

Capítulo 12. TRANSPORTE MECÁNICO DE SÓLIDOS

12.1. Introducción

El transporte de sólidos se refiere al movimiento de los sólido:

- del punto de suministro de materia prima al inicio del proceso,
- del punto final del proceso hacia el lugar de almacenamiento,
- entre dos puntos del proceso,
- del lugar de almacenamiento a la línea de empaçado y/o distribución.

Los principales tipos de equipos para el transporte son: cintas transportadoras, elevadores, grúas, camiones, y transporte neumático (tema ya visto en el capítulo 6).

El movimiento de los sólidos puede ocurrir por gravedad, llevarse a cabo manualmente o aplicando una dada potencia. Los sólidos pueden transportarse empacados o a granel. En relación con la industria de alimentos los equipos de manejo de sólidos, exceptuando los de transporte neumático, camiones y grúas, pueden clasificarse en:

- cintas transportadoras
- transportadores de cadena: raspadores y de baldes o cangilones o capachos
- transportadores de tornillos

Las cintas transportadoras quizás sean los equipos que más estamos acostumbrados a observar en la vida cotidiana: cintas transportadoras en las cajas de supermercado (Figura 12.1), cintas de transporte de valijas en aeropuertos (Figura 12.2), transporte de bultos (Figura 12.3), etc.



Figura 12.1. Cinta transportadora de caja.



Figura 12.2. Cinta tipo cocodrilo.

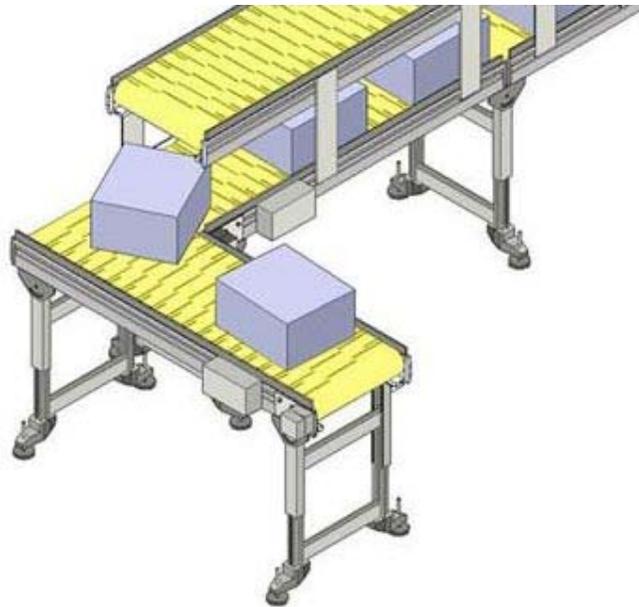


Figura 12.3. Cinta transportadora de bultos.

12.2. Cintas transportadoras

Las cintas transportadoras pueden trasladar material sólido desde unos pocos metros hasta kilómetros. En el Sahara existe la cinta transportadora más larga del mundo de 100 km de longitud, destinada al transporte de la producción de una mina de fosfatos.

Las cintas transportadora poseen suelen operarse de manera horizontal, sin embargo puede asignárseles algún grado de inclinación generalmente limitado por ángulos de 15 a 20 grados. El límite del ángulo de inclinación se define para evitar movimiento del material durante el transporte. Si se requieren cambios de pendiente de mayor magnitud, el diseño debe incluir laterales corrugados que eviten la pérdida de material o bultos. Si las cintas son diseñadas y mantenidas adecuadamente tienen un alto tiempo de servicio.

12.2.1. Componentes

Los elementos que componen un sistema de cintas transportadoras son:

- **Cinta:** debe ser flexible para adaptarse a la forma del transporte, lo suficientemente ancha como para transportar la cantidad de material deseado, poseer una resistencia adecuada para sostener la carga y la tensión que se le aplica a la misma. Pueden ser de goma o de tela (éstas últimas suelen ser impregnadas con un material a prueba de agua). Existen transportadoras que no poseen cintas sino directamente rodillos (Figura 12.3), o canaletas de transporte (Figura 12.4).



Figura 12.4. Transporte de cinta con baffles o canaletas.

