

Transportadores de rodillas	7-47
Transportadores de banda plana	7-48
Transportadores de cadena	7-48
Almacenamiento de artículos embalados	7-49
TRANSPORTE DE SÓLIDOS	
Transporte de sólidos a granel	7-50

Recipientes para materiales a granel	7-50
Vagones tolva	7-50
Tolvas sobre rieles	7-51
Camiones tolva	7-51
Transporte de artículos embalados	7-52
Elección de los vehículos	7-52
Tarimas	7-52

MANEJO DE SÓLIDOS A GRANEL Y EMBALADOS

CONCEPTO DE DISTRIBUCIÓN FÍSICA

Conjunto de métodos. La distribución física es un término que se aplica a un concepto de sistemas que comprende todo el espectro del movimiento de materiales. El sistema comienza con el almacenamiento y manejo de materiales en bruto y prosigue con el embalaje y el destino del producto acabado. La meta es alcanzar el costo general más bajo para el sistema en su conjunto, incluyendo los gastos que soportan el fabricante, el transportista, el almacenista, el distribuidor y el cliente. Con frecuencia se toma en consideración, incluso, el modo en que manejará el producto el cliente final.

El conjunto de métodos para abordar el manejo y el embalaje de materiales tiene dos ventajas. En primer lugar, resulta posible una compensación de las inversiones y los costos operacionales; se pueden aceptar costos más elevados en algunas partes del sistema a cambio de costos mucho más bajos en otras. El resultado neto suele ser un costo general más bajo. Si no es así, se podrán identificar y justificar las razones para aceptar los costos más elevados. El segundo beneficio es el que los clientes no se sientan ofendidos por los embalajes mal concebidos, los vehículos de entregas inadecuados o las características inapropiadas del producto.

La simulación matemática, con computadoras digitales, contribuye a realizar un análisis de tipo de sistemas ya sea para el sistema completo o algunas partes de él. Y se pueden identificar sistemas óptimos mediante sistemas numéricos o programación lineal. El comportamiento dinámico de esos métodos se puede determinar a continuación mediante técnicas de simulación.

El cálculo de las capacidades de los equipos de manejo y embalaje de materiales es una de las consideraciones primordiales. Con frecuencia se incluyen muchas variables que interactúan, tales como un índice variable o intermitente de entrega de materiales, la capacidad del almacenamiento intermedio y la recepción de depósitos, las fallas aleatorias de los equipos del sistema y el tiempo de preparación y limpieza entre diferentes productos o mezclas. Las variables interactúan con frecuencia de modos tan complejos que los análisis convencionales de la capacidad resultan imposibles, sobre todo cuando la interacción varía con el tiempo. En esas condiciones, sólo mediante técnicas de simula-

ción se puede responder a la pregunta si el sistema proporcionará la producción necesaria.

Incluso cuando se necesita un análisis total del sistema, la metodología de la simulación matemática es útil, puesto que, al tomar en consideración cada componente de un sistema como bloque de un diagrama de flujo, se hacen mucho más evidentes las relaciones recíprocas. Con frecuencia se presentan alternativas adicionales, al igual que la necesidad de más datos sobre el desempeño de los equipos.

Definiciones de capacidad. En cualquier análisis, la capacidad por unidad de tiempo de los equipos dinámicos (tales como transportadores y máquinas embolsadoras), así como los índices de funcionamiento, se deben definir en forma más precisa y realista que mediante un enunciado simple de la cantidad de libras o kilogramos por hora. Algunas de las definiciones útiles de los equipos que se emplean en la industria, son las siguientes:

Índice instantáneo. Se trata de un índice a corto plazo, cuando el equipo funciona al índice de diseño (o con mayor rapidez). Es típico el peso promedio manejado a lo largo de un periodo breve de tiempo, que no sobrepase cinco minutos.

Índice horario. Este índice intermedio toma en consideración las detenciones del equipo que se deben primordialmente a tiempos de paro mecánico, en espera de que actúen otras partes del sistema más que al tiempo ocioso de los dispositivos.

Índice de turno de trabajo. Es un índice a largo plazo que refleja todas las causas de tiempo de detención, incluyendo los paros. Así, el promedio por turno de trabajo variará; pero mediante el examen de su intervalo, se podrá determinar la capacidad práctica.

Estas definiciones de capacidad son útiles para definir responsabilidades tanto de los distribuidores como de los vendedores. Por ejemplo, con frecuencia se acude a un distribuidor para que examine algún equipo que no funciona al índice "garantizado". Se presentan como prueba registros de la producción por turnos. Sin embargo, cuando el distribuidor hace una prueba, demuestra que se puede satisfacer el índice garantizado en un intervalo breve. ¿Quién tiene razón? Mediante la definición de los índices (como ya se indicó) el ingeniero responsable de la instalación no sólo puede evitar esas situaciones, sino también obtener una apreciación mejor de las situaciones potenciales en las plantas.

TRANSPORTE DE SÓLIDOS A GRANEL

SELECCIÓN DEL TRANSPORTADOR

La selección del transportador correcto para un material específico a granel en una situación dada, se complica debido al gran número de factores interrelacionados que es preciso tomar en consideración. Primeramente, se deben sopesar las alternativas entre tipos básicos y, a continuación, escoger el tamaño y el modelo que sean adecuados. Las posibilidades de trabajo consti-

tuyen el primer criterio; pero se debe establecer también el grado de perfección en el desempeño.

Puesto que existen diseños normalizados de equipos y datos completos de ingeniería para muchos equipos comunes de transportadores, su desempeño se puede predecir con exactitud, cuando se usan con materiales que tengan características conocidas de transportación. Sin embargo, incluso los mejores transportadores pueden tener un desempeño decepcionante.

como las características de los materiales sean desfavorables. Con frecuencia resulta evidente que la ingeniería de los transportes es más un arte que una ciencia; los problemas relativos a equipos o materiales raros o no acostumbrados se deberán abordar con cuidado.

Se pueden adquirir directamente muchos componentes prediseñados para transportadores; resultan económicos y son fáciles de montar, además de que funcionan bien en las aplicaciones convencionales (para las que se diseñaron); no obstante, es aconsejable verificar con el fabricante para asegurarse de que la aplicación sea adecuada.

La capacidad requerida es un factor primordial en la selección de un transportador. Los transportadores de banda, que se pueden fabricar en tamaños relativamente grandes, para funcionar a velocidades elevadas, transportan económicamente grandes cantidades de materiales. Por otra parte, los transportadores de sinfín se hacen extremadamente torpes cuando aumenta su tamaño y no se pueden manejar a velocidades elevadas sin crear problemas graves de abrasión.

Definitivamente, está limitada la longitud de desplazamiento para ciertos tipos de transportadores. Con bandas de alta resistencia a la tensión, el límite de longitud para los transportadores de banda puede ser de varios kilómetros. Los transportadores de aire se limitan a 1 000 pies (300 metros), los vibratorios a centenas de pies, etc. En general, conforme aumenta la longitud del recorrido, la elección entre las alternativas se va haciendo cada vez más estrecha.

La elevación de materiales se puede manejar por lo común en forma más económica mediante elevadores de cangilones verticales o inclinados; pero cuando se combinan los desplazamientos ascendentes y horizontales, es preciso tomar en consideración otros transportadores. Las máquinas que combinan varias direcciones de desplazamiento en una sola unidad resultan casi siempre más costosas; sin embargo, puesto que sólo requieren un impulso simple, esta característica compensa con frecuencia el costo básico adicional.

Se deben tomar en consideración las características de los materiales tanto químicas como físicas, sobre todo la fluidez. También son importantes la capacidad de abrasión, la friabilidad y el tamaño de los terrones. Los efectos químicos (por ejemplo, el ácido sobre el caucho o los ácidos sobre los metales) pueden prescribir los materiales estructurales con los que se fabrican los componentes de los transportadores. Los efectos de la humedad o la oxidación debido a la exposición a la atmósfera, pueden ser perjudiciales para el material que se transporta y exigir un cierre total de transportador, o incluso una atmósfera artificial. Evi-

dentemente, algunos tipos de transportadores se prestan a esos requisitos especiales mejor que otros.

Algunos transportadores pueden satisfacer los requisitos de procesamiento con cambios ligeros de diseño. Por ejemplo, un transportador de flujo continuo puede proporcionar el enfriamiento deseado de los sólidos simplemente al poner el material transportado en contacto directo con metales conductores del calor. A los transportadores vibratorios se pueden fijar con facilidad plataformas de cribado, para realizar operaciones simples de clasificación y selección por tamaños, y existen aspas o carcassas especiales en los transportadores de sin fin para una gran variedad de operaciones de procesamiento tales como el mezclado, la deshidratación, el calentamiento y el enfriamiento.

El costo inicial de un sistema de transportador se relaciona por lo común con la esperanza de vida, así como también con el índice de flujo escogido. Se tiene casi siempre la tentación de diseñar tamaños excesivos, que no resultan convenientes. El primer transportador de banda verdaderamente de larga distancia se diseñó y fabricó con normas extremadamente elevadas de calidad. Al cabo de 35 años funcionaba todavía, casi con todos sus componentes originales. Si se hubiera planeado esta operación sólo para una vida de 10 años, el sistema de transportador hubiera representado un caso de diseño excesivo. Aunque existe un mercado para equipos usados de transportadores es extremadamente limitado. Así pues, es importante ajustar la calidad de los transportadores a la duración de uso que se espera.

Los costos comparativos para sistemas de transportadores se pueden basar sólo en estudios de problemas específicos. Por ejemplo, se dispone de rodillos para transportadores de banda en una gama de calidades que hacen que el costo de las unidades mejores sea tres veces mayor que el de las más baratas. La calidad de soporte, el espesor del acero y el diámetro de los rodillos afectan los costos, al igual que las características de diseño para facilitar el mantenimiento y las reparaciones. Por consiguiente, es necesario efectuar comparaciones de costos sobre la base de un estudio específico para cada aplicación de transportador.

Como guía general para la selección de transportadores, la tabla 7-1 indica elección de transportadores sobre la base de algunas funciones comunes. La tabla 7-2 está diseñada para ayudar a seleccionar alimentadores sobre la base de las características físicas de los materiales que se vayan a manejar. La tabla 7-3 es una lista codificada de características de materiales, que se debe utilizar con la tabla 7-4, que describe las calidades de transporte de algunos materiales comunes. Aunque esas tablas pueden servir como guías valiosas, la selección del transportador se debe basar en las características del material sobre el transportador. Por ejemplo, si el material absorbe aire o se apelmaza en el transportador, el desempeño de la máquina no responderá a las esperanzas, cuando los cálculos se basen en un peso promedio por metro cúbico. Las condiciones de almacenamiento, las variaciones de

Tabla 7-1. Transportadores para materiales a granel

Función	Tipo de transportador
Transporte horizontal de materiales	De banda articulada, de banda normal, de flujo continuo, de arrastre de tabillas, vibratorio, de camiones, de cangilones de volteo, de aire
Transporte de materiales hacia arriba o hacia abajo de una pendiente	De banda articulada, de banda, de flujo continuo, de paletas, de sinfín, montacargas de cabin, aire
Elevación de materiales	Elevador de camiones, flujo continuo, montacargas de cabin, aire
Manejo de materiales sobre una combinación de trayectorias horizontales y verticales	Flujo continuo, de cangilones de descarga por gravedad, de camiones de volteo, de aire
Distribución o colección de materiales para tolvas, depósitos, etc.	De banda, de paletas, de sinfín, de flujo continuo, de camiones de descarga por gravedad, de cangilones de volteo, de aire
Retiro de materiales de vagones del ferrocarril, camiones, etc.	Vacuador de carros, descargador de vagones de granos, agitador de vagones, pósa mecánica, aire.

Tabla 7-2. Alimentadores para materiales a granel*

Características del material	Tipo de alimentador
Materiales finos, de flujo libre	De barras, de banda, oscilatorio o vibratorio, de paletas giratorias, de sinfín
Materiales no abrasivos y granulares con algunos terrones	De banda articulada, de barras, de banda, oscilatorio o vibratorio, de movimiento alternativo, de placa giratoria, de sinfín
Materiales difíciles de manejar porque son abrasivos, con terrones o filamentos o están calientes	De banda articulada, de barras, de banda, oscilatorio o vibratorio, de movimiento alternativo
Materiales pesados, con terrones o abrasivos, similares a minerales y guijarros	De banda articulada, oscilatorio o vibratorio, de movimiento alternativo

* Link-Belt Co.

Tabla 7-3. Sistema de clasificación para sólidos a granel*

Características del material		Clase
Tamaño	Muy fino—de menor de malla 100	A
	Fino—de malla 100 A 1/8 de pulgada	B
	Grueso—1/8 a 1/2 de pulgada	C
Fluidez	Con terrones—con grumos de 1/2 de pulgada o más	D
	Irregulares—fibroso, filamentosos, etc.	H
	De flujo muy libre—ángulo de reposo hasta de 30 grados	I
Abrasividad	De flujo libre—ángulo de reposo de 30 a 45 grados	2
	Lento—ángulo de reposo de 45 grados o más	3
	No Abrasivo	6
Características Especiales	Moderadamente abrasivo	7
	Muy abrasivo	8
	Contaminable, que afecta el uso de las posibilidades de venta	K
Higroscópico	Muy corrosivo	L
	Ligeramente corrosivo	N
	Hace que se desprendan polvos o humos peligrosos para la vida	P
Degradable, que afecta el uso o las posibilidades de venta	Contiene polvos explosivos	R
	Muy ligero y fluido	S
	Enfriado o en capas, y resistente a la excavación	T
Se atrae y se hace fluido	Muy ligero y fluido	W
	Se apelmaza a presión	X
		Y
	Z	

* Ejemplo: un material granular, de flujo muy libre, ligeramente abrasivo y moderadamente corrosivo, entraría en las categorías C, I, 7 y P y su clasificación sería C17P.
* Link-Belt Co.

la temperatura ambiente y la humedad, los métodos de descarga y otros factores pueden afectar las características del transporte. Esos factores se deben tomar en consideración cuidadosamente, antes de realizar la selección final de un transportador.

Para obtener una medición confiable de la densidad de masa, se puede utilizar cualquier recipiente de boca ancha de una capacidad de un pie cúbico o más. Cuando se deba hacer con frecuencia esa determinación, vale la pena construir una caja de prueba —de madera o metal ligero que tenga las dimensiones de exactamente un pie de longitud, uno de anchura y otro de profundidad. El material que se debe pesar se vierte a la caja de prueba hasta llenarla ligeramente en exceso. Después de nivelar el material, se pesa la caja de prueba y su contenido y después de realizar ajustes para el peso del recipiente vacío, el peso obtenido es equivalente a la densidad de masa en la condición suelta o de flujo. Si se debe determinar una densidad suelta, será preciso tener cuidado al llenar la caja de prueba para no hacer vibrar el material. Cuando se necesita una densidad asentada, la porción de llenado del procedimiento va acompañada por un golpeo de las paredes de la caja, hasta que ya no se puede agregar más material.

Impulsores de transportadores. Los impulsores de los transportadores pueden costar del 10 al 30% del costo total del sistema de transporte, dependiendo de las necesidades específicas de trabajo. Pueden ser ya sea del tipo de velocidad fija o ajustable. Los impulsores de velocidad fija se usan cuando la velocidad escogida inicialmente para el transformador no requiera cambios en el curso del funcionamiento normal. Los cambios simples de polea o rueda dentada son suficientes cuando se requieran modificaciones ligeras de la velocidad; sin embargo, para los ajustes importantes se necesitan cambios de motor o de reductor de velocidades. De todos modos, el transportador se debe detener mientras se realiza el cambio de velocidad. Los impulsores de velocidad ajustable se diseñan para cambiar de velocidades ya sea en forma manual o automática mientras el transformador se encuentra en funcionamiento, con el fin de afrontar las variaciones en las necesidades de procesamiento.

El número de reducciones de velocidad es otro modo de clasificación de los impulsores de transportadores. El más común de los métodos de reducción de velocidad es el sistema de dos etapas, en donde el motor se acopla a un reductor de velocidad y el eje de baja velocidad del reductor se conecta al eje impulsor del transportador mediante una cadena o una banda en V. La segunda reducción no sólo permite el uso de un reductor de velocidad más sencillo, sino también una disposición más flexible de la placa de montaje del reductor y el motor. En muchas instalaciones, esto elimina la necesidad de un montaje impulsor de diseño especial.

Puesto que es una buena práctica mantener un inventario selecto de piezas de reposición para impulsores, se pueden lograr economías mediante impulsores normalizados de transportadores en toda la planta. Por ejemplo, la reducción intermedia de velocidad por medio de cadenas, garbuchas o bandas en V y ruedas dentadas, permite con frecuencia utilizar el mismo tamaño de reductor de velocidad para varios impulsores. Así, puede resultar necesario mantener solamente un inventario de reparaciones para un reductor de velocidad, que cubra a cierto número de transportadores.

Motores de transportadores. Los motores para la impulsión de transportadores son en general trifásicos, de 60 ciclos; unidades de 220 volts, 220/440 volts, 550 y 208 volts de cuatro conductores. Son también comunes las clasificaciones nominales de 240 y 480 volts. Aunque hay muchas transmisiones de velocidad ajustable que utilizan motores de inducción de c.a. —impulsados mediante alternadores de c.a.— o embragues de corrientes parásitas impulsados por c.a.— cuando se requieren cambios de velocidades a lo largo de una gama amplia, con ajustes extremadamente precisos se prefieren los motores de c.c.

El rectificador controlado de silicio con un motor de c.c. ha llegado a predominar en las transmisiones de velocidad ajustable para casi todos los transportadores utilizados, donde las condiciones de procesamiento requieren un ajuste de la velocidad. El bajo costo de este dispositivo de control influyó en su utilización, cuando se requiere una sincronización de velocidades entre transportadores. Por supuesto, esto se puede lograr también mediante el cambio de las razones de las poleas o las ruedas dentadas.

El motor de jaula de ardilla se usa comúnmente con transportadores de banda y con transmisiones hasta de 10 hp; por lo común se especifica un arranque a través de la línea. Los motores de jaula de ardilla de entre 10 y 50 hp se ponen en marcha, por lo común, mediante un motor; de arranque manual, de voltaje reducido de arranque magnético, de resistencia primaria. En general se especifican motores de torsión normal, con la suposición de que, si la potencia es suficiente para impulsar a la banda, si se podrá desarrollar un momento de torsión suficiente para el arranque. La selección del motor para transportadores grandes se debe basar en un estudio cuidadoso, haciendo hincapié, en particular, en las condiciones de puesta en marcha (véase también la sección 24).

