciones usan selecciones de limpiadores múltiples, con transportadores carroñeros que transportan los materiales de los limpiadores terciarios al cuerpo principal de material.
- Por la gran cantidad de empalmes, los limpiadores de banda y los montajes se deben diseñar para manejar el impacto repetido. Para mayor durabilidad, se prefieren los prelimpiadores de uretano de hojas pesadas. Se usa una gran variedad de limpiadores secundarios.
- La banda de desecho es la más difícil de limpiar y produce el mayor índice de desgaste de la hoja. Se requiere, en la mayoría de los casos, una limpieza agresiva con mantenimiento frecuente.
- Los limpiadores que incorporan hojas de uretano de alto desempeño pueden estar mejor adaptados para las aplicaciones más desafiantes.
- El transporte de terrones en las bandas de retorno es siempre una posibilidad, debido a un desalineamiento, malas condiciones en la banda y empalmes, suelo disparejo o condiciones de inundación. Por lo tanto, es importante la protección de las poleas, como los arados en V y los arados en diagonal. Esto es particularmente cierto en las bandas inclinadas, donde el alto contenido de humedad puede causar que el material se deslice hacia atrás, o lo que se llama "torrente de lodo" en Sudáfrica.
- El uso de servicios de mantenimiento es común y eficaz en las áreas donde los costos de mano de obra contratada son bajos.

Manejo de polvo

- Como el polvo de carbón tiene riesgo de incendio y explosión, se han usado todas las formas de manejo de polvo: contención, colección y varios tipos de supresión.

- La mala calidad del agua subterránea puede impedir el uso de sistemas de supresión de polvo que incorporan boquillas de orificios muy pequeños.

MINERÍA DE ROCAS DURAS (METALES Y MINERALES NO COMBUSTIBLES)

(Vea también Minería de superficie y/o Minería de carbón).

En general

- Como los precios del metal fluctúan, con frecuencia los presupuestos están sujetos a cambio, y los proyectos se pueden acelerar o ponerse "en espera".
- Las plantas están típicamente en operación 24 horas al día, 7 días a la semana cuando los precios del metal son favorables. Las interrupciones se programan con mucho tiempo de anticipación y los márgenes semanales de mantenimiento son cortos, esto hace que el contrato de mantenimiento especializado sea una opción atractiva.
- Los minerales a menudo se extraen por explosión, lo que resulta en terrones muy grandes. La descarga de las quebradoras primarias es típicamente de "200 milímetros (8 pulg.) menos".
- Los minerales son generalmente materiales altamente abrasivos, lo que puede acortar la vida de la banda y de otros componentes.
- El proceso para hacer comprimidos de taconita crea situaciones en las que las altas temperaturas son comunes. El polvo de taconita se puede incrustar en el borde de la banda, volviéndose una "rueda molturadora" que aserrará un rodillo guía de un rodillo satelital de la banda en cuestión de semanas.

- Otros minerales, como el níquel o la bauxita, se encuentran a menudo en formaciones semejantes a la arcilla, resultando en materiales con características adhesivas, resbaladizas y/o aglutinantes.

Transportadores y transferencias

- Las aplicaciones para el equipo de transportador están típicamente en el extremo de trabajo pesado, con cargas pesadas y empalmes múltiples en transportadores relativamente cortos. La vida de la banda es a menudo tan corta que ésta se considera sacrificatoria, por lo que se puede usar equipo más agresivo de limpieza y sellado.
- Los transportadores terrestres se usan a menudo para transportar materiales y desperdicio. Estos transportadores a menudo son de difícil acceso y pueden pasar por áreas sensitivas, como carreteras o reservas naturales.
- Son comunes los anchos de banda de 1800 milímetros (72 pulg.) y las velocidades de más de 5 metros por segundo (1000 pies/min.). El uso de cables de acero en las bandas presenta nuevos desafíos al equipo de accesorios. Es común que las cuerdas de acero dañadas sobresalgan del recubrimiento y que "flagelen" las hojas de los limpiadores de banda y los bastidores.
- Como las bandas a menudo se cargan a su capacidad total, los derrames a lo largo del trayecto de transporte son comunes, y hay un alto potencial de rebote de rocas grandes en el lado de retorno de la banda que terminan entre las poleas y la banda. Los arados de banda de trabajo pesado se usan para evitar el daño a la banda y las poleas.
- La abrasión es un problema significativo, creando problemas de mantenimiento que reducen la eficacia de los accesorios y la operación general del sistema. Los revestimientos de los chutes y el recubrimiento térmico de las poleas son objetos de gran desgaste. Comúnmente se usan revestimientos de desgaste atornillables, y la necesidad de acceso a los tornillos limita las opciones de sello de chute lateral.
- La alineación de la banda es un problema común en los transportadores terrestres. Los dispositivos de alineación de pivotes múltiples de trabajo pesado se pueden usar

en lugar de rodamientos de retorno en V.

- Debido a la adhesividad de los materiales y a los grandes tamaños de los terrones, es común la obstrucción de chutes. Se pueden usar cañones de aire para reducir este problema.
- Por las transferencias de gran capacidad y los terrones grandes, la fuerza de impacto es extremadamente alta. Las camas de impacto normales podrían no resistir las fuerzas de impacto, y se podrían requerir sistemas catenarios de impacto.
- Los chutes de flujo diseñado pueden mejorar la consistencia del movimiento del material y ayudar a eliminar los cambios de revestimiento que resultan de la abrasión del material contra la pared del chute. Al centrar el flujo, estos chutes pueden mejorar la fase de trituración de material, dirigiendo los materiales al centro de la zona de trituración.

Limpieza de banda

- En el manejo de taconita, después de que se añade la arcilla de bentonita, el material se vuelve muy pegajoso. Un prelimpiador de hojas de metal es útil en esta aplicación.
- En las aplicaciones de níquel y bauxita, el material es tixotrópico (como gel) y es difícil de limpiar en la banda. El uso de agua para mantener a los limpiadores de banda libres de acumulaciones mejorará el desempeño.
- Los limpiadores secundarios usualmente tienen hojas de carburo de tungsteno para mejorar el desempeño y extender la vida de frente al material abrasivo. A menudo se usan limpiadores de trabajo pesado con hojas extra gruesas de carburo de tungsteno.
- La vida de la hoja es considerablemente más corta que en otras aplicaciones, y los limpiadores requieren servicio frecuente para seguir siendo eficaces. Los limpiadores de tensión constante para la vida de la banda son necesarios para que los intervalos de servicio se den en un período razonable.
- Los terrones grandes pueden rebotar en el chute y dañar los limpiadores, ya sea por impacto directo o por incrustarse en lugares inusuales, desactivando el tensionador o doblando el bastidor del limpiador. Se requiere en uso de limpiadores primarios de trabajo extra pesado. Un sistema o

dos de limpiadores primarios a menudo proporcionan una limpieza aceptable y son menos susceptibles al daño.

- La alta adhesión de material puede requerir el uso de un rompe costra, instalado antes del prelimpiador, para mejorar el desempeño general de limpieza y extender la vida de los sistemas de limpiador primario y limpiador secundario.
- La limpieza de las poleas es importante en las bandas de cables de acero, para evitar la sobretensión de la banda por la acumulación de material. Los limpiadores secundarios de brazo y hoja a menudo se usan "al revés" en esta aplicación, en combinación con una barrera o placa deflectora, para remover el material que se limpió en la banda.

Manejo de polvo

- La supresión de polvo se puede usar no sólo en minería, sino también en el transporte de comprimidos. La colección de polvo también es común en toda la planta.
- Las plantas de taconita y de otros procesos pueden usar una combinación de carbón y gas para encender el horno, creando polvo, lo que resulta en la necesidad de colección de polvo arriba del sistema de manejo de carbón.
- La supresión química también se usa para eliminar el polvo de sílice.
- El polvo también se puede manejar usando tecnologías de punta en transportadores, incluyendo los chutes de flujo diseñados y transportadores soportados por aire.

FUNDICIÓN DE METAL

En general

- Como se puede esperar, son comunes las altas temperaturas de material y las condiciones desafiantes de servicio.
- El tipo de fundición de metal (férrea o no férrea) no es tan significativo como el manejo de materiales usados para formar el molde para la fundición.
- La arena de la rueda de molino que está lista para ser transformada en un molde se conoce como arena preparada, o arena de fundición; a la arena de la operación de desmoldeo (después de que la fundición se ha removido del molde) se le llama arena recuperada o arena reciclada.
- Los materiales polvorientos/calientes/ húmedos pueden descomponer los productos de uretano, como las hojas limpiadoras.

- Aunque el área de fundición no es muy abrasiva, su contenido de humedad puede causar corrosión, aun en placas resistentes a la abrasión.
- Algunos pedazos afilados de metal fundido ocasionalmente se deslizarán con la arena recuperada y dañarán la banda u otros componentes.

Transportadores y transferencias

- Las velocidades de banda no son altas; están típicamente en el rango de 0.25 a 1 metro por segundo (50 a 200 pies/min.).
- Las aplicaciones en las fundiciones son de trabajo ligero, con la excepción de sistemas de rechazo/retorno, donde ocasionalmente aparecerán piezas de metal del tamaño de un bloque de motor.
- La centralización de banda a menudo se ve afectada por el derrame de arena, que tiende a acumularse rápidamente en los rodillos de retorno. Los dispositivos de alineación de pivotes múltiples se pueden usar eficazmente.
- Las bandas transportan arena recuperada o reciclada que ya se ha utilizado en el proceso de fundición de la operación de desmoldeo hasta el almacenaje de arena, o la rueda de molino para reuso. La arena aquí aún está caliente por el moldeo anterior.

Limpieza de banda

- Las hojas de uretano más suaves pueden durar más en la limpieza de las partículas redondas que se encuentran en la arena de fundición por las bandas de movimiento relativamente lento.
- Los limpiadores de cepillo pueden ser eficaces en la remoción de arena de las bandas.
- Las bandas que transportan arena recuperada usualmente tienen una polea de cabeza magnética para remover cualquier metal que haya permanecido en la arena. Los limpiadores con punta de metal no se deben usar a 300 milímetros (1 pie) de una polea magnética.

Manejo de polvo

- La contención y colección son las opciones para el control de polvo. Es importante evitar la adición de humedad a la arena de moldeo.

- El polvo de fundición a menudo se considera peligroso, debido a su alto contenido de sílice.

INDUSTRIAS DE PROCESO

Esta sección observa las aplicaciones de "trabajo ligero" en las industrias que incluyen productos alimenticios, químicos, farmacéuticos, fertilizantes, granos y tabaco.

En general

- Aunque estas industrias son diferentes en los materiales manejados, existe una gran cantidad de estándares comunes de diseño y construcción.
- En general, estas industrias califican como aplicaciones de trabajo ligero, con bandas más angostas (450 a 900 milímetros [18 a 36 pulg.]), velocidades más lentas de banda e índices más bajos de flujo de material. En muchos sentidos, este equipo es una versión más pequeña de los sistemas usados en las aplicaciones de grado de minería. Sin embargo, por el tamaño limitado de la polea de cabeza, las velocidades y tensiones de banda y los requerimientos especiales de limpieza, requieren de componentes especiales.
- En muchas aplicaciones, se requiere que se usen materiales de grado alimentario en la fabricación de equipo y accesorios de manejo de materiales. Se usan en muchos casos polímeros de grado alimentario; las hojas de aluminio se pueden usar en aplicaciones como la del tabaco. El tipo de hoja es determinado por la velocidad de la banda, los materiales que se manejan y la temperatura del material.

Transportadores y transferencias

- Las bandas transportadoras planas son más comunes que las bandas acanaladas.

Limpieza de banda

- El tamaño más pequeño de poleas, transportadores y bandas puede crear dificultades en la remoción de materiales acumulados en las bandas.

- Se usan muchos sistemas especializados de enjuague en muchas industrias. El equipo y los componentes del manejo de materiales deben ser compatibles con los procesos de limpieza y los químicos. Los sistemas de limpieza de bandas deben diseñarse para ser removidos fácilmente por requerimientos sanitarios

Manejo de polvo

- Debido al tamaño limitado del equipo en general y al volumen menor de los materiales, la cantidad de polvo no es tan grande como en otras industrias. Sin embargo, a menudo es mayor el valor de los materiales perdidos en forma de polvo, añadiendo beneficios por su captura y recuperación, o mejor aún, la prevención del escape de polvo.

PULPA Y PAPEL / PRODUCTOS FORESTALES

En general

- Una fábrica de papel está dedicada a hacer papel de pulpa de madera y otros ingredientes con una máquina Fourdrinier. Un molino de pulpa es una planta de manufactura que convierte virutas de madera, u otra fuente de fibra de las plantas, en pulpa que se usa en el molino o se envía a una fábrica de papel para más procesamiento.
- Se usan transportadores para trasladar troncos a la astilladora, transportar virutas al digestor y mover carbón y cortezas al sistema de generación de energía de la planta. Como las virutas son una materia prima valiosa y la corteza es un subproducto de desperdicio, al sistema de manejo de las virutas se le da mantenimiento más cuidadosamente. El sistema de manejo de la corteza, por su carga de materiales fibrosos y de tamaños diferentes, es generalmente más desordenado.
- El plástico puede contaminar la pulpa hecha de virutas. En consecuencia, existe la inquietud por el uso de plásticos en el proceso y en el equipo de manejo de materiales. Por ejemplo, algunas plantas prohíben el uso de uretanos como limpiadores de banda. Esta es típicamente una decisión a nivel planta; parece ser que no existe una regla establecida en la industria, ni siquiera a nivel corporativo.
- Los problemas en la industria incluyen el uso de suministros adicionales o alternativos de combustible, incluyendo pedazos de llantas.
- Otras operaciones de la planta pueden beneficiarse del transporte mejorado, incluyendo la generación de energía, el manejo de cenizas y de químicos.

- La adición de papel reciclado al proceso de fabricación de papel puede afectar los requerimientos de procesamiento de madera de la planta.
- La mayoría de las fábricas de papel operan con varias fuentes de virutas, incluyendo virutas internas y virutas compradas.
- Los materiales transportados en los molinos de pulpa y en las fábricas de papel presentan algunos problemas. Las fibras se entrelazan fácilmente, causando una acumulación de material fibroso en el equipo y la obstrucción de chutes en el depósito de madera. Las virutas de madera contienen resina pegajosa que se acumula en la banda y los rodillos y es muy difícil de remover.

Transportadores y transferencias

- Algunas aplicaciones de esta industria son de trabajo ligero; otras son de trabajo pesado. En el extremo de trabajo pesado de la escala están las aplicaciones que están cerca del tambor de descortezado, donde longitudes de árbol o troncos cortados se descargan en transportadores para ser llevados a la astilladora.
- Las bandas transportadoras tienen típicamente de 500 a 1200 milímetros (24 a 42 pulg.) de ancho y operan a velocidades de 1.3 a 1.8 metros por segundo (250 a 350 pies/min.). En muchos casos, las bandas son planas o tienen chevrones.
- Las varas y virutas tienden a quedar atascadas debajo del faldeo y pueden bloquear la zona de carga o causar derrames. La atención cuidadosa al diseño del chute de carga, con chutes de carga estrechados que gradualmente aumentan la altura del revestimiento, ayudará a evitar esto. Los sellos auto ajustables de chute lateral de baja presión tienden más a la "auto limpieza" que los sistemas de faldón fijo.
- Se debe revisar cuidadosamente el uso de cañones de aire, porque las virutas de madera y la corteza requieren a menudo cañones de aire mucho más grandes que la aplicación típica, debido a la porosidad de los materiales a granel.
- En las fábricas de madera OSB, las virutas tienen forma diferente, también se cubren con una resina antes de que las hojas se metan al horno. Dependiendo del lugar del proceso de recubrimiento, los rodillos pueden tener una acumulación de resina.

Limpieza de banda

- La presencia de resina de madera, o brea, en la banda crea problemas de limpieza. Esto es difícil de remover y causa que otros materiales como tiras de corteza, virutas o partículas finas, se adhieran también, complicando el proceso de limpieza. La resina pegajosa de la banda transportadora puede hacer que las hojas prelimpiadoras de uretano vibren, causando que la hoja limpiadora se caliente y en algunos casos se derrita. A veces, para resolver este problema, se necesitan secundarios con punta de carburo de tungsteno, operando a velocidades más altas de lo normal. Hacer funcionar la banda sin carga, permitiendo que el limpiador remueva la acumulación después de cada ciclo de producción, también puede evitar que el material se endurezca.
- La descarga del transportador que alimenta al digestor contiene químicos que pueden suavizar las hojas de uretano del limpiador de banda y; por lo tanto, acortar la vida de la hoja.
- A menudo se usan bandas con separadores para mover las virutas o corteza en las pendientes. Se requieren limpiadores de cepillo y limpiadores de banda de chevrones para limpiar estas bandas, pero estas son aplicaciones difíciles.
- En los transportadores que manejan corteza, los limpiadores secundarios de "brazo y hoja" tienden a acumular material fibroso que interfiere con el desempeño. El uso de limpiadores de una sola hoja o de limpiadores en línea sin brazos será más exitoso.
- Las hojas especiales de limpiador de banda se pueden requerir para la producción de papel blanco, para evitar la contaminación del papel con partículas de colores por el desgaste de la hoja.

Manejo de polvo

- La supresión con niebla es común, porque las plantas tratan de no interferir con la química del proceso añadiendo químicos (como surfactantes de supresión de polvo) a la pulpa.
- Los sistemas de colección de polvo son comunes; en la mayoría de los casos son grandes filtros de manga centrales.

MINERÍA DE SUPERFICIE (CARBÓN U OTROS MINERALES)

(Vea también Minería de carbón y Minería de rocas duras).

En general

- La gran cantidad de materiales manejados en estas operaciones grandes lleva al uso de equipo de gran tamaño (desde excavadoras de cangilones hasta camiones de acarreo) y sistemas de banda transportadora anchos, de alta velocidad y gran tonelaje.
- Los materiales que se extraen en minas de superficie van desde lignito o carbón de baja calidad hasta minerales para metales básicos y preciosos.
- Típicamente, grandes cantidades de suelo y subsuelo tienen que removerse antes de llegar al mineral. Esta sobrecarga puede cambiar enormemente en características del material a medida que se remueven diferentes capas de estrato en el camino hacia el nivel de mineral. Después de que se remueve la sobrecarga, se remueve el material deseado.
- La sobrecarga y el mineral pueden ser removidos por una combinación de excavadora de cable de arrastre o excavadora de cangilones, las cuales alimentarán a los camiones de acarreo o a los transportadores de alta velocidad.
- La recuperación de áreas extraídas a menudo incluye otro sistema de manejo de materiales de gran capacidad.

Transportadores y transferencias

- Los transportadores de alta velocidad y gran capacidad son la regla en lugar de la excepción. Por ejemplo, las operaciones de lignito alemanas usan transportadores con anchos de banda de hasta 3200 milímetros (124 pulg.), operando a velocidades de hasta 10.5 metros por segundo (2100 pies/min.). Estas operaciones presionan a los proveedores de equipo para que provean sistemas más grandes, rápidos y de mayor tonelaje.
- A menudo hay niveles extremos de impacto en las zonas de carga del transportador por los materiales producidos en bruto sin triturar. Las zonas de carga deben estar diseñadas para estas fuerzas con rodillos de impacto y camas de impacto, o una combinación de ambos. Para manejar este impacto, muchas operaciones incorporan rodillos catenarios, creando dificultades en el sellado de las zonas de carga.
- Las características cambiantes del material (de las diferentes capas de la sobrecarga, por ejemplo), pueden permitir que haya acumulaciones que bloqueen u obstruyan los chutes. Puede ser útil la instalación de cañones de aire o vibradores en los chutes de transferencia. En las temporadas de invierno o de lluvia se experimentan problemas severos de limpieza de banda y obstrucción de chutes.

Limpieza de banda

- La alta velocidad de la banda y del material causan altas temperaturas por fricción y altos niveles de vibración. Los limpiadores de banda deben estar diseñados para soportar estas condiciones. Los prelimpiadores con un alto volumen de uretano se usan a menudo para disipar el calor y extender la vida de servicio.
- Las altas velocidades de operación de los transportadores en algunas aplicaciones pueden evitar el uso de limpiadores secundarios de alta presión; sin embargo, las grandes poleas de cabeza

en los transportadores de minería de superficie pueden tener espacio para dos prelimpiadores de baja presión debajo de la trayectoria del material.

- La alta adhesión de material puede requerir el uso de un rompe costra, instalado antes del pre-limpiador, para mejorar el desempeño general de limpieza y extender la vida de los sistemas de pre-limpiador y limpiador secundario.
- La limpieza de la banda de retorno es importante por el tamaño potencialmente grande o la naturaleza pegajosa de los materiales. Estos materiales se atascan entre la banda y las poleas deflectoras y pueden dañar la banda, ya sea perforándola o aumentando la tensión. La acumulación de materiales también puede causar desalineamiento.
- Los dispositivos de limpieza para la parte interior de la banda deben estar diseñados para alto impacto y para prevenir el atrapamiento de materiales en los sistemas de suspensión. Los limpiadores de polea a menudo se aplican además de los arados de protección de cola.
- Debido a la longitud y capacidad de carga de algunas bandas, a veces se instalan propulsores duales (el segundo propulsor es un sobrealimentador de tipo distribuidor), lo que puede ser otra fuente de derrames. Es especialmente difícil instalar limpiadores para ellos, por el espacio limitado y diámetros de polea pequeños.
- Los uretanos de alto desempeño pueden proporcionar un desempeño y vida superiores en las aplicaciones de limpieza más difíciles.

Manejo de polvo

- El agua aplicada por aspersión es el típico método de supresión de polvo; sin embargo, los altos índices de aplicación de agua aumentarán los problemas con el material adherido o la obstrucción de cribas. Además, la disponibilidad de agua puede ser un problema. Los surfactantes o la supresión de espuma se deben considerar como alternativa.
- El vertedero de camiones que lleva a la quebradora primaria generalmente requerirá de sistemas de contención de polvo. El polvo de los vertederos de camiones a menudo es controlado con el uso de un cobertizo de asentamiento.

CONOZCA AL "ENEMIGO"

En resumen...

Cada industria que usa bandas transportadoras para el manejo de materiales a granel tiene condiciones únicas que deben tomarse en cuenta al determinar la configuración del transportador y los accesorios. Aunque hay algunas cosas que aplican al uso de transportadores en general, las diferencias en los materiales transportados, las condiciones en las que se localizan los transportadores, el equipo y los estándares de la industria impactan los esfuerzos para limitar los derrames y el polvo.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo, Consideraciones para industrias específicas, continúa la sección Visión global del manejo de materiales a granel, explicando la importancia de conocer las condiciones únicas de las industrias implicadas en los esfuerzos para reducir los materiales fugitivos. El siguiente capítulo, Consideraciones para los transportadores de especialidad, concluye esta sección.

Figura 33.1

Para adecuarse a materiales inusuales o requerimientos especiales, existen varios transportadores que proporcionan alternativas al sistema de banda transportadora canalizada convencional.

Capítulo 33

CONSIDERACIONES PARA LOS TRANSPORTADORES DE ESPECIALIDAD

La necesidad de sistemas de transportadores especializados 505
Bandas transportadoras de cable 506
Bandas con separadores o chevrones 507
Transportadores curveados horizontal o verticalmente 508
Transportadores de placa y pared 509
Transportadores de rodillos confinados 510
Transportador pouch, fold y tubular 510
Transportadores en sándwich 512
El futuro de la tecnología de los transportadores 513
La necesidad de sistemas alternativos 513

33

En este capítulo...

En este capítulo describimos una variedad de alternativas a la banda transportadora canalizada convencional que se usa cuando surgen circunstancias especiales. Para cada tecnología alternativa presentada proporcionamos los beneficios, las desventajas y las aplicaciones típicas. Además examinamos el futuro de la tecnología de los transportadores.

Aunque en la mayoría de las aplicaciones la banda con rodillos de canalización convencional domina el mercado, existe una apreciación creciente de construcciones de bandas transportadoras alternativas o especializadas **(Figura 33.1)**. Estos sistemas también usan una banda para transportar la carga, pero otros componentes han cambiado. Los cambios permiten a estos transportadores proporcionar diferentes capacidades o servir para aplicaciones especiales.

LA NECESIDAD DE SISTEMAS DE TRANSPORTADORES ESPECIALIZADOS

Existen varias características comunes entre las diferentes tecnologías alternativas que se describen aquí. Las más comunes son:

A. Mejor control ambiental

La mayoría del transporte con tecnología de vanguardia requiere de un transporte limpio, es decir, sin derrames ni polvo. Minimizar los puntos de transferencia, encerrar las bandas y controlar los derrames y el polvo asociados con las operaciones de carga y descarga es esencial para obtener y mantener permisos, mantener condiciones de trabajo seguras y aumentar el desempeño del sistema de un transportador. Los transportadores poco convencionales mencionados aquí pueden proporcionar beneficios generales o específicos a través de un mejor control del material.

B. Reducción en los costos de mano de obra y capital

Estas tecnologías de transportadores avanzadas a menudo se seleccionan para reducir el tamaño de la huella (es decir, el área del piso requerida para instalar el sistema) del transportador o el número de puntos de transferencia requeridos para transportar la carga desde el punto de carga hasta la descarga. Cualesquiera de las dos puede reducir los costos de capital y mantenimiento. Reducir el tamaño de la huella puede ser ventajoso en situaciones donde hay limitaciones significativas de espacio. Además es rentable en términos de la inversión de capital en los componentes estructurales y el costo operativo del mantenimiento. Un programa de construcción más rápido puede ser otra ventaja, puesto que muchos de estos diseños son modulares y pueden fabricarse externamente y luego ensamblarse en su lugar.

C. Reducción en el número de puntos de transferencia

Además de requerir una inversión más baja en componentes de punto de transferencia como, por ejemplo, rodillos, sistemas de faldón, chutes de transferencia y revestimientos, estos transportadores especializados no requieren las horas-hombre o el equipo típicamente necesarios para hacer frente al polvo y a los derrames. También hay menos degradación del material, pues éste viaja a través de menos puntos de transferencia.