- **Rodillos:** Cuando se realiza transporte de material sólido a granel se requiere configurar el sistema con rodillos que conformen una canaleta de transporte. En la Figura 12.5 se muestran los rodillos utilizados. Cuando la cinta avanza hacia el punto de descarga del material se utiliza la disposición a), cuando regresa la cinta vacía se utiliza 1 sólo rodillo (configuración b). La Figura 12.6 muestra el mismo sistema en tres dimensiones y en dos dimensiones con carga para observar la funcionalidad de los mismos. Los rodillos se encuentran repetidamente a lo largo

de la línea para evitar que la cinta se deforme y toque la base de la estructura de transporte.

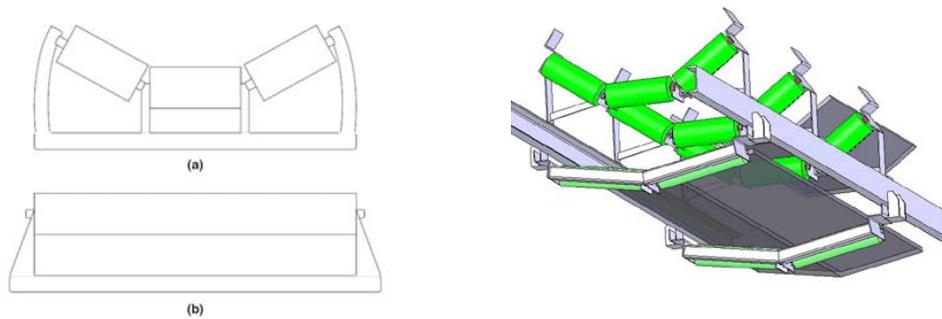


Figura 12.5. Rodillos de cinta transportadora.

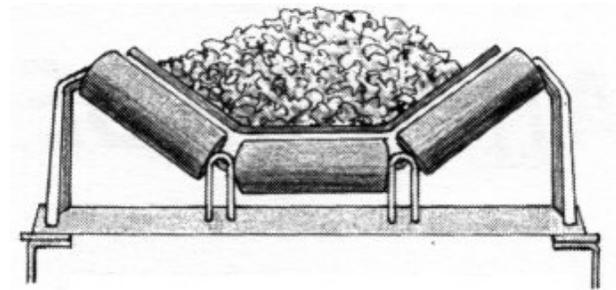
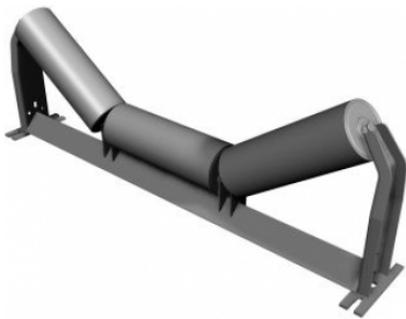
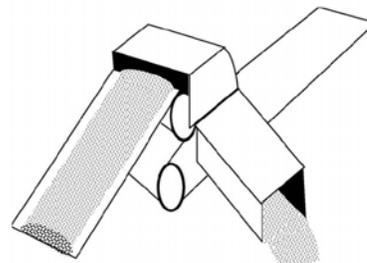


Figura 12.6. Vista de los rodillos de transportadoras de cintas.

- **Motor:** En general se ubica al final de la línea de transporte (en el punto de descarga), el cual mueve un rodillo en particular. Si las líneas son muy largas, un número mayor de motores será necesario.
- **Dispositivos de carga y descarga de material:** Al inicio y al final de la línea comúnmente se encuentran dispositivos de carga y descarga. Como ejemplo, en la Figura 12.7 se muestra una tolva de descarga a cintas y un dispositivo de descarga.
- **Rodillos de tensión:** Para que las cintas permanezcan estiradas, existen rodillos de tensión, tal como puede observarse en la figura 12.8.



a)



b)

Figura 12.7. a) Tolva de descarga, b) dispositivo de descarga.