Equipos auxiliares. Los elevadores transportadores se deben equipar con algún tipo de freno o retención para evitar la inversión del desplazamiento y los atascamientos subsiguientes, cuando se corta inesperadamente la corriente. Se usan comúnmente dispositivos de retención a trinquete y de calce de rodillos. También se pueden utilizar frenos de solenoide y embragues de resorte.

Otro problema en el caso de la mayoría de los transportadores es el del corte de la fuerza propulsora, cuando se ataca el transportador. Con frecuencia se usan dispositivos de limitación del esfuerzo de torsión, al igual que controles eléctricos que cortan la alimentación de corriente al motor

Tabla 7-4. Clases de materiales y pesos*

Material	Peso promedio, lb/pie ³	Clase	Material	Peso promedio, lb/pie ³	Clase
Alambre, con terrores	50-60	D284	Cal. molida, 1/2 pulgada y menos	60	B26Z
Alambre, fino	45-50	B264	Cal. hidratada, 1/2 de pulgada y menos	40	B26YZ
Alumina	60	B28	Cal. hidratada, pulverizada	32-40	A26YZ
Alumina, gel	45	B27	Cal. guijarros	53-56	D06
Hidrato de aluminio	18	C26	Cal. agrícolas, 1/2 de pulgada y menos	68	B274
Cloruro de amonio, cristallino	52	B26	Piedra caliza, triturada	85-90	D274
Sulfato de amonio	45-58	§	Pedra de piedra caliza	75	A37Y
Poivo de antimonio		B27	Cloruro de magnesio	33	C36
Asbesto, desmenuzado	20-25	H37WZ	Sulfato de manganeso	70	C28
Cenizas, de carbón, secas, 3 pulgadas y menos	35-40	D37	Marga	80	DE74
Asfalto, triturado, 1/2 pulgada y menos	45	C26	Mica, laminillas	17-22	B17WY
Bagazos	7-10	H36WXZ	Mica, molida	13-15	B27
Levadura	41	A26	Mica, pulverizada	13-15	A27Y
Corteza, madera, desechos	10-20	H37X4	Morfato de potasa	77	B28
Bauxita, triturada, 3 pulgadas y menos	75-85	D284	Laminillas de naftaleno	45	§
Bentonita, 100 (malla) y menos	80-80	D284	Cristales de ácido oxálico	60	B36L
Bicarbonato de sodio	41	A26	Conchas de ostras, molidas, de 1/2 pulgada y menos	53	C27
Carbón animal, malla 100 y menos	30-25	A374	Conchas de ostras, enteras	45	D27X
Hulla animal, 1/2 pulg y menos	27-40	B27	Pedra de molizar de fenol-formaldehído	30-40	A36
Harina de huesos	55-60	B27	Resaca de fosfato	75-85	D274
Borato de cal	4-8	A264	Arena de fosfato	90-100	B28
Borax, fino	53	B26	Laminillas de anhídrido ftálico	30-35	C36XZ
Ácido bórico, fino	53	B26	Pildoras de polietileno, alta densidad	35-45	C16K
Carburo de calcio	70-80	D27	Pildoras de polietileno, baja densidad	28-40	C16K
Negro de humo, pelletizado	30-25	B16TZ4	Pildoras de polipropileno	35-50	C16K
Negro de humo, en polvo	4-8	B274	Cubitos de poliestireno	35-40	C16K
Caseína	38	B274	Pildoras de cloruro de polivinilo, compuestas	35-35	C16K
Virutas de hierro cortado	130-200	C37	Resina de cloruro de polivinilo, tipo de dispersión	13-18	A36KPY
Cemento, Portland	85-85	A27Y	Resina de cloruro de polivinilo, disolvente, no disolvente		
Escoria de cemento	75-80	D284	de suspensión	20-35	A26KY
Yeso, en terrores	85-90	D37Z	Nitrato de potasio	76	C17P
Yeso, malla 100 y menos	70-75	A37YZ	Piedra pómez, 1/2 pulgada y menos	42-45	B284
Carbón vegetal	18-25	D37T	Sal común, seca, gruesa	45-50	C37PL4
Cenizas, de carbón	40	D284	Sal común, seca, fina	70-80	B27PL4
Arquilla (véase bentonita, galaxita, caolinita y margas)			Sal apelmazada seca y gruesa	85	D27
Carbón, antracita	60	C27P	Sal apelmazada seca y pulverizada	65-85	B27
Carbón, bituminoso, de mina, malla 50 y menos	50	B36P	Salitre	60	B26S
Carbón bituminoso, de mina, clasificado por tamaños	50	D26PT	Arena, de banco, seca	90-110	B28
Carbón, bituminoso, de mina, suelto, 1/2 pulgada y menos	50	C36P	Arena, sílica, seca	90-100	B18
Coque, suelto	37-32	D36TX4	Aserin	10-13	§
Coque, petróleo, calcinado	35-45	D28X	Arquilla, triturado	85-90	C17
Cisco de coque, 1/2 de pulgada y menos	25-35	C38	Goma laca, granulada o en polvo	45	B26K4
Sulfato de cobre	12-15	C36	Gel de sílice	31	B28
Corcha, molida fino	12-15	R36WY	Escorias, de altos hornos, granuladas	60-65	C28
Corcha, granulada	12-15	C36	Pizarras, trituradas, 1/2 de pulgada y menos	60-90	C27
Eriolita	110	D27	Granos de jabón	82	B27
Desechos fundibles de vidrio	80-120	D284	Escamas de jabón	15-25	B28T
Fosfato dihidrico	43	A36	Laminillas de jabón	5-15	C28T4
Dolomita, con terrores	90-100	D274	Pedra de jabón	20-25	B264
Ebonita, triturada, 1/2 de pulgada y menos	63-70	C26	Talco de estearita, fino	40-50	A37Z
Sales de Epsom	40-50	B26	Carbunato sódico, pesado	35-65	B27
Feldspato, molido, 1/2 de pulgada y menos	65-70	B27	Carbonato sódico, ligero	20-35	A27W
Sulfato ferroso	50-75	C27	Nitrato de sodio	70-80	§
Harina de trigo	35-40	A36K4	Sulfato de sodio (véase sulfato de sodio anhidro)		
Fluorita	82	C37	Almidón	25-50	§
Ceniza muy fina, seca	35-45	A18Y4	Virutas de acero, trituradas	100-150	D36
Galaxita, filtro de aceite, quemada	40	B28	Azúcar, granulada	50-55	B26KT
Galaxita, filtro de aceite, cruda	35-40	B27	Azúcar, en bruto de caña o remolacha	55-85	B36Z4
Galaxita, filtro de aceite, apagada	60-65	§	Pulpa de remolacha azucarera, seca	12-15	§
Vidrio molido	90-100	D284	Pulpa de remolacha azucarera, húmeda	25-45	§
Cola, molida, 1/2 pulgada y menos	40	B27	Azufe, triturado, de 1/2 pulgada y menos	50-60	C284
Grafito, laminillas	40	C28	Azufe, en terrores, 3 pulgadas y menos	60-85	D284
Grafito, polvo	28	A18Y	Azufe, pulverizado	50-60	D26SY4
Yeso, calcinado, 1/2 pulgada y menos	55-60	C27	Poivo de talco	40-60	A27Y
Yeso, calcinado, en polvo	60-80	A37	Fosfato trídrico	60	B27
Yeso, crudo, 1 pulgada y menos	90-100	D27	Vermiculita, dilatada	16	C37W
Hielo, triturado	35-45	D16	Mineral de vermiculita	60	D27
Himenea	140	B28	Virutas de madera	10-30	H36WX4
Arquilla de caolinita, 3 pulgadas y menos	163	D27	Poivo de madera	16-30	§
Argenato de plomo	72	B36R	Oxido de zinc, pesado	30-35	A36Z4
Lignita, desecada al aire	45-55	D26	Oxido de zinc, ligero	10-15	A36WZ4

* Datos proporcionados principalmente por la Link-Belt Co.
 † Pesos de materiales sueltos o ligeramente revueltos, por lo común, los pesos son diferentes cuando los materiales se depositan o llenan, como en tolvas, depósitos, etc.
 ‡ Estas clases representan observaciones en condiciones generales. Las condiciones específicas pueden variar debido a los procesos de fabricación y el manejo.
 § La clase puede variar considerablemente, debido a las condiciones.

impulsor. Sin embargo, debido a la elevada inercia del rotor del motor, con frecuencia resulta conveniente eliminar el aumento del momento de torsión que se puede presentar cuando se atasca el transportador. En esos casos se suelen utilizar cubos con pasadores de acero, y la energía se transmite por un conjunto de espigas diseñadas para efectuar el corte cuando se presenta un esfuerzo máximo fijo de torsión. Mientras que el equipo permanece retenido hasta que se puedan reemplazar las espigas, se produce la desconexión inmediata entre el motor y el transportador, que puede evitar daños graves para el equipo. También se emplean embragues especiales.

A menos que un material se descargue libremente se necesitan limpiadores en los transportadores de banda que pueden ser también útiles en otros. Los tipos comunes utilizan una escobilla giratoria, impulsada mediante el eje de la polea principal del transportador, o en forma independiente, sobre una paleta montada con resortes. Esta última sólo es aplicable en algún punto en el que el transportador de banda esté razonablemente plano. Siempre que se usan limpiadores, se deben tomar disposiciones para recoger el material y vertirlo a la corriente principal de descarga o a un recipiente de recolección que se pueda vaciar periódicamente.

TRANSPORTADORES DE TORNILLO SIN FIN

El transportador de tornillo sin fin es uno de los tipos de transportadores más antiguos y versátiles. Consiste en un sistema de espigas helicoidales (hélice laminada a partir de una barra plana de acero) o seccionales (secciones individuales cortadas y formadas en hélice, a partir de una placa plana), montadas en una tubería o en un eje y que giran en una artesa. La potencia de transporte se debe transmitir a través del eje o la tubería y se ve limitada por el tamaño permisible de sus piezas. Las capacidades de los transportadores de sin fin se limitan en general a aproximadamente 10 000 pies³/h.

Además de su capacidad de transporte, los transportadores de tornillo sin fin se pueden adaptar a una gran variedad de operaciones de procesamiento. Se puede lograr casi cualquier grado de mezcla con transportadores de tornillo sin fin de espigas cortadas, cortadas y plegadas o reemplazadas mediante una serie de paletas. El uso de espigas de caucho permite manejar materiales pegajosos. Las unidades de espigas escalonadas o cónicas y de paso variable pueden proporcionar un control excelente para las aplicaciones de alimentación o en transportadores en los que se requiere un control preciso del índice de desplazamiento. Se usan tornillos de paso corto para aplicaciones de desplazamiento inclinado y vertical y unidades de paso corto y espigas dobles, que evitan eficientemente la acción de inundación. Además de una gran variedad de diseños de componentes, los transportadores de tornillos sin fin se pueden fabricar en una gran variedad de materiales que van del hierro colado al acero inoxidable.

El uso de tornillos huecos y tuberías para la circulación de fluidos calientes o fríos permite que los transportadores de tornillo sin fin se usen para operaciones de calentamiento, enfriamiento y desecación. Se pueden usar tuberías recubiertas con el mismo fin. Es relativamente fácil sellar un transportador de tornillo sin fin de la atmósfera exterior, con el fin de que pueda funcionar al aire libre sin protección especial. De hecho, se puede sellar completamente para funcionar en su propia atmósfera con una presión positiva o negativa y el tubo se puede aislar para mantener temperaturas internas en regiones de temperaturas ambiente elevadas o bajas. Otra ventaja adicional es el hecho de que se puede

diseñar con una descarga por debajo para facilitar la limpieza, con el fin de evitar la contaminación cuando se deban manejar en el mismo sistema materiales diferentes.

Puesto que los transportadores de tornillo sin fin se hacen por lo común con secciones estándar acopladas, es preciso prestar una atención especial a los esfuerzos de torsión en los acopladores. Los cojinetes de suspensión que sostienen los tramos obstruyen el flujo de los materiales cuando la artesa se carga por encima de su nivel. Así pues, con materiales difíciles, la carga en la artesa se debe mantener por debajo de este nivel o bien utilizar soportes especiales que minimicen la obstrucción. Puesto que los transportadores de tornillo sin fin funcionan a velocidades de rotación relativamente bajas, con frecuencia suele desecharse el hecho de que el borde del tramo exterior puede desplazarse con una velocidad lineal relativamente alta. Esto puede crear un problema de desgaste; si es demasiado intenso, se podrá reducir mediante la utilización de bordes de superficies endurecidas, segmentos desmontables de tramos endurecidos, cubiertas de caucho o aceros con alto contenido de carbono.

Los cálculos de potencia requerida para los transportadores de tornillo sin fin están normalizados; sin embargo, cada fabricante ha agrupado constantes numéricas de maneras distintas y asignado valores ligeramente diferentes sobre la base de variaciones individuales de diseño. Así pues, al comparar las necesidades de potencia de los transportadores de tornillo sin fin es aconsejable utilizar una fórmula específica para equipos específicos.

La potencia requerida tiene dos componentes: el necesario para impulsar el tornillo de vacío y el que se requiere para el desplazamiento del material. El primer componente es función de la longitud del transformador, la velocidad de rotación y la fricción en los cojinetes o los soportes. El segundo es función del peso total del material transportado por unidad de tiempo, la longitud del recorrido y la profundidad a la que se carga la artesa o el canal. El último renglón de potencia, a su vez, es función de la fricción interna y la fricción sobre el metal de los materiales transportados.

En la tabla 7-5 se indica el desempeño de los transportadores de tornillo sin fin sobre la base de clasificaciones de materiales dadas en la tabla 7-4 y definidas en la tabla 7-3. La tabla 7-6 proporciona una gama amplia de capacidades y potencias requeridas para diversos tamaños de tornillos sin fin que manejen materiales de 50 lb/pie³ y una fluidez promedio. Dentro de límites razonables, se pueden interpolar valores de las tablas 7-5 y 7-6, mediante diseños y estimaciones preliminares.

En la figura 7-1 se muestran disposiciones típicas de alimentación. Se pueden usar canaletas simples (figura 7-1a) cuando el índice de alimentación sea bastante uniforme y esté controlado por partes anteriores del equipo. La capacidad del transportador debe estar muy por encima del índice máximo de alimentación procedente de puntos simples o múltiples. La válvula giratoria de corte (figura 7-1b) es una válvula de acción rápida, cerrada herméticamente al polvo, para materiales en flujo libre. El alimentador de paletas giratorias (figura 7-1c) proporciona un volumen predeterminado y uniforme de materiales y se puede impulsar a partir del tornillo sin fin, o bien, independientemente, mediante una transmisión constante o de velocidad variable. Las compuertas de cremallera y piñón (figura 7-1d) son apropiadas para el flujo libre, los materiales en tolvas, depósitos, tanques o silos y, asimismo, como compuertas de entrada lateral (figura 7-1e) para materiales pesados o con terrores.

En la figura 7-2 se muestran disposiciones típicas de descarga. Las aberturas simples de descarga (figura 7-2a) equipadas con una canaleta (figura 7-2b) son los más comunes, aunque también se usan con frecuencia las artesas de

Tabla 7-5. Capacidades y condiciones de carga de un transportador de tornillo sin fin*

Clase de Material†	Diámetro del tornillo sin fin, pulg.	Tamaño de terrones, pulg.		Capacidad en pies ³ /h. ‡		Área aproximada que ocupa el material §
		Tamaño, 25%	Tamaño, 100%	A 1 rpm	A rpm máx.	
A, B, C, D y H 16, 26, 36	6	14	14	2.27	375	
	12	14	14	8.0	1 200	
	14	24	14	19.3	2 700	
	16	3	3	30.8	4 000	
	20	3	3	46.6	5 600	
A, B, C, D y H 17, 27, 37	6	14	14	1.5	25	
	12	14	14	5.6	289	
	14	24	14	13.3	445	
	16	3	3	21.1	1 035	
	20	3	3	31.4	1 570	
A, B, C, D y H 18, 28, 38	6	14	14	8.75	25	
	12	14	14	32.2	90	
	14	24	14	30.3	300	
	16	3	3	15.7	425	
	20	3	3	22.7	590	

* Link-Belt Co.
 † Estas clasificaciones cubren una lista amplia de materiales que casi siempre se pueden manejar en un transportador de tornillo sin fin. Se deben tomar en consideración de modo especial, las aplicaciones en las que se utilizan materiales de las características siguientes:
 Muy corrosivos, de clase N
 Desgranables, que afectan el uso o las posibilidades de venta, de clase T
 Laminados o tejidos, clase X
 Muy aireados o de naturaleza fluida, clase Y
 ‡ Capacidad para transportador horizontal alimentado uniformemente. Capacidad volumétrica basada en materiales ligeramente agitados o esponjados. El material muy aireado o esponjado tendrá una disminución de peso y un aumento de volumen.
 § Capacidad máxima para servicio económico.
 ¶ Los porcentajes superiores a los indicados darán como resultado un desgaste excesivo de los acoplamientos y los ejes de suspensión.

extremo abierto (figura 7-2c) y los de extremo de descarga (figura 7-2e). A menudo se usan artesas de descarga por debajo (figura 7-2c) para extender materiales uniformemente en una zona de almacenamiento. Las compuertas de fondo

plano, de cremallera y piñón (figura 7-2f), permiten la descarga selectiva, al igual que las compuertas de deslizamiento manual (figura 7-2d). Sin embargo, para los materiales perecederos, la compuerta curva de deslizamiento (figura 7-2h) elimina las bolsas de almacenamiento muerto. Las compuertas de cremallera y piñón cerradas (figura 7-2i) proporcionan un funcionamiento protegido herméticamente contra el polvo, mientras que las válvulas giratorias de corte (figura 7-2j) permiten una detención rápida y se pueden adaptar con facilidad para el control remoto. Las compuertas activadas mediante cilindros de aire se han hecho cada vez más prevalentes en los últimos años, debido a las bajas inversiones que se requieren y la facilidad para conectarlas a centros de control automático de procesamientos.