Existen varios factores que influyen en el avance de las tecnologías de transportadores, incluyendo las necesidades siempre presentes (y conflictivas) de cruzar terrenos complicados y minimizar la inversión de capital. No obstante, un factor que está surgiendo como un común denominador en todas las aplicaciones de tecnologías de transportador especializadas es la protección del medio ambiente: mantener el material libre de contaminantes e impedir que el material contamine sus alrededores.

Estos sistemas ofrecen alternativas eficaces a la banda transportadora canalizada convencional para aplicaciones donde hay materiales inusuales, requerimientos especiales o limitaciones de espacio.

Sin hacer referencia a nombres comerciales o información patentada, a continuación se resumen varias de estas tecnologías de transportadores especializados mencionadas en orden alfabético. Hay información adicional sobre las tecnologías de transportadores alternativas en *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS (BANDAS TRANSPORTADORAS para MATERIALES A GRANEL), sexta edición* de la Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas Transportadoras (CEMA) o con el

fabricante de cualquier sistema específico. *(Vea el Capítulo 23: Transportadores soportados por aire, para información que cubre este tema).*

BANDAS TRANSPORTADORAS DE CABLE

En vez de rodillos, los sistemas de bandas transportadoras de cable soportan la banda con dos cables metálicos, uno cerca de cada borde de la banda **(Figura 33.2)**. Estos cables soportan los lados de carga y de retorno de la banda y proporcionan el mecanismo para mover la banda a medida que se les aplica potencia motriz.

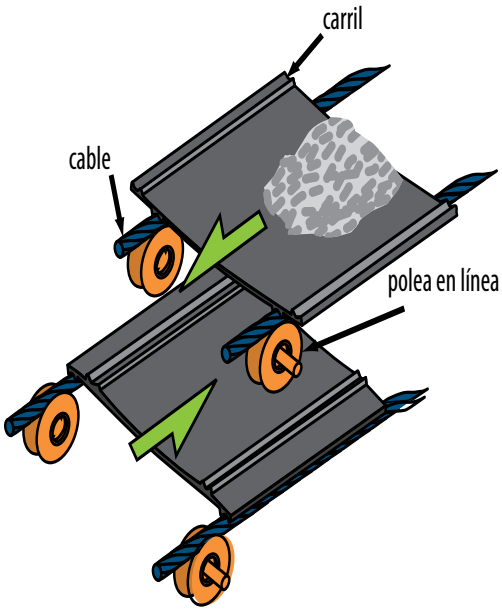
Las bandas transportadoras de cable utilizan una banda especial con altos niveles de rigidez de banda cruzada. La banda es más rígida a lo ancho que la banda típica de un transportador. Esto se debe a que el sistema no usa rodillos y; por lo tanto, la banda debe soportar su propio peso y la carga. Los carriles que sostienen los cables están fundidos a los recubrimientos superior e inferior de la banda cerca de los bordes exteriores.

Las zonas de carga y descarga son semejantes a las de un transportador convencional, con poleas diseñadas para alojar los carriles de los cables en la banda. Los cables y la banda se separan en los extremos de la carga (cola) y descarga (cabeza) del transportador, donde cada uno se envuelve alrededor de una polea distinta.

Los transportadores de cable (o cable metálico) son muy apropiados para aplicaciones de larga distancia que requieren curvas verticales y horizontales; proporcionan un transporte confiable a través de distancias largas y topografía complicada. Las aplicaciones típicas son de al menos un kilómetro (3300 pies) de longitud. Puesto que pueden manejar curvas horizontales y verticales, las bandas de cable pueden reducir la necesidad de puntos de transferencia; por lo tanto, también disminuyen la degradación del material y los costos de mantenimiento asociados con los puntos de transferencia.

Figura 33.2

Las bandas transportadoras de cable usan cables metálicos para soportar y mover la banda.



Beneficios

- Son adecuadas para curvas horizontales y/o verticales

  Las bandas transportadoras de cable son indicadas para aplicaciones en terrenos complicados

- Son ideales para transportadores de largo alcance

  La instalación típica es de al menos 1000 metros (3300 pies) de longitud.

- Proporcionan un recorrido sin problemas

  El material no se segrega debido a la agitación creada por los rodillos.

Desventajas

- Sacrificios del diseño

  La fricción disponible entre la banda y el sistema de cable es inadecuada para el uso de soporte de banda adecuado en el área de carga.

- Dificultad para sellar o limpiar la banda

  Los equipos requeridos pueden provocar que la banda se arrugue o estire. La colocación del mecanismo motriz del cable en la polea de cabeza dificulta el acondicionamiento de limpiadores en este lugar.

- Vulnerabilidad a las condiciones climáticas

  El clima puede provocar una pérdida de fricción entre el cable y la banda.

Aplicaciones típicas

- Sistemas terrestres largos

  Se ha demostrado que estos sistemas son eficaces cuando se usan en sistemas de manejo de minerales sobre un terreno difícil.

BANDAS CON SEPARADORES O CHEVRONES

Las bandas con separadores son bandas que tienen rebordes, aletas o chevrones unidos a la superficie de la banda **(Figura 33.3)**. Estos separadores pueden unirse a la superficie de la banda por medio de vulcanización u otros alineadores mecánicos. La construcción del transportador es convencional en el lado de carga con el ángulo de canalización limitado por la rigidez de la banda y la configuración de los separadores. Los rodillos de retorno deben justificar los separadores a través del uso de rodillos partidos, rodillos con disco de caucho o rodillos jaula de ardilla. En algunos casos, las bandas tienen chevrones inversos de bajo perfil (12 milímetros (0.5 pulgadas) o menos) unidos o fundidos a la superficie **(Figura 33.4)**. Generalmente, estas bandas no requieren de rodillos de retorno especiales.

Beneficios

- Permite un aumento en el ángulo de inclinación

  Estos sistemas pueden transportar material por pendients de hasta 45 grados. Esto permite la reducción de la huella general del sistema de un transportador **(Figura 33.5)**.

Desventajas

- Limitaciones en la capacidad

  A medida que el ángulo de inclinación aumenta, la capacidad disminuye.

- Susceptibilidad de los separadores a provocar daños

  Los objetos elevados sobre la superficie de la banda sufren daños debido a los terrones de material, los sellos del faldeo y los limpiadores.

- Dificultad para limpiar la banda

  Los dispositivos especiales como rociadores de agua, cuchillas de aire, golpeadores o limpiadores diseñados especialmente con tiras individuales deben instalarse para controlar el material adherido. Los chevrones inversos facilitan la limpieza de la banda, pero aun así requerirán dispositivos de limpieza especiales.

- Dificultad con el sellado del faldeo

  Los separadores deben recortarse desde el borde de la banda para que los sistemas de faldón puedan controlar el polvo y el derrame.

- Tolerancia limitada en el desalineamiento de la banda

  Las áreas con separadores se moverán de un lado a otro abajo del sistema de faldón para desgastar prematuramente el sello si la banda no se alinea correctamente a lo largo del área de carga.

Aplicaciones típicas

- Agregados

  Estos sistemas son especialmente útiles cuando el espacio es limitado y las inclinaciones son pronunciadas.

- Productos de madera

  Estos sistemas son especialmente útiles cuando el espacio es limitado o restringido.

- Materiales a granel "redondos"

  Los separadores o chevrones son eficaces cuando la carga puede tender a rodar hacia atrás por el transportador.

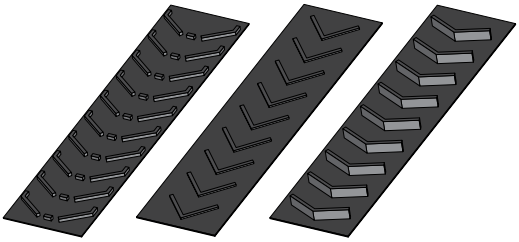


Figura 33.3

Los separadores de banda están disponibles en una variedad de configuraciones para corresponder al transportador y la carga.

Figura 33.4

En las bandas con chevrones inversos, los chevrones se funden en la superficie de la banda.

Figura 33.5

Las bandas con chevrones son eficaces para transportar materiales por transportadores inclinados.

TRANSPORTADORES CURVEADOS HORIZONTAL Y VERTICALMENTE

Las bandas transportadoras curveadas vertical y horizontalmente se usan cuando los transportadores terrestres no pueden conectar el punto de carga y el punto de descarga en una línea recta debido a las obstrucciones del terreno, las limitaciones del derecho de paso, las restricciones industriales o de propiedad, o por muchas otras razones. Las capacidades de curvatura de estos transportadores pueden eliminar el requerimiento de uno o más puntos de transferencia inmediatos **(Figura 33.6)**.

Las bandas transportadoras convencionales pueden girarse para formar una curva horizontal elevando los rodillos en la parte externa del radio. Aparte de reubicar la estructura elevada, ningún otro cambio mayor es necesario y los transportadores usan componentes comúnmente disponibles.

Se requiere un análisis de ingeniería para especificar la banda, la elevación y la tensión correcta para una situación dada. El radio de giro varía, pero comúnmente es de alrededor de 95 metros (300 pies).

Las transmisiones inmediatas se usan para controlar las tensiones de la banda cuando se colocan estratégicamente para permitir que la banda gire en curvas de radio estrecho. Al inclinar los rodillos, los diseñadores de estos transportadores curveados han sido capaces de lograr la geometría y la tensión de banda deseadas. El diseño a través de simulaciones modeladas en computadora ha permitido a los diseñadores asegurarse de que los componentes del sistema interactúen correctamente entre sí.

La mejor aplicación de esta tecnología permite que los transportadores terrestres de largo alcance se adapten al terreno y se eliminen así los puntos de transferencia. El diseño y la construcción se han desarrollado hasta el punto en que es común observar transportadores terrestres de hasta varios kilómetros (millas) de longitud que incorporan varias curvas horizontales.

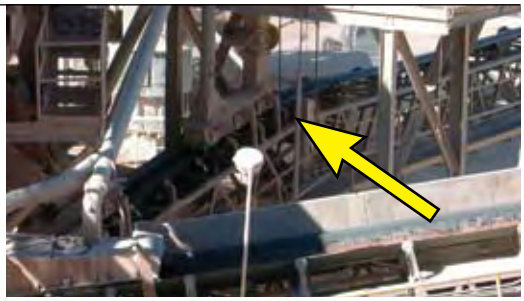


Figura 33.6

El uso de ingeniería especializada permitirá a los transportadores incorporar curvas verticales u horizontales.

Las curvas verticales en los transportadores pueden ser cóncavas (curveadas hacia arriba) o convexas (curveadas hacia abajo). Las bandas curveadas hacia abajo generalmente no representan muchos problemas, pero la curva debe ser gradual para que la banda no se dañe al doblarla demasiado rápidamente por el área curveada. No obstante, las bandas cóncavas casi siempre presentan problemas. Si un sistema cóncavo no se diseña perfectamente o hay cambios en la carga o en la tensión de la banda, ésta se elevará sobre los rodillos en el área curveada. Esto puede elevar la banda en la zona de carga provocando daños severos a la banda e imposibilitando el sello de la zona de carga.

Beneficios

- Puede eliminar la necesidad de una transferencia

  Las curvas pueden adaptrase a cambios de dirección donde, de otra manera, se requerirían puntos de transferencia en transportadores convencionales.

Desventajas

- Requiere de ingeniería adicional

  El diseño del sistema necesita ingenieros con más experiencia y por lo tanto ingeniería más costosa.

- Mayor complejidad de construcción

  Instalar el sistema para lograr una trayectoria exacta por un terreno requiere de mayor pericia.

- Tensión en la banda

  El aumento en la tensión del borde puede provocar problemas en la banda y los rodillos.

Aplicaciones típicas

- Transportadores terrestres de largo alcance

  Las curvas permiten al transportador rodear los obstáculos sin requerir puntos de transferencia.

- Transportadores de elevación

  El sistema permite elevar material a contenedores de almacenamiento u operaciones de proceso a elevaciones mayores en la planta.

TRANSPORTADORES DE PLACA Y PARED

Los transportadores de placas son similares a los transportadores con separadores, pues tienen separadores centrales grandes **(Figura 33.7)**. Se agregan paredes laterales flexibles a la banda para formar una serie continua de placas similar a un elevador con cangilones. La banda es de una construcción especial con una alta rigidez de banda cruzada para adecuarse a la curva necesaria. Las poleas de retorno se limitan a hacer contacto sólo con los bordes externos de la banda. La banda transportadora de placas a menudo se configura en forma de "S" y se usa en situaciones en que hay un espacio limitado disponible. Los transportadores de placas proporcionan una alta capacidad de transporte en grandes alturas y con mínimos requerimientos de espacio **(Figura 33.8)**.

Figura 33.7

Los transportadores de placas y paredes incorporan rebordes centrales y paredes laterales flexibles para contener el material.

Figura 33.8

Los transportadores de placas proporcionan una alta capacidad de transporte en grandes alturas y con mínimos requerimientos de espacio.

Beneficios

- Puede elevar la carga en un espacio relativamente pequeño.

  El sistema puede elevar la carga verticalmente con un soporte de banda mínimo.

- Permite la colocación de la carga donde se necesita.

  La banda puede doblarse sobre el eje vertical para permitir la compensación de la descarga.

- Forma su propio sello

  No se requieren sellos laterales.

- Sigue una trayectoria restringida

  Pueden incorporarse curvas convexas y cóncavas relativamente estrechas.

Desventajas

- Requiere una banda especial

  La banda es costosa y debe fabricarse bajo pedido. Puede haber largos tiempos de entrega para una banda de reemplazo.

- Susceptibilidad de las placas a provocar daños

  Las paredes se extienden sobre la superficie de la banda, así que pueden atascarse con las obstrucciones.

- Dificultad para limpiar la banda

  Los limpiadores de banda convencionales son ineficaces para eliminar el material dentro de las placas.

Aplicaciones típicas

- Terrones pequeños y secos de material o materiales a granel secos y finos que requieren inclinaciones pronunciadas.

  El material transportado en "placas" no rodará hacia atrás en transportadores inclinados.

- Aplicaciones con espacio limitado

  El material contenido puede elevarse por un ángulo pronunciado, de modo que el transportador necesita un espacio de piso mínimo.

TRANSPORTADORES DE RODILLOS CONFINADOS

Los transportadores de rodillos confinados están confinados donde la banda se acondiciona con separadores o rebordes en el lado de carga. Además de mover la carga, estos rebordes arrastran el derrame y el polvo a lo largo de la plataforma por abajo del recorrido de retorno hacia la zona de carga **(Figura 33.9)**. Hay varios métodos para cargar automáticamente el derrame y el polvo de regreso a la banda con paletas unidas a la polea de cola. Algunos diseños tienen rodillos confinados, otros tienen rodillos voladizos o accesibles desde afuera.

Beneficios

- Proporciona lados confinados de carga y de retorno del transportador

  El polvo y los derrames se contienen dentro del compartimiento.

- Usa construcción modular

  El diseño y la fabricación reducen el tiempo requerido para la instalación.

- No se requieren chutes laterales

  No se requiere un ajuste o reemplazo del caucho de sellado.

Desventajas

- Sistema de arrastre problemático

  El sistema de arrastre puede no ser eficaz con todos los materiales. Los materiales pegajosos se acumularán.

- Dificultad para el mantenimiento de los rodillos

  La ubicación de los componentes rodantes dentro del compartimiento hace que el acceso sea complicado.

- Velocidad limitada debido al sistema de arrastre

  Regresar el derrame a la carga puede desacelerar todo el sistema.

Aplicaciones típicas

- Manejo de granos

  Estos sistemas a menudo se observan en elevadores y plantas procesadoras de granos.

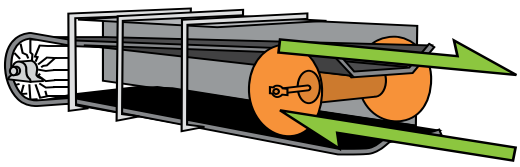


Figura 33.9

Los transportadores con rodillo confinado incorporan rebordes para jalar el material a la descarga.

TRANSPORTADOR POUCH, FOLD Y TUBULAR

Esta clase de transportadores especializados usa una banda y sistema de carga diseñados especialmente **(Figura 33.10)**. En todos los casos, la banda tiene una forma tubular, hermética al polvo y sellada. En transportadores pouch o fold, la banda tiene bordes especiales que son capturados por un sistema de carga de techo similar a un transportador de trole. Los transportadores tubulares incluyen una banda construida especialmente que se enreda en un tubo por una serie de rodillos colocados en forma radial. El tubo está abierto en los puntos de carga y descarga con guías especiales **(Figura 33.11)**.

Puesto que estos transportadores están confinados, se eliminan la contaminación ambiental y el derrame durante el transporte, se previenen la contaminación o el robo de la carga y se reduce la degradación del producto. Las curvas horizontales que se incluyen en los transportadores tubulares disminuyen el número de puntos de transferencia y el número de transmisiones requeridas para energizar el sistema. Los transportadores tubulares se adecúan a inclinaciones y declinaciones pronunciadas, reduciendo la longitud del transportador mientras se conforma a las restricciones de espacio o terreno. La banda de retorno de un transportador tubular puede tener una forma tubular para encerrar el lado sucio de la banda y así impedir los derrames y el polvo. En algunos casos, la banda de retorno puede usarse para transportar material.

Beneficios

- Reduce las zonas de carga y los puntos de transferencia

  Estos sistemas son capaces de aceptar curvas verticales y horizontales estrechas, de modo que pueden eliminar las transferencias.

- Proporciona una operación libre de contaminación

  La carga está encerrada, de modo que ningún material se escapa y ninguna contaminación entra.

- Permite tasas de flujo razonables para la mayoría de los materiales a granel

  El sistema proporciona una capacidad adecuada para la mayoría de los requerimientos.

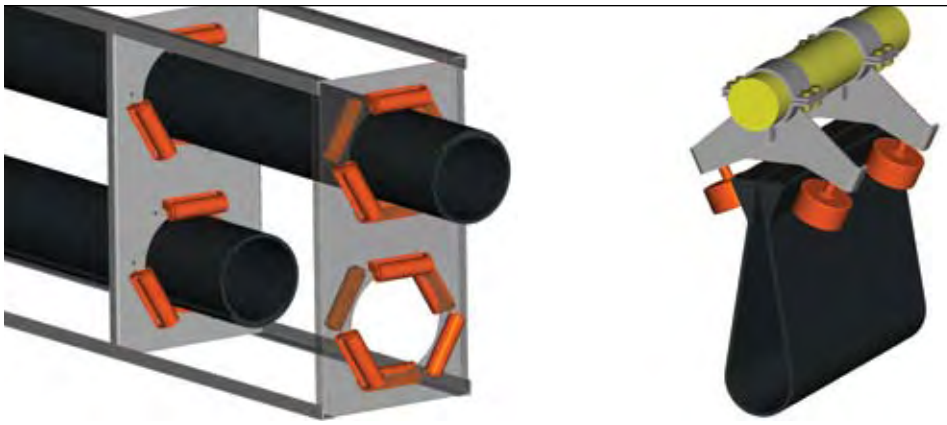


Figura 33.10

Izquierda: los transportadores tubulares enrollan la banda en un tubo para contener el material. Derecha: los transportadores de pouch o fold atrapan el borde de la banda para formar una bolsa.

- Puede transportar material en ambas direcciones

  El sistema puede transportar material, por ejemplo, desde y hacia un puerto, con lo que se puede eliminar la necesidad de un segundo sistema de transportador.

Desventajas

- Mayor costo

  La estructura, guías y banda son más complicadas y por lo tanto más costosas.

- Requiere una banda diseñada especialmente

  La banda especial puede aumentar el costo y el tiempo cuando requiere reemplazarse.

- Dificultad para sellar en los puntos de carga

  La transición de la banda a la figura final dificulta el sellado.

- Requiere limpieza de la banda

  La limpieza de la banda es crucial, puesto que el material adherido puede interferir con el equipo que transporta la banda.

- Requiere energía adicional

  El sistema usa como máximo 30 por ciento más energía que los transportadores convencionales con rodillos de canalización.

Figura 33.11

El tubo está abierto en los puntos de carga y descarga con guías especiales.

Aplicaciones típicas

- Puertos

  El compartimiento de la carga impide el derrame hacia el agua.

- Aplicaciones industriales donde el espacio es limitado

  La capacidad del sistema de manejar ángulos de inclinación altos y una trayectoria con curvas permite la instalación en espacios reducidos.

- Materiales que requieren de una operación libre de contaminación

  El compartimiento de la carga la protege de contaminantes.

TRANSPORTADORES EN SÁNDWICH

Los transportadores en sándwich, también conocidos como transportadores de ángulo alto, generalmente se usan para transportar materiales por ángulos pronunciados usando dos bandas. La carga se coloca entre dos bandas como la carne en un sándwich **(Figura 33.12)**. Estos sistemas usan rodillos modificados para capturar la carga y formar el sándwich. Los transportadores a menudo tienen una configuración en "S" y típicamente se usan para elevar o bajar cargas verticalmente dentro de una huella pequeña **(Figura 33.13)**.

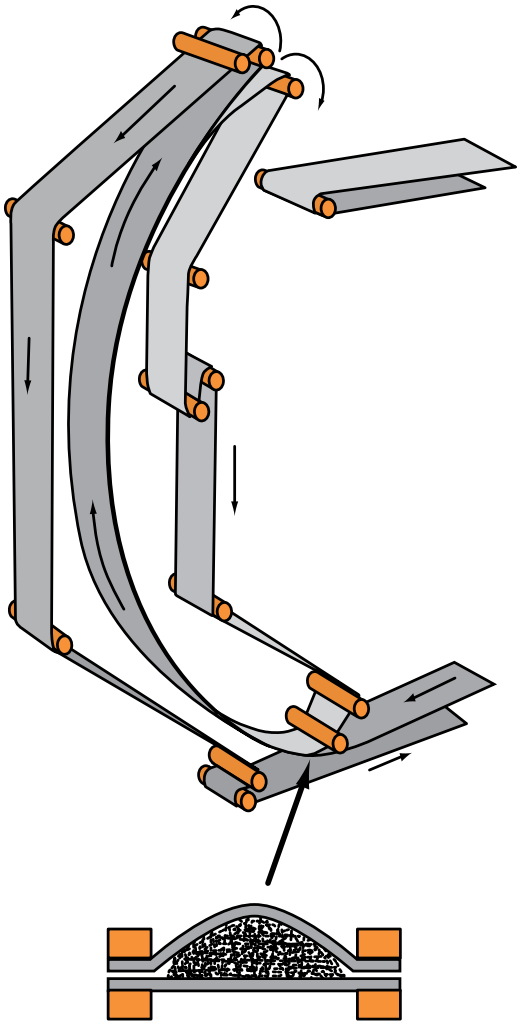


Figura 33.12

Los transportadores en sándwich colocan la carga entre dos bandas y la suben por pendientes pronunciadas.

Figura 33.13

Los transportadores en sándwich se observan comúnmente en aplicaciones como el llenado de silos y los barcos con descarga automática.

Beneficios

- Pueden transportar altas capacidades por pendientes pronunciadas

  El sistema captura el material, por lo que la banda puede escalar ángulos altos sin perder material.

- Es ideal para espacios limitados

  El ángulo de inclinación alto limita los requerimientos de la huella del transportador.

Desventajas

- Servicio difícil en los componentes rodantes

  Estos sistemas incluyen varios componentes en espacios angostos.

- La carga es crucial para la operación eficaz

  Si el material se coloca incorrectamente durante la carga, el sándwich de la banda puede no sellarse estrechamente, lo que cancela el beneficio del sistema.

- Banda difícil de limpiar

  La limpieza de la banda representa desafíos especialesm puesto que la banda superior debe limpiarse de manera invertida. Hay espacio limitado para la limpieza de la banda y la alineación del equipo.

Aplicaciones típicas

- Operaciones de quebradora en tajo

  Estos sistemas son útiles donde se requiere que un ángulo pronunciado eleve material desde el tajo.

- Llenado de silos

  El sistema es útil debido al ángulo de inclinación alto que puede reducir la huella del transportador.

- Barcos de descarga automática

  Hacen posible elevar el material desde el área de contención del barco.

EL FUTURO DE LA TECNOLOGÍA DE LOS TRANSPORTADORES

A medida que estas tecnologías avanzadas continúan evolucionando, los beneficios descritos en la sección anterior se volverán funciones ordinarias de los sistemas de transportadores. Por lo tanto, las bandas transportadoras tendrán menos puntos de transferencia y requerirán menos mantenimiento. Otros cambios se llevarán a cabo, incluyendo la adopción de nuevos materiales y mejor planeación de mantenimiento.

Nuevos materiales de bandas

Las bandas transportadoras serán fabricadas a partir de materiales recién desarrollados que son más ligeros y capaces de soportar altas temperaturas. Los compuestos sintéticos para empalmes pueden reemplazar los empalmes mecánicos y vulcanizados. El recubrimiento antiestático y antiadherente repelerá material para reducir el material adherido, además de demostrar una resistencia mejorada al tiempo y al clima.

Mantenimiento predictivo y diagnóstico remoto

Más sistemas de transportadores incorporarán sensores que proporcionarán alertas de mantenimiento cuando el equipo requiera atención. Los programas de mantenimiento predictivo que monitorean a los sistemas de transportadores en línea y generan reportes de monitoreo que predicen las fallas esperadas tienen el potencial de reducir significativamente los costos de mantenimiento. Con esta información exacta, concisa y práctica sobre la condición operativa del equipo crítico de la planta, el personal de mantenimiento podrá diagnosticar problemas como desbalance, desalineación y defectos de los cojinetes antes de que pongan en riesgo la producción.

Existen dispositivos de diagnóstico remoto para detectar las zonas de conflicto, detectar niveles de humedad y predecir fallas eléctricas y mecánicas en los motores y todos los sistemas que puedan estar conectados a los motores. Existe también equipo para limpiar la banda que se ajusta para adecuarse a los cambios en el coeficiente de fricción en la superficie de la banda. Otros sensores utilizan análisis de vibración, alineación con láser y análisis de aceite y lubricante para alertar al personal de mantenimiento sobre los componentes que requieren atención. Es muy probable que la prevalencia de dichos dispositivos aumente en el futuro cercano. El resultado será una reducción en los costos de mantenimiento debido a la atención oportuna del equipo deteriorado en vez de interrupciones de emergencia para resolver fallas catastróficas del equipo.