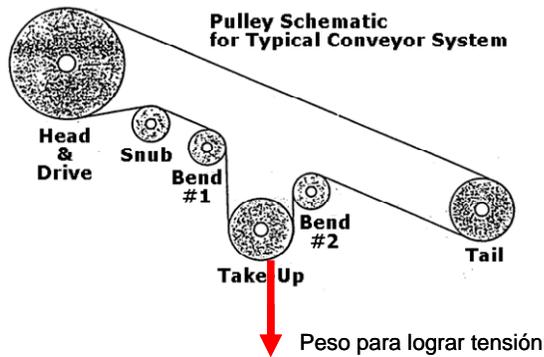


Figura 12.8. Tensión de cintas.

12.2.2. Diseño

El ancho de la cinta es determinado por la cantidad de material que se desea transportar y por el tipo de cinta. Una sección transversal de la misma se presenta en la Figura 12.9 con distintas cargas que conforman distintos ángulos.

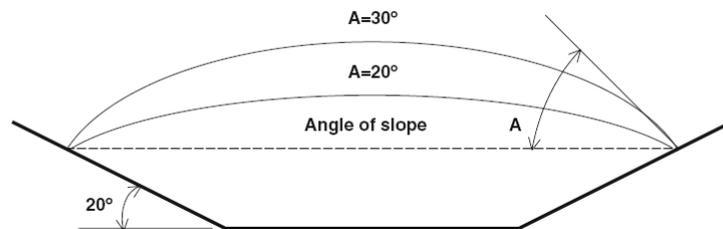


Figura 12.9. Cinta cargada con diferentes cantidades de material.

Como veremos en el próximo capítulo los sólidos cuando son dispuestos en pilas presentan un ángulo con la horizontal que es característico del material y que se denomina ángulo de reposo (ver Figura 12.10). Cuando transportamos material a granel el ángulo de transporte máximo es cercano a 0.5 veces el de reposo. Como los ángulos de reposo de los materiales que fluyen libremente son como máximo alrededor de los 40° , un ángulo de 20° para la cinta resulta adecuado.

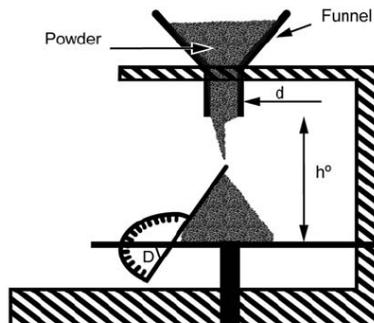


Figura 12.10. Ángulo de reposo de un material particulado.

La potencia requerida por las cintas transportadoras puede calcularse como sigue:

$$\text{Potencia para mover la cinta sin carga} \quad \text{HP} = \frac{F(L + L_0)(0.06W v)}{270} \quad (12.1)$$

donde F es un factor de fricción que suele asumirse igual a 0.05, L es la longitud de la línea de transporte, L_0 es una constante igual a 30.5 m, W es el peso de todas las partes móviles de la línea (Kg/m), v es la velocidad de la línea (m/min).

$$\text{Potencia para mover la cinta con carga horizontalmente} \quad \text{HP} = \frac{F(L + L_0)T}{270} \quad (12.2)$$

donde T es la capacidad del sistema de transporte (TPH). Por último, si la cinta debe elevar material:

$$\text{Potencia para elevar la carga} \quad \text{HP} = \frac{TH}{270} \quad (12.3)$$

Para calcular la potencia total, deben sumarse las potencias dadas por las ecuaciones (12.1) a (12.3).

Las cintas transportadoras tales como las descritas en las Figuras 12.5 y 12.6, en el área de alimentos, son usadas para el transporte de granos. En caso de ser usadas para el transporte de materiales higroscópicos pueden localizarse en ductos hechos con chapa para evitar la adsorción de agua. Para este tipo de materiales, el transporte neumático puede ser de mayor utilidad, ya que el material se encuentra totalmente confinado.

Ejemplo 1

Se desea transportar 400TPH de trigo una longitud horizontal de 400 m y elevar el material unos 30 metros adicionales. Estimar la potencia del motor requerido. Considere que la potencia necesaria para mover la cinta vacía es despreciable.