TRANSPORTADORES DE BANDA

Los transportadores de banda se utilizan de manera casi universal. Pueden recorrer kilómetros a velocidades de hasta 1 000 pies/min (300 m/min) y manejar hasta 5 000 toneladas/h. También pueden funcionar en distancias cortas a velocidades suficientemente lentas para la recolección manual, con una capacidad de sólo unos cuantos kilogramos por hora. Sin embargo, no es aplicable normalmente a las operaciones de procesamiento, excepto en condiciones poco frecuentes.

Las pendientes de los transportadores de banda se limitan a un máximo de aproximadamente 30°, y las más comunes se encuentran en la gama de 18 a 20°. Sólo se pueden producir cambios de dirección en el plano vertical de la trayectoria de la banda y se deben diseñar cuidadosamente como curvas verticales o codos relativamente planos. Los transportadores de banda dentro de las plantas pueden tener costos iniciales más elevados que algunos otros tipos de transportadores y, dependiendo del diseño y los rodillos locos, pueden necesitar o no un mayor mantenimiento; sin embargo, se puede esperar que un transportador de banda con un buen mantenimiento de rutina, supere a casi todos los demás tipos de transportadores. Así pues, en función del

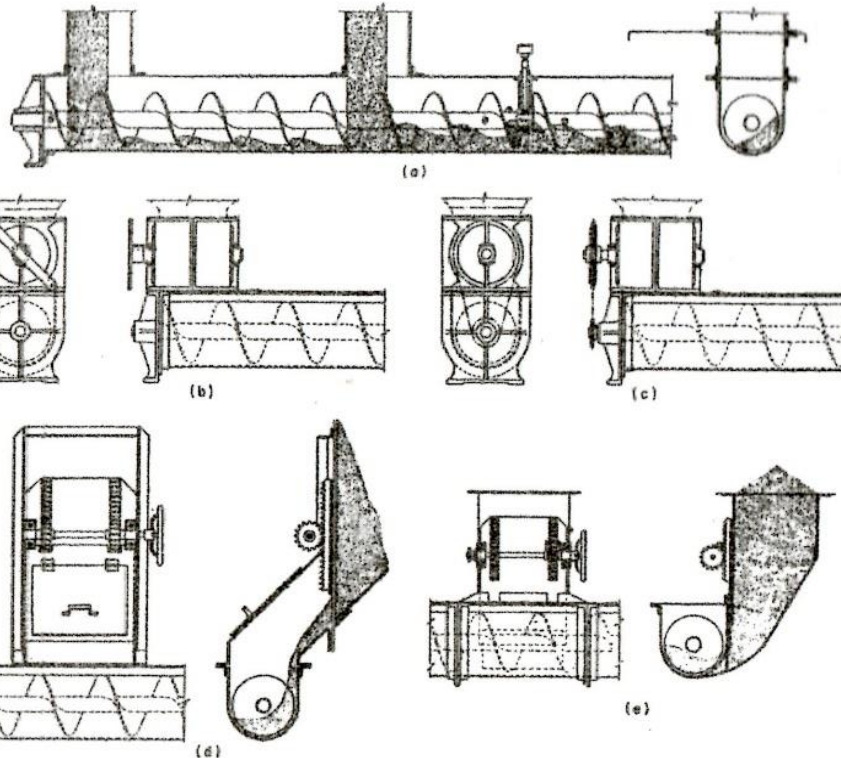


Figura 7-1. Disposiciones típicas de alimentación para transportadores de tornillo sin fin. a) canaletas o toboganes. b) Válvula giratoria de corte. c) Alimentador de paletas giratorias. d) Compuerta de toba. e) Compuerta de entrada lateral (Link-Belt Co.).

Tabla 7-6. Datos de transportadores de tornillo sin fin para material de 50 lb/pie³ y paletas espirales seccionales montadas en tuberías.*

Capacidad †	Diámetro de tabillas, pulg.	Diámetro de tubería, pulg.	Diámetro de las barras de suspensión, pulg.	Tamaño máximo de terrones				Velocidad, rpm.	Capacidad máxima de tubería, pulg.-lb.	Diámetro de tubería de alimentación, pulg.	Potencia del motor, HP ‡					Capacidad máxima en lb. a las velocidades dadas	Costo †	
				Todo terrones	Terrones de 20 a 25%	Terrones de 10% o menos	Longitud máxima, 15 pies				Longitud máxima, 30 pies	Longitud máxima, 45 pies	Longitud máxima, 60 pies	Longitud máxima, 75 pies				
5	300	9	2 1/2	2	10	3/4	1 1/2	2 1/4	40	7 800	8	0.43	0.65	1.27	1.89	3.11	4.4	\$720
10	400	10	2 1/2	2	10	3/4	1 1/2	2 1/2	55	7 800	9	0.85	1.29	2.25	3.00	3.75	6.6	\$113
		12	2 1/2	2	10	3/4	1 1/2	2 1/2	80	7 800	9	1.27	2.25	3.38	3.94	4.93	9.6	\$113
15	600	12	2 1/2	2	12	1	2	3	45	7 800	10	1.27	2.25	3.38	3.94	4.93	3.4	\$60
		12	3 1/2	3	12	1	2	3	45	16 400	10	1.27	2.25	3.38	3.94	4.93	11.7	\$63
20	800	12	2 1/2	2	12	1	2	3	60	7 800	10	1.89	3.00	3.94	4.87	3.63	7.2	\$80
		12	3 1/2	3	12	1	2	3	60	16 400	10	1.89	3.00	3.94	4.87	3.63	15.6	\$83
25	1000	12	2 1/2	2	12	1	2	3	75	7 800	10	2.12	3.75	4.93	3.63	6.55	9.0	\$60
		12	3 1/2	3	12	1	2	3	75	16 400	10	2.12	3.75	4.93	3.63	6.55	19.5	\$83
30	1200	14	3 1/2	3	12	1 1/4	2 1/2	3 1/2	45	16 400	12	2.12	3.75	4.93	5.63	6.75	11.7	\$160
		14	3 1/2	3	12	1 1/4	2 1/2	3 1/2	55	16 400	12	2.25	3.94	5.05	6.75	7.50	14.3	\$160
35	1400	14	3 1/2	3	12	1 1/4	2 1/2	3 1/2	65	16 400	12	2.62	4.59	5.90	7.00	8.75	16.9	\$160
40	1600	16	3 1/2	3	12	1 1/2	3	4	50	16 400	14	3.00	4.50	6.75	8.00	10.00	13.0	\$140

* Fairfield Engineering Co.
 † Las capacidades se basan en tornillos sin fin que llevan 31% de su sección de corte (transversal) y en el caso de secciones de alimentación con tabillas de medio piso, se basan en el 100% de sus secciones de corte transversal.
 ‡ Los tamaños de tuberías que se dan son para tabillas de 1/2 pulg.
 § Las potencias requeridas que se dan se calcularon para condiciones promedio y son adecuadas a los tamaños de los motores, tomando en consideración factores para la longitud del transportador, las sobrecargas momentáneas, etc.
 ¶ Son precios aproximados de 1972 para equipos de longitudes de 30 pies, construídos con acero al carbono, eléctricos y a prueba de polvo, para voltajes trifásicos comunes. Las transmisiones no se incluyen en los precios.

costo por tonelada de materiales manejados, los transportadores de banda han tenido historiales económicos sobresalientes.

El diseño de los transportadores de banda se inicia con el estudio de los materiales que se van a manejar. Puesto que el peso por pie cúbico es un factor muy importante, se debe determinar con precisión con el material en condiciones de manejo. No conviene basarse solamente en las tablas publicadas de pesos por pie cúbico para diversos materiales, puesto que muchas operaciones de elaboración aceptarán ese peso, al esponjar o compactar los materiales. También es muy importante el tamaño de los terrones. Para una banda de 24 pulg. los tamaños uniformes de los terrones pueden llegar a 4 pulg. Por cada 6 pulg de aumento en la anchura de la banda el tamaño de los terrones puede aumentar aproximadamente 2 pulg. Si el material contiene aproximadamente 90% de partículas finas, el tamaño de los terrones se podrá incrementar en cerca de un 50%; sin embargo, es preciso tener cuidado para mantener el flujo uniforme de los materiales, haciendo que las partículas finas lleguen primeramente a la banda para protegerla de los daños causados por los impactos. Cuanto mayores sean los terrones, tanto más peligro habrá de que se caigan de la banda o rueden hacia atrás en los tramos inclinados. Cuando la banda corra horizontalmente o tenga sólo ligeras inclinaciones en el punto de alimentación se reducirá al mínimo el problema de la caída de los terrones, sobre todo

si se tiene un cuidado especial en el diseño de los vertederos de alimentación.

La temperatura y la actividad química de los materiales transportados desempeñan papeles importantes en la selección de las bandas. Por ejemplo, se debe evitar el caucho natural cuando se manejen materiales aceitosos, incluso cuando el material no tenga una superficie evidentemente grasosa. Hay bandas especiales de hule, algodón y fibra de asbesto para afrontar diversos grados de temperaturas de los materiales y se deben usar siempre que las temperaturas sean elevadas. Las temperaturas altas pueden dañar a las bandas con rapidez y en forma grave, por lo que la inversión en lo que a primera vista puede parecer una banda de precio extremadamente alto, suele resultar económica a la larga. Hay muchos productos elastoméricos superresistentes para la construcción de bandas. Entre ellos se tiene el neopreno, el teflón, el caucho buna-N y los vinilos. Los fabricantes pueden probar productos que van a manejar y recomendar con frecuencia varios grados de elastómeros que tendrán un desempeño satisfactorio, cada uno de ellos con una relación diferente de costo inicial a vida de operación.

La humedad puede crear malas condiciones de descarga, debido a que los materiales se pegan a la banda y vertederos o reducir incluso la capacidad, si se encuentra presente en cantidad suficiente para dar a los materiales propiedades de fluidos. Aun cuando la abrasión puede crear problemas

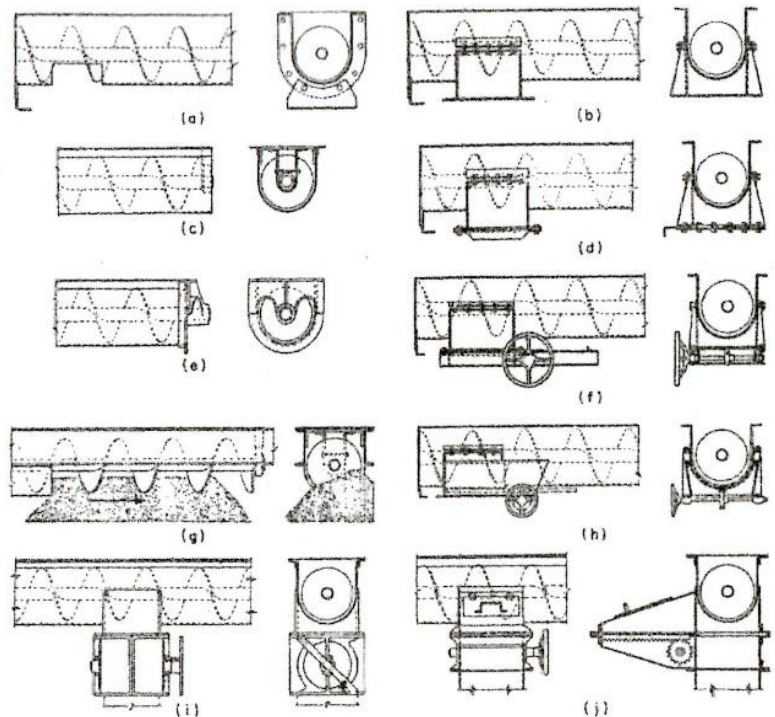


Figura 7-2. Disposiciones típicas de descarga para transportadores de tornillo sin fin. a) Abertura de descarga. b) Canaletas de descarga. c) Atenea de extremo abierto. d) Compuerta deslizante manual. e) Extremo de artesa de descarga. f) Compuerta de cremallera y piñón. g) Artesa de fondo abierto. h) Compuerta deslizante curvada de cremallera y piñón. i) Válvula giratoria de corte. j) Compuerta cerrada de cremallera y piñón. (Link-Belt Co.)

en los transportadores de banda, son más fáciles de resolver con sistemas de bandas diseñados adecuadamente que en el caso de la mayoría de los demás transportadores.

Al establecer los requisitos de tonelaje de los transportadores de banda es importante trabajar con cargas máximas en lugar de promedio. Sólo a veces esas dos cifras son idénticas, debido a las variaciones intencionales o accidentales en los índices de producción. Las bandas que funcionan de vacío la mitad del tiempo deben llevar dos veces la carga promedio cuando funcionan.

Cuando un transportador de banda tiene que cambiar de dirección resulta a menudo más sencillo utilizar más de uno, sin embargo, se pueden diseñar curvas verticales y lograr cambios ascendentes de dirección con un par de poleas plegadas. Si la banda desciende sobre los rodillos locos, se podrá utilizar una polea plana simple para los cambios menores de dirección. De todos modos, la utilización de una banda continua simple elimina la necesidad de más de una transmisión de potencia. Con un par de poleas plegables, la cara portadora de la banda entra en contacto con la polea; por ende, es preciso tener un cuidado especial para obtener una buena descarga. Cuando se dobla la banda sobre una polea plana, su velocidad debe ser suficientemente baja como para impedir que el material se saiga de ella. En muchas situaciones, la curva suave, ya sea cóncava o convexa, resulta preferible. Para una banda de 24 pulgadas, el radio mínimo de la curva es de aproximadamente 200 pies (60 metros); pero para las mejores condiciones operacionales, se debe diseñar con cuidado.

Las condiciones operacionales que afectan al diseño de transportadores de banda incluyen el clima, el ambiente y las horas de servicio continuo. Los extremos de temperatura y humedad pueden prescribir el cierre total de la banda; los ambientes con condiciones tales como alta temperatura o una atmósfera corrosiva pueden afectar a la banda, la maquinaria y la estructura y el servicio continuo pueden requerir componentes de una calidad extremadamente alta e incluso equipos diseñados especialmente para recibir mantenimiento mientras funciona la banda. Por ejemplo, se pueden obtener rodillos con soportes inclinables que permitan retirarlos para el mantenimiento, mientras la banda sigue funcionando.

La velocidad y la anchura de la banda son funciones de la densidad de masa del material y el tamaño de los terrones. Con frecuencia se puede obtener el costo inicial más bajo al utilizar las bandas más estrechas posibles para un tamaño de terrones dado y un funcionamiento a una velocidad máxima; sin embargo, la velocidad se puede ver limitada con frecuencia por el polvo y, a veces, resulta más económico utilizar una banda más ancha con menos pliegues para combinar la resistencia necesaria a la tensión con buenas características de acanalamiento de la banda. Lo abrasivo del material puede afectar firmemente la velocidad, así como también el tamaño de los terrones, puesto que, a velocidades altas, aumenta el desgaste de abrasión y hay mayor peligro de que los terrones se caigan de la banda. De manera ideal, una banda debe funcionar con un tamaño de terrones, una inclinación y una carga menor que los valores máximos recomendados

y con una alimentación uniforme introducida a la banda en forma central, tan aproximadamente como sea posible en la dirección y a la velocidad de desplazamiento de la banda.

La potencia requerida para impulsar un transportador de banda tiene cinco componentes: la potencia para impulsar la banda de vacío, para desplazar la carga en contra de la fricción de las partes giratorias, para elevar o hacer descender la carga, para vencer la inercia al poner el material en movimiento y para hacer funcionar un descargador basculante de banda, en caso de que se requiera. Como en el caso de la mayoría de los otros problemas de los transportadores, al realizar esos cálculos es aconsejable trabajar con fórmulas y constantes de un fabricante específico. Con fines de estimación, se dan datos típicos en la tabla 7-7.

La selección de la banda depende de la potencia requerida y el desarrollo de la resistencia necesaria a la tensión. Al conocer la potencia requerida para la impulsión del eje, se puede estimar la tensión de la banda y escoger el material apropiado para ella; sin embargo, puesto que hay varias combinaciones de anchura y espesor que desarrollan la resistencia que se requiere, la selección final se ve afectada por el tamaño de los terrones, la capacidad de acanalamiento de la banda y sus posibilidades para soportar la carga entre rodillos. Así, es necesario utilizar un método "de tanteo" para llegar a una selección de banda que satisfaga todos los requisitos.

Una vez que se ha realizado la selección final de la banda, se pueden escoger también los rodillos locos y los de regreso. En la figura 7-3 se muestra la gran variedad de soportes de bandas para aplicaciones de manejo de materiales a granel. En las figuras 7-3a y b aparecen disposiciones de banda plana so-

bre rodillos o placas, que permiten que se descargue el material mediante rejas simples en forma de V. La banda plana sobre placas permite que se levanten paredes laterales para evitar los desbordamientos o para acumular cargas más elevadas sobre la banda plana. Como en la figura 7-4f, se puede obtener también una mayor capacidad al darle a la placa una forma de artesa. El rodillo cóncavo de 20°, con longitudes iguales (figura 7-3c) es el más común, mientras que los materiales más ligeros se adaptan a los rodillos locos de 45° de lados cortos o largos (figura 7-3d y e). Puesto que los materiales más ligeros no necesitan bandas rígidas para la resistencia a la tensión, el acanalamiento o la formación de artesas no suele ofrecer dificultades.

Una vez escogidos los rodillos intermedios apropiados para las condiciones de servicio y tamaño, la etapa más importante es la de su ubicación apropiada. Para las bandas largas, la tensión varía considerablemente y el espaciamiento de los rodillos se debe calcular para evitar que la banda se hunda fuera de los límites razonables, a lo largo de toda la longitud del recorrido. El hundimiento excesivo de la banda puede provocar una pérdida importante de potencia; pero para la mayoría de las bandas de longitud ordinaria, suele ser satisfactorio el espaciar los rodillos bastante cerca unos de otros en el punto de alimentación y, a continuación, más alejados, a intervalos uniformes, durante el resto del recorrido de transporte.