LA NECESIDAD DE SISTEMAS ALTERNATIVOS

En resumen...

Existen varios ejemplos de plantas de manejo de materiales a granel que utilizan tecnologías de transportadores avanzadas para cumplir con las regulaciones ambientales, para transportar material por distancias largas con topografía compleja y para maximizar el retorno de su inversión.

Estos sistemas de transportadores alternativos pueden ser adecuados para plantas especiales o para resolver un problema en especial. No obstante, cada uno posee su propio conjunto de limitaciones y desventajas. Estos sistemas existen por algunas razones: logran algún grado de aceptación comercial, puesto que se adecuan al menos a una necesidad. Para propósitos generales, la banda transportadora con rodillos de canalización convencional es el estándar de desempeño y el líder de valor contra el que deben evaluarse estos otros sistemas. Las bandas transportadoras con rodillos de canalización tienen una larga historia de desempeño satisfactorio en condiciones complejas.

Mirando hacia adelante...

Este capítulo sobre las Consideraciones para los transportadores de especialidad es el capítulo final en la Visión global del manejo de materiales a granel y el último capítulo de este libro. La siguiente sección describe los servicios de investigación, desarrollo de personal y los productos de Martin Engineering, incluyendo el Centro de Innovación para el Manejo de Materiales a Granel y los programas educativos Foundations™.

MARTIN ENGINEERING

- **INVESTIGACIÓN** 516
- **DESARROLLO PERSONAL** 518
- **SERVICIOS** 520
- **PRODUCTOS** 521

MARTIN ENGINEERING CENTRO PARA LA INNOVACIÓN EN EL MANEJO DE MATERIALES A GRANEL (CFI POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)

Para mejorar la comprensión tanto de la conducta de los materiales a granel como el desempeño de los sistemas de equipo que manejan esos materiales, Martin Engineering abrió un nuevo centro corporativo de investigaciones, el Centro para la Innovación en el Manejo de Materiales a Granel (CFI).

Albergado en un nuevo edificio de 2,100 metros cuadrados (22,600 pies cuadrados) en el campus del centro de operaciones de Martin en Neponset, Illinois, el CFI es un complejo de $5 millones de dólares estadounidenses con los objetivos de innovación, colaboración y educación para mejorar el manejo de materiales a granel.

El centro para la innovación promete una mejor productividad y rentabilidad en las operaciones industriales en donde es esencial el manejo eficaz de material a granel. El nuevo centro corporativo de investigaciones de Martin se enfoca en mejorar el manejo de materiales a granel en industrias como la generación de potencia con carbón; minería de carbón y rocas duras; producción de arena y grava; pulpa y papel y cemento.

Mezcla entre ciencia pura y desarrollo de productos

En parte laboratorio de investigación de ciencia pura y en parte centro de desarrollo de producto industrial, el CFI colabora con socios como compañías, asociaciones industriales y universidades para que la investigación práctica resuelva los problemas comunes asociados con el manejo de materiales a granel. Estos problemas llevan a mayores gastos de mantenimiento y una productividad reducida.

El personal de tiempo completo de CFI, que incluye científicos, ingenieros y técnicos, está dedicado a ayudar a conocer mejor la conducta de los materiales a granel y el desempeño de los sistemas de manejo de material.

CFI tiene tanto los instrumentos científicos como el equipo para el manejo de los materiales en su máximo potencial, incluyendo un sistema de tres bandas transportadoras recirculantes, para probar los materiales a granel y componentes prototipo bajo condiciones de operación simuladas.

Un sistema de transportador de recirculación de tres piezas en el Centro de Innovación para el Manejo de Materiales a Granel de Martin permite realizar pruebas sobre el manejo de materiales a gran escala

Laboratorios para investigación especializada

Los laboratorios especializados permiten el análisis y pruebas de las características y desempeño de metales, polímeros y materiales a granel, así como las pruebas aceleradas de los componentes bajo una variedad de condiciones arduas.

"El Centro para la Innovación en el Manejo de Materiales a Granel representa un compromiso importante con las industrias a las que servimos".

– Edwin H. Peterson
Presidente

Martin es el primero en la industria en usar la primera metodología de ciencia pura para mejorar el manejo de materiales a granel. Según el Presidente de Martin Engineering, Edwin H. Peterson, "El Centro para la Innovación en el Manejo de Materiales a Granel representa un compromiso importante con las industrias a las que servimos. Nuestros socios de investigación se beneficiarán por la mejor comprensión de las características de los materiales a granel que usan y cómo deben manejarse. Esto llevará a nuevas tecnologías que hacen el manejo de materiales más limpio, seguro y productivo".

Un recurso para la educación

CFI ofrece una capacitación dedicada y recursos de educación, que incluyen una sala de capacitación de vanguardia de 44 asientos y un centro de video conferencias.

CFI también incluye un circuito de simulación del proceso de tres bandas transportadoras recirculantes. Un piso de observación permite que los visitantes vean el circuito de simulación, a través de una ventana o por medio de cámaras de video de circuito cerrado.

Liderazgo para la industria

El centro para la innovación ayudará a Martin a mantener su posición como el innovador líder de sistemas para hacer el manejo de materiales a granel más limpio, seguro y productivo.

PROGRAMAS EDUCATIVOS FOUNDATIONS™ DE MARTIN ENGINEERING PARA BANDAS TRANSPORTADORAS LIMPIAS, SEGURAS Y PRODUCTIVAS

Los programas educativos Foundations™ de Martin enseñan a los empleados experimentados y a los empleados recién contratados la operación de bandas transportadoras usadas en el manejo de materiales a granel.

Estos programas educativos no comerciales presentan información sobre la prevención de daños, control de material fugitivo, reducción de los costos de mantenimiento, aumento en la seguridad y mejora de la eficacia de operación. Son adecuados para cualquiera que esté interesado en mejorar la seguridad, condiciones de trabajo, desempeño y rentabilidad de las operaciones en las que las bandas transportadoras son clave para el éxito.

Satisfaciendo sus necesidades en su horario

Las sesiones se pueden programar de acuerdo con sus necesidades en sus instalaciones, un lugar neutro o un congreso o exposición profesional; como parte de una reunión de la compañía; o en una sesión de capacitación enfocada para ello. Se pueden dar a, y enfocarse en, el personal de una planta, o se pueden organizar para beneficiar a múltiples sitios de una sola compañía o personal de varias operaciones localizadas convenientemente. Los grupos pequeños hacen que las presentaciones no sean tan formales y alientan la discusión de problemas específicos.

Los programas educativos Foundations™ incluyen oportunidades para discutir los problemas de su complejo y de bandas transportadoras específicas. Por previo acuerdo, un taller en su complejo puede ser precedido por una inspección del sitio para documentar las condiciones y evaluar el equipo. Se incluirán las fotografías digitales de la inspección en el taller, y se discutirán problemas específicos y posibles soluciones.

Certificación

Estas clases pueden calificar para Horas de Desarrollo Profesional (PDH por sus siglas en inglés). Se entregan certificados a todos los que asistan a un programa. Todos los seminarios tienen una evaluación complementaria "a libro abierto" para verificar la comprensión de la información presentada.

Instructores del programa

Los programas educativos Foundations™ son impartidos por personal certificado de Martin que ha trabajado durante años con bandas transportadoras.

Estos profesionales experimentados tienen una comprensión teórica de los principios de las bandas transportadoras así como experiencia práctica en la operación y detección y resolución de problemas en las bandas transportadoras. Los instructores han visto cómo las bandas transportadoras manejan una variedad de materiales en todo el mundo, y han proporcionado soluciones innovadoras para resolver problemas y mejorar la eficacia.

Los instructores del taller se basan en una serie de materiales de capacitación y usan un estilo interactivo que hace que las sesiones sean amenas e interesantes.

Para más información

Para más información sobre la programación, cuotas de registro y la garantía de devolución de dinero del programa, póngase en contacto con Martin o envíe un correo electrónico a workshops@martin-eng.com.

Próximamente: 3 Niveles de los programas de bandas transportadoras Foundations™

Nivel 1: **TALLER BÁSICO FOUNDATIONS™**	**Nivel 2:** **SEMINARIO DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO FOUNDATIONS™**	**Nivel 3:** **SEMINARIO AVANZADO DE BANDAS TRANSPORTADORAS FOUNDATIONS™**
Público Empleados recién contratados con poco o ningún conocimiento sobre bandas transportadoras	**Público** Personal de operaciones y mantenimiento, supervisores y gerentes de producción y mantenimiento	**Público** Diseñadores de transportadores, ingenieros de planta y gerentes de planta
Duración 1 día o menos	**Duración** Varios días	**Duración** Varios días
Énfasis Conceptos básicos de bandas transportadoras, prácticas de trabajo seguras y principios fundamentales de Foundations™ para las operaciones de bandas transportadoras limpias, seguras y productivas	**Énfasis** Enfoque práctico de problemas y soluciones a problemas difíciles a los que se enfrentan quienes operan activamente las bandas transportadoras	**Énfasis** Aspectos técnicos y comerciales de las operaciones de bandas transportadoras: los temas incluyen requerimientos de energía, diseño de punto de transferencia y cálculos del retorno de la inversión (ROI por sus siglas en inglés)
Presentación Este es un programa integral que usa una presentación en computadora con notas, permitiendo que el curso sea impartido por personal interno o un experto en el tema de Martin Engineering. Los conceptos se enseñan de manera que sean fáciles de comprender en diferentes idiomas. Dependiendo de las necesidades del público, el taller básico se puede presentar en 3 a 5 horas aproximadamente y está diseñado para complementar los programas de capacitación específicos del sitio.	**Presentación** Este seminario típicamente incluye un mínimo de una inspección del sitio y su condición local en un día y una discusión en un salón de clases de un día por un experto de Martin. Esta discusión se enfoca en problemas y soluciones en áreas como el control de materiales fugitivos, daño de las bandas, desalineamiento, impacto, desgaste, limpieza de las bandas y construcción y mantenimiento del punto de transferencia.	**Presentación** El seminario de operaciones y mantenimiento se considera generalmente un requisito previo para este seminario. El seminario Foundations™ avanzado es impartido por un experto en el tema de Martin quien es un ingeniero certificado y generalmente dura de 1 a 5 días, dependiendo de las áreas de interés y requerimientos de certificación.

MARTIN ENGINEERING: ENFOCÁNDOSE EN MEJORAR EL MANEJO DE MATERIALES A GRANEL

Durante más de 65 años, Martin se ha enfocado en la resolución de problemas en el manejo de materiales a granel, en todas las industrias alrededor del mundo. Martin ha desarrollado tecnologías innovadoras para mejorar el manejo de materiales a granel, que mejoran el flujo, que reducen el polvo y los derrames, que extienden la vida de los componentes y reducen el paro en producción, que mejoran el ambiente operativo y el punto principal: las respalda a todas ellas con una Garantía Absoluta y Sin Excusas.

Áreas de especialización

Servicios de campo Recursos para mejorar las operaciones en plantas que manejan materiales a granel

Para resolver problemas en las plantas de operación, Martin ofrece una amplia variedad de servicios enfocados en mejorar el manejo de material. Los especialistas en el servicio (certificados, hábiles y experimentados) ayudarán a hacer una diferencia crítica en el desempeño de los sistemas de manejo de materiales de su planta.

- Instalación del equipo
- Mantenimiento especializado
- Mejora del proceso

Inspección del sitio	Modelado del Flujo (DEM)
Censo del equipo	Inspección con láser
Pruebas de materiales a granel	Limpieza del silo, tolva y búnker
Análisis de material adherido	Mantenimiento del cañón de aire
Monitoreo de polvo	Biblioteca de activos en línea

Capacitación del personal Capacitación sobre por qué y cómo mejorar el manejo de materiales a granel

A través de sus libros Foundations™ líderes en la industria y sus programas educativos, Martin ayuda al personal de la industria a comprender la importancia crítica del manejo de materiales a granel. Los programas orientados hacia el usuario ayudarán a los empleados recién contratados; a las operaciones de la planta y personal de mantenimiento y sus gerentes; y a los diseñadores de bandas transportadoras, ingenieros y gerentes de la planta a controlar las variables que afectan los factores críticos del desempeño de las bandas transportadoras. A la medida para satisfacer sus necesidades, en su horario, los programas se imparten en el sitio o en un lugar acordado mutuamente.

- Capacitación sobre la seguridad de las bandas transportadoras
- Programas educativos Foundations™ (3 Niveles)
- Programa de Certificación de Técnico en Bandas Transportadoras Certificado (CCT por sus siglas en inglés)

MARTIN ENGINEERING: OFERTAS DE PRODUCTOS

Productos de transportadores

Sistemas para mejorar los transportadores de banda y controlar el material fugitivo

Las bandas transportadoras proporcionan sistemas confiables, seguros y eficaces que son capaces de mover miles de toneladas de material al día. Sin embargo pueden surgir problemas con el desempeño del sistema, vida de los componentes, horarios de operación y conformidad regulatoria. Martin Engineering ofrece soluciones diseñadas para ayudar a las operaciones donde el transporte de materiales a granel es clave para la productividad y rentabilidad general.

- Sistemas de limpieza de bandas
- Protección de la polea de cola de los arados
- Dispositivos de alineación de banda
- Sistemas de manejo de polvo
  - Dispositivos de contención pasiva
  - Colectores insertables de polvo
  - Sistemas de supresión de polvo (niebla, espuma y rociador de agua)
- Tecnologías de punto de transferencia
  - Camas de soporte para bandas
  - Pared del chute y sistemas de revestimiento de desgaste
  - Sistemas de sellado de chute lateral
- Tecnologías de transportadores de borde anterior
  - Sistemas de transferencia diseñados
  - Transportadores soportados por aire
  - Arquitectura de los transportadores modernos

Productos promotores de flujo

Sistemas para mejorar el flujo de materiales a granel del almacenaje y a través de procesos industriales

Martin nació cuando el fundador de la compañía inventó el vibrador esférico Vibrolator® para mejorar la recuperación de la arena de moldeo de las tolvas de las fundidoras. Ahora, Martin continúa con su énfasis en el desarrollo de sistemas que mejoran el movimiento de materiales a granel de contenedores, chutes y silos y a través de vertedores, cribas, alimentadoras y bandas transportadoras.

- Sistemas de descarga de vagones
- Vibradores de descarga de vagones
- Fundas conectoras de vagones
- Sistemas de vibración diseñados
- Vibradores rotativos neumáticos
- Vibradores lineales neumáticos
- Vibradores eléctricos rotativos
- Abridor de puerta de la tolva
- Sistemas de cañones de aire
  - Detonadores neumáticos autónomos
  - Sistemas de cañones de aire de puertos múltiples
  - Detonadores neumáticos para aplicaciones de alta temperatura

Manejo de mantenimiento

Recursos para mejorar el programa de mantenimiento en las operaciones de manejo de materiales a granel

El programa MartinPLUS® Data Manager es una biblioteca de información de componentes en línea. Hecho a la medida para un sistema de transportador de bandas, este recurso digital puede mejorar la productividad en el mantenimiento y reducir los costos.

APÉNDICES

• Apéndice A
REFERENCIAS 526

• Apéndice B
GLOSARIO 532
ABREVIACIONES DE LAS MEDICIONES 542

• Apéndice C
ETIQUETAS DE SEGURIDAD 544

• Apéndice D
ÍNDICE DE ECUACIONES 552
ÍNDICE 553
ÍNDICE DE TEMAS 554

• Apéndice E
AUTORES Y RECONOCIMIENTOS 560

APÉNDICE A

REFERENCIAS

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (1995). *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice*, 22a Edition. Cincinnati, OH.

Arnold, P. C. (Septiembre de 1993). *Transfer Chutes Engineered for Reliable Performance*. Trabajo presentado en el Congreso Nacional de Manejo de Materiales a Granel de The Institution of Engineers, Australia, 1993, Queensland, Australia. Publicación nacional del congreso No. 93/8, págs. 165–173.

ASTM International. (2006). *Standard Test Method for Shear Testing of Bulk Solids Using The Jenike Shear Cell*, ASTM D6128-06. West Conshohocken, PA. Disponible en línea: http://www.astm.org

ASTM International. (2006). *Standard Test Method for Bulk Solids Characterization by Carr Indices*, ASTM D6393-99(2006). West Conshohocken, PA. Disponible en línea: http://www.astm.org

ASTM International. (2002). *Standard Shear Test Method for Bulk Solids Using Schulze Ring Shear Tester*. ASTM D6773-02; Elemento de trabajo: ASTM WK19871 – Revisión de D6773-02 Standard Shear Test Method for Bulk Solids Using the Schulze Ring Shear Tester. West Conshohocken, PA. Disponible en línea: http://www.astm.org

ASTM International. (2001). *Standard Test Method for Measuring Bulk Density Values of Powders and Other Bulk Solids*, ASTM D6683-01; Elemento de trabajo: ASTM WK14951 – Revisión de D6683-01 Standard Test Method for Measuring Bulk Density Values of Powders and Other Bulk Solids. West Conshohocken, PA. Disponible en línea: http://www.astm.org

ASTM International. (2001). *Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water*, ASTM D2035-08. West Conshohocken, PA. Disponible en línea: http://www.astm.org

Axelrod, Steve. (Septiembre 1994). "Maintaining Conveyor Systems," *Plant Engineering*, págs. 56–58. Des Plaines, Illinois: Cahners Publishing Company.

Barfoot, Greg J. (Enero/Marzo1995). "Quantifying the Effect of Idler Misalignment on Belt Conveyor Tracking," *Bulk Solids Handling*, Volumen 15, #1, págs. 33–35. Clausthal Zellerfeld, Alemania: Trans Tech Publications.

Benjamin, C.W. (Enero/Marzo 1999). "Transfer Chute Design: A New Approach Using 3D Parametric Modelling," *Bulk Solids Handling*, págs. 29–33. Clausthal-Zellerfeld, Alemania: Trans Tech Publications.

B.F. Goodrich Company. (1980). *Care and Maintenance of Conveyor and Elevator Belting*. Akron, Ohio.

Carter, Russell A. (Mayo 1995). "Knocking Down Dust," *Rock Products*, (págs. 19–23, 40–44). Chicago: Intertec Publishing.

Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (1988). *Conveyor Terms and Definitions, Quinta edición.* Rockville, Maryland.

Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (1997). *Belt Conveyors for Bulk Materials, Quinta edición.*

Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2000). CEMA Standard No. 575-2000: *Bulk Material Belt Conveyor Impact Bed/Cradle Selection and Dimensions*. Naples, FL.

Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2004). CEMA SPB-001 (2004) S*afety Best Practices Recommendation: Design and Safe Application of Conveyor Crossovers for Unit Handling Conveyors*. Naples, Florida.

Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, Sexta edición*. Naples, FL.

Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). "Conveyor Installation Standards for Belt Conveyors Handling Bulk Materials." In *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, Sexta edición*, Apéndice D, págs. 575–587. Naples, Florida.

Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2005). "'Universal Method' for Belt Tension Calculation." In *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS, Sixth Edition*, págs. 104–129. Naples, Florida.

Colijn, Hendrik. (1985). *Mechanical Conveyors for Bulk Solids*. Amsterdam, The Netherlands: Elesevier Science Publishers B.V.

Cooper, Paul, and Smithers, Tony. (July 1995). *Air Entrainment and Dust Generation from Falling Streams of Bulk Materials*. Trabajo presentado en 5th International Conference on Bulk Material Storage, Handling and Transportation, Wollongong, Australia.

Cukor, Clar. (Sin fecha). *Tracking: A Monograph*. Scottdale, Georgia: Georgia Duck and Cordage Mill (ahora Fenner Dunlop).

Density Standards: Aggregates–ASTM C29 / C29M-07, Crushed Bituminous Coal–ASTM D29-07, and Grains–U.S. Department of Agricultural Circular #921.

Dieter, George E. (1999). *Engineering Design: A Materials and Processing Approach*, Third Edition. McGraw-Hill.

Dorman, Peter. (Abril 2000). *The Cost of Accidents and Diseases*. Geneva. Disponible en línea: http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/papers/ecoanal/wr_chp1.htm

Drake, Bob. (Mayo 2001). "Cures for the Common Pulley." *Rock Products*, págs. 22–28. Chicago: Intertec Publishing.

Dreyer, E., and Nel, P.J. (Julio 2001). *Best Practice: Conveyor Belt Systems*. Project Number GEN-701. Braamfontein, South Africa: Safety in Mines Research Advisory Committee (sic) (SIMRAC), Mine Health and Safety Council.

Engineering Services & Supplies PTY Limited. Australian Registration #908273, Total Material Control and Registration #716561, TMC.

Environment Australia. (1998). *Best Practice Environmental Management in Mining: Dust Control*, (ISBN 0 642 54570 7).

Finnegan, K. (Mayo/Junio 2001). "Selecting Plate-Type Belt Fastener Systems for Heavy-Duty Conveyor Belt Operations," *Bulk Solids Handling*, págs. 315–319. Clausthal-Zellerfeld, Alemania: Trans Tech Publications.

Fish, K.A.; Mclean, A.G.; and Basu, A. (Julio 1992). *Design and Optimisation of Materials Handling Dust Control Systems*. Trabajo presentado en 4th International Conference on Bulk Materials Storage, Handling and Transportation, Wollongong, Australia.

Friedrich, A.J. (2000). "Repairing Conveyor Belting Without Vulcanizing." In *Bulk Material Handling by Conveyor Belt III*, págs. 79–85. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME).

Gibor, M. (Julio/Septiembre 1997). "Dust Collection as Applied to Mining and Allied Industry," *Bulk Solids Handling*, págs. 397–403. Clausthal-Zellerfeld, Alemania: Trans Tech Publications.

Giraud, Laurent; Schreiber, Luc; Massé, Serge; Turcot, André; and Dubé, Julie. (2007). *A User's Guide to Conveyor Belt Safety: Protection from Danger Zones*. Guía RG-490, 75 páginas. Montreal, Quebec, Canadá: IRSST (Institut de recherche Robert-

Sauvé en santé et en sécurité du travail), CSST. Disponible en inglés y francés como PDF de descarga gratuita: http://www.irsst.qc.ca/files/documents/PubIRSST/RG-490.pdf o como html: http://www.irsst.qc.ca/en/_publicationirsst_100257.html

Godbey, Thomas. (Mayo 1990). "Dust control systems: Make a wise decision," *Chemical Processing*, págs. 23–32. Chicago: Putnam Publishing.

Godbey, Thomas. (Noviembre 1989). "Selecting a dust control system (Part II)," *Powder and Bulk Engineering*, págs. 20–30. Minneapolis: CSC Publishing.

Godbey, Thomas. (Octubre 1989). "Selecting a dust control system (Part I)," *Powder and Bulk Engineering*, págs. 37–42. Minneapolis: CSC Publishing.

Goldbeck, Larry J., Martin Engineering (Julio 2001). "Matching Belt Compatibility to Structures," *Aggregates Manager*, págs. 21–23. Chicago: Mercor Media.

Goldbeck, Larry J., Martin Engineering (Julio 1988). "Controlling fugitive material at your belt conveyor's loading zone," *Powder and Bulk Engineering*, págs. 40–42. Minneapolis: CSC Publishing.

Goodyear Tire & Rubber Company. (2000). *Handbook of Conveyor & Elevator Belting on CD*, Version 1.0. Akron, Ohio.

Greer, Charles N. (Abril 1994). "Operating Conveyors in the Real World," *Rock Products*, págs. 45–48. Chicago: Maclean-Hunter Publications.

Grisley, Paul. (Febrero 2002). "Air Supported Conveying in Mines and Process Plants." Trabajo presentado en the 2002 Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME) Annual Meeting & Exhibit, Phoenix, AZ.

"Hints & Helps: Tips for Tracking Conveyor Belts." (Febrero 1995). Rock Products, pág. 25. Chicago: Intertec Publishing.

International Labour Organization. (2003). *Safety in Numbers, Pointers for a Global Safety Culture at Work*. Geneva.

Kasturi, T.S. (Mayo 1995). *Conveyor Belting Wear: A Critical Study*. Estudio no publicado realizado por encargo de Martin Engineering. Madras, India: Jay Kay Engineers & Consultants.

Kasturi, T.S. (1994). *Conveyor Components, Operation, Maintenance*. Failure Analysis. Madras, India: Jay Kay Engineers & Consultants.

Kasturi, T.S. (1992). *Conveyor Belt Cleaning Mechanism*. Madras, India: Jay Kay Engineers & Consultants.

Kestner, Dr. Mark. (Febrero 1989). "Using suppressants to control dust emissions (Part I)," *Powder and Bulk Engineering*, págs. 17–20. Minneapolis: CSC Publishing.

Kestner, Dr. Mark. (Marzo 1989). "Using suppressants to control dust emissions (Part II)," *Powder and Bulk Engineering*, págs. 17–19. Minneapolis: CSC Publishing.

Koski, John A. (Marzo 1994). "Belt conveyor maintenance basics," *Concrete Journal*, pág. 5. Addison, Illinois: The Aberdeen Group.

Law, Bob. (Agosto 2000). *Conveyor Belt Cleaner Analysis*. Trabajo presentado en the IIR Conference "Improving Conveyor Performance," Perth, Australia.

Low, Allison and Verran, Michael. (August 2000). *Physical Modelling of Transfer Chutes–A Practical Tool for Optimising Conveyor Performance*. Trabajo presentado en IIR Conference "Improving Conveyor Performance," Perth, Australia.

Maki, D. Michele, PhD. 2009. *Conveyor-Related Mining Fatalities 2001-2008: Preliminary Data*. Reporte no publicado para Martin Engineering.

Sitio web de Martin Engineering: http://www.martin-eng.com

Martin Marietta Corporation. *Dust Control Handbook for Minerals Processing*, Contrato No. J0235005.

Martin Supra Engineering. (2008) *CarrybackTtest/Sum/SBM-001-SBW-05-2008*. Reporte no publicado para P.T. Martin Supra Engineering: Newmont, Indonesia.

Measuring ROI pushes it higher, say Harte Hanks Aberdeen of Enterprise Solutions." (Febrero 12, 2007). The Manufacturer (Edición EE.UU.).

Miller, D. (Enero/Marzo 2000). "Profit from Preventive Maintenance," *Bulk Solids Handling*, págs. 57–61. Clausthal-Zellerfeld, Alemania: Trans Tech Publications.