Solución:

L=	400 m
H=	30 m
F=	0.05
T=	400 TPH

. Potencia para el tramo horizontal

$$HP = \frac{F(L+L_0)T}{270}$$

$$HP1 = 31.89 \text{ HP}$$

2. Potencia para el tramo vertical

$$HP = \frac{TH}{270}$$

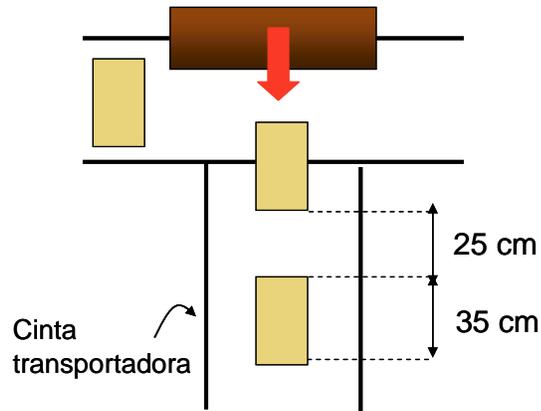
$$HP2 = 44.44 \text{ HP}$$

3. Potencia total

$$HPT = HP1 + HP2 = 76.33 \text{ HP}$$

Ejemplo 2

Una fábrica manufactura arvejas en latas, cada lata cilíndrica posee un diámetro de 7 cm y una altura de 10 cm. Se empacan 45 latas por caja de cartón, siendo la dimensión de cada caja: 21x35x32 cm. Se deben transportar un total de 2580 cajas por día al centro de distribución de la planta. Cada caja es colocada en la cinta por un mecanismo de empuje como se describe en la figura que sigue. Debido al movimiento de este dispositivo se supone que las cajas estarán separadas entre sí por 25 cm. Considerando que el sistema opera un solo turno de 8 horas, de las cuales 50 minutos no deben considerarse para el proceso ya que se destina a la hora del almuerzo. Calcule la velocidad mínima de la cinta.



Solución:

Horas/día=	8 h
Minutos/día=	480 min
Minutos efectivos/día=	430 min
Cajas por día=	2580 cajas
Cajas por min=	6 caja/min
Distancia por caja=	0.6 m/caja
Distancia por min=	3.6 m/min

12.3. Transportadores de cadena

Si los transportadores de cadena se comparan con los de cinta, tienen características que los distinguen; barata construcción, operación ruidosa e ineficiencia mecánica. Sin embargo, en ciertas situaciones se adaptan correctamente al proceso.

Los principales componentes de estos transportes son: las cadenas, los elementos de movimiento y los motores. En la Figura 12.11 se muestran diferentes tipos de cadenas. Dentro del grupo de los transportes por cadena, se estudiarán los rascadores y de baldes, los cuales difieren en los elementos de movimiento del material. Los elementos de movimiento se enganchan en las cadenas.

12.3.1. Rascadores

Estos sistemas se utilizan para sólidos granulares que no son abrasivos, son baratos y pueden operar en planos inclinados. A la cadena se le adicionan elementos de movimiento como aletas que arrastran el material. En la Figura 12.12 se presenta un rascador de materiales almacenados a granel, lo levantan de las pilas y lo vuelcan sobre cintas transportadoras hacia otro punto de descarga.

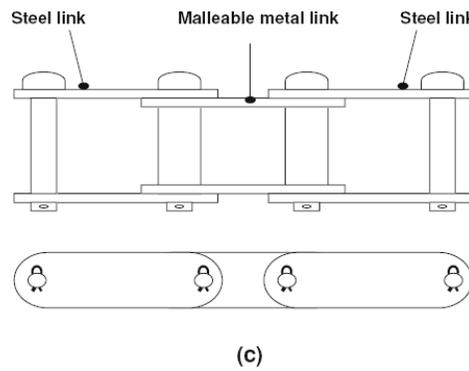
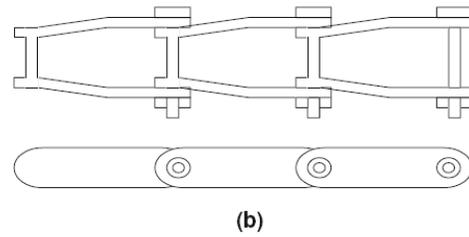
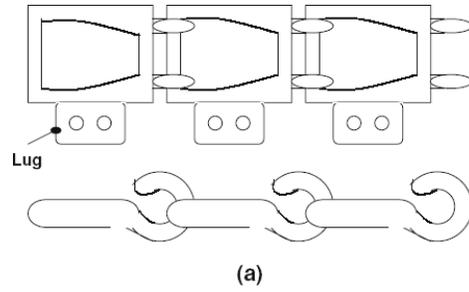