Se deben diseñar con cuidado los puntos de carga y descarga de los transportadores de banda. En la figura 7-4a se dan detalles para un tipo de sello de hule sobre una placa defantal metálica. Es sumamente importante que se cargue el material sobre la banda en su centro y en la dirección de desplazamiento, de prefe-

Tabla 7-7. Datos de transportadoras de banda con rodillos locos acanalados de antrición*

Anchura de la banda, pulg.	Área de corte transversal de carga, pulg. ²	Velocidad de la banda		Cargas de la banda		Tamaño máximo de los terrones, pulg.		Velocidad de la banda, pies/min	Capacidad en lb						Añádase lb para el descargador †
		Velocidad normal en pies/min	Velocidad máxima aconsejable, pies/min	Mínimas	Máximas	Material clasificado por tamaño, 80% o más en pas de 20/4	Material no clasificado por tamaño, no más de 20/4		Material de 50 lb/pie ³			Material de 100 lb/pie ³			
									Capacidad, ton/h	Hp/desplazamiento de 100 pies	Hp/centro de 100 pies	Capacidad, ton/h	Hp/desplazamiento de 100 pies	Hp/centro de 100 pies	
14	0.11	200	300	3	5	2	3	100	16	0.17	0.22	32	0.34	0.44	1.00
								200	-32	0.34	0.44	64	0.68	0.88	
								300	48	0.52	0.68	96	1.04	1.33	
16	0.14	200	300	3	5	3/4	4	100	22	0.23	0.28	44	0.46	0.56	1.25
								200	44	0.45	0.56	88	0.90	1.12	
								300	66	0.68	0.84	132	1.36	1.68	
18	0.18	250	350	4	6	3	5	100	27	0.29	0.35	54	0.58	0.7	1.50
								250	67	0.71	0.88	134	1.42	1.76	
								350	95	1.00	1.21	190	2.00	2.42	
20	0.22	250	350	4	6	3/4	6	100	33	0.35	0.42	66	0.70	0.84	1.60
								250	82	0.86	1.03	164	1.72	2.06	
								350	115	1.22	1.45	230	2.44	2.9	
24	0.33	300	400	4	7	4/4	8	100	49	0.51	0.51	98	1.02	1.02	1.75
								300	147	1.53	1.52	294	3.06	3.04	
								400	196	2.04	2.02	392	4.08	4.04	
30	0.53	300	450	4	8	7	12	100	79	0.80	0.75	158	1.60	1.5	2.50
								300	237	2.40	2.25	474	4.80	4.5	
								450	355	3.60	3.37	710	7.20	6.74	
36	0.78	400	600	4	9	8	15	100	115	1.22	0.80	230	2.44	1.50	3.35
								400	460	4.07	3.18	920	9.74	6.36	
								600	690	7.30	4.76	1380	14.5	9.52	
42	1.09	400	600	4	10	10	18	100	165	1.75	1.14	330	3.36	2.28	4.79
								400	660	7.00	4.56	1320	14.0	9.12	
								600	990	10.6	6.84	1980	21.0	13.68	
48	1.46	400	600	4	12	12	21	100	220	2.33	1.52	440	4.66	3.04	6.42
								400	880	9.35	6.07	1760	18.7	12.14	
								600	1320	14.0	9.10	2640	28.0	18.2	
54	1.90	450	600	6	12	14	24	100	285	3.02	1.97	570	6.04	3.94	10.56
								450	1282	13.6	8.85	2564	27.2	17.7	
								600	1710	18.1	11.82	3420	36.2	23.6	
60	2.40	450	600	6	13	16	28	100	360	3.82	2.49	720	7.64	4.96	
								450	1620	17.2	11.20	3240	34.4	22.4	
								600	2160	22.9	14.95	4320	45.8	29.9	

* Para los transportadores inclinados, se deben sumar los caballos de potencia de elevación al cabalaje de centro a centro, para obtener los caballos de potencia totales.
 † Para los caballos de potencia consumidos por las terminales, añádase 20% al transportador con centros de menos de 50 pies; 10% para transportadores con centros de 51 a 100 pies y 5% para los de 101 a 150 pies.
 * Para la potencia (Hp) consumida por la transmisión intermedia, añádase 5% por cada reducción de los cambios de velocidades.
 † Fairfield Engineering Co.
 ‡ La potencia en Hp dado para el descargador se basa en material de 50 lb/pie³ y una velocidad de la banda de 300 pies/min.

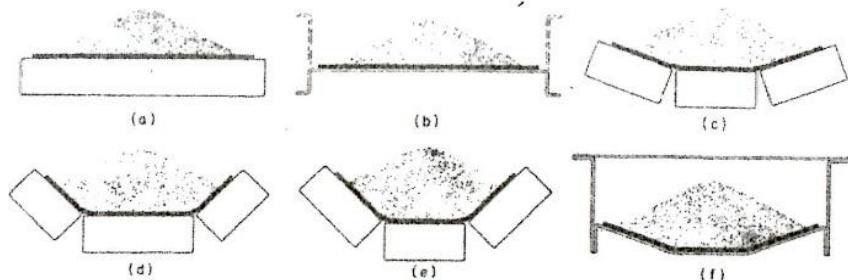


Figura 7-3. Disposiciones típicas de rodillos intermedios y soportes de placas de transportadores de banda. a) Banda plana sobre rodillos. b) Banda plana sobre placa continua. c) Banda cóncava sobre rodillos intermedios de 20 grados. d) Banda cóncava sobre soportes a 45 grados, con rodillos de longitudes desiguales. e) Banda cóncava sobre soportes a 45 grados, con rodillos de la misma longitud. f) Banda cóncava sobre placa continua (Link-Belt Co.).

encia de tal modo que los terrones caigan sobre una capa de material fino. Las partículas finas se pueden depositar primeramente sobre la banda mediante el ranurado del vertedor de alimentación o la instalación de una sección de tamiz o barras limitadoras. En la figura 7-4b se muestra un diseño de sección de carga de trabajo intenso, utilizando no sólo rodillos locos de hule sino también un cojín corto adicional para la banda. Es vital la descarga limpia para la duración de la banda. En el desplazamiento de regreso, el lado portador de la banda está en contacto con los rodillos de regreso y cualquier material que se adhiera se empotrará en ella o se depositará sobre los rodillos. Los materiales extremadamente pegajosos pueden requerir el empleo de un dispositivo de limpieza de la banda en la forma de una escobilla giratoria, raspadores de acero montados o de resortes, paletas raspadoras de hule o, a veces, un alambre tenso. Cuando se usan esos dispositivos, se debe tener cuidado de que el material no caiga sobre la banda. Consulte la subsección de Almacenamiento de sólidos a granel, que se ocupa de los criterios para el diseño de tolvas. Para los materiales que no fluyen con libertad, la combinación de un diseño correcto de descarga de tolvas y alimentación de carga, suele ser una relación crítica,

puesto que un ligero error en cualquiera de esas características pueda producir un sistema en el que el material no circulará en absoluto.

ELEVADORES DE CANGILONES

Los elevadores de cangilones son las unidades más sencillas y seguras para desplazamientos verticales de materiales. Existen en una gama amplia de capacidades y pueden funcionar totalmente al aire libre o encerrados. Existe la tendencia que favorece las unidades sumamente normalizadas; pero para materiales especiales y capacidades altas es aconsejable utilizar equipos de diseño especial. Las principales variaciones de calidad son las del espesor de los recubrimientos, el espesor de los cangilones, la calidad de la banda o la cadena y los equipos de impulsión.

Los elevadores de cangilones espaciados y descarga centrifuga (figura 7-5a) son los más comunes. Normalmente, están equipados con cangilones del tipo (1) o (2) que se muestran en la figura 7-5b. Montados sobre banda o cadena, los cubos se espacian para evitar la interferencia en la carga o la descarga. Este tipo de

elevador maneja casi todos los materiales de flujo libre, finos o de terrones pequeños, tales como granos, carbón, arena o productos químicos secos. Los cangilones se cargan parcialmente mediante el material que fluye directamente a ellos y, en parte, al recoger material de la bota, como se muestra en la figura 7-5e. Las velocidades pueden ser relativamente altas para materiales bastante tenso; pero se deben reducir considerablemente para los materiales esponjosos o polvosos, con el fin de evitar la acción de ventilador.

Los elevadores de cangilones espaciados y descarga positiva (figura 7-5b) son esencialmente iguales que las unidades de descarga centrifuga, con excepción de que los cangilones se montan en dos tramos de cadena y se inclinan hacia atrás bajo la rueda dentada principal para su inversión, con el fin de que la descarga sea positiva. Esas unidades se diseñan especialmente para materiales pegajosos o que tienen tendencia a apelmazarse y el impacto ligero de la cadena, asentada sobre la rueda dentada, en combinación con la inversión completa de los cangilones, suele ser suficiente para vaciar por completo los cubos. En casos extremos, se pueden usar golpeadores para sacudir los cangilones en el punto de descarga, con el fin de liberar los materiales pegados. La velocidad de estas unidades es relativamente baja y los cangilones tienen que ser mayores o tener un espaciamiento más estrecho para alcanzar los niveles de capacidad de los elevadores del tipo centrifugo.

Los elevadores de cangilones continuos (figura 7-5c) se usan en general para los materiales de terrones mayores o los que son demasiado difíciles de manejar con las unidades de descarga centrifuga. Los cangilones están espaciados a distancias cortas, de modo que la parte posterior del cangilón precedente sirve como vertedero de descarga para el que se vacía, al dar la vuelta sobre la polea principal. El espaciamiento estrecho de los cangilones reduce la velocidad a la que debe funcionar el elevador para mantener capacidades comparables a las del elevador de cangilones espaciados. La descarga suave evita la degradación excesiva y hace que este tipo de elevador sea eficiente para manejar materiales esponjosos o de pulverización fina. En las figuras 7-5f y g se muestran dos tipos de botas y condiciones típicas de carga.

Los elevadores de cangilones continuos de capacidad superior (figura 7-5b) se diseñan para elevaciones grandes y materiales de terrones grandes. Manejan grandes toneladas y funcionan por lo común sobre un plano inclinado, para mejorar las condiciones de carga y descarga. Las velocidades de operación son bajas y, debido a las cargas pesadas, la cadena que soporta a los cangilones va habitualmente sobre vías en las corridas de elevación y regreso.

Hay cangilones para elevadores del tipo espaciado (figura 7-5b) tanto de hierro maleable como de acero, en una gran variedad de tipos. El tipo (1) es estándar mientras que el (2) es idéntico, con la excepción de que tiene un labio reforzado. Los tipos (3) y (4) son de diseño de frente bajo para materiales húmedos, filamentosos o pegajosos, cuya descarga es difícil.

Los cangilones de tipo continuo (figura 7-5i) se montan en general con su parte posterior sobre la cadena o la banda, a intervalos breves. Por lo común se fabrican de acero. El estilo (5) es estándar para los materiales normales, mientras que el tipo (6) es de frente bajo para facilitar la descarga de los materiales difíciles. Los cangilones de tipo (7) se usan para capacidad adicional o terrones grandes y los de tipo (8) para elevadores inclinados del tipo de trituración. Los cangilones del tipo (9) se diseñan para capacidades extremadamente altas y, por lo común, se montan lateralmente y se sujetan unos a otros mediante bisagras.

La potencia requerida para los elevadores de cangilones se puede calcular con facilidad. Para cangilones espaciados y exca-

vadoras es igual a la capacidad deseada en toneladas por hora, multiplicada por la elevación en pies y dividida por 500. Para cangilones continuos con brazo de carga, se aumenta el divisor a 550. Las dos fórmulas incluyen pérdidas normales de transmisión así como también pérdidas de recolección de la carga y son aplicables para elevaciones verticales y ligeramente inclinadas. Con fines de estimación, se dan en la tabla 7-8 especificaciones generales para elevadores de cangilones correspondientes a unidades centrifugas, mientras que en la tabla 7-9 aparecen datos para elevadores continuos.

Elevadores transportadores de cangilones en V. Se utilizan todavía para manejar materiales pesados, carbón y, en diseños para servicio ligero, materiales de poco peso y flujo libre. El transportador de cangilones oscilantes es similar al de cangilones en V pero con cubos que oscilan libremente sobre ejes de soporte montados entre dos tramos de cadena de rodillos. Este tipo se puede equipar con un descargador basculante fijo o móvil, para voltear los cangilones, descargándolos. Aunque es considerablemente más costoso que el transportador de cangilones en V, elimina la abrasión creada al arrastrar material a lo largo de una artesa y funciona con mayor suavidad a potencias más bajas por toneladas para los materiales pesados.

El transportador de cadena más común es el elevador de cangilones que ya se vio, pero hay una gran variedad de transportadores especiales de cadena que se usan en forma tan poco frecuente que sólo se pueden escoger por recomendación específica de un ingeniero competente y especializado en el manejo de materiales.

Montacargas de cajón. Puesto que los montacargas de cajón funcionan sobre un principio de lotes más que continuo, no se utilizan ya tanto como en el pasado. Sin embargo, para elevaciones grandes y materiales calientes o con un contenido extremadamente grande de terrones, los montacargas de cajón son todavía dispositivos económicos y prácticos.

Se pueden diseñar para funcionar automáticamente o a partir de una estación manual de control por medio de botones. Se clasifican por lo común como sin contrapeso, con contrapeso o equilibrados. Los dos últimos sistemas reducen las necesidades de energía operacional y la unidad balanceada, con dos cangilones, puede funcionar a dos veces la capacidad de los otros. En la figura 7-6 se ilustran estos tipos así como también algunas de las trayectorias comunes que pueden seguir los montacargas de cajón. La rapidez del funcionamiento es también una base para la clasificación de montacargas de cajón, y se necesitan motores de velocidades múltiples en operaciones a alta velocidad, para hacer más lenta la velocidad de desplazamiento de los cangilones en los puntos de carga y descarga.

TRANSPORTADORES VIBRATORIOS U OSCILANTES

La mayoría de los transportadores vibratorios son esencialmente unidades de impulso direccional que consisten en una placa horizontal sobre resortes, que vibra gracias a un brazo excentrico de conexión directa, pesos excentricos giratorios, un electroimán o un cilindro neumático o hidráulico. El movimiento impartido a las partículas de material puede variar; pero su finalidad es la de impulsar el material hacia arriba y hacia adelante, de modo que se desplace a lo largo de la trayectoria del transportador en una serie de saltos cortos.

La capacidad de los transportadores vibratorios de impulso direccional se determina por la magnitud del desplazamiento de la artesa, la frecuencia de ese desplazamiento, el ángulo de impulsión, la pendiente del canal y la capacidad del material para recibir y transmitir a través de su masa, el impulso direccional de la artesa. El material mismo es el factor más importante. Para que el transporte sea adecuado, debe tener un elevado factor de fric-

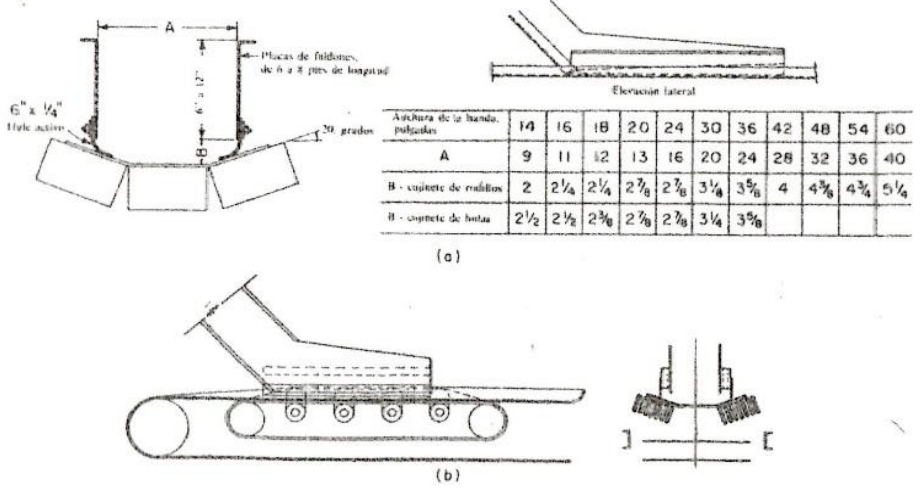


Figura 7-4. Detalles de carga de transportadores de banda. a) Diseño y dimensiones típicas de placas de delantel. b) Banda acopiada y rodillos especiales para cargas pesadas (Stephens-Adamson Mfg. Co.).

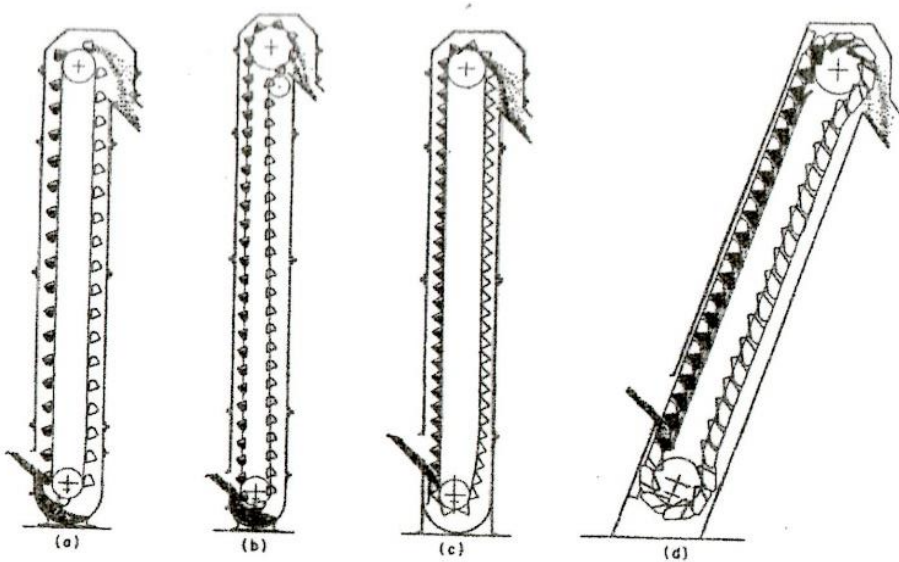


Figura 7-5. Tipos de elevadores de cangilones y detalles de los cangilones. a) Cangilones espaciados de descarga centrífuga. b) Cangilones espaciados de descarga positiva. c) Cangilones continuos. d) Cangilones continuos de capacidad superior. e) Los cangilones espaciados reciben parte de la carga directamente y parte mediante el arrastre por el fondo. f) Continuo: los cangilones se llenan al pasar por el brazo cargador, con la canaleta de alimentación sobre la rueda posterior. g) Continuo: cangilones en caja de carga sin fondo, con registro de limpieza. h) Cangilones espaciados de hierro maleable para descarga centrífuga. i) Cangilones de acero para elevadores de cangilones continuos (Stephens-Adams Mfg. Co.).