Mody, Vinit and Jakhete, Raj. (1988). *Dust Control Handbook (Pollution Technology Review No. 161)*, ISBN-10: 0815511825/ ISBN-13: 978-0815511823. Park Ridge, New Jersey: Noyes Data Corporation.

Möller, J.J. (Septiembre 1985). *Protect Your Conveyor Belt Investment*. Presentación en BELTCON 3 International Material Handling Conference, Johannesburg, Sudáfrica.

Morgan, Lee, and Walters, Mike. (Octubre1998). "Understanding your dust: Six steps to better dust collection," *Powder and Bulk Engineering*, págs. 53–65. Minneapolis: CSC Publishing.

Morrison, J.N., Jr. (1971). "Environmental Control Applied to Belt Conveyor Transfer Points." In *Bulk Materials Handling*: Volumen 1. University of Pittsburgh.

Mine Safety and Health Administration (MSHA). (2004). *MSHA's Guide to Equipment Guarding*. Otros materiales de capacitación OT 3, 40 pages. U.S. Department of Labor. Disponible como descarga gratuita: http://www.msha.gov/s&hinfo/equipguarding2004.pdf

Muellemann, Alf. (Enero 2000). "Controlling dust at material transfer points with ultra-fine water drops," *Powder and Bulk Engineering International*, págs. 44–47. Minneapolis: CSC Publishing.

National Industrial Belting Association (NIBA). (1985). *NIBA Engineering Handbook*, Brookfield, WI.

Öberg, Ola. (1986). *Materialspill vid bandtransportörer* (Material Spillage at Belt Conveyors). Estocolmo, Suecia: Royal Institute of Technology.

Ontario Natural Resources Safety Association. *Safety Reminder*, newsletter. P.O. Box 2040, 690 McKeown Avenue, North Bay Ontario, B1B 9PI Teléfono: (705) 474-SAFE.

Occupational Safety & Health Administration, U.S. Department of Labor, Mineral Processing Dust Control, sitio web: http://www.osha.gov/SLTC/silicacrystalline/dust/

Ottosson, Goran. (Octubre 1991). "The cost and measurement of spills and leaks at conveyor transfer points," *World Cement Materials Handling Review*, Berkshire, Inglaterra.

Padgett, Harvey L. (2001). *Powered Haulage Conveyor Belt Injuries in Surface Areas of Metal/Nonmetal Mines*, 1996–2000. Denver, CO: MSHA Office of Injury and Employment Information.

Planner, J.H. (1990). "Water as a means of spillage control in coal

handling facilities." In *Proceedings of the Coal Handling and Utilization Conference: Sydney, Australia*, págs. 264–270. Barton, Australia: Institution of Engineers Australia.

Project Management Institute (PMI). Puede obtenerse información adicional sobre la gestión de proyectos y el programa de acreditación para gerentes de proyecto en el sitio web de la organización: http://www.pmi.org

Reed, Alan R. (1995). "Contrasting National and Legislative Proposals on Dust Control and Quantifying the Costs of Dust and Spillage in Bulk Handling Terminals," *Port Technology International*, págs. 85–88. Londres: ICG Publishing Ltd.

Rhoades, C.A.; Hebble, T.L.; and Grannes, S.G. (1989). *Basic Parameters of Conveyor Belt Cleaning*, Reporte de investigaciones 9221. Washington, D.C: Bureau of Mines, US Department of the Interior.

Roberts, Alan. (Noviembre 1996). *Conveyor System Maintenance & Reliability*, ACARP Project C3018. El autor es del Centre for Bulk Solids and Particulates, University of Newcastle, Australia. Publicado por Australian Coal Association Research Program; puede comprarse en http://www.acarp.com.au/abstracts.aspx?repId=C3018

Roberts, A.W. (Agosto 1999). "Design guide for chutes in bulk solids handling operations," *Centre for Bulk Solids & Particulate Technologies*, Version 1, 2o. borrador.

Roberts, A.W.; Ooms, M.; and Bennett, D. *Conveyor Belt Cleaning – A Bulk Solid/Belt Surface Interaction Problem*. University of Newcastle, Australia: Department of Mechanical Engineering.

Roberts, A.W. and Scott, O.J. (1981). "Flow of bulk solids through transfer chutes of variable geometry and profile," *Bulk Solids Handling*, Vol. 1 No. 4., págs. 715–727.

Sabina, William E.; Stahura, Richard P.; and Swinderman, R. Todd. (1984). *Conveyor Transfer Stations Problems and Solutions*. Neponset, Illinois: Martin Engineering Company.

Scott, Owen. (1993). "Design Of Belt Conveyor Transfer Stations For The Mining Industry." En *Proceedings of the 1993 Powder & Bulk Solids Conference, Reed Exhibition Companies, Des Plaines, Illinois*, págs. 241–255.

Simpson, G.C. (1989). "Ergonomics as an aid to loss prevention," *MinTech '89: The Annual Review of International Mining Technology and Development*, págs. 270–272. Londres: Sterling Publications Ltd.

Spraying Systems Company (http://www.spray.com) contiene una gran variedad de material útil sobre los fundamentos y las opciones disponibles en boquillas de aspersión.

Stahura, Dick, Martin Engineering. (Julio 1990). "Ten commandments for controlling spillage at belt conveyor loading zones," *Powder and Bulk Engineering*, págs. 24–30. Minneapolis: CSC Publishing.

Stahura, Richard.P., Martin Engineering. (1987). "Conveyor belt washing: Is this the ultimate solution?" *TIZ-Fachberichte*, Volumen 111, No. 11, págs. 768–771. ISSN 0170-0146.

Stahura, Richard P., Martin Engineering. (February 1985). "Conveyor skirting can cut costs," *Coal Mining*, págs. 44–48. Chicago: McLean-Hunter Publications.

Stuart, Dick D. and Royal, T. A. (Sept. 1992). "Design Principles for Chutes to Handle Bulk Solids," *Bulk Solids Handling*, Vol. 12, No. 3., págs. 447–450. Disponible como PDF: www.jenike.com/pages/education/papers/design-principles-chutes.pdf

Sullivan, Dr. John. *Increasing retention and productivity: let employees do what they do best!* Article #163. Disponible en línea: http://ourworld.compuserve.com/homepages/GATELY/pp15s163.htm

Sundstrom, P., and Benjamin, C.W. (1993). "Innovations in Transfer Chute Design." Trabajo presentado en 1993 Bulk Materials Handling National Conference, The Institution of Engineers, Australia, *Conference Publication No. 93/8*, págs. 191–195.

Swinderman, R. Todd, Martin Engineering. (2004). "Standard for the Specification of Belt Cleaning Systems Based on Performance." *Bulk Material Handling by Conveyor Belt 5*, págs. 3–8. Editado por Reicks, A. and Myers, M., Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME).

Swinderman, R. Todd, Martin Engineering. (Febrero 2002). *Conveyor Belt Impact Cradles: Standards and Practices*. Trabajo presentado en 2002 Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME) Annual Meeting & Exhibit, Phoenix, AZ, February 2002.

Swinderman, R. Todd, Martin Engineering. (Octubre–Diciembre 1995). "Belt Cleaners, Skirting and Belt Top Cover Wear," *Bulk Solids Handling*. Clausthal-Zellerfeld, Alemania: Trans Tech Publications.

Swinderman, R. Todd, Martin Engineering. (Julio 1994). "Engineering your belt conveyor transfer point," *Powder and Bulk Engineering*, págs. 43–49. Minneapolis: CSC Publishing.

Swinderman, R. Todd, Martin Engineering. (Mayo 1991). "The Conveyor Drive Power Consumption of Belt Cleaners," *Bulk Solids Handling*, págs. 487–490. Clausthal-Zellerfeld, Alemania: Trans Tech Publications.

Swinderman, R. Todd; Becker, Steven L.; Goldbeck, Larry J.; Stahura, Richard P.; and Marti, Andrew D. (1991.) *Foundations: Principles of Belt Conveyor Transfer Point Design and Construction*. Neponset, Illinois: Martin Engineering.

Swinderman, R. Todd; Goldbeck, Larry J.; and Marti, Andrew D. (2002). *FOUNDATIONS3: The Practical Resource for Total Dust & Material Control*. Neponset, Illinois: Martin Engineering.

Swinderman, R. Todd; Goldbeck, Larry J.; Stahura, Richard P.; and Marti. Andrew D. (1997). *Foundations2≈: The Pyramid Approach to Control Dust and Spillage From Belt Conveyors*. Neponset, Illinois: Martin Engineering.

Swinderman, R. Todd and Lindstrom, Douglas, Martin Engineering. (1993). "Belt Cleaners and Belt Top Cover Wear," *National Conference Publication No. 93/8*, págs. 609–611. Trabajo presentado en The Institution of Engineers, Australia, 1993 Bulk Materials Handling National Conference.

Takala, J. (18–22 Septiembre 2005). *Introductory Report: Decent Work – Safe Work*. XVIIth World Congress on Safety and Health at Work, Orlando, Florida. Disponible en línea: http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/wdcongrs17/intrep.pdf

Taylor, H.J. (1989). *Guide to the Design of Transfer Chutes and Chute Linings for Bulk Materials*. The Mechanical Handling Engineers' Association.

Thomas, Larry R., Martin Engineering. (1993). "Transfer Point Sealing Systems to Control Fugitive Material," *Conference Publication No. 93/8*, págs. 185–189. 1993 Bulk Materials Handling National Conference of The Institution of Engineers, Australia.

Tostengard, Gilmore (Febrero 1994). "Good maintenance management," *Mining Magazine*, págs. 69–74. Londres: The Mining Journal, Ltd.

University of Illinois. (2005). *Design of Conveyer Belt Drying Station*. Estudio no publicado realizado para Martin Engineering.

University of Illinois. (1997). *High Pressure Conveyor Belt Cleaning System*. Estudio no publicado realizado para Martin Engineering.

University of Newcastle Research Associates (TUNRA). Estudio no publicado y sin título realizado para Engineering Services and Supplies P/L (ESS).

Weakly, L. Alan. (2000). "Passive Enclosure Dust Control System." In *Bulk Material Handling by Conveyor Belt III*, págs. 107–112. Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME).

Wilkinson, H.N.; Reed, Dr. A.R.; and Wright, Dr. H. (February 1989). "The Cost to UK Industry of Dust, Mess and Spillage in Bulk Materials Handling Plants," *Bulk Solids Handling*, Volumen 9, Número 1, págs. 93–97. Clausthal-Zellerfeld, Alemania: Trans Tech Publications.

Wilson, Richard J. (Agosto 1982). *Conveyor Safety Research*. Bureau of Mines Twin Cities Research Center.

Wood, J. P. (2000). *Containment in the Pharmaceutical Industry*. Informa Health Care.

APÉNDICE B

GLOSARIO

• **GLOSARIO** 532

• **ABREVIACIONES DE LAS MEDICIONES** 542

GLOSARIO

Ésta es una lista de términos relacionados con las bandas transportadoras usados en esta edición de *Foundations*™. No pretende ser un compendio completo de todos los términos usados para describir la banda, los transportadores o sistemas para el manejo de materiales a granel. Si una frase no se muestra, primero desglósela en palabras claves. También considere consultar otras referencias como, por ejemplo, *Publicación #102 de la CEMA, Definiciones y Términos de Transportadores* así como las publicaciones y terminologías usadas por los proveedores de componentes específicos.

A

abrasión[1] | Desgaste debido a fricción ya sea por rozadura o raspadura.

abrazadera de la banda[1] | Vigas o placas de metal aseguradas de manera transversal entre ambos extremos de la banda para sostenerlos en la posición deseada.

adhesión[1] | La fuerza de unión entre dos materiales.

afluente | El desagüe del agua (con sólidos de material) que sale de un sistema de lavado de la banda.

aglomeración | Proceso o acto de reunir en una masa; crear grupos de partículas más grandes y pesados.

ahuecar[2] | La acción cuando los bordes de una banda se curvean hacia arriba en el recorrido de transporte y hacia abajo en el recorrido de retorno. También se menciona como "rizo" de la banda.

aire a presión | aire jalado hacia el vacío que se crea cuando el flujo de material se expande a medida que se aleja de la polea de cabeza.

aire desplazado | El aire que sale del chute cuando ésta se carga, es igual al Volumenn de los materiales que se colocan en el chute.

aire generado | El flujo de aire producido por dispositivos giratorios que alimentan la zona de carga del transportador.

ajuste[2] | Un dispositivo que se usa para eliminar la holgura de una banda transportadora y mantener la tensión. Los ajustes de gravedad usan un contrapeso pesado para mantener la tensión en la banda; los ajustes mecánicos usan un dispositivo hidráulico o ajuste de tornillo para mantener la tensión.

ajuste de gravedad[2] | Un dispositivo que se ajusta para estirar o contraer usando una polea con peso para mantener la tensión en la banda.

ajuste de resorte[2] | Un dispositivo mecánico que utiliza un resorte o resortes de fuerza variable adheridos entre la estructura del transportador y el bloque de montaje de la polea de cola para mantener la tensión en la banda.

ajuste de tornillo[1] | Un ajuste mecánico para aplicar tensión a una banda transportadora en donde el movimiento del cojinete de una polea se logra por medio de un tornillo.

alargamiento | Un aumento en la longitud que generalmente se expresa como porcentaje de longitud inicial.

alargamiento permanente | Un cambio en la longitud de una banda visto después de eliminar la tensión; esta longitud adicional generalmente se acumula después de un período de tiempo.

aleteo de la banda[2] | Una oscilación de arriba a abajo de una banda entre los rodillos.

alimentador[2] | Un dispositivo que regula el flujo de material de un contenedor o tolva de almacenamiento hacia un transportador u otra pieza del equipo.

alimentador de banda articulada[2] | Una serie de placas de metal superpuestas montadas en una cadena giratoria que se usa para transportar materiales pesados, abultados o abrasivos.

alimentador de la banda[2] | Una banda transportadora corta, plana y de velocidad variable usada para transferir o "alimentar" material desde un componente a otro en un sistema de transporte de material. La velocidad de la alimentación de material puede ajustarse aumentando o disminuyendo la velocidad de la banda.

alimentador vibrador[2] | Un tipo de alimentador que usa un canal suspendido o aislado con un vibrador instalado para mover el material de un contenedor o tolva a un chute de transferencia.

alineación | *Ver alineación de la banda.*

alineación de banda | Las acciones que realiza una persona para alinear la banda de manera regular.

alineador de la banda[1] | Un dispositivo mecánico para sujetar los dos extremos de una banda transportadora.

alineador mecánico[1] | Un sistema usado para unir los extremos de la banda, típicamente incluye tornillos y remaches para juntar las placas que conectan dos extremos.

alineador[2]**, dispositivo de alineación** | Un dispositivo que se usa para guiar una banda transportadora descentralizada a la línea central.

alivio | Un mecanismo que permite a un elemento (por ejemplo, una hoja del limpiador) alejarse de una obstrucción (por ejemplo, un empalme mecánico). Esto podría incluir resortes en el tensionador del sistema de limpieza.

amortiguador, tela de amortiguador | Una capa adicional incorporada al armazón de la banda como amortiguador.

amplitud | La mitad de la extensión de una vibración, oscilación u onda; la medida superior o inferior a la base o línea central.

ancho de banda eficaz | La medida del ancho horizontal de una banda transportadora canalizada que se mide a lo ancho de la dimensión paralela al rodillo inferior.

anemómetro | Dispositivo que se usa para medir la velocidad del aire.

ángulo de alivio | Una inclinación o apertura de las superficies que permite la liberación del material debido a la acción de la banda en vez de atascarse aún más.

ángulo de ataque | El ángulo al cual se coloca una hoja de limpieza contra la banda.

ángulo de empalme | El ángulo a través de la parte superior de la banda al cual se unen dos piezas de la banda.

ángulo de fricción de la pared | *Ver fricción de interfaz.*

ángulo de fricción interno | El ángulo al cual las partículas dentro de un material a granel se deslizan entre ellas dentro de una cantidad de material, o falla debido al corte.

ángulo de pelado | Cuando una hoja del limpiador se inclina en dirección opuesta al recorrido de la banda; también conocido como un ángulo de barrido positivo.

ángulo de raspado[2]**, posición de raspado** | Un limpiador de banda instalado de manera que sus hojas estén inclinadas en la dirección en que viaja la banda; también se conoce como un ángulo de barrido negativo.

ángulo de reposo[2] | El ángulo o inclinación que un material transportado asumirá cuando se descarga a una cantidad abierta.

ángulo de sobrecarga | El ángulo en horizontal que la superficie del cuerpo de material adopta mientras el material está en descanso en una banda transportadora en movimiento. Este ángulo generalmente es 5° a 15° menos que el ángulo de reposo, aunque en algunos materiales puede ser tanto como 20° menos.

ángulo del canal[2] | El ángulo (horizontal) al cual los bordes de la banda se canalizan para ayudar a centrar y contener su carga.

ángulo del valle | El ángulo entre dos paredes del chute creado por la pared lateral que se une con la pared posterior.

ANSI[2] | Acrónimo de Instituto Americano de Estándares Nacionales.

apiladora/excavadora[2] | Un transportador con una pluma montada equipado con una rueda de cangilones giratorios que pueden "apilar" o soltar material en un depósito para almacenamiento o invertir la dirección y excavar el material de un depósito a otro destino.

arado | Un dispositivo colocado a lo ancho de la trayectoria de un transportador para descargar o desviar material.

arado ambulante[2] | Un dispositivo de arar que puede moverse de atrás hacia adelante de manera longitudinal sobre el lado de carga de una banda transportadora para desviar material a puntos de descarga alternativos a lo largo de su recorrido.

arado de desviación[2] | Un arado retractable que puede bajarse a la superficie de carga de una banda para desviar el material de un transportador más allá del punto de descarga habitual.

arado diagonal[2] | Un dispositivo colocado en un ángulo de un extremo a otro de la superficie de una banda transportadora para desviar el material hacia un lado.

arado en V[2] | Un dispositivo en forma de “V” equipado con una hoja de caucho o uretano que se encuentra arriba del recorrido de retorno de una banda transportadora para desviar cualquier material descarriado lejos de la polea de cola.

arado protector de la polea | Un arado instalado de manera que la banda pasa abajo de éste inmediatamente antes de que la banda entre a una polea (generalmente la polea de cola). El arado retira material de la banda para evitar dañar la polea y la banda con material atrapado entre las dos.

arco | Una curva cóncava de la banda.

arco de contacto[1] | La porción circunferencial de una polea engarzada por una banda.

área con faldeo | El área del punto de transferencia que está confinado dentro del chute lateral; el área del punto de transferencia desde el punto de carga hasta la salida.

área de transición[2] | El área entre la polea de cola de un transportador y el inicio de la zona de carga donde la banda se transforma de plana a totalmente canalizada o el área donde la banda se transforma de canalizada a una polea de descarga.

armazón[1] | La tela, cordón y/o metal que refuerza la sección de una banda, distinto al recubrimiento de caucho.

arrastramiento[1] | La acción de una banda que pierde velocidad alternadamente en la polea impulsora y aumenta la velocidad en la polea impulsada.

ASME[2] | Acrónimo de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.

ASTM[2] | Acrónimo de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

B

banda de cangilones | Una banda donde se usan bolsas, formadas al agregar rastras elevadas y paredes laterales flexibles, para transportar la carga; comúnmente vistas en aplicaciones de ángulos altos.

banda del alimentador[1] | Una banda que descarga material a otra banda transportadora.

banda plana | Una banda transportadora que transporta su carga sin tener canales.

banda transportadora[2] | Una banda interminable de caucho flexible, enrollada en una estructura de rodillos y poleas, que se usa para transportar material desde una zona de carga hasta un punto de descarga.

banda transportadora[2] | Un tramo de banda de caucho flexible que se alarga sobre un armazón de rodillos y poleas que después forman una sola pieza empalmando los dos extremos.

barra deslizante | Una barra de baja fricción, normalmente usada en la construcción de la plataforma de soporte de la banda de una cama de soporte para bandas.

barrido cero | Ángulo de ataque del limpiador de banda donde las hojas se instalan perpendicular (90 grados) a la línea de banda.

barrido negativo | Hojas de limpieza inclinadas a un ángulo con el recorrido de la banda; también conocido como la orientación de raspado.

barrido positivo | En la limpieza de la banda, una hoja inclinada en dirección opuesta al recorrido de la banda; también conocido como ángulo de pelado.

base de impacto, cama de impacto[2] | Una serie de barras acolchadas que se usan para absorber las fuerzas de carga bajo una zona de carga de la banda transportadora.

bastidor[2] | El soporte estructural principal de un limpiador de la banda sobre el cual se montan las hojas.

biselar | Cortar a un ángulo como un bisel.

bloque de cojinete[2] | Un cojinete confinado en un alojamiento con pernos que se usa para montar las poleas a un larguero del transportador.

bloqueo | Un procedimiento de seguridad que implica evitar que un sistema se mueva sosteniéndolo en una posición físicamente.

bloqueo | Una precaución de seguridad que consiste en colocar un candado u otro control en las fuentes de poder almacenadas, el suministro de energía o circuito de control de una máquina para evitar que se reanude la operación de manera prematura o una liberación de energía inesperada.

bolsas de polvo[2] | Bolsas de filtro permeables de aire diseñadas especialmente para atrapar y colectar el polvo en el ambiente en un sistema de manejo de material.

borde de corte[1] | El borde sin cubrir de una banda, éste se crea haciendo una hendidura del ancho deseado en la parte más ancha de la banda.

borde moldeado[1] | Un borde de la banda de caucho sólido formado en un molde, donde la banda se ha fabricado a un ancho específico en vez de partirse desde una pieza más amplia.

brazo del batidor | Un dispositivo (generalmente un dispositivo de rodillo con un brazo externo) que golpea otro objeto con el objetivo de retirar la acumulación de material.

C

cabeza[2] | El extremo de descarga de una banda transportadora.

cable de seguridad | Un freno que se usa como una medida de seguridad para evitar la caída de un dispositivo de techo en caso de que falle su sistema de montaje.

CAD | Acrónimo de Diseño Asistido por Computadora.

caja de lavado | Una caja que contiene una serie de limpiadores de banda y boquillas de rociadores de agua para la limpieza de banda.

caja de sellado de compuerta de cola[2] | Un compartimiento ubicado en el extremo del retorno de una zona de carga para evitar que el material se derrame a la banda atrás de los chutes de compensación.

cama | Alguna variedad de barras de baja fricción u otra superficie plana que soporta el perfil de la banda en vez de usar rodillos.

cama deslizante[2] | Una serie de barras longitudinales ensambladas en una cama y colocadas abajo de la zona de carga del transportador para proporcionar una superficie continua donde pueda colocarse una banda con carga.

cámara de bolsas[2] | Una estructura cerrada que contiene un conjunto de bolsas de filtros para capturar el polvo en el ambiente.

camas de soporte lateral | Sistema de

soporte de la banda que usa barras guía abajo del chute lateral para proporcionar una superficie constante y sellable a los lados de la banda.

camas de soporte para bandas | Un método de soporte de la banda sin los componentes rodantes usando camas deslizantes o de impacto.

canal | la forma de una banda con los bordes elevados que le permite transportar más material.

cañón de aire[2] | Un dispositivo que usa chorros de aire comprimido para limpiar la acumulación de material dentro de tubos o tolvas de transferencia.

capa[1]**, capas** | Una capa de tela que se usa en el armazón de una banda.

capacidad[1] | La máxima carga de material en la banda, carga o rendimiento.

capó | Un deflector curvo instalado en la descarga de un transportador para dirigir y encerrar el flujo de material en movimiento de manera que fluya sin problemas y con mínimo aire a presión.

carcasa de rocas[2] | Una repisa o anaquel dentro de un chute de transferencia donde el material debe acumularse. Esto permite que el material subsiguiente golpee contra el material acumulado en vez del chute, extendiendo así la vida de las paredes.

carga[2] | Área en la descarga de un transportador donde el material puede almacenarse o cargarse de manera temporal directamente a un dispositivo para su transporte a otro destino.

carga de la cabeza | Presión de una carga en la parte superior de un objeto como, por ejemplo, el peso del material en un recipiente sobre una banda.

CARP[2] | Acrónimo de “Presión Radial de Ángulo Constante”, el concepto de diseño de una hoja del limpiador de la banda para mantener el ángulo de limpieza a medida que se desgasta la hoja.

CEMA | Acrónimo de la Asociación de Fabricantes de Equipo para Bandas Transportadoras.

cemento[1] | Una hoja delgada de caucho no vulcanizado que se inserta entre las capas del ensamblado de un empalme de la banda vulcanizado.

centro a centro[1] | La distancia entre el centro de dos poleas o rodillos. Algunas veces también llamado centros o distancia del centro.

CFM o cfm | Abreviación de "pies cúbicos por minuto" en los cálculos del flujo de aire.

chevron, banda transportadora chevron | Un reborde en forma de V en el lado de carga de una banda para evitar que el material se resbale hacia abajo por una pendiente.

chorro inverso | Un método de limpiar filtros en una cámara de bolsas, las bolsas se limpian lanzando un chorro de aire comprimido en la parte superior de las mismas; el chorro de aire comprimido dobla la pared de la bolsa y rompe el bulto de polvo de manera que cae en la tolva de colección.

chute de carga | El compartimiento que coloca la carga sobre la banda.

chute lateral[1] | Las placas verticales o inclinadas que se salen del punto de carga del transportador e instaladas de cerca sobre la banda para encerrar el material transportado.

chute[2]**, chute de compensación** | Un recipiente que se usa para guardar el material a medida que se transfiere de una pieza del equipo a otra.

ciclón[2] | Un dispositivo de tipo "remolino" de alta velocidad que usa la fuerza centrífuga para separar las partículas de polvo del aire.

clasificador[2] | Una pieza del equipo que se usa para clasificar y separar el material por tamaño.