Figura 12.11. Diferentes tipos de cadenas



Figura 12.12. Rascadores

El tamaño de los elementos de movimiento y el espaciado definen la capacidad del transporte. Si se transportan granos pequeños se recomienda que las aletas tengan una altura del 40% de la longitud, en estos casos la cadena puede tener velocidades que oscilan entre los 23 a 38 m/min. Si se transportan materiales más gruesos como nueces, es necesario trabajar a menor velocidad. Si se desea aumentar la capacidad de transporte es preferible bajar la velocidad y aumentar el tamaño de las aletas de movimiento. La capacidad de transporte de la cadena operando en planos inclinados es menor que en dirección horizontal. Si los ángulos de inclinación son de 20, 30 y 40°, la capacidad es de 0.77, 0.55 y 0.33 respecto de la nominal horizontal. La potencia teórica para los rascadores puede calcularse como sigue:

$$HP = \frac{(2 v L_c W F_c) + C(L F_m + H)}{1400} \quad (12.4)$$

Donde v es la velocidad del transporte (m/min), L_c es la longitud total (sin carga o con carga) horizontal proyectada (m), W es el peso de las aletas y cadenas por metro lineal (Kg/m), F_c es el coeficiente de fricción para la cadena y aletas, C es la capacidad de transporte (Kg/min), L es la longitud horizontal proyectada de la línea con carga (m), F_m es el coeficiente de fricción para el material, y por último H es la altura que hay que elevar el material (m).

El F_c de cadenas de metal puede aproximarse a 0.33, si son de madera F_c suele asumirse igual a 0.6. Los coeficientes de fricción del material dependen obviamente de los sólidos transportados, varían entre 0.2 a 0.5 aproximadamente.

12.3.2. Transportes de baldes o cangilones

En la Figura 12.13 puede observarse como a las cadenas pueden adicionarse dispositivos para sostener baldes. Este tipo de equipos es muy usado para elevar verticalmente materiales que fluyen libremente. Son equipos más eficientes que los rascadores ya que no existe una fuerte fricción entre el material y el elemento de movimiento.



Figura 12.13. Transportes de baldes

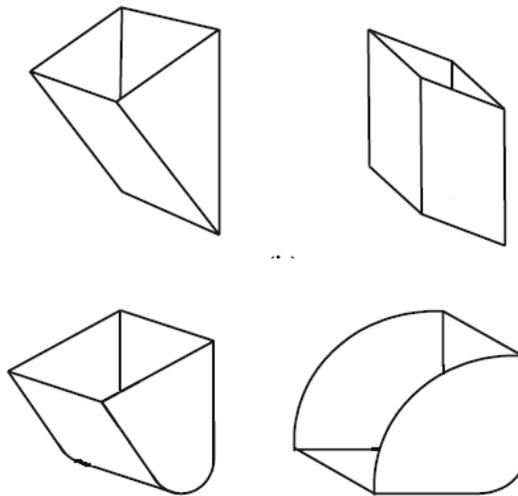


Figura 12.14. Diferentes tipos de baldes.

En la Figura 12.14 se presentan diferentes modelos de baldes, mientras que en la 12.15 se representan elevadores completos con distintos modos de descarga e inclinaciones.