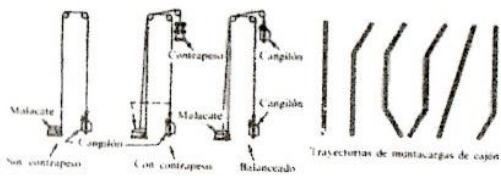


Figura 7-6. Tipos de montacargas de cajón y trayectorias (Fairfield Engineering Co.).

ción sobre el acero, así como también un elevado factor de fricción interna, para que la acción de transporte se transmita a lo largo de toda la profundidad. Así, las cargas profundas tienden a desplazarse con mayor lentitud que las ligeras. El material tiene que ser también suficientemente denso, para minimizar los efectos de la resistencia que opone el aire en su trayectoria, además no debe airearse. Las pruebas han demostrado que se manejan mejor los materiales granulares que los pulverizados y las formas planas o irregulares mejor que las esféricas.

Tabla 7-8. Especificaciones de elevadores de cangilones de descarga centrífuga con cangilones montados sobre banda o cangilones de hierro maleable o acero*

Tamaño del cangilón, pulg. †	Elevación de cangilones, pies	Capacidad, ton/h, material de un peso de 100 lb/ft ³	Tamaño de terrones manejados, pulg. ‡	Velocidad de los cangilones, pies/min	Eje principal, rpm	Hp necesarios en el eje principal §	Hp adicionales † por pie para longitudes intermedias	Espaciamiento de los cangilones, pulg.	Diámetro del eje, pulg.		Diámetro de pulos, pulg.		Anchura de la banda, pulg.
									Cabeza	Cola	Cabeza	Cola	
6 x 4 x 4 1/4	25	14	3/4	225	43	1.6	0.02	12	1 1/4	1 1/4	20	14	7
	26	14	3/4	225	43	1.6	0.02	12	1 1/4	1 1/4	20	14	7
	27	14	3/4	225	43	1.6	0.04	14	1 1/4	1 1/4	20	14	7
8 x 5 x 5 3/4	26	20	1	260	41	3.5	0.05	14	1 1/4	1 1/4	24	14	9
	27	20	1	260	41	3.5	0.05	14	1 1/4	1 1/4	24	14	9
	28	20	1	260	41	3.5	0.05	14	1 1/4	1 1/4	24	14	9
10 x 6 x 6 1/4	26	25	1 1/4	225	43	3.0	0.063	16	1 1/4	1 1/4	20	16	11
	27	25	1 1/4	225	43	3.0	0.07	16	1 1/4	1 1/4	20	16	11
	28	25	1 1/4	260	41	5.2	0.07	18	1 1/4	1 1/4	24	16	11
12 x 7 x 7 1/4	25	30	1 1/4	260	41	4.7	0.1	18	1 1/4	1 1/4	24	18	13
	26	30	1 1/4	260	41	4.7	0.1	18	1 1/4	1 1/4	24	18	13
	27	30	1 1/4	300	38	8.9	0.115	18	1 1/4	1 1/4	24	18	13
14 x 7 x 7 1/4	25	35	1 1/4	300	38	11.7	0.115	18	1 1/4	1 1/4	24	18	13
	26	100	1 1/4	300	38	7.3	0.14	18	1 1/4	1 1/4	24	18	13
	27	100	1 1/4	300	38	11.8	0.14	18	1 1/4	1 1/4	24	18	13
16 x 8 x 8 1/4	25	100	1 1/4	300	38	14.3	0.14	18	1 1/4	1 1/4	24	18	13
	26	150	2	300	38	8.5	0.165	18	1 1/4	1 1/4	24	18	13
	27	150	2	300	38	12.6	0.165	18	1 1/4	1 1/4	24	18	13

* Stephens-Adams Mfg. Co.

† Tamaño dado de cangilones: anchura x proyección x profundidad.

‡ Capacidades y potencias dadas en Hp para materiales que pesan 100 lb/ft³. Para materiales de otros pesos, la capacidad y la potencia variarán en proporción directa, por ejemplo, un elevador que maneje carbón con un peso de 50 lb/ft³ tendrá la mitad de la capacidad y requerirá aproximadamente la mitad de la potencia indicada.

§ Si el volumen de los terrones tiene un promedio menor del 15% del volumen total, se pueden manejar terrones de tamaño doble que el indicado.

Tabla 7-9. Especificaciones de elevadores de cangilones de tipo continuo sobre cadena*

Tamaño del cangilón, pulg. †	Elevación de cangilones, pies	Capacidad, ton/h, material que pesa 100 lb/ft ³	Tamaño de terrones manejados, pulg. ‡	Velocidad de los cangilones, pies/min	Eje principal, rpm	Hp necesarios en el eje principal §	Hp adicionales † por pie para longitudes intermedias	Espaciamiento de los cangilones, pulg.	Diámetro del eje, pulg.		Diámetro de pulos de cadena, pulg.	
									Cabeza	Cola	Cabeza	Cola
8 x 5 1/4 x 7 1/4	25	35	1	150	28	1.8	0.06	6	1 1/4	1 1/4	20 1/4	14
	26	35	1	150	28	3.4	0.06	6	1 1/4	1 1/4	20 1/4	14
	27	35	1	150	28	5.0	0.06	6	1 1/4	1 1/4	20 1/4	14
10 x 7 x 11 1/4	25	60	1 1/4	150	23	3.0	0.10	12	1 1/4	1 1/4	25 1/4	17 1/4
	26	60	1 1/4	150	23	5.5	0.10	12	1 1/4	1 1/4	25 1/4	17 1/4
	27	60	1 1/4	150	23	8.0	0.10	12	1 1/4	1 1/4	25 1/4	17 1/4
12 x 7 x 11 1/4	25	70	1 1/4	150	23	3.5	0.12	12	1 1/4	1 1/4	25 1/4	17 1/4
	26	70	1 1/4	150	23	6.5	0.12	12	1 1/4	1 1/4	25 1/4	17 1/4
	27	70	1 1/4	150	23	9.5	0.12	12	1 1/4	1 1/4	25 1/4	17 1/4
14 x 7 x 11 1/4	25	80	1 1/4	150	23	4.5	0.14	12	1 1/4	1 1/4	25 1/4	17 1/4
	26	80	1 1/4	150	23	7.5	0.14	12	1 1/4	1 1/4	25 1/4	17 1/4
	27	80	1 1/4	150	20	11	0.14	12	1 1/4	1 1/4	25 1/4	17 1/4
14 x 8 x 11 1/4	25	100	2	150	20	5.0	0.17	12	1 1/4	1 1/4	29	17 1/4
	26	100	2	150	20	9.3	0.17	12	1 1/4	1 1/4	29	17 1/4
	27	100	2	150	20	13.3	0.17	12	1 1/4	1 1/4	29	17 1/4
16 x 8 x 11 1/4	25	115	2	150	20	6.0	0.20	12	1 1/4	1 1/4	29	17 1/4
	26	115	2	150	20	11	0.20	12	1 1/4	1 1/4	29	17 1/4
	27	115	2	150	20	16	0.20	12	1 1/4	1 1/4	29	17 1/4
18 x 8 x 11 1/4	25	130	2	150	20	7	0.22	12	1 1/4	1 1/4	29	17 1/4
	26	130	2	150	20	13	0.22	12	1 1/4	1 1/4	29	17 1/4
	27	130	2	150	20	20	0.22	12	1 1/4	1 1/4	29	17 1/4

* Stephens-Adams Mfg. Co.

† Tamaño dado de cangilones: anchura x proyección x profundidad.

‡ Las capacidades y la potencia en Hp se dan para materiales que pesan 100 lb/ft³. Para materiales de otros pesos, las capacidades y las potencias de fuerza variarán en proporción directa. Por ejemplo, un elevador que maneje carbón de un peso de 50 lb/ft³ tendrá la mitad de la capacidad y requerirá aproximadamente la mitad de la potencia antes indicada.

§ Si el volumen de terrones es un promedio menor del 15% del volumen total, se podrán manejar terrones de un tamaño doble que el indicado.

La clasificación de los transportadores vibratorios se puede basar probablemente mejor en las características de impulsión, como se muestra en la figura 7-7. Todos los tipos transmiten vibración a sus estructuras de soporte; pero el impulsor directo o positivo es el que causa mayores dificultades y se debe montar en una pesada estructura de soporte, en el caso de que no tenga contrapeso. Los tipos de impulsión semipositiva y no positiva reducen los efectos de la vibración, porque el impulso se transmite a lo largo de toda la longitud de soporte en lugar de un punto específico. Sea cual sea el tipo de impulsión, es preciso tener cuidado para montar adecuadamente el transportador, de tal modo que no sufran daños las estructuras de soporte. La frecuencia de vibración del transportador no debe acercarse en ningún momento a la frecuencia natural de la estructura de soporte.

Se diseñan transportadores mecánicos vibratorios para funcionar en frecuencias específicas y no tienen un buen desempeño

en otras frecuencias sin modificaciones cuidadosas del diseño. Por ende, no se adaptan a los cambios frecuentes de capacidad, excepto si se hace variar la profundidad del material alimentado a la artesa. Los impulsores excéntricos positivos mantienen su frecuencia y la magnitud del golpeo sea cual sea la carga, por lo que las sobrecargas pueden provocar daños importantes en ellos. Los pesos excéntricos giratorios pueden proporcionar también la fuerza motriz y aun cuando mantiene una frecuencia constante, la magnitud del golpeo se ve afectada de manera definitiva por la carga. Los transportadores mecánicos vibratorios de impulso direccional se utilizan primordialmente para el transporte y no suelen funcionar bien como alimentadores.

Los transportadores eléctricos vibratorios se caracterizan por el hecho de que no hay contacto entre el impulsor y el medio de transporte. Funcionan según un ciclo de impulso y liberación o impulso y empuje, utilizando corriente directa y electroimanes pulsantes o una corriente alterna combinada con imanes perma-

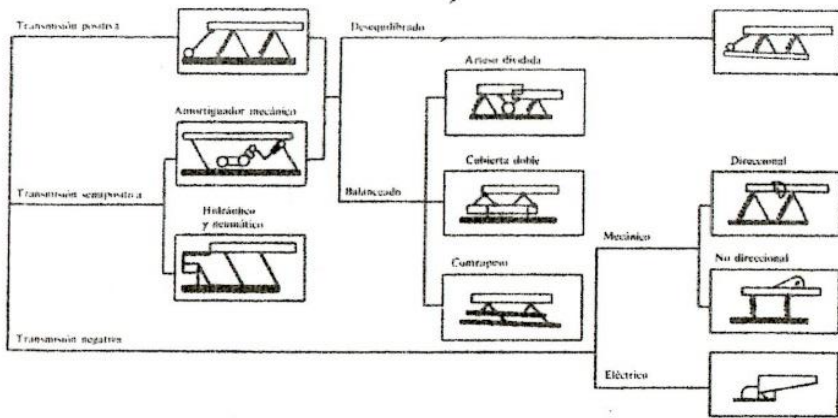


Figura 7-7. Clasificación de los transportadores vibratorios (*Modern Materials Handling*).

neros y electroimanes. Aunque se utilizan la mayoría de las unidades eléctricas vibratorias como alimentadores, funcionan también de manera adecuada como transportadores. La mayoría de esos dispositivos ofrecen la ventaja de la regulación de capacidad mediante el control de la magnitud de la corriente eléctrica por medio de reóstatos. En la figura 7-8 se dan capacidades en función del tamaño de la plataforma y el consumo de potencia.

Los transportadores neumáticos e hidráulicos vibratorios tienen como ventaja principal la eliminación de los riesgos de explosión. Donde haya aceite, agua o aire a presión, pueden ser extremadamente prácticos, puesto que su diseño de impulsión es relativamente simple y se pueden usar válvulas de control de la presión para hacer variar la capacidad, ya sea en forma manual o automática.

La capacidad de los transportadores vibratorios es extremadamente amplia y va de varios miles de toneladas a unas cuantas onzas. Puesto que hay tantas variables que afectan su capacidad de transporte, no hay ninguna fórmula simple para calcular la capacidad y la potencia. Los datos disponibles son en general el resultado de experimentos y ecuaciones empíricas, además de que la mayoría de los fabricantes proporcionan gráficas de selección para tipos específicos de transformadores y materiales. En la figura 7-8 se muestra una unidad típica sobre muelles, junto con la información gráfica que se requiere para escoger una unidad estándar. Las longitudes de los transportadores se limitan a aproximadamente 200 pies (60 metros aproximadamente) con transmisiones múltiples y cerca de 100 pies (unos 30 metros) con un impulsor simple. Hay muchas excepciones para esas limitaciones generales y no deben impedir el estudio de un problema específico cuando parezcan convenientes los transportadores vibratorios.

Las operaciones de procesamiento de muchos tipos se pueden llevar a cabo en los transportadores vibratorios, porque sus artesas simples de transporte se pueden modificar con mucha facilidad. Puesto que las artesas de tubo y de plataforma plana son las más comunes, es posible obtenerlas en una gran variedad de formas y de muchos materiales. Aun cuando la acción de transporte suele ser tan suave que no se presentan problemas de abrasión, esos problemas se pueden resolver con facilidad, cuando existen, mediante la utilización de recubrimientos o materiales especiales. Las artesas se pueden sellar con facilidad para evitar la contaminación o para el funcionamiento con presiones positivas o negativas. Con tamices o placas de cubierta perforadas, los transportadores vibratorios pueden efectuar ope-

raciones de deshidratación, tamizado, separación o desecación. También se pueden manejar operaciones de calentamiento y enfriamiento, mediante la utilización de flujos de aire soplado sobre el material o a través de él, tableros infrarrojos, tableros de calentamiento por resistencia o contacto con recubrimientos de artesa calentados o enfriados con aire o agua. Existen diseños especiales de transportadores vibratorios para la elevación en pendientes relativamente pronunciadas o por artesas en espiral. Probablemente no haya ningún otro transportador que se adapte con tanta facilidad a la resolución de los problemas de procesamiento.

TRANSPORTADORES DE FLUJO CONTINUO

El principio del transportador de flujo continuo es el de que, cuando se arrastra transversalmente a través de una superficie una masa de material granular, en polvo o con terrones pequeños, la cantidad de material que se lleva en la sección transversal, es mayor que la que se lleva en la superficie misma. La acción de transporte de varios diseños de transportadores de flujo continuo varía con el tipo de tramos de transporte; pero teóricamente no es comparable a la acción en un transportador de banda articulada o arrastre. Los tramos varían de las superficies sólidas a los diseños de esqueleto, como se muestra en la figura 7-9.

El transportador de flujo continuo es una unidad totalmente encerrada que tiene una capacidad relativamente alta por unidad de área de sección transversal y puede seguir una trayectoria irregular en un plano simple. Esas características lo hacen extremadamente versátil. En la figura 7-10 se muestran algunas aplicaciones posibles y algunas disposiciones típicas de esos transportadores. Se incluye un ejemplo de la unidad como dispositivo de deshidratación (figura 7-10c).

Esos transportadores utilizan un elemento de transporte sostenido por medio de cadena (algunos se vacían íntegramente con la cadena, diseñada con juntas removibles que se puedan desmontar con facilidad). Así, el elemento de conexión corre a lo largo de la parte exterior de la caja, por lo que las secciones delantera y trasera no se hacen excesivamente grandes debido a los elementos de proyección de transporte. Esto quiere decir que el material que se alimenta al transportador debe caer más allá del elemento de cadena y desplazarse en dirección inversa, antes de pasar al brazo real de transporte (véase la figura 7-10a). Puesto que esto

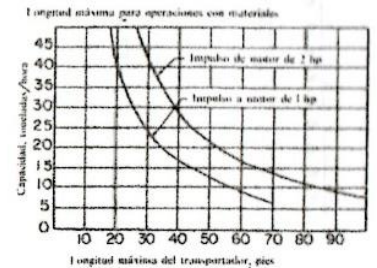
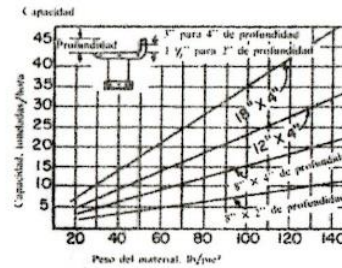
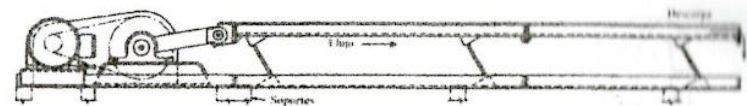


Figura 7-8. Transportador oscilante mecánico normalizado de muelles, con gráficas de selección (*Link-Belt Co.*).

afecta al tamaño de terrones que puede manejar adecuadamente el transportador, a veces se usa el diseño de lazo (figura 7-10c) para mejorar las condiciones de alimentación o se proporcionan corridas separadas de transporte y regreso con vertederos de carga inclinados para la corrida más baja de transporte. De todos modos, las características abrasivas y de tamaño de los terrones que tiene el material son consideraciones importantes para la selección de los transportadores de flujo continuo.

El transportador de flujo continuo de impulso lateral puede seguir una gran variedad de trayectorias en un plano horizontal, recogiendo y descargando material en muchos puntos diferentes. La figura 7-9c es una ilustración detallada de un tipo de elemento de transporte, mientras que la figura 7-10d muestra una disposición típica con vueltas de 180 grados. También existen disposiciones triangulares y rectangulares, con esquinas a 90 grados.

La capacidad del transportador de flujo continuo depende del diseño que se utilice. Las velocidades limitantes están sujetas a controversias considerables. Es aconsejable seguir las recomendaciones del fabricante muy de cerca para obtener un mejor servicio con estos tipos de transportadores. Los cálculos de la po-

tencia dependen de cierto número de constantes determinadas experimentalmente, que varían para los distintos diseños de transportadores. Uno de los factores que contribuyen a los requisitos totales de potencia es la energía que se requiere en las esquinas curvas, donde los tramos toman una posición radial y tienden a comprimir el material que se alimenta entre ellos, cuando corren en posiciones paralelas. Los materiales no compresibles pueden necesitar condiciones de alimentación y espacios libres. Así pues, aunque los componentes de los transportadores se han normalizado de manera adecuada, muchos materiales no se desplazarán bien a menos que se realicen modificaciones especiales de diseño.