CMMS | Acrónimo de sistema computarizado para administrar el mantenimiento, un sistema que lleva el seguimiento del trabajo de mantenimiento y sus costos.

coeficiente de fricción | La razón de la fuerza requerida para deslizar dos superficies a la fuerza que los presiona para juntarlos; igual a la tangente del ángulo de fricción de interfaz.

cohesión | La fuerza interna de un material.

colección de polvo activa | *Ver sistema de colección de polvo.*

colección mecánica de polvo | Sistema de colección de polvo activo, típicamente usando ventiladores que jalan el aire a través de ductos hacia un sistema de filtración.

colección pasiva de polvo[2] | Un sistema de colección de polvo que minimiza el polvo utilizando un diseño de punto de transferencia y control del flujo de aire eficiente en vez de dispositivos mecánicos.

combadura | Una curva convexa de la banda *(ver arco)*.

componentes de rodamiento | Los rodillos y poleas (y otros componentes rotatorios) del sistema de un transportador.

comprobación | Intento de operar un dispositivo que aparentemente se ha desactivado con los procedimientos de bloqueo / etiquetado / bloqueo; se usa como una precaución de seguridad final.

compuerta automática[2] **|** Una placa de metal giratoria que puede moverse para alimentar material a cualquiera de dos puntos de descarga diferentes.

cóncavo | Curva hacia adentro, el arco es una curva cóncava en la banda.

concesión de empalme[1] | Banda adicional requerida para permitir que se instale un empalme.

conductividad eléctrica[1] | Una medida de cuán bien se acomoda un material al transporte de carga eléctrica, medido en ohms (Ω).

conexión[1] | La conexión de los extremos de dos bandas.

contracorriente | En la dirección de los lugares que ya pasó la banda o de regreso hacia el punto de carga.

contrapeso[2] | El peso aplicado al conjunto del ajuste de gravedad de una banda transportadora para mantener una tensión apropiada en la banda.

control total de material | Éxito en contener un derrame y material adherido a la banda y controlar el polvo, donde los materiales se mantienen en la banda y dentro del sistema.

controlador lógico programable (PLC)[2] | Un sistema computarizado centralizado que controla la operación y el monitoreo del sistema comunicándose con las tarjetas de circuito de entrada/salida remotas de cada componente del sistema individual.

convexo | Curva hacia afuera; la combadura es una curva convexa de la banda.

corona[2] | La diferencia entre el diámetro de una polea en su centro y en sus bordes.

corte oblicuo[1] | Un corte de los extremos de la banda hechos diagonalmente, que está a un ángulo menor a 90 grados (generalmente 22°) al eje longitudinal.

cortinas de polvo[2] | Cortinas de plástico o caucho segmentadas (deflectores) suspendidas dentro de un ducto confinado que se usan para disminuir la velocidad del flujo de aire y permitir que el polvo en el ambiente se asiente de nuevo en el flujo de material de una banda transportadora antes de salir de su zona de carga.

cubierta, colocar una cubierta[2]**, placa para cubierta** | Una placa de barrera ubicada entre los largueros del transportador para evitar que el material se derrame del recorrido de carga al recorrido de retorno. También se menciona como "colectores de la banda".

cuchara | Un canal curvo en la parte inferior del chute de transferencia que dirige la colocación del flujo de material a la banda receptora.

cuchillo de aire | Sistema de limpieza de la banda que dirige un flujo de aire para limpiar el material adherido.

cuesta abajo | En la dirección de los lugares que la banda aún no ha alcanzado o hacia la

descarga del transportador o el sistema.

curvatura[1] | La propiedad de una banda que le permite adaptarse al contorno de los rodillos de canalización; la cantidad que una banda puede canalizar.

D

daño a la unión de conexiones[2]**; falla en la unión de conexiones** | Una fisura o hendimiento longitudinal en una banda provocado por una distancia de transición insuficiente entre la polea de cola y la zona de carga para el tipo de banda que se usa y/o un hueco entre la unión y el rodillo de más de 10 mm (0.4 pulgadas) o dos veces el grosor de la banda.

daño al borde[2] | Desgarre y roturas a lo largo del borde de la banda transportadora.

daño al engranamiento[2] | Una muesca que se formó por desgaste en la superficie de una banda debido a material atrapado entre la banda en movimiento y el chute lateral y/o sistema de faldón.

dBA | Acrónimo de escala A de decibeles, una medida de la intensidad del sonido.

deflector[2] | Una placa de metal instalada en un punto de transferencia para cambiar la trayectoria del flujo de material.

delaminación[1] | La separación de las capas de material.

DEM | Acrónimo de Método de Elemento Discreto, una técnica basada en computadora para analizar y demostrar el movimiento de partículas individuales dentro o a través de una estructura.

densidad[1] | La razón de la masa de un cuerpo con su Volumenn o la masa por Volumenn de unidad de la sustancia. Para propósitos prácticos, la densidad y la gravedad específica pueden considerarse como equivalentes.

densidad aparente consolidada (ρ_2) | La densidad de un cuerpo de un material a granel después de ser sometido a una fuerza de compresión (F) o energía vibratoria, algunas veces llamada densidad aparente vibratoria.

densidad aparente suelta | El peso por unidad de Volumenn de un sólido a granel, se mide cuando una muestra está en una condición suelta o no compacta, (ρ_1).

densidad aparente vibratoria | También llamada densidad aparente consolidada (ρ_2), que se logra aplicando una fuerza de compresión (F) o energía vibratoria a un cuerpo de material; usada para determinar el peso del material transportado en una banda en base al ángulo de sobrecarga.

derrame | Material perdido que ha caído de los lados de la banda transportadora; normalmente en la zona de carga pero puede ocurrir en cualquier punto a lo largo del transportador; un término general para todo el material fugitivo.

desalineación lateral[2] | El desbalance de las poleas, rodillos o estructura de una línea de referencia longitudinal designada.

desalineamiento | El recorrido descentrado de una banda transportadora.

desalinear | Desalineamiento.

desbastar[2] | Eliminar parte (o todo) el recubrimiento superior de la banda para retirar un empalme mecánico; el proceso de avellanar los alineadores en un empalme mecánico cercano al armazón de la banda para mantener la parte superior de los alineadores paralelos con la superficie de la banda.

descarga[2] | El punto donde un material sale de un transportador u otro componente en un sistema de manejo de material.

descentramiento de la banda[2] | Una condición donde una banda transportadora se mueve demasiado hacia cualquier lado de su ruta adecuadamente centrada, también se menciona como "desalineación" de la banda o "desalineamiento".

desgaste de media luna[2] | Un desgaste desigual de una hoja del prelimpiador que resulta cuando se posiciona el bastidor del limpiador demasiado lejos de la polea de cabeza.

deslizamiento de la banda[1] | El diferencial de velocidad entre la banda y la superficie de la polea.

deslizar, deslizamiento | El diferencial de velocidad entre la banda y la superficie de la polea.

detector de metales | Un sistema para detectar la presencia de metales en un flujo de material y eliminarlo o apagar el sistema de manejo de material.

detector de rasgaduras[2] | Un sistema en donde un conductor eléctrico se integra a las capas de una banda transportadora que apagará el motor de accionamiento si la banda se rasga.

diámetro mínimo de la polea | El tamaño mínimo de la polea (generalmente para prevenir daños) para una banda en particular es especificado por el fabricante de la banda.

DIN | Acrónimo de Deutsches Institut für Normung, el Instituto Alemán de Estandarización, que desarrolla normas y estándares para la industria. Los estándares del DIN se usan internacionalmente pero aún así se usan más comúnmente en Europa.

dinamómetro[1] | Un aparato capaz de inducir diferentes cargas para evaluar las propiedades de las bandas dinámicas.

dispositivo de ventilación | Dispositivo montado dentro de un recipiente que agrega aire de baja presión/alto Volumenn a los materiales que se han vuelto compactos y duros para permitir que fluyan de nuevo eficientemente, algunas veces llamado difusores de ventilación, almohadillas o boquillas.

distancia de transición | La distancia desde la línea central de la polea final al primer rodillo totalmente canalizado.

distancia del borde | Dimensión entre la parte exterior del chute lateral y el borde de la banda.

distancia del borde sin banda | La porción transportadora sin carga del ancho de la banda, hacia los bordes de la banda, típicamente donde se aplica el sistema del sello de chute lateral.

doble empalme[2] | Una longitud corta adicional de banda que se agrega a una banda transportadora existente.

dureza[1] | Grado de resistencia a la indentación.

Dureza Rockwell (o escala) | Una escala para evaluar la dureza de los materiales como se determina midiendo la profundidad de la penetración de un penetrador. Diferentes escalas indican una sola letra; “B” y “C” son las más comunes.

E

efecto del limpiador de banda | Donde la presión de un sistema de faldón contra la banda elimina material residual de la superficie de la banda, como cuando el sello de retorno elimina el material de la banda cuando entra a la zona de carga.

elastómero | Un polímero que tiene propiedades elásticas parecidas al caucho natural, típicamente cauchos y uretanos.

elevación | La distancia vertical que recorre un material a granel en un transportador; el cambio de altura desde un extremo del transportador hasta el otro extremo.

empalme | La unión donde dos extremos o dos piezas de la banda se juntan para proporcionar un ciclo continuo.

empalme endentado | Una unión en la banda donde dos extremos se cortan en un número de "dientes" triangulares angostos que se entrelazan.

empalme escalonado[2] | Un tipo de empalme en bandas de varias capas donde las capas de la tela en un extremo de la banda se retiran de manera que choquen y se superpongan sobre capas adyacentes de tela en el otro extremo.

empalme frío[2] | Un tipo de empalme en la banda en donde las capas de una banda

transportadora se superponen y se unen con un compuesto adhesivo.

empalme mecánico[2] | Un tipo de empalme en donde los alineadores mecánicos se usan para conectar dos extremos de una banda.

empalme vulcanizado[2] | Un tipo de empalme en donde las capas de una banda se superponen y unen, usando calor y presión ("vulcanización caliente") o un agente adhesivo químico (vulcanización "frío").

enlucido | Una capa delgada de caucho colocada sobre una tela mas no forzada en el tejido de ésta.

entrada, punto de entrada[2] | El punto más allá de la polea de cola donde una banda transportadora pasa a la zona de carga.

EPA | Acrónimo de Agencia de Protección Ambiental, una rama del gobierno de Estados Unidos.

EPP | Equipo de Protección Personal, equipo e indumentaria como, por ejemplo, casco, lentes de seguridad, protección auditiva, respiradores y zapatos con punta de acero.

escala de Swinderman para materiales fugitivos | Un sistema de puntuación que asigna valores al desempeño de un sistema en el control de materiales fugitivos como polvo, derrame y material adherido a la banda.

escalera de roca[2] | Una serie de carcasas para rocas que disminuye la velocidad del material haciéndolo fluir de atrás hacia adelante entre las repisas.

espacio confinado | Un área encerrada potencialmente peligrosa, el acceso generalmente es controlado con regulaciones de seguridad.

estabilizador | Una proyección que se extiende lateralmente más allá de la estructura de un recipiente, aeronave o máquina, generalmente para agregar estabilidad.

estiramiento de la banda | El aumento de la longitud de la banda que se realiza cuando se inflige tensión a ésta. El estiramiento elástico es un cambio temporal en la longitud que varía directamente con el jalón. El estiramiento permanente es el cambio residual en la longitud después de eliminar la tensión, generalmente se acumula durante un período de tiempo.

estructura soldada[2] | Un componente de metal fabricado sujetado por uniones soldadas.

etiquetado | Colocación de una etiqueta u otro rótulo o señal en un sistema de control o potencia desactivado para identificar que el sistema está "apagado" por mantenimiento y no debe reiniciarse.

F

factor de seguridad[1] | La fracción de la capacidad de una estructura sobre aquella que se requiere realmente o un multiplicador aplicado a la carga máxima esperada (fuerza, torsión, momento de flexión o una combinación) a la cual será sometido un componente o ensamblado.

falla de la unión de rodillos | Ver daño a la unión de conexiones.

fatiga[1] | El debilitamiento de un material que ocurre cuando la aplicación repetida de esfuerzos provoca una tensión permanente.

FEA | Acrónimo de Análisis de Elementos Finitos, una técnica de análisis numérico computarizado que se usa para resolver ecuaciones diferenciales para resolver principalmente problemas de ingeniería mecánica relacionados con el análisis de esfuerzo, utilizada en el manejo de material a granel para diseñar transportadores y transferencias.

fibras de aramid | Una clase de fuertes fibras sintéticas resistentes al calor usadas en aplicaciones aeroespaciales y militares así como también en el armazón de la banda transportadora.

finos | Partículas pequeñas de material.

fisuración por flexión | Una fisuración de la superficie que resulta por flexionarla o doblarla repetidamente.

fisuración por ozono[1] | Fisuras en la superficie de la banda provocadas por exposición a una atmósfera que contiene ozono.

flujo repentino, inundar[2] | Una oleada descontrolada de material a través de un componente del sistema de manejo de material.

freno, polea deflectora[2] | Una polea pequeña que se usa para aumentar el área de envoltura de una banda transportadora alrededor de una polea de cabeza o de cola para mejorar la tracción.

fricción[1] | La resistencia al movimiento debido al contacto de las superficies.

fricción de interfaz (Θ) | La fricción entre el material a granel y las superficies que estarán en contacto con él (por ejemplo, pared del chute y la banda); puede determinarse con una célula de corte y una muestra del material de interfaz real; algunas veces se menciona como pared de fricción o fricción del límite.

fricción del límite | *Ver fricción de interfaz.*

fuerzas de carga lateral | Presión que resulta de la energía y peso del material que se empuja hacia afuera desde el centro.

fuga | Material que se ha escapado del sistema de manejo de material, se derrama, se cae o se expulsa por las aperturas.

G

golpear[2] | El proceso de ajustar manualmente el ángulo de la estructura transversal de los rodillos en la banda transportadora para alinear la banda con la línea central, se logra moviendo un poco un extremo del rodillo hacia adelante o hacia atrás.

grado de la banda | Una clasificación del recubrimiento de la banda en base a sus propiedades, diseñada para proporcionar una referencia a usuarios finales en cuanto a qué bandas usar en diferentes aplicaciones.

guardas, colocar guardas | Barreras para evitar la entrada del personal a áreas o equipo potencialmente peligroso.

H

hidrofóbico | Tener una tensión de superficie alta y renuente a combinarla con agua.

higroscópico | Capaz de absorber la humedad del aire.

hoja del limpiador de banda | El elemento del limpiador de banda que entra en contacto con la banda.

hoja secadora | Una hoja suave de uretano que limpia la banda para retirar el agua de la banda.

huella | Área proyectada o real ocupada en la tierra.

hundimiento de la banda[1] | La desviación vertical de una banda transportadora desde una línea recta entre los rodillos, generalmente se expresa como un porcentaje del espacio central de los rodillos.

I

impacto[1] | El golpe de un cuerpo contra otro; colisión. La fuerza o ímpetu transmitido por una colisión.

impulsión[2] | Un arreglo de componentes eléctricos y mecánicos que proporcionan la potencia motriz a un transportador u otra pieza del equipo.

insertable, colector de polvo insertable, filtro de polvo insertable | Un sistema de colección de polvo formado de filtros diseñados para incorporarse dentro del compartimiento de un punto de transferencia u otra fuente de polvo.

interruptor de cero velocidad | Interruptor eléctrico que se usa para detectar el paro de un eje giratorio, como el de un motor de accionamiento en un transportador.

interruptor de desalineado[2] | Un interruptor de límite a lo largo del borde de una banda transportadora que apagará el motor de accionamiento si la banda se desalinea demasiado hacia cualquier lado de su trayectoria centrada normal.

interruptor de inclinación[2] | Un interruptor eléctrico diseñado para apagar el flujo de material de un transportador cuando la acumulación de material en el punto de descarga lo obliga a tener una posición inclinada.

interruptor de límite[2] | Un interruptor eléctrico que se usa para apagar el motor o accionador de un componente del sistema como una compuerta automática una vez que alcanza el punto de referencia predeterminado.

interruptor de paro con cordón de tiro | Un cable que recorre la longitud de una banda transportadora y que se conecta a uno o más interruptores. En una emergencia, un jalón manual al cable desde cualquier punto apagará el sistema de la banda transportadora.

interruptor del deslizamiento de la banda[2] | Un interruptor que apaga el motor de accionamiento de una banda transportadora cuando detecta que la banda se mueve a una velocidad más lenta que la polea motriz.

ISO | Una abreviación universal del nombre de la Organización Internacional para la Estandarización adoptada de la palabra griega "isos" que significa igual.

K

KPI | Acrónimo de indicadores clave de desempeño, mediciones de desempeño que se usan como métrica para medir el éxito de la organización.

L

lado de carga | El lado de un transportador o banda que estaría en contacto con la carga de material.

larguero[2] | Las partes de soporte longitudinal de la estructura de un transportador entre las poleas finales.

limpiador[1] | Un dispositivo para retirar material adhesivo de la banda.

limpiador de banda[2] | Un dispositivo que usa una o más hojas tensionadas montadas en una estructura de soporte para retirar material que se adhiere a la superficie de transporte de la banda transportadora más allá del punto de descarga normal.

limpiador de cepillo[2] | Un dispositivo para limpiar la banda que usa un cepillo giratorio para limpiar el material adherido en el recorrido de retorno de una banda transportadora.

limpiador secundario de banda, limpiador secundario | Un limpiador de banda montado abajo del lado de retorno de la banda transportadora para eliminar las partículas finas adheridas a la banda que no fueron eliminadas por la hoja del prelimpiador.

limpiadores terciarios de banda[2]**, limpiador terciario** | Cualquiera de los limpiadores adicionales agregados a una banda después del limpiador primario (limpiador anterior) y limpiador secundario inicial; limpiadores instalados más adelante de la posición secundaria a lo largo del retorno del transportador.

longitudinal[2] | En referencia a una banda transportadora, una dirección longitudinal que corre paralelamente a la línea central.

LRR[1] | Acrónimo de Baja Resistencia al Rodamiento, una formulación de caucho de derecho exclusivo.

M

maduración[1] | La exposición a un ambiente por un período de tiempo.

mandril[2] | Un eje central que se usa para montaje y ajuste lateral del bastidor de un limpiador de la banda.

manómetro | Un dispositivo que se usa para medir la presión de gases o líquidos; en las bandas transportadoras se usa para medir el flujo de aire.

material adherido[2] | Material transportado que se pega a la superficie de la banda después del punto de descarga nominal. Si un sistema de limpieza de la banda no lo elimina, estas partículas se sueltan a lo largo del recorrido de retorno y se acumulan abajo de la banda.

material fugitivo[2] | Cualquier material descarriado que se escapa de un sistema de manejo de material en un lugar distinto a su punto de descarga normal, puede originarse como material adherido, derrame o partículas en el ambiente o por otras razones.

medición[1] | El grosor de una banda o sus elementos individuales.

medidor de material adherido Stahura | Un método para medir el material adherido utilizando un recipiente de colección con hojas de raspado sostenidas contra el lado de retorno de una banda en movimiento para capturar el material residual; desarrollado por el pionero de la limpieza de bandas Dick Stahura.

ménsula | Una viga o estructura saliente soportada por un extremo.

metales[2] | Pedazos de metal de desecho que pueden contaminar el flujo de material en una banda transportadora.

mezcladora | Máquina de procesamiento industrial en donde el material se muele y mezcla con un líquido de manera simultánea.

módulos de la banda[1] | La fuerza por ancho de la unidad de la banda requerida para producir un porcentaje declarado de alargamiento.

MSHA | Administración de Seguridad y Salud en Minas, una unidad del Departamento del Trabajo de Estados Unidos.

O

OSHA | Administración de Seguridad y Salud Ocupacional, en Estados Unidos es una agencia del Departamento del Trabajo de Estados Unidos, la agencia federal principal a cargo del cumplimiento de la legislación de seguridad y salud.

P

pared del chute | Las paredes del chute de carga y algunas veces el chute lateral del punto de transferencia.

pared del chute | *Ver chute lateral.*

parrilla[2] | Una serie de barras o rejillas de metal que están separadas para permitir que bultos pequeños y finos caigan directamente mientras permiten que bultos más grandes pasen al equipo de la quebradora o trituradora.

partículas | Partículas finas sólidas o líquidas (que no es agua) que se encuentran en el aire, incluyendo el polvo, humo y polen.

peletizadora | Un dispositivo para formar gránulos (bultos pequeños) de partículas finas o polvo.

perfil de la banda | La figura de la banda, especialmente la superficie superior (transportadora).

PIW | Abreviación de Libras por Pulgada de Ancho, una medida de la capacidad que tiene la banda para resistir la tensión.

placa AR[2] | Placa de acero resistente a la abrasión comúnmente usada como recubrimiento resistente al desgaste en los puntos de transferencia.

placa de rehabilitación[2] | Una pieza de metal que se usa para parchar un orificio en la pared de un compartimiento como, por ejemplo, un chute de transferencia.

placa deflectora[2] | Un chute en ángulo colocada bajo el extremo de la cabeza de una banda transportadora para atrapar cualquier material que pueda caer del lado del retorno y soltarlo en el flujo de descarga.

placa iniciadora | Deflector para dirigir el flujo del material después que sale del primer punto de contacto con el chute de transferencia.

PLC | *Ver controlador lógico programable.*

pleno | Un compartimiento donde se distribuye aire comprimido.

polea[2] | Un cilindro rotatorio montado en un eje central que se usa para impulsar, cambiar de dirección o mantener la tensión de una banda transportadora.

polea con brida[2] | Una polea con un reborde elevado en los bordes con el propósito de mantener encerrada la banda.

polea coronada[1] | Una polea con un mayor diámetro en el centro u otros puntos que en los bordes.

polea de ala[2]**, polea de tipo ala** | Un tipo de polea autolimpiadora que soporta la banda en una veleta individual en vez de en una superficie sólida. Las veletas se montan en una sección central que disminuye el ancho desde adentro hacia afuera para desviar el material descarriado lejos de la polea y hacia los lados.

polea de cabeza[2] | La polea final ubicada en el punto de descarga de una banda transportadora. En muchos transportadores, la polea de cabeza está conectada al motor de accionamiento para hacer funcionar el transportador.

polea de canalización parcial[2] | Una polea de cola instalada de modo que su superficie superior esté alineada con el punto medio de los rodillos laterales en los primeros rodillos totalmente canalizados, típicamente se usan para acortar la distancia de transición requerida del transportador.

polea de cara lisa[2] | Una polea con una superficie plana sin corona.

polea de cola[2] | Una polea que gira el recorrido de retorno de una banda transportadora 180 grados de regreso al recorrido de transporte.

polea de curva completa | Una polea de cola instalada de manera que la parte superior esté alineada con la parte superior de los rodillos centrales en los primeros rodillos totalmente canalizados.

polea deflectora[2] | Una polea que se usa para cambiar la dirección (o "flexionar") de una banda transportadora.

polea jaula de ardilla envuelta en espiral[2] | Una polea de ala que está envuelta con una banda de acero en un patrón espiral para reducir la vibración de la banda mientras aún mantiene la función autolimpiadora de la polea.

polea magnética[2] | Una polea equipada con un electromagneto, usada para eliminar los metales de la carga de material transportado o descargado de un transportador.

polea motriz[2] | La polea conectada al mecanismo impulsor de una banda transportadora.

polea tambor[2] | Una polea que tiene diámetro uniforme de lado a lado.

polea terminal | La polea al final de cualquiera de los extremos del transportador; las poleas de cabeza y/o de cola.

posición primaria | El área alrededor de la polea de descarga donde generalmente se instalan los limpiadores primarios de la banda.

posición secundaria | Posición para un limpiador de banda, entre el punto donde la banda se aleja de la polea de cabeza y donde entra en contacto con el primer freno o la polea deflectora o rodillo de retorno.

posición terciaria | El área después de la polea deflectora para la instalación de limpiadores de la banda adicionales.

potencia de refuerzo[1] | Usado en algunas bandas transportadoras largas para reducir la potencia/tensión en la polea motriz.

prelimpiador[2] | Un limpiador de la banda instalado en la cara de una polea de cabeza para cizallar el bulto de cualquier material adherido a la banda; limpiador principal.

prensa | Una máquina que aplica presión consistentemente a todas sus superficies, se usa para los empalmes de la banda.

presión positiva | El flujo de aire hacia afuera desde el punto de transferencia u otra estructura.

principal, limpiador principal | Un prelimpiador, es decir, un limpiador de la banda instalado en la cara de una polea de cabeza abajo de la trayectoria del material para cizallar el bulto de cualquier material adherido a la banda. La posición primaria de limpieza es en la cara de la polea de cabeza abajo de la trayectoria.

promotor de flujo | Dispositivo o método para impulsar el flujo de materiales a través de los chutes, incluyendo los vibradores lineales y rotatorios, cañones de aire, sistemas de ventilación, revestimiento de chutes y diseño de chutes ligeros.

protección de la polea[2] | El área total de contacto donde la banda se envuelve en un arco alrededor de la superficie de la polea.

prueba de célula de corte | Prueba para derivar las propiedades de flujo de un material a granel midiendo la fuerza para cortar el material a granel.

puerta de acceso | Punto de entrada a un área encerrada, típicamente un método de cierre.

pulverizador[2] | Un dispositivo mecánico usado para triturar material hasta tener una consistencia de polvo fino. Un molino de bolas usa bolas de acero pesado que ruedan entre las caras contra giratorias para triturar el material.

punto de presión | Un punto donde un elemento de la máquina alineada se junta con un elemento rotatorio de tal forma que es posible pellizcar o atrapar una persona u objeto entre las partes.

punto de transferencia | El lugar (y equipo asociado) donde una banda transportadora se carga o descarga.

punto de engranamiento | Un punto donde dos superficies permiten que una masa de material se quede atascada.

PVC | Acrónimo de cloruro de polivinilo, un material que se usa en la construcción de algunas bandas transportadoras.

Q

quebradora[2] | Una pieza del equipo que se usa para triturar o destrozar piezas grandes de material en piezas pequeñas.

quebradora de martillos[2] | Un tipo de quebradora que usa varios martillos rotatorios montados sobre un eje central para destrozar materiales abultados y duros como el carbón o la caliza en tamaños más pequeños.

quebradora de rodamientos[2] | Un dispositivo mecánico que usa un tambor de metal giratorio pesado equipado con dientes dentro de un compartimiento cribado para triturar materiales duros.