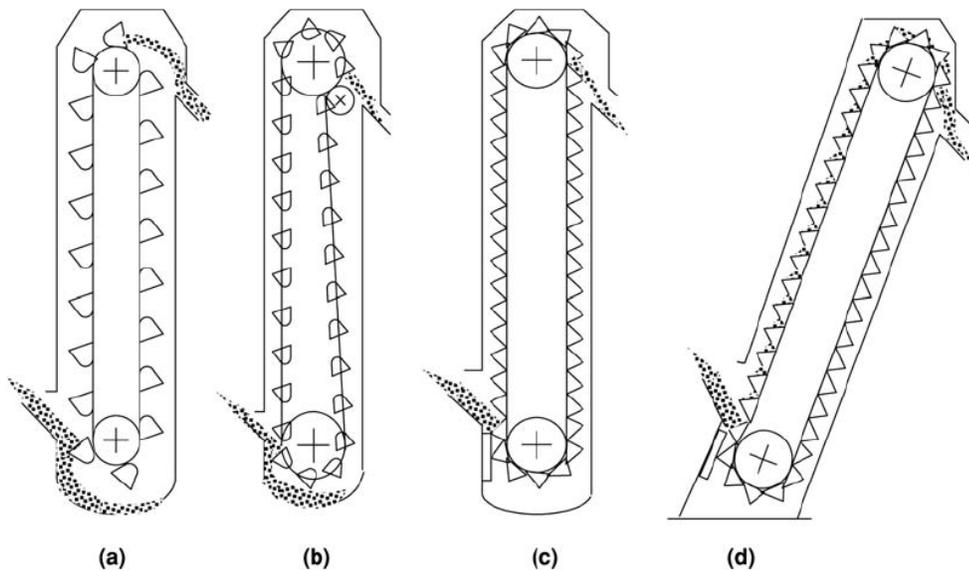


Figura 12.15. Líneas de transporte de baldes.

La descarga puede realizarse de tres diferentes modos. Una de ellas consiste en el uso de baldes con cierto espaciamiento entre ellos (Figura 12.15a). La segunda opción es similar a la primera, con la salvedad que se logra la inversión total del balde al momento de la descarga (Figura 12.15b), esta opción es más apropiada cuando la fluidez del material no es excelente. La tercera alternativa es el uso de

baldes sin espaciamento (continuos), se logra igual capacidad con menor velocidad de movimiento de la cadena.

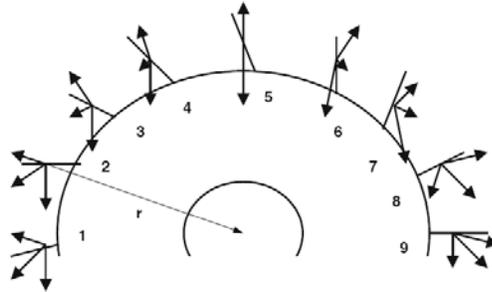


Figura 12.16. Fuerzas intervinientes en los elevadores de baldes.

La Figura 12.16 muestra la parte superior del elevador, con la localización de los baldes en distintas posiciones. Las fuerzas que actúan son la centrífuga (F_c) que actúa radialmente y la del peso en dirección vertical. La fuerza centrífuga, recordando que la aceleración centrífuga es la velocidad tangencial al cuadrado dividido el radio, es:

$$F_c = m a_c = \frac{W}{g} \frac{v_\theta^2}{r} \quad (12.5)$$

donde m es masa de la carga, a_c la aceleración centrífuga, W el peso del material, g la aceleración de la gravedad, r el radio del cabezal y v_θ es la velocidad tangencial.

En la posición 5 (Figura 12.16) la fuerza centrífuga se iguala a la del peso, en ese punto no se ejerce fuerza neta sobre el material. A partir de allí se inicia la descarga. Haciendo que la fuerza centrífuga se haga igual al peso, de la ecuación (12.5) surge:

$$v_\theta^2 = v^2 = g r \quad (12.6)$$

La velocidad inicial de descarga es muy similar a la velocidad de la rueda (v) en tales posiciones radiales, la cual se puede calcular si se conoce el número de revoluciones por unidad de tiempo (N):

$$v = 2\pi r N \quad (12.7)$$

Teniendo en cuenta las ecuaciones (12.6) y (12.7) resulta:

$$N = \frac{\sqrt{g r}}{2\pi r} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{r}} \quad (12.8)$$

La ecuación (12.8) indica la relación que debe tener el radio del rotor respecto a las revoluciones por minuto a los efectos de tener una descarga satisfactoria.

La potencia para elevar el material en estos sistemas puede calcularse como sigue:

$$\text{Potencia para modelo con baldes separados} \quad \text{HP} = \frac{\text{TH}}{152} \quad (12.9)$$

$$\text{Potencia para modelo con baldes continuos} \quad \text{HP} = \frac{\text{TH}}{167} \quad (12.10)$$

donde T es la capacidad (TPH), y H la altura a la cual hay que elevar el material (m).