Debido a la fabricación necesaria de los alojamientos y el ajuste preciso de los elementos de transporte en su interior, los transportadores de flujo continuo suelen ser unidades costosas; sin embargo, ocupan poco espacio, necesitan poco soporte porque la caja forma una armazón rígida, pueden desplazarse en varias direcciones con un impulso simple, se autoalimentan y pueden descargarse en varios puntos diferentes. Estos factores pueden compensar con frecuencia lo que parece a veces un costo sumamente alto por metro. Puesto que es adaptable a muchas

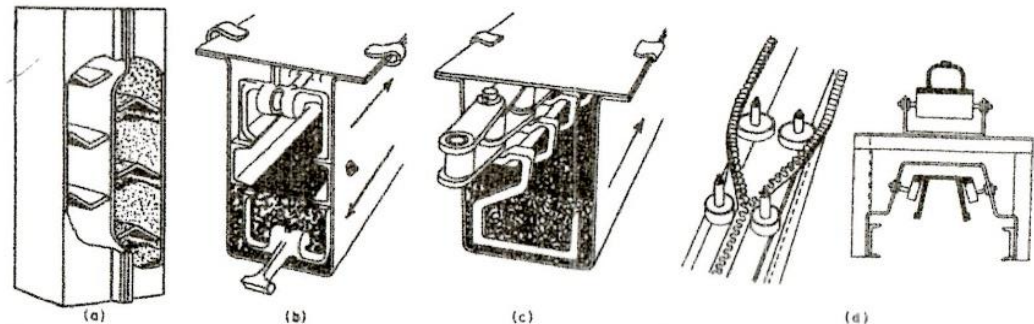


Figura 7-9. Paletas abiertas y cerradas para transportadores de flujo continuo. (a) y (b) Transportadores elevadores. (c) Transportador horizontal con cadena lateral de tracción. (d) Detalle de transportador de banda cerrada; los roscas de abertura y cierre engranadas desengranan los flujos como en los cierres de cremallera de la ropa. (*Link-Belt Co., Stephens-Adamson Mfg. Co.*)

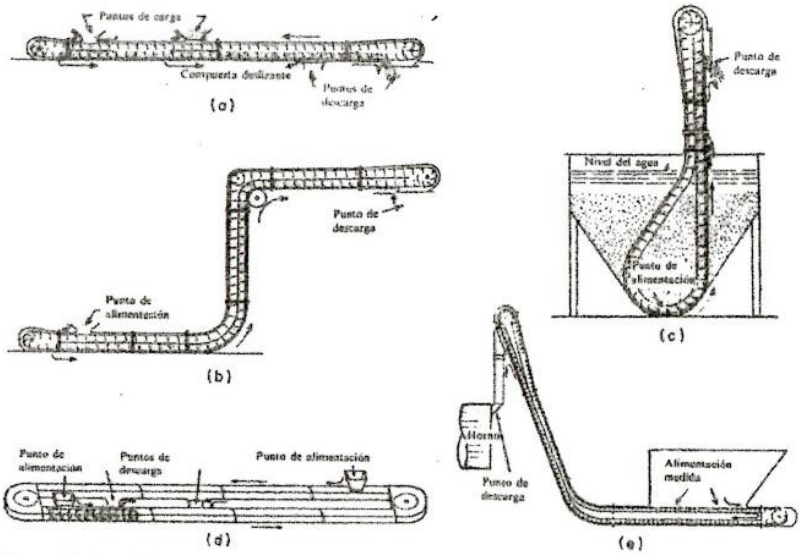


Figura 7-10. Disposiciones y aplicaciones típicas para transportadores de flujo continuo. a) Transportador horizontal. b) Transportador elevador del tipo Z. c) Elevador de espira de alimentación que se utiliza para la deshidratación. d) Transportador recirculador horizontal de tracción lateral. e) Transportador elevador horizontal inclinado (Stephens-Adamsom Mfg. Co.).

operaciones de procesamiento, el transportador de flujo continuo se utiliza mucho en la industria química, donde se efectúan muchos procesamientos o se requieren muchos puntos de alimentación y descarga. Los transportadores se pueden diseñar para que se limpien ellos mismos, con el fin de permitir el manejo de materiales diferentes en la misma unidad, sin contaminación.

Transportador de banda cerrada. Este dispositivo, con cremallera cuyos dientes se engranan para formar un tubo cerrado, es particularmente adaptable para el problema de manejo de materiales frágiles que no pueden sufrir degradaciones. Puesto que la banda envuelve firmemente al material, este último se desplaza con ella y no se ve sujeto a ninguna forma de movimiento interno, excepto en los puntos de alimentación y descarga. Además, la banda puede funcionar en muchos planos, con torsiones y vueltas para afrontar casi cualquier condición de disposición dentro de los límites fijos de curvatura de la banda cargada. Puede transportar y elevar con una sola propulsión y es fácil disponer puntos múltiples de alimentación y descarga.

El transportador de banda cerrada no se adapta con facilidad al manejo de materiales pegajosos y se pueden adquirir diseños especiales para materiales muy pegajosos a la aireación. El costo inicial por metro es relativamente alto, debido al costo de la banda; pero las necesidades de potencia son bajas y, cuando la instalación y el mantenimiento son adecuados, la duración de la banda es muy buena.

Este tipo de transportador existe sólo en un tamaño estándar, por lo que su capacidad se determina por la velocidad de la banda y el área fija de sección transversal. La capacidad en toneladas por hora se calcula al multiplicar el peso en libras por pie cúbico por la velocidad en pies por minuto y una constante de 0.0021. Las necesidades de potencia son muy bajas y se calculan en la misma forma que para los transportadores de banda ordinarios.

En la figura 7-9d se ilustra un detalle del mecanismo de abertura y cierre de un transportador típico de banda cerrada, así como también una sección de corte transversal a través de una

corrida horizontal de transporte y regreso. Se han desarrollado diseños que utilizan dos bandas de transportador ordinario para elevar materiales, mediante la compresión entre ellas; pero su aplicación es muy limitada.

Transportadores de paletas. Estos dispositivos existen en una variedad casi infinita. La mayoría de las aplicaciones de los transportadores de banda articulada son diseños abiertos para operaciones de transporte en bruto; pero algunos se construyen con cajas totalmente cerradas. En la tabla 7-10 se da información sobre la capacidad y el diseño típico.

Los transportadores de mandil son probablemente los más comunes dentro de los transportadores de cadena. Existen en una gran variedad de diseños para desplazamientos tanto horizontales como inclinados. Su aplicación primordial es para la alimentación de materiales a índices controlados, con tamaños de terrones que son suficientemente grandes para minimizar el goteo. El diseño típico es una serie de plataformas montadas entre dos tramos de cadena de rodillos, con placas sobrepuestas para eliminar el goteo y equipados con frecuencia con placas en los extremos para cargas mas profundas. El diseño de las plataformas puede variar según las necesidades de manejo de materiales. En la figura 7-11 se ilustra un diseño típico de transportador de mandil y en la tabla 7-11 se dan capacidades para unidades con y sin faldones. Las aplicaciones de alimentadores de mandil van de las de servicio muy ligero, con placas de acero de calibre pequeño hasta las aplicaciones de servicio extremadamente intenso, que necesitan placas reforzadas, de acero al manganeso con soportes centrales.

TRANSPORTADORES NEUMÁTICOS

Una de las técnicas más importantes de manejo de materiales en la industria química es el desplazamiento de materiales suspendidos en una corriente de aire, sobre distancias horizontales y verticales que van de unos pocos pies a varios centenares. Se pueden manejar materiales que van de polvos finos hasta pldoras de 1/4 de pulg y densidades de masa de 1 a más de 200 lb/pe³. Una

Tabla 7-10. Capacidades de transportadoras de paletas*

Basado en materiales que pesan 50 lb/pe³; velocidad de 100 pies/min.

Transportador de paletas de tramo simple

Longitud, tamaño de paletas, pulg	Tamaño máximo de terrones, pulg		Capacidad, ton/h			Con paletas de acero con zapatas o rodillos		
	Toda	10% de terrones	Capacidad, ton/h			Capacidad, ton/h		
			Espacio de paletas, pulg			Espacio de paletas, pulg		
10 x 4	1 1/2	3	18	24	36	12 x 3	14	34
12 x 4	1 1/2	3	32	25	16	15 x 3	24	42
15 x 4	2	3 1/4	46	35	23	18 x 3	24	58
15 x 5	2	4	66	50	33	18 x 4	3	93

Transportador de paletas de tramo doble

Tamaño de paletas, longitud x profundidad, pulg	Tamaño máximo de terrones, pulg		Capacidad, ton/h			Con paletas de acero sobre cadena		
	Toda	10% de terrones	Capacidad, ton/h			Capacidad, ton/h		
			Espacio de paletas, pulg			Espacio de paletas, pulg		
15 x 6	3 1/4	7	87	67	44	12 x 5	3	56
16 x 8	4	8	110	82	53	15 x 6	3	76
18 x 8	5	9	124	93	62	18 x 7	4	96
20 x 10	6	10	...	141	94	24 x 8	8	124
24 x 10	8	12	...	176	116	...	...	...
30 x 10	10	14	...	...	250	...	...	...

* Fairfield Engineering Co.

† Las capacidades dadas son para transportadores horizontales. Para transportadores inclinados, multiplíquense las capacidades dadas por 80% para pendientes de 15 grados, 55% para 30 grados y 33% para 45 grados.

Tabla 7-11. Capacidades de transportadores de banda articulada*

Capacidades sin faldones

Profundidad de material de 4 pulg sobre aristas

Anchura real de la esp. portadora, pulg	50 pies/min						100 pies/min		
	Ton/h						Ton/h		
	Pies/h	Material, 50 lb/pe ³	Material, 100 pies/min	Pies/hr	Material, 50 lb/pe ³	Material, 100 lb/pe ³	Material, 100 lb/pe ³	Material, 100 lb/pe ³	Material, 100 lb/pe ³
18	1125	28	56	2250	56	112	112	112	
24	1590	37.5	75	3000	75	150	150	150	
30	1875	47	94	3750	94	188	188	188	
36	2250	56.5	113	4500	113	226	226	226	
42	2625	65.5	131	5250	131	262	262	262	
48	3000	75	150	6000	150	300	300	300	
54	3375	84.5	169	6750	169	338	338	338	
60	3750	94	188	7500	188	376	376	376	

Capacidades con faldones

Material de 30 lb/pe a una velocidad de 10 pies/min

Anchura de arista, pulg	Anchura entre aristas, pulg	Tamaño máximo de terrones, pulg	Capacidades basadas en el que de placas de faldones, ton/h											
			Profundidad del material en las aristas, pulg											
			Clasif. por tamaño	No clasif. (por tamaño)	4	5	6	8	10	12	15	18	21	24
18	16	3	6	2.0	6.2	7.5	10.0	12.5	15.0	18.8	22.5	26.3	30.0	
24	22	4	8	4.9	8.6	10.3	13.7	17.2	20.6	25.6	31.0	36.1	41.2	
30	28	6	12	8.8	10.9	13.1	17.5	21.8	26.2	32.7	39.3	45.9	52.5	
36	34	8	16	10.7	13.3	16.0	21.3	27.6	32.0	40.0	48.0	56.0	64.0	
42	40	10	20	12.5	15.6	18.8	25.0	31.0	37.5	46.9	56.3	65.7	75.0	
48	46	12	24	14.4	18.0	21.6	28.8	36.0	43.2	54.0	64.8	75.6	86.3	

Las capacidades anteriores se basan en la suposición de que el transportador se carga al 75% de su sección transversal máxima. Para otras anchuras de superficies portadoras, alteras de los lados, velocidades y pesos del material, las capacidades se deben calcular en proporción directa a las condiciones variables. Las velocidades de alimentadores de banda articulada reticulada suelen ser de 10 a 30 pies/min y las de los transportadores de banda articulada, de 30 a 75 pies/min. * Fairfield Engineering Co. † No debe sobrepasar el 10% del total.

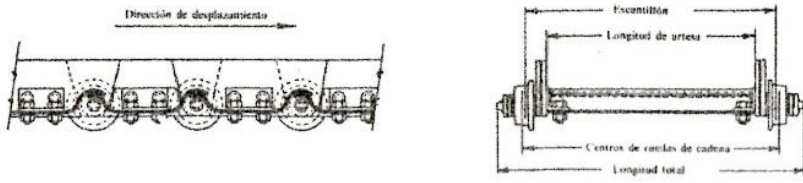


Figura 7-11. Transportadores de banda articulada (Fairfield Engineering Co.).

Tabla 7-12. Costos aproximados de los transportadores neumáticos*
 Productos: píldoras de plástico, cubos de 1/2 pulg. Densidad de masa: 30 lb/pie³
 Longitud equivalente del sistema: 600 pies

Índice de flujo, lb/h	D.I. de la tubería del transportador, pulg.	Hp requeridos	Gama de inversiones	
			Manual	Automáticos
10 000	4	25	\$11 000	\$20 000
25 000	6	50	22 000	33 000
50 000	8	135	38 000	49 000
100 000	8	290	77 000	86 000

* Por cortesía de la Whitlock, Inc.
 † Costos de 1971. El equipo incluye empujador de motor y ventilador, receptores ciclónicos, conexiones de descarga y vagones de ferrocarril, entrelazamientos de nivel elevado para detener la combinación de motor y ventilador cuando los silos llegan al nivel de llenado máximo, así como todas las tuberías necesarias. La instalación no se incluye.
 ‡ El sistema incluye un conjunto mínimo de controles, con la mayor parte de las operaciones reguladas en forma manual, incluyendo los cambios de las líneas de alimentación a los silos de almacenamiento.
 § El sistema incluye la realización automática de la mayoría de las operaciones; los cambios de líneas de alimentación a los silos se realizan mediante válvulas distribuidoras, manejadas automáticamente por controles de nivel en los silos.

industria de fabricación grande y competente proporciona sistemas completos, así como también componentes que pueden incluir los usuarios en sus propios diseños. Hay mucha información de ingeniería sobre esta misma industria en la forma de folletos, hojas de datos y nomogramas.

La capacidad de un sistema neumático de transporte depende de 1) la densidad de masa del producto (así como también, hasta cierto punto, la forma y el tamaño de las partículas), 2) el contenido de energía del aire de transporte a lo largo de todo el sistema, 3) el diámetro de la línea de transporte y 4) la longitud equivalente de la línea de transporte.

Se logra una capacidad mínima cuando la energía del aire de transporte es apenas suficiente para hacer que el producto se desplace a lo largo de la línea sin detenerse. Para evitar las detenciones, es conveniente proporcionar un incremento adicional de energía al aire, con el fin de que exista un factor de seguridad que permita cambios mínimos en las características de los productos. Un sistema óptimo es el que permite recuperar, mediante economías operacionales, todas las características de diseño por encima del mínimo requerido, dentro de los criterios de recuperación de inversión que establece el propietario.

Mientras que los ingenieros experimentados en procesos pueden realizar diseños adecuados y económicos del sistema, la disponibilidad de ayuda técnica competente de parte de los abastecedores de equipos ha hecho que se establezca una tendencia creciente a adquirir sistemas completos, incluso en trabajos pequeños en lugar de realizar montajes con componentes de diseños internos. En la tabla 7-12 se presenta una idea del cambio de inversión del capital para sistemas típicos de transportadores neumáticos en función de los índices de incremento de transferencia.

Las instalaciones de transportadores pueden ser permanentes o una combinación de permanentes y portátiles. El último tipo se monta con frecuencia en un vehículo de entrega a granel, que permite la descarga rápida al silo del cliente por parte del transportista, sin esfuerzo ni equipos del cliente. Los controles van de motores de arranque simples y mangueras conectadas a mano a sistemas de control electroneumático, elaborados y dirigidos mediante tarjetas perforadas.

Tipos de sistemas. En general, los transportadores neumáticos se clasifican según cinco tipos básicos: de presión, de vacío, de combinación de presión y vacío, de fluidización y de tanque ventilador.

En los sistemas de presión (figura 7-12a) se deja caer el material en una corriente de aire por encima de la presión atmosférica mediante un alimentador giratorio de esclusas. La velocidad de la corriente mantiene al material a granel en suspensión hasta

que llega al recipiente receptor, donde se separa del aire mediante un filtro o un separador de ciclón.

Se usan sistemas de presión para materiales de flujo libre de casi todos los tamaños de partículas, hasta las píldoras de 1/4 de pulg. cuando se necesitan índices de flujo de más de 20 000 lb/hora y cuando las pérdidas de presión en el sistema sean de aproximadamente 12 pulg de Hg. Esos sistemas son convenientes donde se deba aplicar una fuente a varios receptores. El aire de transporte se proporciona por lo común mediante ventiladores de desplazamiento positivo.

Los sistemas de vacío (figura 7-12b) se caracterizan por el desplazamiento de materiales en una corriente de aire de presión menor que la ambiental. Las ventajas de este tipo son las de que toda la energía de bombeo se usa para mover el producto y se puede absorber material en la línea del transportador sin necesidad de un alimentador giratorio o un sello similar entre el recipiente de almacenamiento y el transportador. El material permanece suspendido en la corriente de aire hasta que llega a un receptor. Ahí, un filtro o un separador de ciclón (figura 7-12c) separa al material del aire, haciendo pasar este último por el separador y al lado de la succión del ventilador de desplazamiento positivo o alguna otra fuente de potencia.

Los sistemas al vacío se suelen usar cuando los flujos no sobrepasan 15 000 lb/h, la longitud equivalente del transportador es de menos de 1 000 pies (unos 300 metros) y se deben alimentar varios puntos distintos desde una sola fuente. Se usan mucho para materiales divididos finamente. Tienen un interés especial los sistemas al vacío diseñados para flujos menores de 1 000 lb/h, que se utilizan para transferir materiales a distancias cortas a partir de depósitos o tolvas de almacenamiento a granel hasta unidades de elaboración. Este tipo de transportador tiene aplicaciones amplias en los materiales plásticos y otras operaciones de flexibilidad al escoger dispositivos de recolección, fuentes de potencia y receptores. Las inversiones de capital se pueden mantener bajas, con frecuencia en la gama de 1 000 a 3 000 dólares.

Los sistemas de presión-vacío (figura 7-12c) combinan lo mejor de los métodos de presión y vacío. Se usa el vacío para inducir al material a entrar al transportador y desplazarse a una corta distancia hasta un separador. El aire pasa por un filtro al lado de succión de un ventilador de desplazamiento positivo. A continuación, se alimenta el material a la corriente de aire de presión positiva del transportador mediante un alimentador giratorio, que procede del lado de descarga del ventilador. La aplicación puede ser muy flexible y va de una estación central de control, con todas las actividades de interconexión controladas y secuenciadas eléctricamente, a otra en la que las actividades se manejan mediante el cambio manual de las conexiones del transportador. La aplicación más típica es la del vehículo combinado a granel con descarga y transferencia al almacén de productos (figura 7-12d).