R

ranurado[1] | El efecto de un material pesado y filoso que cae sobre la cubierta de una banda transportadora y que daña la superficie o destroza las piezas del recubrimiento.

rasgadura del perfil | Una forma de desgaste de la banda, con una rasgadura que va desde el borde hacia el centro.

rastra[1]**, banda con rastra** | Objetos sobre la banda o secciones elevadas de una banda transportadora que se utilizan para estabilizar el material que se sube por una pendiente.

razón de aire a medio | Se usa para describir los filtros de colección de polvo, la razón de aire a medio es el flujo de aire en metros cúbicos por segundo (pies^3/min) dividido entre el área del medio de filtración en metros cuadrados (pies^2).

razón de aspecto | Una razón que compara el grosor de los recubrimientos superior e inferior de una banda.

rebordes | *Ver separadores.*

recorrer | La distancia o ruta que cubre una banda transportadora.

recorrido de carga[2] | El recorrido superior de una banda transportadora usado para transportar material desde una zona de carga hasta un punto de descarga.

recorrido de retorno[2]**, lado de retorno** | El lado de una banda transportadora que no transporta material, después de descargar, a medida que la banda regresa a la zona de carga.

recorrido del ajuste | La distancia que el ajuste puede recorrer mientras la banda está en movimiento.

recortado en el campo | Cortar al tamaño adecuado en el punto de la aplicación (contrario a cortado en la fábrica).

recubrimiento[1] | La capa exterior de la banda. Tambien, la tapa o estructura de techo para proteger y evitar que el transportador y los materiales se expongan a los elementos y limitar la liberación de material.

recubrimiento[2] | Una cubierta de caucho, tela o cerámica aplicada al cuerpo de una polea para mejorar la tracción de la banda contra la polea.

recubrimiento inferior[1] | El lado de la banda sin carga que va hacia las poleas.

recubrimiento superior | La superficie de carga de la banda.

reductor[2] | Un motor y una caja de engranes auxiliares que se diseñaron para operar una pieza del equipo a una velocidad muy lenta. También conocido como un “motorreductor”.

refuerzo | Un inserto triangular para agrandar o dar soporte.

regresión[2] | Piezas descarriadas que ruedan y rebotan hacia atrás por una banda inclinada después de apagar un flujo de material. O el movimiento cuesta abajo de un transportador inclinado, rodar hacia atrás cuando se apaga la fuente de poder mientras está cargada la banda.

rejilla de impacto[2] | Una serie de barras de metal montadas en un chute de descarga del transportador en el punto donde el material golpea contra la pared, para reducir el desgaste del revestimiento del chute.

rendimiento | La cantidad de material a granel enviado por un sistema de manejo de material; generalmente indicado en toneladas por hora (st/h).

resistencia de impacto[1] | La habilidad relativa de un conjunto de bandas transportadoras a absorber el impacto de la carga sin dañar la banda.

resistente al aceite | Capaz de soportar cualquier deterioro de propiedades físicas que surgen de la interacción con el petróleo.

retención[2] | *Ver tope de retención.*

reunión[2] | Material que se acumula en una banda en la zona de carga hasta que alcanza la velocidad de la banda y puede transportarse.

revestimiento | Material colocado dentro de las superficies interiores de un compartimiento o contenedor, generalmente para conservar el compartimiento y reducir el desgaste.

revestimiento resistente al desgaste[2] | Una capa de loseta cerámica, placa AR u otro material resistente a la abrasión que se usa para revestir la parte interior de un chute de transferencia o el chute lateral para mejorar el flujo de material y evitar el desgaste por abrasión y daño al cuerpo o a la estructura exterior.

revestimiento resistente al desgaste de cerámica | Un revestimiento que usa bloques o losetas cerámicas para mejorar la resistencia a la abrasión.

revestimiento resistente al desgaste de deflector | Un revestimiento instalado dentro del chute lateral que incorpora una curva hacia el centro de la banda, la cual canaliza el material lejos del borde de la banda y el sistema de faldón.

RMA | Acrónimo de Asociación de Fabricantes de Caucho, Inc.

rodillo[2] | Un componente rodante sin fuente eléctrica que se usa para soportar una banda transportadora ya sea en el recorrido de carga o en el recorrido de retorno.

rodillo catenario[1] | Un rodillo flexible colocado donde los rodillos están suspendidos en un enlace flexible, cuerda o estructura de cadena y los extremos están soportados por un soporte con pivote. El tubo o los rodillos se hunden para formar el canal. También llamado un rodillo de guirnalda.

rodillo de disco[2] | Un rodillo que usa una serie de discos acolchados para soportar una banda transportadora.

rodillo de fijación[2] | Un rodillo que se usa para aumentar la eficiencia de un arado de protección de cola aplicando presión hacia arriba para mantener plana la banda.

rodillo de impacto[2] | Un rodillo construido especialmente diseñado para absorber la fuerza del impacto del material en la zona de carga de una banda transportadora.

rodillo de presión | Un rodillo instalado para mantener la banda en la posición apropiada, es decir, arriba de un limpiador de la banda.

rodillo de retorno[2] | Cualquier tipo de rodillo que soporta el recorrido de transporte de la carga en una banda transportadora.

rodillo de retorno[2] | Un rodillo se usa para soportar el lado de retorno vacío de una banda transportadora.

rodillo de retorno en V[2] | Un rodillo de retorno que incorpora dos rodillos en una configuración en "V" para mejorar la alineación de la banda en el recorrido de retorno.

rodillo de sujeción[2] | Un rodillo se usa para evitar que se eleve la banda transportadora como, por ejemplo, cuando hace un recorrido sin carga o se usa para aplicar presión hacia abajo en el recorrido de retorno de una banda transportadora para mantener una limpieza eficiente evitando que la presión de la limpieza cambie la línea de recorrido de la banda. También mencionado como "rodillo de presión".

rodillo en v | *Ver rodillo de retorno en V.*

rodillo guía[2] | Un rodillo estabilizador pequeño sobre un rodillo encauzador. Cuando una banda transportadora se desvía hacia el rodillo guía, éste provoca que los rodillos de dirección giratorios se giren hacia dentro y obligan a la banda a regresar a la línea central.

rodillo lateral[2] | Cualquiera de los rodillos exteriores en un conjunto de rodillos de canalización, montados en un ángulo al rodillo central.

rodillo plano | *Ver rodillo plano.*

rodillo plano[2] | Un rodillo donde la banda soportada es plana.

rodillo satelital[1]**, rodillo** | Un rodillo montado sobre un pivote o de alguna manera ajustable a la base que, cuando se activa por la banda desalineada que se mueve contra ella, automáticamente ajustará su posición para guiar la banda a la trayectoria correcta.

rodillos de alineación automática[2] | Rodillos que pueden girar hacia la derecha o izquierda bajo la influencia de las fuerzas de la banda en movimiento que mantienen a esta en la línea central.

rodillos de canalización[2] | Un conjunto de rodillos de carga que consisten de un rodillo central horizontal con rodillos laterales inclinados en ambos lados que forma el lado de carga de una banda en un canal.

rodillos de colección[2] | Un tipo de rodillo de canalización que incluye rodillos laterales y un rodillo central ancho. Los rodillos de este tipo generalmente se usan para material que debe colectarse y clasificarse a medida que se transporta en la banda.

rodillos de compensación[2] | Un rodillo de canalización situado donde los rodillos laterales están en un plano vertical diferente, mas no paralelo, al rodillo central. Esto permite a los rodillos laterales superponerse al rodillo central, mejorando el soporte de la banda; también puede reducir la altura del conjunto de rodillos.

rodillos de dirección[2] | Un conjunto de rodillos (o un conjunto de rodillos de canalización) montado sobre un pivote que puede girar hacia la izquierda o derecha para dirigir una banda transportadora desalineada hacia la línea central.

rodillos de transición[2] | Conjuntos de rodillos entre la polea de cola y la zona de carga que gradualmente transforman la banda en el canal para la carga.

rodillos intermedios[2] | Rodillos colocados entre las bases de impacto o camas deslizantes para soportar una banda transportadora cuando el material no se está cargando.

rodillos laterales | Los rodillos en la parte exterior del conjunto de rodillos de canalización. *Ver rodillo lateral.*

ROI | Retorno sobre la inversión o beneficios.

ROM | Tal como sale de la mina, el material minado en bruto que viene directamente de la operación de extracción antes de triturar, cribar u otro tratamiento.

placa deflectora | Un borde de limpieza instalado en una polea de cabeza justo abajo de la trayectoria del material de manera que esté cerca de la banda sin llegar a tocarla; sirve como una hoja secadora para limitar la cantidad de material que consigue pasar por el prelimpiador convencional instalado justo abajo de ella.

rotación[1] | Un sistema instalado en un transportador que invierte la banda, generalmente para controlar el material adherido a ella manteniendo hacia arriba el lado de carga ("sucio") de la banda.

S

sacamuestras[2] | Un dispositivo mecánico que se usa para colectar cantidades pequeñas de material en intervalos preestablecidos en el flujo de material principal para realizar pruebas o para propósitos de control de calidad.

salida, punto de salida[2] | El área de una zona de carga donde los chutes laterales terminan y empieza el recorrido de transporte principal de una banda transportadora.

segregación |La separación accidental o indeseada de un material por tamaño.

selector multicontrol[2] | Un interruptor de inicio manual ubicado cerca del extremo de descarga en una banda transportadora para que la banda avance lentamente distancias cortas para propósitos de realizar pruebas o para vaciar gradualmente la banda debido a una sobrecarga de material.

sellado del borde | *Ver sello.*

sello | Método para evitar un derrame conteniendo las partículas finas y el polvo en el borde del chute lateral.

sello de chute lateral, sello del faldeo | El mecanismo (a menudo una tira de elastómero) instalado a lo largo de la parte inferior del chute lateral del punto de transferencia para controlar el derrame y mantener el material en la banda.

separador magnético[2] | Un dispositivo que usa la atracción magnética para atraer desechos de metal, conocidos como "metales", y sacarlos del flujo de material en un transportador.

shore | Un dispositivo que mide la dureza de un material flexible (como un elastómero), lo cual se logra midiendo la resistencia a la penetración de un punto de indentación.

sistema de apilación[2] | Una serie de transportadores diseñada para cargar material a un área de almacenamiento.

sistema de faldón | Sello de elastómero y mecanismo de sujeción en el borde del chute lateral para contener polvo y partículas finas y evitar un derrame.

sistema de limpieza de banda | Un limpiador de banda o un grupo de limpiadores de banda y el equipo asociado (como montajes y tensionadores), como se ubican en una banda transportadora.

sistema de reclamo[2] | Un sistema de manejo de material que se usa para recuperar y transportar material desde un área de almacenamiento hasta un punto donde será procesado o consumido.

sistema de soporte para bandas | Los componentes abajo del lado de carga de la banda que soporta el peso de ésta y la carga.

sistemas de colección de polvo | Un sistema mecánico que se usa para eliminar el polvo del aire en un sistema de transporte de material.

sistemas de supresión de polvo | Un sistema de control de polvo que usa agua o agua reforzada para reducir el escape de partículas en el ambiente.

sobrecalentamiento | Un problema donde el material se desborda del chute provocado por bloqueos en este.

soldadura de retroceso | Una soldadura aplicada a la parte posterior de la unión, comúnmente llamada soldadura hacia atrás.

soldadura de tapón | Un tipo de unión realizado soldando una parte a otra a través de un orificio circular en la parte superior.

soldadura hacia atrás | Un método de soldadura en donde en cada soldadura la gota se regresa hacia el extremo soldado.

soldadura por puntos | Una técnica para unir metales que usa una serie de soldaduras espaciadas con intervalos entre las soldaduras.

CNTP | Acrónimo de Temperatura y Presión Estándar; 0˚C/32˚F, 1 atmósfera (101.325 kPa) (1 atmósfera de presión absoluta).

superficie de sacrificio | Una superficie de desgaste que se instala para proteger una estructura más valiosa absorbiendo, amortiguando o aislando contra la abrasión, impacto u otras fuerzas.

surcar[2] | *Ver daño al engranaje.*

surfactante[2] | Un agente que actúa sobre la superficie. En la supresión de polvo, este es un aditivo que se combina con agua en un aspersor o niebla para ayudar a capturar polvo en el ambiente.

surfactante residual | Un aditivo de supresión de polvo que continuará su efecto aglomerante aún después de evaporarse la humedad; también se llama inhibidor de aglutinante.

T

taloneo[2] | Punto de engranamiento causado al montar un bastidor de prelimpiado demasiado cerca a la polea de cabeza.

taponamiento | El bloqueo de la descarga de un chute.

tensión | La fuerza a lo largo de la línea de la banda requerida para superar la resistencia de los componentes y transportar la carga.

tensión clasificada | La resistencia a la rotura mínima de una banda en newtons por milímetro (lb_f/pulgadas) del ancho de la banda, según lo especifica el fabricante de la banda. En Estados Unidos algunas veces se usa un término de tensión de trabajo.

tensión de operación | La tensión de una banda mientras funciona con una carga de material.

tensión del lado ajustado[2] | El área de mayor tensión en una banda transportadora, generalmente ubicado en el punto donde la banda se acerca a la polea motriz.

tensión del lado holgado[2] | El área de menor tensión en una banda transportadora; las áreas de baja tensión variarán con la ubicación del freno y poleas de ajuste; son completamente dependientes de una banda transportadora en especial y deben identificarse para cada aplicación.

tensión máxima[1] | La mayor tensión que se presenta en cualquier sección de la banda en operación.

tensionador de agua[2] | Un tipo de tensionador del limpiador de banda que usa presión de agua regulada para mantener la tensión de las hojas del limpiador.

tensionador lineal[2] | Un tipo de tensionador que aplica presión directa hacia arriba a un limpiador de banda.

tensionador radial[2] | Un tensionador que transmite fuerza de torsión a través de una extensión giratoria o resorte de torsión a un limpiador de la banda.

tensionador, dispositivo para tensionar | Un dispositivo utilizado para mantener la presión de limpieza del limpiador de la banda contra la superficie de la banda.

tiras de sellado | El material de elastómero instalado entre el chute lateral y la banda para evitar un derrame.

tiras de sellado del borde | *Ver tiras de sellado.*

tope de fin[2] | Una abrazadera equipada con un tornillo de fijación que se usa para

asegurar las hojas en posición en un bastidor del limpiador de banda.

tope de retención | Un dispositivo de retención mecánico o eléctrico que se usa para evitar que una banda transportadora inclinada y cargada ruede hacia atrás si se detiene el motor. También se menciona como un “embrague de retención” o “freno del embrague”.

TPH, tph | Abreviación de "toneladas por hora", una medida de capacidad.

trama[1] | Hilos horizontales en el tejido de una tela.

transición | La formación de la banda transportadora en un canal para recibir su carga; el área donde se lleva a cabo este cambio.

transportador[2] | Una pieza del equipo diseñada para transportar material de un punto a otro a lo largo de una trayectoria predeterminada.

transportador apilador[2] | Un transportador usado para "apilar" o soltar material a un depósito o pila de almacenaje. Un transportador apilador puede ser "fijo" para soltar material en una sola ubicación o "rotatorio" para dispersar el material en un movimiento de barrido sobre un área más amplia.

transportador carroñero[2] | Un transportador pequeño o un chute vibrador colocado abajo de la cabeza de un transportador más grande para capturar el material adherido o el material que cae de un sistema de limpieza de la banda y regresa la descarga al flujo de material principal.

transportador con cama deslizante | Un transportador que usa alguna variedad de barras de baja fricción u otra superficie plana en vez de rodillos, para soportar la banda.

transportador de arrastre | Sistema de manejo de material que usa barras o placas en una cadena para jalar la carga hacia el punto de descarga.

transportador de rastras[2] | Un tipo de transportador que usa rastras o recogedores (pisos) para mover material de un punto a otro a través de un chute canalizado.

transportador de tornillo[2] | Un tipo de transportador que usa un taladro giratorio dentro de un tubo confinado para llevar el material de un punto a otro.

transportador de tubo[2] | Un transportador donde la banda se forma en un tubo cerrado después de que se carga, normalmente usado para evitar un derrame y transportar material de manera vertical.

transportador monodireccional | Un transportador que carga material en una dirección.

transportador para descargar[2]**, descargador móvil** | Un mecanismo montado en un riel con un ajuste de recorrido que puede mover el extremo de descarga de un transportador a varios puntos a lo largo de una línea recta para llenar tolvas o contenedores individuales.

transportador regenerativo[1] | Un transportador que descarga a una altitud significativamente menor que la cola (de manera que transporta material en pendiente) produciendo electricidad en vez de consumirla.

transportador reversible[2] | Un tipo de transportador que puede llevar material longitudinalmente a cualquier dirección.

transportador soportado por aire[2] | Un transportador que usa una banda convencional, poleas y propulsor pero su lado de carga está soportado por una película delgada de aire en vez de rodillos.

transversal[2] | La dirección de lado a lado a través de una banda transportadora.

trayectoria[2] | La ruta en arco realizada por el material transportado a medida que se descarga en el extremo final de un transportador.

tubos de pitot | Un instrumento de medición de presión que se usa para medir la velocidad del flujo de un líquido.

U

UHMW[2] | Acrónimo de polietileno de Peso Molecular Ultra Alto, un material de plástico que comúnmente se usa como un revestimiento de un chute o superficie de soporte de la banda de baja fricción.

unión de conexiones[2] | El área entre el rodillo lateral y el rodillo central en un conjunto de rodillos de canalización.

urdimbre[1] | Hilos longitudinales en el tejido de una tela.

V

velocidad de captura | La cantidad de la velocidad de aire requerida para reunir las partículas de polvo en el ambiente hacia un sistema de colección de polvo.

velocidad de exploración | La velocidad a la cual el aire que se mueve sobre una cama de un material dado puede atrapar el polvo de la superficie y llevárselo, normalmente en el rango de 1.0 a 1.25 metros por segundo (200 a 250 pies/min).

velocidad de la alimentación[2] | La cantidad del flujo de material que se está transfiriendo a la banda en cualquier momento, generalmente expresado en "toneladas por hora" (t/h o st/h).

vibración, vibración de la hoja[2] | La vibración rápida de un limpiador de banda que no está apropiadamente alineado con una banda transportadora.

viscosidad[1] | La resistencia de un material al flujo bajo tensión.

VUL | Valor Umbral Límite, un nivel de polvo al cual se cree que un trabajador puede exponerse día tras día para una vida de trabajo sin efectos adversos a la salud; se expresa en partes por millón de partes de aire (mg/m^3) para partículas como polvo, humo y niebla.

vulcanizador[1] | Un dispositivo que aplica calor y presión para curar un empalme; también se llama una prensa.

Z

zona de asentamiento | Una porción ampliada del área del chute lateral cubierta después del área de impacto de la zona de carga; el Volumenn adicional diseñado para disminuir la velocidad del flujo de aire y permitir que el polvo en el ambiente regrese al material principal así como también permite que escape el aire más limpio; también llamada zona de asiento.

zona de asiento | *Ver zona de asentamiento.*

zona de carga[2]**, zona para cargar** | El punto de recepción donde el material se baja o alimenta a un transportador.

FUENTES

[1]**Conveyor Belt Guide**
www.ConveyorBeltGuide.com

[2]**Stahura Conveyor Products**
www.scp-pa.com

Métrico		Imperial	
Descripción	**Abreviación**	**Abreviación**	**Descripción**
centímetro	cm	BTU	Unidad térmica británica
centímetros cúbicos	cm^3	BTU/$libra_m$)	Unidad térmica británica por masa en libras
metros cúbicos	m^3	pies	pies o pie
metros cúbicos por hora	m^3/hr	pies/min	pies por minuto
metros cúbicos por minuto	m^3/min	pies/seg	pies por segundo
metros cúbicos por segundo	m^3/seg	$pies^2$	pies cuadrados
decibeles - audio	dBA	$pies^3$	pies cúbicos
grados Celsius	°C	$pies^3$/hr	pies cúbicos por hora
gramo	g	$pies^3$/min	pies cúbicos por minuto
hectopascal	hPa	$pies^3$/seg	pies cúbicos por segundo
kilohertz	kHz	gal	galón
kilogramo	kg	gal/hr	galones por hora
kilogramos por metro cúbico	kg/m^3	gal/min/pulg.	galones por minuto/por pulgada
kilogramos por litro	kg/l o kg/L	gal/seg	galones por segundo
kilogramos por segundo	kg/seg	hr	hora
kilogramos por metro cuadrado	kg/m^2	hp	caballos de fuerza
kilojulio	kJ	pulg.	pulgadas
kilojulio por kilogramo	kJ/kg	$pulg.^3$	pulgada cúbica
kilómetro	km	libras/$pies^2$	libras por pies cuadrados
kilómetros por hora	km/h	lb_f	libras de fuerza
kilonewton	kN	lb_f /pie	libras de fuerza por pie
kilonewton por metro	kN/m	lb_f /$pulg.^2$	libras de fuerza por pulgada cuadrada
kilonewton por metro cúbico	kN/m^3	lb_f /$pies^3$	libras de fuerza por pie cúbico
kilopascal	kPa	lb_f /pulg.	libras de fuerza por pulgada
kilowatt	kW	lb_m	masa en libras
litro	l o L	lb_m/$pies^3$	masa en libras por pie cúbico
litros por hora	l/hr o L/hr	lb_m/seg	masa en libras por segundo
litros por minuto por metro	l/min/m o L/min/m	milla	milla
litros por segundo	l/seg o L/seg	min	minuto
megahertz	MHz	mph	milla por hora
metros	m	°F	grados Fahrenheit
metros por minuto	m/min	oz	onza
metros por segundo	m/seg	oz_m	masa en onzas
microgramo	µg	psi	libras por pulgada cuadrada
micrón	µ	psi	libras de fuerza por pulgada cuadrada
miligramos por metro cúbico	mg/m^3	PIW	libras por pulgada de ancho
mililitro	ml	seg	segundo
milímetros	mm		
newton	N		
newton por milímetro	N/mm		
newtons por metro	N/m		
metros cuadrados	m^2		

APÉNDICE C

ETIQUETAS DE SEGURIDAD

ETIQUETAS DE SEGURIDAD

La siguiente información y recomendaciones para las etiquetas de seguridad se publican con permiso de la Asociación de Fabricantes de Equipo de Transportadores (CEMA) y están disponibles en el Folleto 201 de CEMA. Las etiquetas se pueden adquirir en la página web de CEMA (www.cemanet.org) o escribiendo a la Asociación de Fabricantes de Equipo de Transportadores, 6724 Loan Oak Boulevard, Naples, Florida 34109, teléfono 239-514-3441. También se pueden obtener directamente con varios fabricantes de equipo de transportadores.

Significados de las etiquetas de seguridad de CEMA

El programa de etiquetas de seguridad de CEMA usa colores y palabras clave específicas (palabras que designan un grado o nivel de gravedad de riesgo) para identificar rótulos de las tres clasificaciones de riesgo:

ETIQUETA DE PELIGRO

Las etiquetas de "Peligro" indican una situación de riesgo inminente, que, si no se evita, resultará en la muerte o en una lesión grave. Se deben limitar a las situaciones más extremas.

ETIQUETA DE ADVERTENCIA

Las etiquetas de "Advertencia" indican una situación de riesgo potencial, que, si no se evita, podría resultar en la muerte o en una lesión grave.

ETIQUETA DE PRECAUCIÓN

Las etiquetas de "Precaución" indican una situación de riesgo potencial que, si no se evita, puede resultar en una lesión de leve o mediana gravedad. También se pueden usar para alertar contra las prácticas inseguras.

Nota: *"Peligro" o "Advertencia" no se deben considerar para accidentes de daño a la propiedad, a menos que también impliquen riesgo de lesión personal adecuados a esos niveles. "Precaución" se permite para accidentes que sólo implican daño a la propiedad.*

Símbolo/Ilustración

Una representación gráfica que transmite un mensaje sin usar palabras. Puede representar peligro, una situación de riesgo, una precaución para evitar un riesgo, un resultado de no evitar un riesgo o cualquier combinación de estos mensajes.

Mensaje en palabras

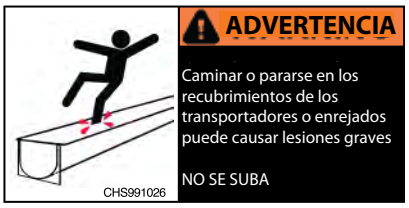
Consta de dos partes. La primera sección describe el riesgo. La segunda sección indica qué hacer o no hacer para evitar el riesgo.

ETIQUETAS DE PELIGRO

Indican una situación de riesgo inminente, que, si no se evita, resultará en la muerte o en una lesión grave. La palabra señal se debe limitar a las situaciones más extremas.

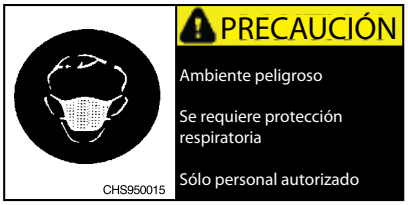
ETIQUETAS DE ADVERTENCIA

Indican una situación de riesgo potencial, que, si no se evita, podría resultar en la muerte o en una lesión grave.



ETIQUETAS DE PRECAUCIÓN

Indican una situación de riesgo potencial, que, si no se evita, puede resultar en la muerte o en una lesión leve o mediana. También se pueden usar para alertar contra las prácticas inseguras.