Los elevadores de baldes se utilizan especialmente para transportar azúcar, porotos, sal y cereales.

12.4. Transportes de tornillos

El transporte por tornillos se utiliza para manejar material muy fino, materiales muy calientes, químicamente muy activos. Consisten en un tornillo que gira dentro de una carcasa. En la Figura 12.17 se muestran los principales componentes de este tipo de transporte.

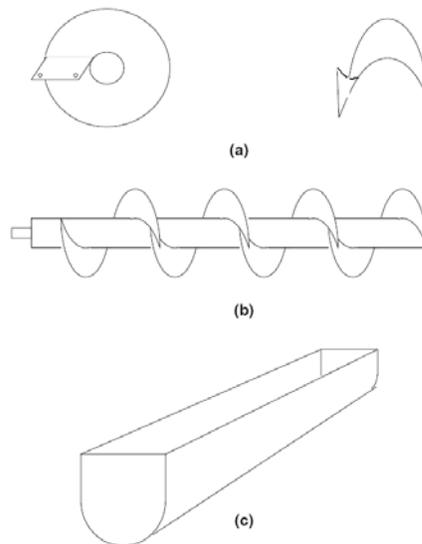


Figura 12.17. Transporte de tornillo.

Los tornillos también pueden funcionar con algún grado de inclinación. Si el transporte es horizontal la carcasa puede tener una sección transversal con forma de U, sin embargo en transporte inclinado la carcasa es cilíndrica para proteger el material.

Los tornillos pueden ser huecos para circular medios calefactores o de enfriamiento en su interior para aplicaciones especiales. Además los transportes a tornillos pueden ser cerrados por completo para trabajar tanto con atmósfera positiva o negativa según sea la naturaleza del material a transportar.

La potencia requerida para el movimiento del tornillo y el consecuente transporte depende obviamente de las dimensiones del sistema y de la calidad del material. Como aproximación inicial para el cálculo de la potencia requerida para un transporte horizontal, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$HP = \frac{C L \rho_p F}{4500} \quad (12.11)$$

Donde C es la capacidad (m³/min), L es la longitud (m), ρ_p la densidad de la partícula (Kg/m³) y F es un factor que depende del tipo de material (ver Tabla 12.1). Si la potencia da menor que 1 HP, como regla del pulgar debe aumentarse como mínimo a 5 HP.

Tabla 12.1. Factores F para la correlación (12.11)

Type a ($F = 1.2$): light, fine, non-abrasive, free-flowing materials; ρ_b : 480–640 kg/m ³	Type b ($F = 1.4$ –1.8): non-abrasive, granular or fines mixed with lumps; ρ_b : up to 830 kg/m ³	Type c ($F = 2.0$ –2.5): non and mildly abrasive, granular or fines mixed with lumps; ρ_b : 640–1,200 kg/m ³	Type d ($F = 3.0$ –4.0): mildly abrasive or abrasive, fine, granular or fines with lumps; ρ_b : 830–1,600 kg/m ³
Barley	Soy meal	Granular moist malt	Raw sugar
Granular dried malt	Cacao seeds	Cocoa	Bone meal
Corn flour	Coffee seeds	Dehydrated milk	
Cotton seed flour	Corn	Starch	
Wheat flour	Corn meal	Icing sugar	
Malt	Jelly granules		
Rice			
Wheat			

El dispositivo a tornillo se usa para el transporte de diferentes granos (maíz, arroz, trigo, porotos de soja), de polvos (azúcar impalpable, almidón, leche en polvo) y de materiales viscosos (manteca de maní, carne molida, pulpa de remolacha azucarera).

12.5. Bibliografía:

- Barbosa-Cánovas, G. V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., Yan, H., Food Powders. Physical Properties, Processing, and Functionality, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2005.
- Holdich, R.G., Fundamentals of Particle Technology, Midland Information Technology and Publishing, United Kingdom, 2002.

- Ortigas-Rivas, E., Handling and Processing of Food Powders and Particulars, Capítulo 4 en "Encapsulated and Powdered Foods, editado por Onwulata C., CRS Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 2005.
- Walas, S.M., Chemical Process Equipment, Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering, USA, 1990.