Los sistemas de fluidización transportan con frecuencia materiales que no fluyen con libertad, prefluidizados y divididos finalmente, a distancias cortas, como por ejemplo, desde las tolvas de almacenamiento o vehículos de transporte a la entrada de un sistema principal de transporte. Una de las ventajas más importantes en las aplicaciones de tolvas de almacenamiento es que el fondo de las tolvas puede ser casi horizontal. La fluidización se logra por medio de una cámara en la que se hace pasar aire por una membrana porosa que se forma en el fondo del transportador, sobre el que reposa el material desplazado. Conforme pasa aire por la membrana, cada partícula se ve rodeada por una película de aire (figura 7-12e). En el punto de fluidización incipiente, el material toma las características del flujo libre. A continuación, puede pasar a una corriente de aire del transportador mediante un alimentador giratorio.

La prefluidización tiene la ventaja de reducir el volumen del aire de transporte que se necesita; en consecuencia, se requiere

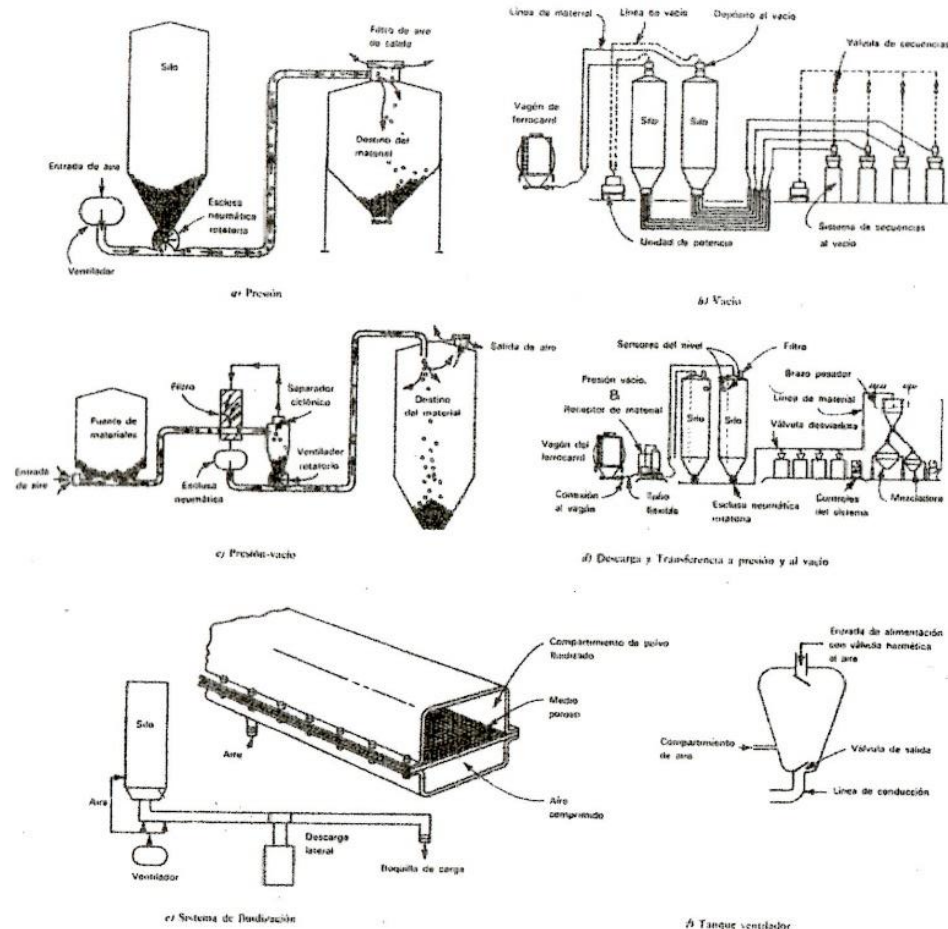


Figura 7-12. Tipos de sistemas de transporte de aire. a) Presión. b) Vacío. c) Presión y vacío. d) Descarga y transferencia a presión y vacío (Whitlock, Inc.). e) Sistema de fluidización (Fuller Co.). f) Tanque ventilador.

Tabla 7-13. Velocidades del aire que se requieren para transportar sólidos de varias densidades de masa*

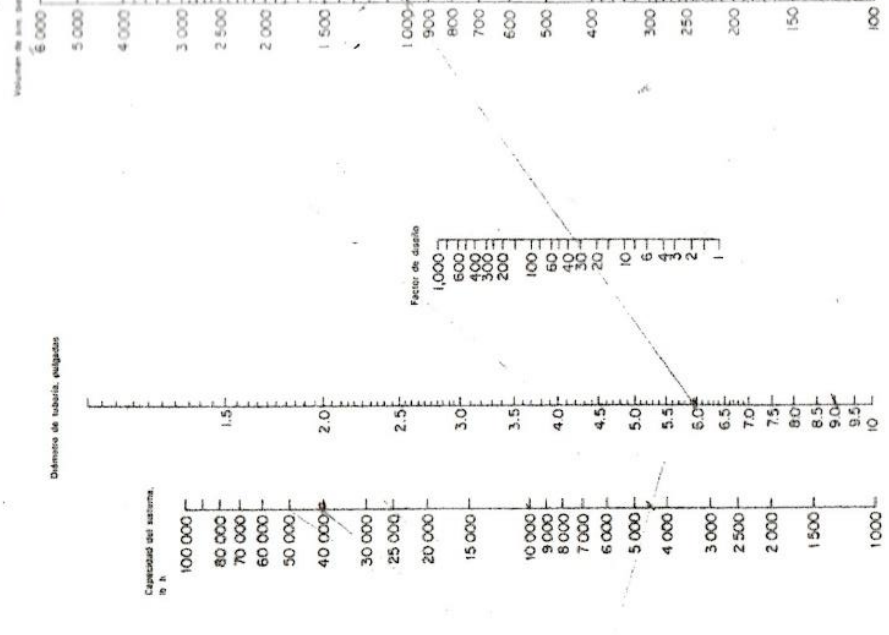
Densidad de masa, lb/pie ³	Velocidad del aire, pies/min	Densidad de masa, lb/pie ³	Velocidad del aire, pies/min
10	2 900	70	7 700
15	3 590	75	8 000
20	4 120	80	8 250
25	4 600	85	8 500
30	5 050	90	8 700
35	5 500	95	9 000
40	5 840	100	9 300
45	6 175	105	9 450
50	6 500	110	9 700
55	6 800	115	9 900
60	7 150	120	10 500
65	7 450		

* Por cortesía de Flotronics, Allien Industries, Inc.

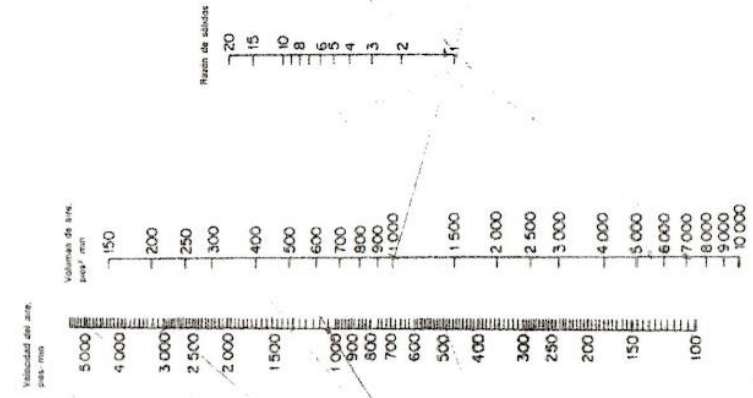
menos potencia. Las características del resto de este sistema son similares a las de los transportadores comunes del tipo de presión o el de vacío. Tiene un interés especial la tendencia del material a adherirse y acumularse en la superficie de los componentes del sistema. La aplicación más común de este tipo de transportador es en los conocidos vagones tolva cubiertos "Airslide" de los ferrocarriles.

Una de las primeras aplicaciones del transporte neumático fue el tanque ventilador. En la actualidad se usa poco y funciona mediante la introducción de aire a presión a la parte superior de un recipiente a presión que contiene carga de material. Si el material es de flujo libre, fluirá a través de una válvula al fondo de la cámara y se desplazará por una línea corta de transporte, que se limita por lo común a un máximo de 25 pies, dependiendo del producto. Al utilizar este sistema, las elevaciones de la presión del aire resultan problemáticas ya sean provocadas por el vaciado del tanque o por el aire que se abre paso a través del producto.

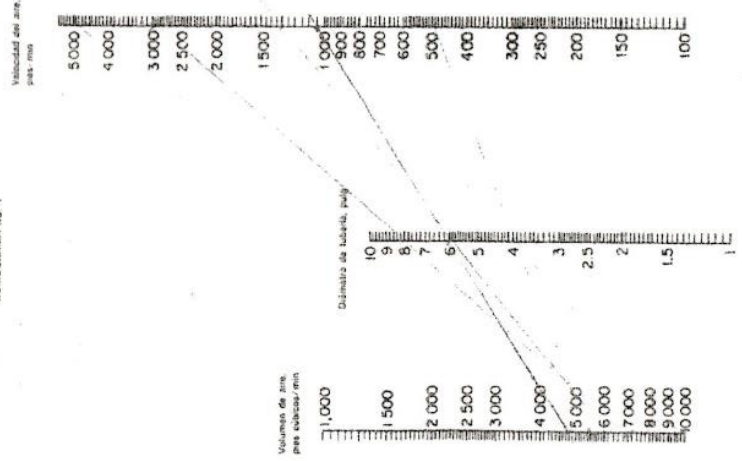
NOMOGRAMA NO. 3



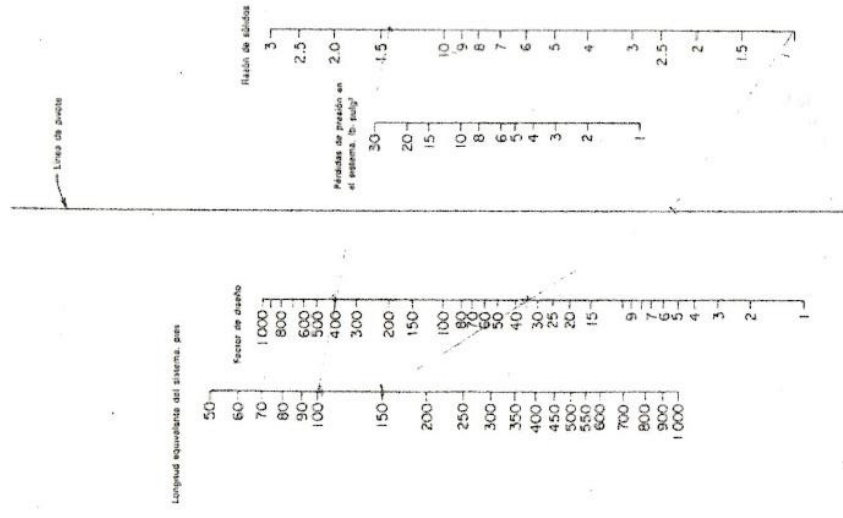
NOMOGRAMA NO. 2



NOMOGRAMA NO. 1



NOMOGRAMA NO. 4



NOMOGRAMA NO. 5

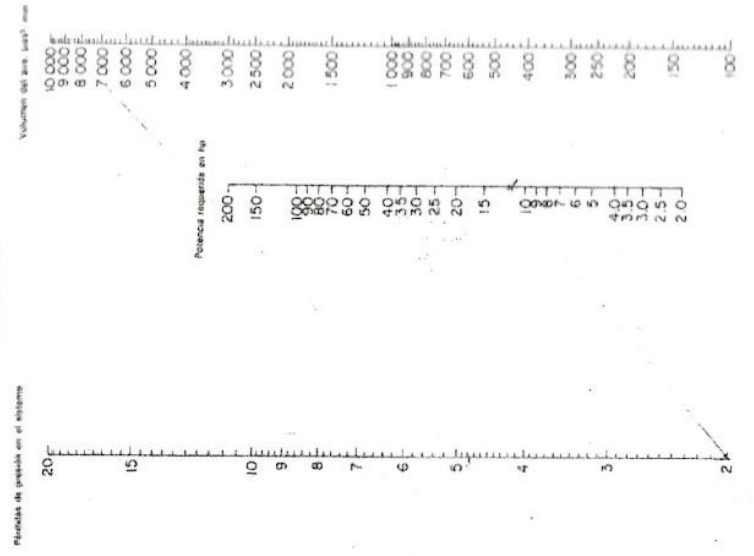


Figure 7-13. Nomogramas para calcular el tamaño y la potencia requerida de los transportadores neumáticos.

El principio de tanque ventilador se puede utilizar para alimentar transportadores neumáticos regulares. El uso de un "Airsift" u otro dispositivo de fluidización al fondo del tanque ventilador permite el manejo de materiales que no tienen flujo libre. Este principio se usa ampliamente en las válvulas de las máquinas de llenado de bolsas del tipo de fluidización y presión.

Nomogramas para el diseño preliminar. En la figura 7-13 se da un conjunto útil de nomogramas* para determinar parámetros de diseño de transportadores. Con estas gráficas, se pueden obtener aproximaciones conservadoras de potencia y tamaño de transportadores para densidades dadas del producto a granel, longitudes equivalentes del transportador y capacidades necesarias. Puesto que los transportadores neumáticos y sus componentes están sujetos a mejoramientos constantes por el cambio rápido, de la industria abastecedora, se debe invitar a los fabricantes a que presenten diseños alternativos a los que resultan de la utilización del nomograma. Algunos grandes usuarios de transportadores neumáticos han descubierto que es conveniente escribir programas de computación para calcular los parámetros del sistema.

Para iniciar los cálculos preliminares, se determina primeramente la longitud equivalente del sistema en cuestión. Esta longitud es la suma de la distancia vertical y la horizontal, más un margen para los accesorios de tuberías que se utilizan. Los accesorios más comunes de este tipo son las tuberías de codos de 90 grados de radio largo (longitud equivalente = 25 pies) y los codos de 45 grados (longitud equivalente = 15 pies).

La segunda etapa consiste en escoger de la tabla 7-13 una velocidad ini-

cial del aire que desplace el producto. A continuación, se indica un procedimiento iterativo, tomando un diámetro supuesto de tubería para la capacidad necesaria del sistema.

En lo referente al nomograma 1, se traza una recta entre la escala de velocidad del aire y la de diámetro de la tubería, de modo que cuando la línea se extiende interseca a la escala de volumen de aire en un punto dado.

A continuación se pasa al nomograma 2 y en sus escalas respectivas se ubica el volumen de aire y la capacidad calculada del sistema. Una línea recta entre esos dos puntos interseca a la escala de razón, proporcionando —en el punto de intersección— el valor de la razón de sólidos. Si ésta última sobrepasa el valor de 15, se deberá adoptar en los cálculos un tamaño mayor de la línea.

En el nomograma 3, localícese el diámetro de la tubería y el volumen de aire determinado en el nomograma 1. Una línea entre esos dos puntos y el factor de diseño o P/100 (caída de presión por 100 pies) en la intersección de la escala central.

Después de localizar en sus escalas respectivas en el nomograma 4 el factor de diseño (del nomograma 3) y la longitud equivalente calculada, se traza una línea recta extendida hasta intersectar a la línea de pivote en el centro. A continuación, se conecta este punto en la línea de pivote con la escala de razón de sólidos (del nomograma 2) y se lee la pérdida de presión del sistema.

Si el valor de esta pérdida sobrepasa 10 lb/pulg², utilícese un diámetro mayor de tubería y repítense todas las etapas, a partir del nomograma 1. Después de que se descubre una caída de presión de 10 lb/pulg² o menor se vuelve al nomograma 5 y se localiza esta pérdida de presión, así como también el volumen correspondiente de aire (del nomograma 2) y se traza una línea recta entre los dos puntos. La intersección de la escala de potencia requerida proporcionará el valor de la potencia que se necesita. A partir de esto, será posible estimar aproximadamente el costo del sistema mediante la tabla 7-12.

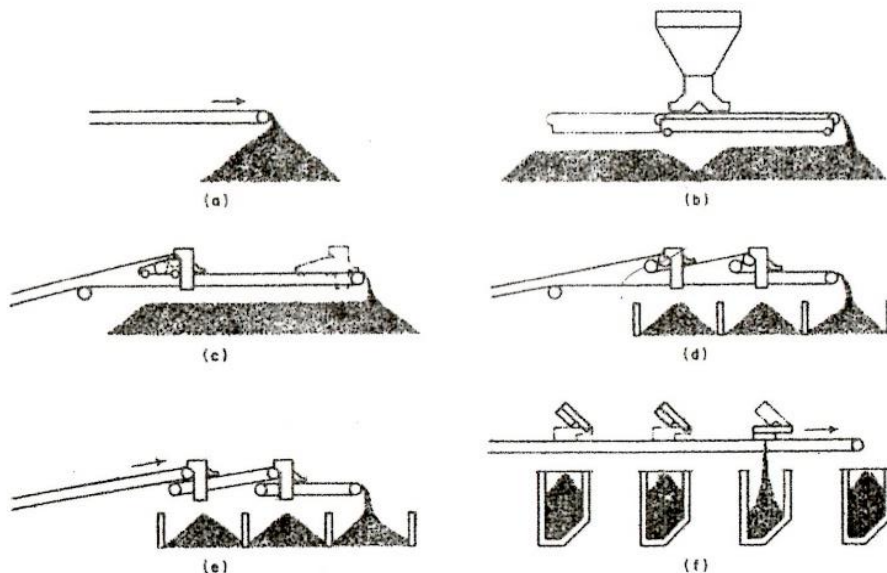


Figura 7-14. Disposiciones de descarga de transportadores de banda. a) La descarga sobre la polea final forma un montón cónico al extremo de la banda. b) Descarga sobre polea final para la distribución longitudinal mediante un transportador corto reversible. c) Descarga por medio de un basculador deslizante, con o sin transportador transversal, para distribuir materiales a uno o los dos lados del transportador a todo lo largo del recorrido del basculador. Los basculadores se pueden impulsar mediante una banda de transportador o un motor separado. Los basculadores impulsados a motor se pueden invertir también en forma automática, para distribuir materiales uniformemente o se pueden controlar manualmente para efectuar la descarga en cualquier punto que se desee. d) Descarga mediante basculadores fijos, con o sin transportador transversal a uno o los dos lados de la banda, a aberturas fijas de tolvas o montones en lugares escogidos. También se puede hacer con transportadores múltiples, como se muestra en e) o mediante la detención de basculadores deslizantes en las posiciones deseadas. e) Descarga de transportadores múltiples por vertederos fijos de descarga, con o sin transportador transversal a uno o los dos lados de la banda, a aberturas fijas de tolvas o ubicaciones de montones. f) Descarga mediante rejillas con bisagras a uno o dos lugares fijos a lo largo de uno o los dos lados del transportador. Las rejillas se pueden ajustar para dividir la descarga entre varios lugares, en forma simultánea en las posiciones deseadas (Link-Belt Co.).