Producto: **Equipo de manejo de material a granel** | Equipo: **Bandas transportadoras de material a granel**

A. *Se deben colocar en las barreras removibles para advertir que la operación de maquinaria con barreras podría exponer cadenas, bandas, engranajes, ejes, poleas, acoplamientos, etc. que crean peligros.*

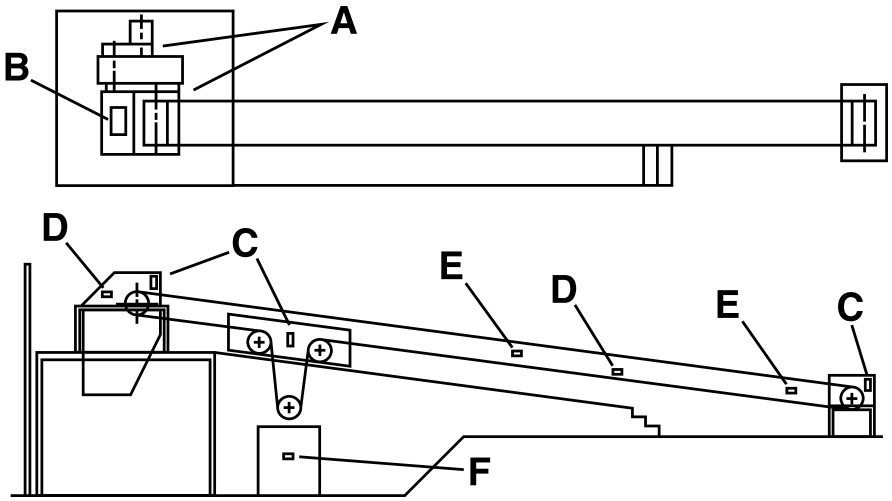
B. ***Colocar en puertas de inspección.*** *Se deben colocar en los transportadores donde estén expuestas partes móviles que deben estar sin barreras para facilitar su función, como rodillos, poleas, ejes, cadenas, etc.*

C. *Se deben colocar en las barreras removibles para advertir que la operación de maquinaria con barreras podría exponer cadenas, bandas, engranajes, ejes, poleas, acoplamientos, etc. que crean peligros.*

D. ***Colocar en la entrada del pasillo del transportador.*** *Advertencia general al personal de que las partes móviles de un transportador, que opera sin barreras por necesidad o función, como bandas, rodillos, poleas terminales, etc., crean riesgos que deben evitarse; en particular, los transportadores que arrancan y se detienen por control automático cerca de estaciones de trabajo del operador usarían este rótulo.*

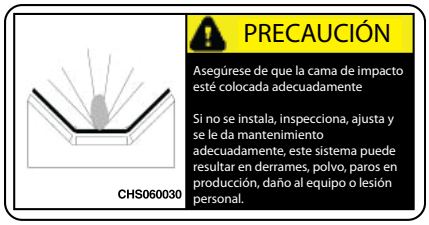
E. ***Espacio de hasta un máximo de centros de 50 pies (lados del pasillo).*** *Se deben colocar en los centros de hasta un máximo de 50' en el lado del pasillo.*

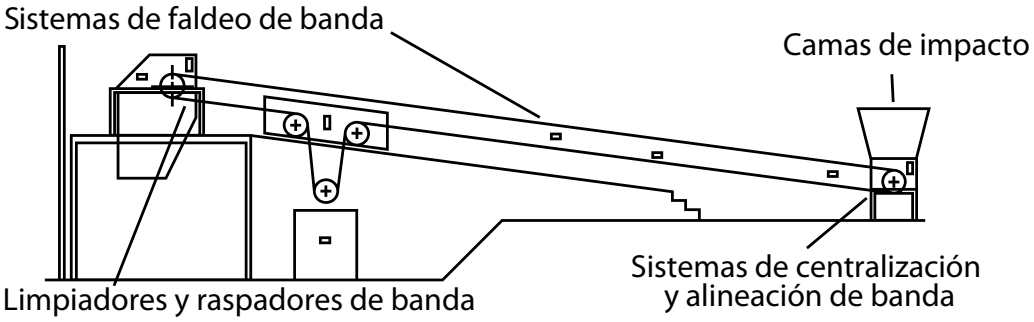
F. *Se deben colocar en las entradas a las áreas confinadas que expondrían al personal a riesgos operativos o ambientales a las que sólo debe entrar personal capacitado y autorizado bajo condiciones específicas; por ejemplo, transportadores de elevación, pasillos de transferencia de carros, espacios confinados, etc.*

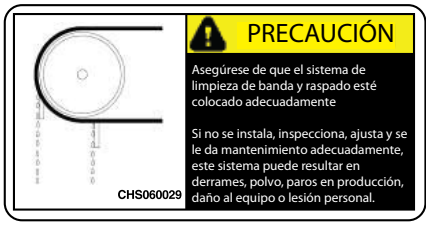


Producto: **Equipo de manejo de material a granel |** Equipo: **Accesorios de la banda transportadora**

Estas etiquetas se deben colocar sobre o cerca del acceso de mantenimiento en los siguientes accesorios de banda transportadora de material a granel:







Transportadores de materiales a granel

SAFETY IS IN YOUR HANDS

No trepe, no se siente, no se pare, no camine, no se transporte ni toque el transportador en ningún momento.

No realice mantenimiento en el transportador hasta que se hayan bloqueado y asegurado las fuentes de energía eléctrica, neumática, hidráulica y de gravedad.

Opere el equipo únicamente con todas las tapas y guardas en su lugar.

Cierre todas las fuentes de energía y bloquee las cargas de gravedad antes de dar servicio.

Asegúrese de que todo el personal esté alejado del equipo antes de arrancarlo.

Permita que únicamente personal autorizado y capacitado opere o dé mantenimiento a los transportadores y a los accesorios.

Mantenga la ropa, las partes del cuerpo y el cabello alejados de los transportadores.

Limpie los derrames alrededor de poleas, rodillos, y puntos de carga únicamente cuando la energía esté apagada y las guardas estén instaladas.

No modifique ni haga uso incorrecto de los controles del transportador.

Asegúrese de que TODOS los controles y los cordones de tiro estén visibles y accesibles.

No modifique ni retire los controles, las guardas, los interruptores de bloqueo, las advertencias ni otros elementos de seguridad sin la autorización del fabricante.

Reporte todas las condiciones inseguras.

PUBLICAR EN UN ÁREA PROMINENTE

APÉNDICE D

ÍNDICE

- **ÍNDICE DE ECUACIONES** 552
- **ÍNDICE** 553
- **ÍNDICE DE TEMAS** 554

Número	*Título*	*Página*
3.1	Cálculo para la potencia requerida	32
7.1	Cálculo del flujo total de aire	92
7.2	Cálculo del aire desplazado	93
7.3	Cálculo de aire inducido	94
7.4	Cálculo de la cantidad de aire	95
8.1	Cálculo de los ángulos de valle	114
9.1	Requerimiento de fuerza de salida del vibrador lineal	120
10.1	Cálculo de la fuerza de impacto de un solo terrón de material (ESTÁNDAR 575-2000 de CEMA)	141
10.2	Cálculo de la fuerza de impacto de un flujo de material (ESTÁNDAR 575-2000 de CEMA)	142
10.3	Cálculo del hundimiento de la banda	148
10.4	Cálculo de la tensión agregada a la banda debido al soporte del sellado	149
10.5	Cálculo de la tensión agregada a la banda debido a la base de impacto	150
10.6	Cálculo del consumo de energía agregado al impulso de la banda debido al soporte de impacto y sellado	150
11.1	Longitud del chute lateral	163
11.1.1-4	Ejemplo de problema para la longitud del chute lateral: 1-4	164-167
11.2	Altura del chute lateral	163
11.2.1-4	Ejemplo de problema para la longitud del chute lateral: 1-4	164-167
13.1	Cálculo para la tensión agregada a la banda debido al sello de chute lateral	192
13.2	Cálculo para energía adicional requerida para impulsar la banda	192
14.1	Cálculo de la tensión agregada a la banda por el limpiador de banda	234
14.2	Cálculo del consumo de energía agregado a la energía motriz de la banda	234
14.3	Cálculo del polvo potencial generado	240
15.1	Consumo de energía de un arado para la protección de las poleas	249
16.1	Cálculo de la fuerza de desalineación	275
16.2	Cálculo de la fuerza de arrastre de desalineación	276
16.3	Cálculo de la energía para compensar un rodillo satelital	276
18.1	Cálculo del área de la bolsa de filtro	303
20.1	Velocidad de captura de las partículas de polvo	336
22.1	Cálculo de continuidad para el área de sección transversal del flujo de material	361
24.1	Cálculo de la cantidad de material adherido que entra a la caja de lavado por día	391
24.2	Cálculo del material adherido deseado que sale de la caja de lavado por día	392
24.3	Cálculo de la cantidad de efluente manejado por minuto	393
24.4	Cálculo del agua de reposición requerida por minuto	394
25.1	Relación de la fricción de la interfaz	406
25.2	Cálculo de la capacidad de la banda con diferentes propiedades del carbón	409
31.1	Cálculo del costo del capital	467
31.2	Cálculo del retorno sobre la inversión	467
31.3	Cálculo del retorno sobre la inversión en años	467
31.4	Cálculo del retorno sobre la inversión en meses	467
31.5	Cálculo del retorno sobre la inversión para Happy Company con limpieza de nivel II	481
31.6	Cálculo del retorno sobre la inversión para Happy Company con limpieza de nivel III	482

Número	*Título*	*Página*
1.1	Acumulación de material fugitivo con el tiempo	9
1.2	Sistema de matriz de riesgos	13
2.1	Datos de accidentes por transportadores de la MSHA de 1996 a 2000	16
7.1	Niveles aproximados de aire generado por los diferentes tipos de quebradoras	94
9.1	Tamaños de vibradores típicos por el peso del material dentro del chute	120
9.2	Salidas de fuerza del vibrador en base a la densidad aparente	120
9.3	Características de dispositivos promotores de flujo comunes	128
9.4	Aplicaciones adecuadas para los promotores de flujo según las características del material	128
10.1	Clasificaciones de rodillos (basadas en los estándares de la CEMA)	133
10.2	Espaciado de rodillos recomendado para aplicaciones fuera de la zona de carga como lo publicó la CEMA	136
10.3	ESTÁNDAR 575-2000 de CEMA Sistema de clasificación de la base de impacto	142
11.1	Diseño recomendado de la zona de carga	156
11.2	Tamaños de perfiles angulares recomendados para los soportes del chute lateral	161
11.3-6	Ejemplo de problema del chute lateral 1-4	164-167
12.1	Materiales del revestimiento de desgaste	174
13.1	Guía de selección comparativa típica para el sello del chute lateral	190
13.2	Fuerza entre la banda y la tira de sellado con diferentes sistemas de faldón	191
14.1	Cobertura mínima de la hoja del limpiador de la banda	206
14.2	Nivel medio del material adherido permitido en la parte limpia de la banda	232
14.3	Consumo de energía agregado al requerimiento de energía motriz del transportador por varios tipos de limpiadores de banda	235
14.4	Características del material adherido que pasa por el sistema de limpieza	236
14.5	Suposiciones de ejemplo	238
17.1	Porcentajes de tamaños de partículas que pasan a través de un dispositivo de selección de 10 micras de tamaño	282
17.2	Niveles de exposición de polvo admisibles por día de ocho horas según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) (EE.UU.)	283
19.1	Matriz de la aplicación de supresión del polvo	306
19.2	Índices típicos de adición de humedad para los sistemas de supresión de polvo	308
19.3	Niveles máximos típicos de adición de humedad	312
19.4	Penalización térmica por la humedad agregada en una planta de energía a carbón	314
19.5	Penalización térmica en una planta de energía a carbón	320
20.1	Velocidades de transporte de polvo basadas en el tamaño de las partículas de polvo	336
23.1	Tamaños típicos de ventiladores centrífugos usados con bandas transportadoras soportadas por aire	367
24.1	Consumo típico de agua para sistemas de lavado de banda	385
24.2	Comparación de diferentes métodos de eliminación de agua	388
27.1	Herramientas para la inspección de la planta	426
27.2	Censo del sistema de transportador	426-427
27.3	Consideraciones de la inspección de la planta	429
28.1	Mantenimiento preventivo de las bandas transportadoras	440-441
31.1	Conversiones del retorno sobre la inversión	468
31.2	Datos usados en los cálculos del retorno sobre la inversión	468
31.3	Formato de puntuación para la escala Swinderman	477
31.4	Formato de puntuación de la escala de Swinderman (con ponderación de la gerencia)	477
31.5	Inspección inicial	478
31.6	Inspección de 30 días	478
31.7	Inspección de 60 días	479
31.8	Inspección de 90 días	479
31.9	Estado de pérdidas y ganancias (con limpieza de nivel II)	480
31.10	Costos estimados para alcanzar los niveles especificados de limpieza	481
31.11	Costos/ahorros estimados para alcanzar los niveles especificados de limpieza	482
31.12	Estado de pérdidas y ganancias enmendado (con limpieza de nivel III)	483

A

abrazadera, 42, 218-19, 501, 507, 509
acceso, 21-2, 103-04, 107-13, 414-23
  a los chutes, 112-13, 125, 422
  a los limpiadores de banda, 202, 223, 381
  a los sellos de chute lateral, 101
  plataforma de, 357, 417
  puertas de, 22, 87-8, 113, 162, 299, 333, 357, 381, 390, 415, 420-21
accidentes, 6, 12, 15-8, 23-5, 88, 197, 241, 283, 285, 417, 470-71, 481
  , **costo de los**, 6, 8, 17-8, 25, 470-71
acoplamiento, 47, 55, 79, 208, 256-57, 440
acumulación de líquidos, 110-11
adhesión química, 62-64
aguas residuales, 377, 382-83, 388-407
aire desplazado, 91-3, 300, 310, 350, 358
aire generado, 94, 123, 301, 358
aire inducido, 91-4, 96-8, 111, 299, 335, 350, 357-58, 402
aire revertido, 327
ajuste de gravedad, 20-1, 31, 78, 257-58, 372, 380, 417, 440-41, 475, 486
ajuste lineal, 223-24
ajuste radial, 147, 213, 223, 233
alineador de bisagra, 65
alineador de reparación de rasgaduras, 57-8, 72, 438
altura de caída, 45, 96, 98, 105, 107, 109, 113, 132, 141-42, 153, 246, 297, 353, 361, 476
Análisis de Elemento Finito (FEA por sus siglas en inglés), 347, 358
análisis de riesgos, 12-3
análisis de tamiz, 239, 408
anchura de banda operante, 155-57, 183, 202
anchura del chute, 97, 108, 114, 156
ángulo
  , **chute**, 111, 349, 356, 407
  , **de fricción de la pared**, 402, 405-06
  , **de fricción interna**, 404-06
  , **descamación del**, 207
  , **despeje del**, 159, 162, 175-76
  , **inclinación del**, 207-08, 212, 214, 233
  , **limpieza del**, 200, 207, 213, 223, 225-26, 233, 493
  , **raspado del**, 207, 225
  , **sobrecarga del**, 355, 400-01, 408-10
  , **vértice del**, 101, 103, 108, 111, 114-15
  de ataque, 205, 207-08, 212, 214, 224, 381
  de inclinación, 42, 353, 507
  de reposo, 79-81, 105, 157, 355, 399-400, 409-10, 472
ángulo de liberación *(ver ángulo)*
ángulo de raspado para la limpieza de la banda *(ver ángulo)*
ángulo de separación para la limpieza de la banda, 207
ángulo de sobrecarga *(ver ángulo)*
ángulo de vértice *(ver ángulo)*
ángulo del canal, 45-8, 55, 80-1, 83, 85, 88-9, 104-05, 132, 134, 138, 144, 156, 162, 257, 300, 302, 353, 355, 365, 426, 507
  y capacidad de la banda, 47, 401, 409-10
ángulo del chute, 111, 349, 356, 407
ángulo negativo, 207-08, 214, 233
apagado de emergencia, 18, 21-2, 35, 264, 439, 441
arado diagonal, 79, 247-48, 250, 495
arado en V, 247-48, 250, 375, 440, 495
arado, 30, 78-80, 161, 193, 225, 227-28, 242, 245-51, 345-46, 375, 427, 440, 486, 495-96, 502
área de alta tensión, 79, 80, 208, 261, 265-66
área de faldones, 52, 87, 98, 106, 131, 136, 138, 141, 143, 146-47, 155, 157, 163, 171, 173, 188, 192, 301, 352, 360, 419
área libre de bandas, 163
área transeccional, 52, 95-97, 101, 104-05, 107, 157, 163, 173, 360-61, 403, 407, 409
arranque, 10, 23, 108, 191, 264, 274, 307, 332
arreglo de un empalme, 69
Asociación de Fabricantes de Hule (RMA por sus siglas en inglés), 42-3, 45, 55
atomización, 290, 306, 309-10
atrapamiento
  , **material** , 41, 50-2, 77-8, 108, 131-32, 135, 137, 139, 159-60, 171, 176, 182, 185, 188, 245-46, 249, 370, 374, 502
  , **trabajador** , 25, 37, 418

B

bajo tensión, 222, 265
banda alimentadora, 80, 167, 191, 265
banda chevron, 42, 218-19, 500, 507
banda de aceleración, 111
banda de borde cortado, 44, 49
banda de borde moldeado, 44
banda plana *(ver banda)*
banda reversible, 209, 218, 233, 247-48, 250, 259, 265, 272-73
banda transportadora de cadena raspadora, 228
banda, 37-60
  , **grado alimentario de la**, 187, 216, 218-19, 499
  , **grados de la**, 42-3, 62
  , **plana**, 42, 79-80, 82, 133, 167, 401
  alineación de la, 252-277
  almacenamiento de la, 37, 44, 48-50, 56
  armazón de la banda, 37-71, 78-83, 140, 256, 341, 380
  daño de, 50-59, 69-71, 77-82, 88, 111, 132, 134, 137-40, 154, 184, 206, 212, 216, 221, 277, 349, 370, 440, 490, 492, 495
  desgaste de la, 85, 97, 107, 136, 185, 188, 221, 299, 356, 378
  distancia de la orilla de, 80-1, 145, 155-57, 172, 184-85, 187, 401, 410, 487
  empalme de la, 61-73, 202, 257, 513
  falta de alineación de la, 37, 77, 157, 216, 246, 253-77, 369
  guía, 252-277
  hundimiento, 131-32, 136, 138, 142-43, 146-49, 176
  lavado de la, 203, 205, 211, 216, 218, 220-21, 232, 238, 376-95, 403, 407, 469, 475, 489, 499
  limpieza de *(ver limpieza de la banda)*
    por adhesión fría (química), 57, 61-5
    por adhesivos, 56-7, 61-4
    por alineadores mecánicos, 57-9
    por empalmes mecánicos, 46, 57-8, 61, 64-5, 67-73, 202, 208, 214, 222, 256, 369, 426, 486, 494-95
    por vulcanización, 61-6, 70-3, 202, 214, 369, 417, 426, 492, 494, 513
  rastreo de la, 252-277
  razón de proporcionalidad, y, 41-2, 55, 257
  recubrimiento de, 37-47, 50-63, 68, 70, 72, 131, 135, 183-88, 203-08
  rendimiento de la *(banda, ver rendimiento de la)*
  reparación de la, 56-64, 417
  soporte de la, 130-151
  tensión de la, 46, 132, 148-49, 261-62, 274-75, 508
    y carga, 43, 52, 97, 105-11, 136, 139, 148, 186, 349-61, 379
    y los limpiadores de banda, 53, 206-13, 215, 221-24, 229, 379, 487, 495
    y sistemas de faldón, 182-88
bandas resistentes al fuego, 38
bandas transportadoras de cable, 506
bandas transportadoras de grado alimentario, 499
bandas usadas, 52, 67, 182-83, 201, 205, 299, 486, 494
bandeja de goteo, 344
barra espaciadora, 49-50
barra rociadora, 220-21, 377, 381, 383-84, 390, 393-94, 469
barrido cero, 207-12
barrido positivo, 207-08, 212, 214, 233
base deslizante, 30, 85, 131
bloqueo *(ver también bloqueo / etiquetado / bloqueo / prueba)*, 19-21, 71
bloqueo *(ver también bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación)*, 18-23, 125, 199, 317, 421
bloqueo / etiquetado/ suspensión / comprobación, 18, 23, 35, 37, 71, 88, 113, 125, 147, 162, 176, 188, 229, 241, 250,

261, 273-74, 292, 302, 317, 342, 374, 395, 418, 430, 435, 440
bolsa de polvo, 300, 303
boquilla, 118, 122-23, 290, 307, 309-11, 313-19, 321, 327, 377, 380, 383-85, 388, 390, 396, 440, 495
borde mínimo de la banda, 108

C

cable de seguridad, 125, 127, 247-49
caja de lavado modular, 381-82
caja de lavado, 203, 216, 220, 232, 377, 380-86, 389-95, 407, 475, 489
caja de rocas, 102, 109-10, 140
caja de sellado de compuerta de cola, 30, 86-8, 332, 357
caja de sellado de la cola *(caja de sellado de compuerta de cola)*
camas
, **impacto**, 70, 88, 131-32, 135, 138, 140-44, 146, 148, 352, 370, 427, 486, 494, 496, 502
, **soporte de sello**, 88-89, 132, 138-39, 142-43, 146-47, 161, 163, 352, 357, 427, 440, 492
cañón de aire, 22, 93, 103, 112-13, 117, 119, 122-27, 359, 421, 486, 495-96, 501-02
capacidad, de la banda, 18, 29-30, 33, 46, 52, 80-1, 104-05, 133, 155, 157, 172-73, 185, 341, 347, 353, 401, 406, 408-10, 426
y ángulo del canal, 30, 81
y sellado de las orillas, 52, 155, 172-73, 185, 190
capacitación, al personal, 8, 14, 23-5, 67, 113, 229, 342, 421, 429, 437, 439, 445-47, 471
Carga de la Mala Alineación del Rodillo (IML por sus siglas en inglés), 275
carga descentrada, 11, 102, 198, 256, 259, 345, 352, 375
CARP *(ver limpiadores de banda de ángulo constante)*
chevron revertido, 507
chute de cabeza, 19, 93-4, 98, 103-5, 107-8, 299, 360, 371, 390
chute de goteo vibratorio, 103, 124, 227
chute de goteo, 30-1, 103, 124, 204, 209, 211, 213-14, 226-28, 233, 357, 407
, **vibración**, 103, 124, 227
chute lateral de doble altura, 161
chute lateral, 152-168
chutes de carga, 17, 31, 86, 92, 96, 104, 108, 110-11, 152, 154, 158, 258-59, 264, 298, 375, 489, 500
ciclón, 324-25, 329
cilindro de detección, 268-72
cimentación, estructura del transportador, 131-32
Círculo de estrés de Mohr, 404
cobertura mínima de la hoja, 205-6
cohesión, 91, 94, 108-10, 118-19, 199-200, 236, 288-90, 307, 355-58, 378, 402-03, 406-08
colección centrífuga, 324-25
colección de polvo activa *(ver colección de polvo)*
colección de polvo de unidad, 329-30
colección de polvo, 158, 288-90, 293, 322-36, 385, 427, 441, 488-89, 493, 497
, **activa**, 92, 98, 158, 237, 293, 299, 303, 306, 316, 321, 323-24
, **pasiva**, 98, 158, 293, 296-303, 306, 310, 321, 323, 350
proporción aire tela, y, 331, 334
colección pasiva de polvo *(también ver colección de polvo)*, 98, 236-37, 293, 296-303, 306, 310, 316, 323, 334
colector de polvo con filtro de cartucho, 324, 326
colector insertable de polvo (colector modular de polvo), 323, 330, 334-35, 372, 493
colector modular de polvo *(ver colector insertable de polvo)*
comprobación *(ver también bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación)*, 18, 20-1
condición en el peor de los casos, 6, 10, 141, 201-02, 210, 232, 349, 356-58, 374, 384
conexión a tierra, 292, 301-2
consumo de potencia, 44, 151, 248-49
y limpiador de banda, 149, 151, 221, 223, 234-35, 242
y rastreador de la banda, 253, 263-64, 275
y revestimiento de desgaste, 174
y sello de chute lateral, 181, 187, 191
y sistema de soporte para bandas, 132, 135-36, 149-50
contenido de humedad, 11, 94, 102, 197, 200, 208, 220, 226, 236-37, 290, 308, 320, 323, 326, 335, 351, 355, 378, 392-94, 399-400, 402-08, 426, 495, 498
cortina de caucho hendida, 300
cortina de polvo, 95, 98, 107, 157-58, 227, 289, 299-302, 307, 316, 352, 360
cubierta y cuchara, 96-7, 107, 288, 298-99, 351-53, 369
cuchara, 96-7, 107, 111-12, 288, 298-99, 349, 351-53, 357, 360, 369, 375, 458
cuchilla de aire, 203, 220, 388, 393, 489, 507
cuenca de asentamiento, 377, 388-89, 407
curvatura, 44-5, 49, 55-6, 79, 256, 265, 440

D

daño por el calor, 54
daño por impacto, 43, 97, 440
deflector, 10, 80, 96, 98, 102, 108, 259, 488, 497
DEM *(ver método de moldeo de elemento discontinuo)*
densidad aparente consolidada, 399-400
densidad aparente suelta, 104-05, 361, 399-400, 407, 409-10
densidad aparente vibratoria *(ver densidad aparente consolidada)*
desalineamiento, 5-6, 45, 51-2, 56-7, 77, 79, 108, 117, 134-35, 145, 155, 159, 185-87, 197-98, 252-77, 308, 345, 351, 360, 371-72, 486, 489, 495, 502
bandas reversibles, en, 259, 265
sello del faldón, y, 185, 187, 253
desbastar, 66, 68-70
desgaste
área, 212-13
de la banda, 85, 97, 106-07, 136, 148, 185, 188, 212, 221, 226, 299, 349, 356, 378
de las hojas, 206, 213, 215, 221-24, 229, 379, 487, 495
detector de metal, 30
detector de rasgaduras, 58-9, 427
diseño suave del chute, 117, 124
disparador, 30, 82, 237, 259, 306, 315, 477-9, 488, 502
distribución del tamaño de partículas, 104, 236, 355, 358, 402, 474

E

empalme vulcanizado, 57, 60-4, 70-3, 82, 202, 214, 256, 269, 426, 440, 492, 494, 513
empalme, 62-4
Equipo de Protección Personal (PPE por sus siglas en inglés), 18, 24, 99, 302, 426, 430, 437
ergonomía, 34, 436
Escala Swinderman, 472-77
escalera de roca, 109-10
espaciamiento, 40, 69, 82, 176, 186, 239, 267, 270, 367, 384, 435
, **rodillo**, 135-36, 147-48, 161, 225
, **transportador**, 414-23
espacio confinado, 8, 53, 99, 104, 113, 147, 162, 176, 292, 317, 328, 333, 342, 344, 360, 395, 420-22, 429
estación de empalme, 72
Estado de cuenta de P y G *(ver estado de cuenta de pérdidas y ganancias)*
estado de cuenta de ganancias y pérdidas, 465, 480, 483
estrías en la banda, 50-1, 53, 56, 131, 188, 203, 222, 231, 381
etiquetado *(ver también bloqueo / etiquetado / suspensión / comprobación)*, 18-20
etiquetas/rótulos de seguridad/ advertencia, 18, 22-3, 88, 241, 360, 421
exceso de tensión, 55, 221, 225-26, 257, 497
explosión de polvo *(ver explosión)*

explosión, 8, 99, 197, 282-83, 291-93, 301-02, 325-26, 328-29, 333, 372, 408, 420, 492, 494-95
expulsión del rodillo, 262-64

F

factor humano, 432, 436, 443-451
falla en la conexión de empalmes, 47, 54-5, 82, 134, 440
falta de alineación, 37, 77, 156-57, 203, 246, 253, 256, 262, 266, 268, 271, 275-77, 369, 513
  interruptor, 265-66, 427
filtro, 8, 72, 290, 292, 301-03, 307, 310, 317, 323-24, 326-35, 358, 368, 373-74, 388-89
  bolsa, 301, 303, 326-28, 330, 332-34, 358
  material, 292, 301-02, 331
flujo de aire, 38-9, 91-3, 95-8, 101, 123, 154-55, 159, 163-67, 285, 287, 292, 297-98, 300-03, 324-27, 333-34, 358, 368, 374, 402, 427, 472
  , **desplazado**, 91-3, 300, 310, 350, 358
  , **generado**, 91-4, 123, 288, 301, 358
  , **inducido**, 91-4, 96-8, 111, 299, 335, 350, 357-58, 402
flujo diseñado, 97, 101, 298-99, 343, 348-62, 369, 375, 493, 497
flujo masivo, 399
FOUNDATION™ Certificación en, 24, 518-19
fricción de la pared, 110, 402, 405-06
fricción interna, 105, 361, 404-06
fuerza de carga lateral, 171-72, 178

G

Gráfica de Gantt, 456, 460
gubia con borde, 56, 245
guía de la banda, 424, 428-32
guía del borde vertical, 266-77
guiar a la banda, 424-25, 428, 430-31
guiar a la banda, procedimiento para *(ver banda)*
guiar al transportador, 265, 425, 428, 430-32, 437

H

hoja traslapada, 215

I

impacto
  barra, 69, 143, 438, 440
  cama, 70, 88, 131-32, 135, 138, 140-44, 146, 148, 352, 382-83, 427, 486, 494, 496, 502
  daño, 41, 43, 50-1, 69, 80, 114, 135, 440
  placa, 108, 110
  rejilla, 110
Indicador de Desempeño Clave (KPI por sus siglas en inglés), 462, 465
inspección con láser, 52, 132, 137, 260
inspección del sitio, 353, 358, 425, 428-31
inspección, 16, 18, 24, 33, 59, 72, 113, 125, 146-47, 188, 229, 250, 360, 390, 395, 420-22, 424-33, 437-41, 456, 472
insuflación, 96, 299, 316, 332, 350-51, 360, 371-72
interfaz, 356-57, 367, 391
  ángulo, 353-54
  fricción, 105, 200, 276, 355, 405-06, 408, 429
interruptor
  , **chute atascado**, 357
  , **falta de alineación**, 265-66, 427
  , **paro de emergencia**, 21-2, 264, 441
interruptor atascado del chute, 357

L

lavador de humedad, 324-25
lengüetas, 42
límite de concentración máxima (TLVs por sus siglas en inglés), 9
límites de exposición permisibles (PELs por sus siglas en inglés), 9
limpiador de área constante, 212-13
limpiador de banda chevron, 218-19, 501, 507
limpiador de banda de ángulo constante, 212-13
limpiador de banda de grado de mina, 216-17
limpiador de grado alimentario, 218
limpiador de hojas múltiples, 206-07
limpiador de la banda neumática *(ver cuchilla de aire)*
limpiador primario, 30, 204-05, 207-08, 211-12, 220-21, 225, 233, 375, 383, 469, 487, 493, 497
limpiador secundario, 30, 211-18, 220-21, 225-26, 229, 233, 235-36, 239, 248, 375, 381, 385, 390, 427, 469, 487, 493, 495, 497, 501-02
limpiador terciario, 30, 210-11, 215-17, 221, 228, 233, 380, 469, 495
limpiadores de banda
  , **grado alimentario**, 218-19
  , **grado de mina**, 216-17, 499
  , **niveles del**, 199, 201, 230-31, 238-40, 481-82
  bandas reversibles, y, 218, 233
  cepillo, 203, 219-20, 377, 381, 498, 501
  chevrons, y, 218-19, 501, 507
  hoja, 53, 70, 206, 219, 221, 247, 378-79, 438, 496
  limpiador múltiple, y, 211, 215-16, 232, 235, 258, 476, 508
  limpiador primario (pre-limpiador), y, 30, 44, 204-05, 207-08, 211-14, 217-18, 220-21, 225-26, 233, 235, 238-39, 375, 379, 383, 469, 487, 490, 493, 495, 497, 501-02
  limpiador secundario, y, 30, 204, 208, 211-18, 220-21, 225-26, 229, 233, 235-36, 239, 248, 375, 381-83, 390, 427, 469, 487, 493, 495, 497, 502
  medición de desempeño, 11, 200, 230-32, 240, 392, 465-83
limpiadores de cepillo, 203, 219-20, 377, 381, 498, 501
limpieza de chorro inverso, 327-28, 331, 333
limpieza del ángulo, 200, 207, 213, 223, 225-26, 233, 493
lugar de producción, 405-06

M

3-D *(ver moldeo tridimensional por computadora)*
mantenimiento por contrato, 11, 98, 214-15, 229-30, 294, 427, 430-31, 436-37, 447, 462
material
  atrapamiento, 51-2, 108, 160, 171, 176, 185, 370
  cohesión, 91, 94, 288, 290
  degradación, 33, 105, 111, 349, 505-06
material adherido, 3-4, 10-2, 53, 196-242, 258, 371, 376-96, 343, 407, 469-482, 487, 495, 503, 507, 511
mecánico
  alineador *(ver también empalme mecánico)*, 40, 57-8, 61, 64-7, 69-73, 202, 507
  empalme, 46, 68, 202, 208, 212, 214, 222, 256, 369, 486, 494-95
  guía, 274-75
  secado, 386
medición cualitativa, 230, 465, 471-72
medición cuantitativa, 230, 465, 471-72
medición del desempeño, 465, 467
Medidor Stahura de material adherido, 199
método de moldeo de elemento discontinuo, 97, 102, 105, 347, 355-56, 358
moldeo del chute, 97, 102, 200, 341, 347, 349, 353, 355-59, 425, 508
moldeo por computadora *(ver moldeo del chute)*
moldeo tridimensional por computadora, 347, 353, 357, 359
monitor de empalme, 72-3
montaje de mandril, 229
muestrario personal de polvo, 285-86

N

Niveles de Limpieza, 230-31, 239, 481-82
  Nivel I, 232, 238, 240, 469, 475
  Nivel II, 232, 238-40, 469, 475, 480-81
  Nivel III, 232, 238, 240, 469, 475, 481-83
números de Reynolds, 403

O

opacidad visual, 285, 287
opacidad, 11, 285-87, 473
oscilación, 225

P

pared del chute *(ver chute lateral)*
pared del chute modular, 298
parrilla, 53, 102, 109, 419
parte de repuesto, 438
pasillo, 21-2, 35, 146, 162, 250, 317, 346, 348, 371, 416, 418, 422, 430, 435, 438, 440, 474
Penalización de BTU *(ver penalización térmica)*
penalización térmica, 290, 308-09, 314, 320-21
placa de retroceso, 108
plataforma, 246, 344, 395, 510
pleno, 45, 114, 145, 157-58, 163, 168, 360, 365-68, 371, 373-75
polea de ajuste *(ver polea)*
polea de ala *(ver polea)*
polea de cabeza, 17, 21, 23, 30-31, 48, 82, 92, 95-6, 98, 104, 107-08, 110, 124, 197, 204, 209, 211-14, 217, 233-34, 245, 247, 267, 299, 307, 316, 319, 345, 375, 417, 419, 435, 440-41, 486, 498-99, 502, 506
polea magnética, 498
polea, 5-6, 11, 17, 21, 23, 29-31, 37-8, 41, 43, 46-9, 52-5, 61, 63
, **ajuste**, 17, 20-1, 30-1, 41, 64, 78, 245-46, 257-59, 261-62, 369, 380, 417-18, 440, 486
, **ala**, 77-8, 86, 202, 486
, **cola**, 16, 30-1, 47-8, 55, 77-9, 81, 84-9, 105, 159, 197, 245-48, 250, 257, 264-5, 267, 273, 275, 286, 345, 375, 416, 440-1, 486-87, 510
, **deflectora**, 30-1, 213-16, 219, 245, 258, 261-62, 440-41
, **doblez**, 30-1, 197
, **envuelta**, 78
, **magnética**, 498
limpiador, 66-7, 70, 72, 77, 79, 81-6, 92-3, 95-6, 98, 102-04, 107-08, 110, 146, 197, 200, 202, 204-05, 208-09, 211-14, 216-19, 224, 228, 233, 235-36, 239, 245-51, 256-59, 261-63, 265, 267, 273, 299, 307, 316, 319, 343, 345, 357, 375, 382, 416-19, 435, 440-41, 475, 486, 489, 496-97, 499, 502-03, 506, 509
poleas coronadas, 79, 267
polietileno de peso molecular ultra alto
como revestimiento, 123, 175, 227, 407
en barras de soporte de sellado, 139
polvo inflamable, 282-83, 291-92
polvo respirable, 8, 282-83, 287, 325, 327, 360, 494
posición primaria, 204-05
posición secundaria, 204, 208, 213, 220
posición terciaria, 204, 208, 220
precipitador electrostático, 323-26
precipitador, electrostático, 323-26
pre-limpiador *(ver limpieza de la banda)*
presión de limpieza, 200, 203, 205, 208, 211-12, 221-23, 226, 230-31, 235, 379, 381, 393, 489, 493
presión negativa, 92, 172, 293, 316
Producción de la Mina (ROM por sus siglas en inglés), 29, 145, 502
promotor de flujo, 22, 99, 102, 112-13, 115-29, 254, 357, 359, 421, 427-28
propiedades de flujo, 34, 124, 356-57, 359, 403-04, 410
proporción aire tela *(ver colección de polvo)*
protección de cola del arado *(ver arado)*
protección para el equipo, 21, 423, 520
prueba de abrasión de pico, 43, 188
prueba de célula de corte, 403-06
prueba de fricción del cilindro, 38
Prueba de Laboratorio de Evaluación de la Banda (BELT por sus siglas en inglés), 39
prueba de mechero de Bunsen, 38-39
prueba de mechero de propano de alta energía, 38
prueba de resistencia de superficie, 38
puerta
, **acceso**, 22, 87-8, 102, 113, 299, 333, 357, 381, 390, 415, 420-21, 427
, **compuerta posterior**, 87
, **inspección**, 95, 299, 419-20
pulpa, 29, 324-25, 377-78, 390
puntos de carga múltiples, 30, 89, 154-55, 161-62, 172
puntos de referencia para prospectar los transportadores, 260

R

radio de curvatura, 46, 54, 78
rasgadura de perfil, 56, 245
rasgaduras longitudinales, 56, 208, 245, 440
rash de martillo, 119
rasqueta *(ver limpiador primario)*
rastrillo *(ver ángulo)*
razón de proporcionalidad *(ver banda)*
rebordes, 42, 218-19, 507, 509-10
recubrimiento, 11, 41, 70, 79, 101, 202, 209, 441, 496
rendimiento, de la banda, 202-03
requerimiento de observación, 419
requerimiento de potencia en kilowatts *(ver consumo de potencia)*
requerimientos de caballos de fuerza *(ver consumo de potencia)*
repuesto, piezas de, 438
resquebrajamiento del recubrimiento superior, 46, 54, 440
Retorno Sobre la Inversión (ROI por sus siglas en inglés), 34, 175, 231, 349, 372, 395, 421, 465-70, 481-83, 513
reversa
, **banda**, 20, 218, 247
, **material**, 85, 370, 488, 507, 509
revestimiento de cerámica, 123-24, 160, 174-75
revestimiento de desgaste del deflector, 108, 171-74
revestimiento de uretano, 174-76
revestimientos
, **baja fricción**, 103, 117, 226-27
, **chute**, 103, 110, 160, 420, 496
desgaste, y, 110, 171-79, 191, 352, 441
RMA *(ver Asociación de Fabricantes de Hule)*
rociador de agua, 384, 390, 394
para la limpieza de la banda, 205, 211, 216, 220-21, 232, 377, 379-80, 469, 475, 487, 507
para supresión de polvo, 305-08, 312, 314
rodillo
, **atascado**, 5, 37, 235
, **auto alineante**, 134, 274, 277
, **catenario**, 80, 131, 145, 157, 497, 502
, **con poca separación**, 135-37, 143
, **elección**, 134, 143
, **guía**, 52, 102, 134-35, 268, 271-72, 274-77, 345-46, 496
, **guirnalda**, 145
, **impacto**, 135, 144, 149, 235, 370, 427, 440, 502
, **intermedio**, 143-44, 147
, **ladeado**, 263-64
, **montado en rieles**, 137, 144
, **retorno en V**, 134-35, 496
, **retorno**, 30, 134-36, 197-98, 200, 202, 225, 237, 239, 248, 250-51, 267, 274, 365, 368, 375, 427, 475, 493, 507
, **transición**, 30, 47-8, 83-4, 87, 107
, **transporte**, 30, 133, 135, 161, 263-64, 427, 440-41
bifurcación, 47-8, 78, 82-3
espaciamiento, 135-36, 147-48, 161, 225, 270
lubricación, 146, 371, 416, 435, 438-39, 441
rodillo de presión, 63, 248, 377
rodillo de retorno en V, 134-35, 496
ROI *(ver retorno sobre la inversión)*
rompe costra, 217-18, 497, 502
rugosidad, 51

S

secadora, 206, 211, 216-17, 221, 377, 380, 386-88, 394
seguridad antes del trabajo, 19, 241
sellado de capas múltiples, 87, 153, 181, 186-87, 189, 192
sellado del área de entrada, 85-6, 175-78, 299, 331-32
sellado externo, 182, 186-87, 190

sellado interno, 184-85, 190
sello de chute lateral, 30-1, 50-1, 71, 80, 87-8, 96-8, 105-06, 108, 111, 114, 131, 138, 143, 145, 149
sello de faldeo flotante, 184-6
sello de las orillas, 153, 155, 180-93
sello del borde vertical, 181-86, 190
separación, 365, 371
sistema de calidad, 461
sistema de colección de polvo central, 301, 329
sistema de faldón, 11, 41-2, 45, 47, 51, 70, 78, 80-1, 85-8, 106, 131-32, 149, 153, 155, 157, 160-61, 163, 171-72, 204, 253, 288, 300, 370, 374, 492, 494-96, 505, 507
, **borde**, 33-4, 71, 77, 87-8, 108, 138-9, 145, 147, 153, 171, 178, 180-92
, **entrada**, 86
, **mantenimiento de**, 199
sistema de filtros de manga, 97, 158, 301, 324, 326-29, 331, 333, 358, 493, 501
sistema de limpieza dual, 235, 238, 279
sistema de reclamación, 211, 389, 502
sistema limpiador múltiple, 210-11, 215-16, 232, 235, 258, 495
sistemas de supresión de polvo en niebla *(ver supresión de polvo)*
sistemas de supresión de polvo foam *(ver supresión de polvo)*
soldadura, 61, 124-26, 162, 176-78, 224, 291, 459
, **de puntos**, 125-26, 177
, **de tapón**, 177-78
, **trasera**, 177
soportes triangulares de chute lateral, 161
superficie de sacrificio, 110, 170-71
supresión de polvo, 305, 322
, **espuma**, 290, 293, 305-06, 308, 312-19, 487, 490, 493, 503
, **niebla**, 289, 293, 306-12, 314-15, 318-19, 501
, **residual**, 290, 306-07, 314-15, 319, 351, 490, 493
, **rociador de agua**, 305-08, 312, 314
aditivo, 305, 309, 311-14, 317-18, 321
surfactante, 55, 290, 306, 308, 311-16, 321, 487, 493, 501, 503
supresión residual *(ver supresión de polvo)*
surfactante *(ver supresión de polvo)*

T

taloneo, 219, 225
tecnología de láser, 358-59
tecnología de limpieza de pulsoreactor *(ver también limpieza de chorro inverso)*, 326
tensionador, limpiador de banda, 201, 213, 222-24, 229-30, 233, 235, 497
Total Material Control®, 3, 11-3, 25, 34-5, 168, 410, 445-46, 449-50
tracción
, **cabeza**, 259
, **cola**, 259
, **fluencia lenta**, 438
, **intermedia**, 508
polea, 30-1, 259, 261-62
tracción lenta *(ver tracción)*
transferencia en línea, 102, 105-06, 494-95
transferencia no lineal, 102, 106
transición a canal lleno, 84-85, 87
transición a medio canal, 84-5, 159-60
transición gradual *(también ver transición)*, 85, 88
transición, 188, 375, 511
, **dos etapas**, 88
, **gradual**, 88
área, 48, 77, 80, 82, 85-9, 105-07
distancia, 45, 47-8, 55, 77, 81-5, 87, 89, 160
rodillo, 30, 47-8, 82-4, 87, 107
transportador carroñero vibratorio, 228
transportador carroñero, 103, 204, 215-16, 226, 228, 233, 495
transportador cerrado de rodillos, 510
transportador de ángulo pronunciado, 507, 509-12
transportador de curva horizontal, 506, 508, 510
transportador de tubo, 510-11
transportador soportado por aire, 145-46, 148, 162, 299, 343, 365-66, 368-75, 490, 492, 497
transportadores de relieve, 509
traqueteo de, hoja del limpiador de banda, 53-54, 203, 208, 501
tratamiento de agua, 325, 388-89

U

utilidad, 201, 285, 361, 466, 468, 481-82, 486

V

velocidad de aceleración, 335
velocidad de transporte, 335
ventilación, 351, 357
dispositivos de, 117, 123, 125
sistemas de, 117, 123
vibración, 419, 513
, **banda**, 161, 197, 399, 429, 502
, **sistema de soporte de la banda**, 176
de la polea de ala, 78, 86
impacto en la limpieza de la banda, y, 54, 202, 208-09, 217, 225, 501-02
sistema de faldón, y, 60, 182
vibrador de pistón, 117, 119, 121
vibrador neumático, 121, 128
vibrador rotativo, 117, 121-22, 128
vibrador, 93, 112, 117-28, 359, 486, 502
, **eléctrico**, 121, 128
, **lineal (o de pistón)**, 117-22, 128, 219
, **neumático (de aire)**, 120-21
, **rotativo**, 117, 121-22, 128

Z

zona de carga, 31, 33, 47-8, 59, 76-89, 91-3, 96-7, 99, 102, 110-11, 123, 131-32, 134-36, 138, 140-41, 144-45, 147, 159-60, 163-67, 172-73, 176-77, 181, 187-90, 245-46, 253, 262, 273, 275, 297-300, 318, 323, 346, 357, 370-71, 373, 375, 500, 502, 508, 510
impacto, y, 140-42, 105-09, 348-63

APÉNDICE E

AUTORES Y RECONOCIMIENTOS

R. Todd Swinderman

Corporativo de Martin Engineering | Consultor

Todd Swinderman se unió a Martin Engineering en 1979 como ingeniero de productos de bandas transportadoras antes de convertirse en Gerente General, Presidente y Director Ejecutivo. Su visión y liderazgo se han enfocado en el desarrollo de soluciones innovadoras para el manejo de materiales en masa y en la expansión de las capacidades de la compañía por todo el mundo. Swinderman ha participado en CEMA como director, jefe del comité y como el editor principal e impulsor de la sexta edición actualizada de *BELT CONVEYORS for BULK MATERIALS*.

Andrew D. Marti

Corporativo de Martin Engineering | Escritor técnico global

Andy Marti tiene más de 20 años de experiencia como escritor sobre los problemas y soluciones en el manejo de materiales a granel. Ha servido como autor coordinador y editor para las cuatro ediciones de los libros *Foundations*™ de Martin sobre el mejoramiento del desempeño de las bandas transportadoras y puntos de transferencia. Marti tiene una licenciatura en periodismo de Central Michigan University y una maestría en medios de comunicación de University of Northern Iowa.

Larry J. Goldbeck

Martin Engineering USA | Administrador de tecnología de transportadores

Desde que se unió a Martin en 1981, Larry Goldbeck ha viajado por todo el mundo: desde Indonesia hasta Islandia, desde Duluth hasta Delhi, aplicando soluciones a los problemas en el manejo de materiales a granel. Él combina el conocimiento teórico con 40 años de experiencia práctica en la operación, mantenimiento y localización y solución de problemas de los sistemas de bandas transportadoras. Goldbeck es el creador e instructor principal de los Talleres Foundations™ de Martin sobre Cómo operar y mantener bandas transportadoras limpias y seguras.

Daniel Marshall

Martin Engineering USA | Especialista de producto

Daniel Marshall, quien se autodescribe como un “hombre de números”, tiene un título en ingeniería mecánica de Northern Arizona University. Él se unió a Martin en 2000 como ingeniero de investigación y desarrollo. En su trayectoria en Martin, Marshall ha trabajado con cada producto de bandas transportadoras que Martin ofrece. Él actualmente contribuye positivamente en el diseño y aplicación de sistemas de supresión y colección de polvo.

Mark G. Strebel

Martin Engineering USA | Gerente de Soporte de Producto

Mark Strebel llegó a Martin después de nueve años de experiencia como ingeniero de prueba y resultados y supervisor de operaciones con una planta generadora pública alimentada por carbón. En Martin se ha enfocado en el desarrollo y aplicación de tecnologías para mejorar el manejo de materiales a granel en los puestos de gerente de investigación y desarrollo y gerente de productos de bandas transportadoras, antes de su puesto actual. Strebel tiene un título en ingeniería mecánica y una maestría de Bradley University.

John Barickman

Martin Engineering
Corporativo

Ingeniero senior de desarrollo de productos

Greg Bierie

Martin Engineering
USA

Gerente de proyecto global y ventas técnicas

Steve Brody

Martin Engineering
USA

Encargado de herramientas y pintura

Jörg Gauss

Martin Engineering
Alemania

Gerente de operaciones en Alemania

Fred McRae

Martin Engineering
USA

Gerente de servicios regionales/territorio del sudeste

Dave Mueller

Martin Engineering
USA

Especialista de productos senior

Tim O'Harran

Martin Engineering
USA

Gerente de desarrollo de comercio nacional

Frank Polowy

Martin Engineering
USA

Estimador de proyectos de servicios de Martin

Brad Pronschinske

Martin Engineering
Corporativo

Gerente de producto global/promotores de flujo

Javier Schmal

Martin Engineering
Brasil

Director administrativo de Brasil

Andy Stahura

Martin Engineering
USA

Gerente de territorio

Gary Swearingen

Martin Engineering
USA

Estimador de grupo de proyectos

Terry Thew

Servicios y suministros de equipo

Gerente de ingeniería de Australia

Barbara Wheatall

Martin Engineering
USA

Coordinadora de proyectos

Marty Yepsen

Martin Engineering
USA

Gerente de seguridad y riesgos

Otros autores

David Craig, PhD | Larry Engle | David Keil
Roger Kilgore | Stephen Laccinole | Justin Malohn
Arie Qurniawan | Andrew Waters

D. Michele Maki, PhD

Asesora de redacción/revisión

Chelsea Blake

Martin Engineering
USA

Especialista en mercadotecnia

Seth Mercer

Martin Engineering
Corporativo

Analista de mercadotecnia global

Jared Piacenti

Martin Engineering
USA

Administrador de sistema de ingeniería

Bob Tellier

Martin Engineering
Corporativo

Especialista en inteligencia de mercadotecnia global

Siempre hay personas que hacen su trabajo detrás de cámaras. A menudo las contribuciones al proceso de estos héroes olvidados pasan desapercibidas. Cinco personas han hecho continuamente un gran esfuerzo, algunos durante casi dos años, para que fructificara la cuarta edición de *Foundations™ El recurso práctico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material*. Sin la dedicación, trabajo y perspicacia de los empleados de Martin, Chelsea Blake, Seth Mercer, Jared Piacenti y Bob Tellier y la asesora de redacción y revisión D. Michele Maki, PhD, la cuarta edición de *Foundations™* no hubiera sido posible.

Este libro tampoco podría haberse realizado sin la comprensión y ayuda de varios recursos externos y muchos empleados de Martin. Estas personas han aportado información básica, experiencia técnica, pensamiento general y detallado y complejidades fundamentales. Estamos en deuda con:

Martin Engineering Corporativo

Susan Coné, James Daly, Gina Darling, Harry Heath, Michele Ince, Chris Landers, Paul Mengnjoh, Travis Miller, Andrea Olson, Chris Schmelzer, Mark Stern, Kathy Swearingen, Terry Swearingen, Bonnie Thompson, Kathy Thumma, Jim Turner, Tina Usrey y Ron Vick

Martin Engineering Alemania

Reiner Fertig, Michael Hengl y Michael Tenzer

Martin Engineering Brasil

Vanderlei Brunialti

Recursos externos

Mike Braucher, Dave Gallagher y Frank Hyclak, Goodyear Engineered Products

Bernd Küsel, http://www.conveyorbeltguide.com

Bob Reinfried, vicepresidente ejecutivo, CEMA

Ed Walinski, Pneutech Engineering

Darcy Winn, Winn Conveyor

Ryan Buck y David Pratt, Wethersfield High School

Martin Engineering USA

Bob Burke, Jim Burkhart, Jen DeClercq, Julie Derick, Robert Downs, Travis Grawe, Mark Huhn, Sonia Magalhaes, Kevin McKinley, Greg Milroy, Cheryl Osborne, Rachael Porter, Tracey Ramos, Wayne Roesner, Jim Roark, Becky Scott, Richard Shields y Terry Vandemore

Martin Engineering China

Eric Zheng

Martin Engineering Sudáfrica

Hannes Kotze

Asesores

Charles E. Fleming, *Foundations™, Cuarta edición*, Gerente de proyecto

Paul Grisley, Grisley Conveyors

Bob Law, Engineering Services & Supplies (ESS)

Laurie Mueller

A todos los que nos apoyaron, gracias.

RTS, ADM, LJG, DM, MGS

Neponset, Illinois, EE.UU., marzo de 2009