ALMACENAMIENTO Y PESADO DE SÓLIDOS A GRANEL

ALMACENAMIENTO EN PILA O MONTÓN

Disposiciones de descarga. El almacenamiento en patios se maneja probablemente mejor mediante transportadores de banda, cuando los tonelajes son grandes. En la figura 7-14 se muestran algunas de las muchas disposiciones de descarga posibles para descargadores basculantes simples, múltiples o móviles, a partir de transportadores de banda. También se muestra una disposición de reja inclinada para la descarga de bandas planas. La mayoría de estos métodos de descarga se pueden aplicar también al almacenamiento interno. También se puede usar grandes apiladores deslizantes para el almacenamiento al aire libre. Se pueden desplazar a lo largo de un tramo de banda, formando un montón en uno o los dos lados de ésta última o pivotar sobre un eje fijo para formar una pila circular.

Recuperación. Con frecuencia se utilizan bandas de túneles subterráneos alimentadas por medio de compuertas especiales (figura 7-15) para recuperar los materiales, como en el caso de los equipos de palas móviles. También se usan raspadores de arrastre de cable para las zonas de almacenamiento externo de gran magnitud y, a veces, en el almacenamiento interno, cuando se usan grandes zonas planas. Un sistema de arrastre puede seguir a una línea simple de cable fijo o se pueden proporcionar postes de apoyo para permitir la reubicación de la línea del cable, con el fin de cubrir casi cualquier forma del espacio de almacenamiento.

Uno de los desarrollos más recientes para el manejo de grandes tonelajes de materiales a granel en almacenamiento es el recuperador de rueda de cangilones, que consiste en una serie de

tubos situados sobre la periferia de una rueda grande impulsada por una unidad propulsora fija. Los cangilones se vacían sobre un transportador de recuperación —por lo común del tipo de banda— que toma el producto y lo lleva a otros puntos de elaboración o manejo. Los recuperadores de rueda de cangilones han sido construidos con capacidad para manejar desde 150 toneladas/h hasta 20 000 toneladas/h (véase la figura 7-16).

Con frecuencia se prefieren los equipos móviles a los de tipo fijo. Se usan bulldozers (tractores de oruga), excavadoras y cargadores con cucharón frontal, sobre todo en proyectos de corta duración o donde las inversiones de capital tengan que ser limitadas. Los cargadores con cucharón frontal son especialmente ventajosos por su capacidad para transportar material, además de empujarlo o abrirlo.

El ángulo de reposo es el que adopta el material sobre la pila o el montón. El ángulo del cono que se desarrolla en la parte superior de la pila cuando se llena una tolva, será un poco más plano que el ángulo de reposo, por el efecto de impacto.

DEPÓSITOS, TOLVAS Y SILOS DE ALMACENAMIENTO

Es probable que no haya ninguna sección del arte de almacenamiento y manejo de materiales que haya avanzado tanto en una década (la de 1960) como el almacenamiento en tolvas de materiales a granel. Antes de esa época, el diseño de tolvas de almacenamiento era empírico y de tanteo, y el éxito se aseguraba solamente en el caso de que los productos fueran de flujo libre. Esto cambió radicalmente, debido a las investigaciones dirigidas por Andrew W. Jenike. Este trabajo, que dio como resultado la identificación de los criterios que afectan al flujo de material

en los recipientes de almacenamiento, se presentó primeramente en el artículo de Jenike *Gravity Flow of Bulk Solids*, Bulletin 108, University of Utah Engineering Experiment Station (octubre de 1961). Este artículo presentó las ecuaciones que definen el flujo a granel y los coeficientes que lo afectan.

La experimentación continua confirmó esos criterios y en el Bulletin 123 (noviembre de 1964), se definió todavía más el tema, proporcionando factores de flujo para cierto número de diseños de depósitos y tolvas, así como también especificaciones para la determinación experimental de las características de los materiales a granel que afectan el flujo y el almacenamiento. Además de la teoría, Jenike presentó un método de aplicación, que incluye ecuaciones y la medición física de las características de los materiales.

En lo que sigue, se verá un recipiente de almacenamiento que consiste en un depósito y una tolva. Un depósito es la sección superior del recipiente, con lados verticales. La tolva, que tiene por lo menos un lado inclinado, es la sección entre el depósito y la salida del recipiente.

Características del flujo de materiales. Dos de las definiciones más importantes de las características de flujo en un recipiente de almacenamiento son el **flujo de masa**, que significa que todos los materiales en el recipiente se desplazan cuando se retira una parte (figura 7-17) y el **flujo de embudo**, que se produce cuando fluye sólo una porción del material (por lo común en un canal o un "agujero de rata" en el centro del sistema), cuando se retira cualquier cantidad de material (figura 7-18). En la figura 7-19 se muestran algunos diseños típicos de flujo de masas.

* Nomogramas preparados a partir de datos proporcionados por Flotronics Div., Allied Industries, Inc.

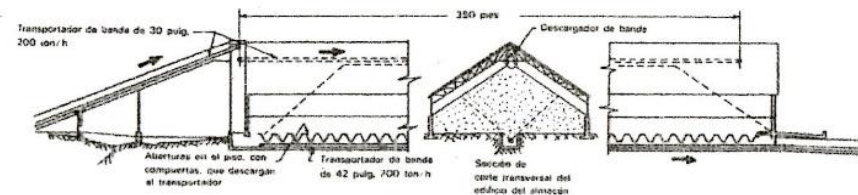


Figura 7-15. Almacenamiento y recuperación por transportador de banda en un edificio de piso plano (Stephens-Adamson Mfg. Co.).

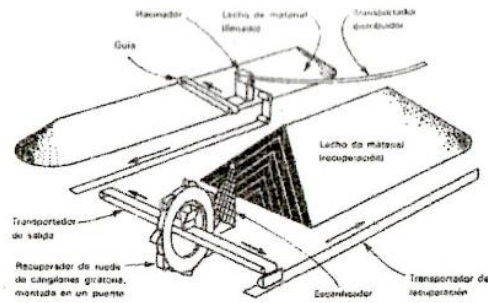


Figura 7-16. Recuperador con rueda de cangilones. Los cangilones excavadores montados sobre la rueda se descargan sobre el transportador de banda para transferir los materiales (Con autorización de Mechanical Engineering).

Los depósitos del flujo de masa tienen algunas de las características más solicitadas para los recipientes de almacenamiento siempre que se abre la compuerta del fondo sin ayuda se obtiene un flujo. Un depósito de flujo de embudo puede tener o no flujo; pero probablemente se pueda hacer que fluya por algún medio.

Hasta que Jenike desarrolló la razón para el diseño de recipientes de almacenamiento, uno de los criterios comunes era el de la medición del ángulo de reposo, el uso de este valor como ángulo de la tolva y el ajuste del depósito para el espacio disponible. Con demasiada frecuencia, se diseñaban depósitos desde un punto de vista arquitectónico o de ingeniería estructural, más que al tomar en consideración el papel que iban a desempeñar en un proceso. Desde luego, la economía de espacio es un criterio válido para el diseño de depósitos; pero hay otros que se deben tomar en cuenta. En la tabla 7-14 se comparan las características principales de los depósitos de flujo de masas y flujo de embudo.

Aunque evidentemente es preferible un depósito de flujo de masa a otro de flujo de embudo, es preciso justificar la inversión adicional que se requiere casi siempre. Con frecuencia, esto se hace mediante la reducción de los costos operacionales; pero cuando el espacio de instalación está limitado, es preciso llegar a un punto de término medio como un diseño especial de la tolva y, a veces, incluso el empleo de un alimentador. Desde luego, con las tolvas de flujo de masa, no se necesita alimentador para el flujo; sin embargo, se puede utilizar todavía por otras razones,

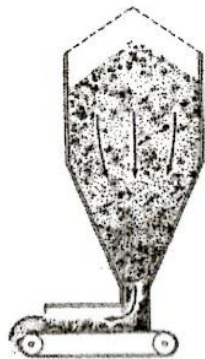


Figura 7-17. Tolva de flujo de masa. El material no se canaliza hacia la descarga (Con autorización de Chemical Engineering).

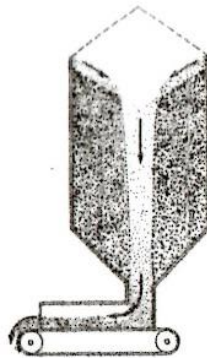


Figura 7-18. Tolva de flujo de embudo. El material se segrega y se forma agujeros de rata (Con autorización de Chemical Engineering).

tales como las de transporte de material a la etapa siguiente o procesamiento.

Criterios de diseño. Los criterios de Jenike permiten un análisis económico y de ingeniería del almacenamiento aproximadamente con el mismo nivel de confianza que para el resto de la planta de procesamiento. Sus métodos cuantitativos se puede utilizar para determinar 1) si el recipiente funcionará con flujo de masa o de embudo y 2) las dimensiones de salida de la tolva con el fin de que el producto fluya. Sus métodos proporcionan también criterios para efectuar compensaciones de ingeniería entre el flujo de masa y el de embudo, cuando las características del producto, las limitaciones de espacio, etc., se pongan al diseño para el flujo de masa.

La relación entre el flujo de masa y el de embudo para depósitos cónicos se muestra en la figura 7-20. El ángulo de fricción o nemática ϕ —que es una medida del coeficiente de fricción entre el sólido y el material de construcción utilizado para la tolva cónica— se mide con el "probador de factor de flujo". El grado de acabado de la superficie metálica puede tener efectos importantes para determinar si el recipiente funcionará con flujo de masa o de embudo. En los últimos años, se han utilizado con mayor frecuencia grados más finos de acabado, debido principalmente a que la intuición los hacía recomendables. El ángulo cinemático de fricción se relaciona también con el grado de compresión que sufre el producto en el almacenamiento.

Una vez que se toma una decisión (de flujo de masa o de embudo) o se establece un punto de término medio, incluyendo un depósito de flujo dilatado, será preciso tomar en consideración la salida de la tolva y el tipo de alimentador. La lección que da Jenike sobre el flujo a través de la abertura del depósito es la de que los materiales que se pueden compactar (por oposición a los de flujo libre) se apelmazarán debido a la forma del recipiente de almacenamiento y las características de empaquetamiento del producto. Cuando esto ocurre, el material forma un arco que puede resistir esfuerzos considerables.

Puesto que el arco transfiere la carga a las paredes de la tolva y, al hacerlo así, se aplica una gran presión, se hace muy grande el coeficiente cinemático de fricción ϕ . El resultado neto es que la "cúpula" o el "puente" que se forma, impide que haya flujo en el recipiente. Entonces, se deberá aplicar fuerza al arco para que se hunda y se reinicie el flujo, aunque sea en forma errática.

Según Jenike, cuando la resistencia del arco f se ve sobrepasada por el esfuerzo interno s generado por una fuerza aplicada sobre la cúpula, habrá flujo. En resumen:

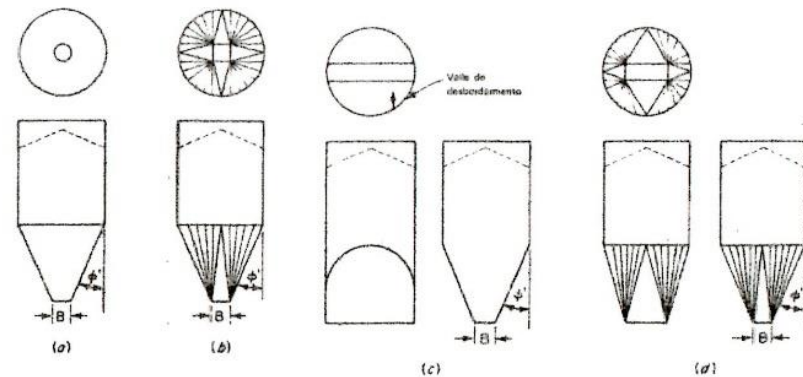


Figura 7-19. Tipos de tolvas de flujo de masa. El tipo *c* es simple; pero tiene un valle. Aunque de construcción más difícil, el tipo *d* carece de valles y se suele recomendar casi siempre (Con autorización de Mechanical Engineering).

Tabla 7-14. Características principales de tolvas de flujo de masa y flujo de embudo

Tolvas de flujo de masa	Tolvas de flujo de embudo
1. Las partículas se segregan, pero se reúnen a la descarga	1. Las partículas se segregan y permanecen segregadas
2. Los polvos se desairan y no fluyen cuando se descarga el sistema	2. La primera porción que entra es la última en salir
3. El flujo es uniforme	3. Pueden permanecer productos en puntos muertos, hasta que se realiza la limpieza completa del sistema.
4. La densidad del flujo es constante	4. Los productos tienden a formar puentes o arcos y, luego, a que se formen agujeros de rata durante la descarga
5. Los indicadores de nivel funcionan adecuadamente	5. El flujo es errático
6. No quedan productos en zonas muertas, donde pudieran degradarse	6. La densidad puede variar
7. Se puede diseñar la tolva para tener un almacenamiento no segregado o para funcionar como mezcladora	7. Los indicadores de nivel se deben situar en puntos clave, para que puedan funcionar adecuadamente
	8. Las tolvas funcionan bien con sólidos de partículas grandes y flujo libre

Cuando $f < s$, hay flujo

Cuando $f > s$, no hay flujo

Cuando $f = s$, se alcanza el punto crítico.

Para realizar un análisis de flujo cuando $f < s$, se observa un elemento de material conforme se desplaza por un recipiente de almacenamiento (figura 7-21). La presión p sobre el elemento aumenta a partir de cero a la entrada de un valor máximo que se presenta en la transición del depósito a la tolva. A continuación, la presión disminuye a cero en forma lineal, en el vértice del cono de la tolva. La resistencia resultante f sigue un patrón similar, aun cuando, por lo común, tiene un valor mayor que cero. Los esfuerzos inducidos en el material al fondo de la tolva por el peso del material superior son constantes, pero disminuyen lineal-

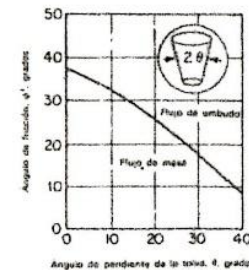


Figura 7-20. Relación entre el flujo de masa y el de embudo para tolvas cónicas (Con autorización de Chemical Engineering).

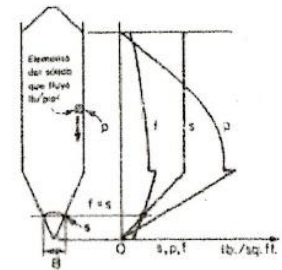


Figura 7-21. El análisis de flujo se realiza mediante la observación de un elemento de material conforme se desplaza por la tolva (Con autorización de Chemical Engineering).

mente a cero en el vértice del cono. Las curvas de f y s se intersectan en un punto correspondiente a las dimensiones críticas de la abertura de la tolva B .

Al reducir este análisis a una técnica para determinar B , el método de Jenike proporciona un medio práctico para medir e interpretar la resistencia de un sólido a granel en función de la presión de compactación. Para desarrollar esta relación, Jenike desarrolló un probador de corte, que da una función de flujo FF , que es una curva localizada a través de los puntos resultantes de los valores de f y p obtenidos por el probador de corte. Esta curva FF se traza en función de un factor de flujo ff para la tolva que se diseña, como se muestra en la figura 7-22.

El método utiliza el principio de que existe una razón constante del esfuerzo inducido s en el contenido almacenado a la presión de compactación p . Así pues, para cualquier diseño de tolva, donde se tiene una curva ff , se podrán trazar los resultados del probador de corte y situar el punto en el que $f = s$. Puesto que se conoce también la distancia a la que se produce esto por encima del vértice de la tolva, esos valores se convierten en las dimensiones de la tolva en ese punto.

Una de las aproximaciones útiles de B para una tolva cónica es $B = 22ff/\alpha$, en donde α es la densidad de masas del producto almacenado. El aparato para la determinación de las propiedades de los sólidos se desarrolló y se ofrece para su venta, consultando a la empresa de Jenike y Johansen, Winchester, Mass., que realizan también esas pruebas sobre la base de contratos. El probador FF de factor de flujo, un índice constante de deformación, la máquina del tipo de corte directo, da el sitio de puntos para la curva FF así como también ϕ , que es el coeficiente cinemático de fricción. Se usa un banco de compactación para preparar muestras con diferentes grados de compactación para el probador del factor de flujo. Esto se puede complementar con el mismo banco encerrado en un local de temperatura controlada.

Para algunos materiales es posible producir una gráfica de FF que no tenga intersecciones con la curva ff . Esto indica que se requiere un diseño diferente de la tolva y el depósito o que el material no podrá fluir. En la figura 7-23 se muestran curvas FF para varios materiales.

El método de Jenike permite a los ingenieros químicos diseñar recipientes de almacenamiento a granel y sopesar los costos en función del desempeño con un nivel elevado de seguridad, si las condiciones en el sistema real de almacenamiento son las mismas que las que prevalecen durante las pruebas, harán que el producto fluya. Sin embargo, les corresponde a los ingenieros establecer los límites de las condiciones de los productos que se encontrarán y realizar pruebas apropiadas. Un producto puede no fluir si cambian sus características o si se encuentran en la planta cambios radicales de temperatura, o bien, si un desecador de capacidad demasiado baja de diseño deja un remanente de humedad.

Otro uso del método de Jenike es su extensión al diseño estructural crítico de recipientes de almacenamiento. Puesto que se pueden calcular las presiones, es posible diseñar para condiciones reales más que para estimaciones. Asimismo, se pueden diseñar dispositivos de corrección de flujo con esta teoría. Las obras que vale la pena consultar en relación a este tema son:

Jenike: "Gravity Flow of Bulk Solids," *Bull.* 108, Utah Engineering Experiment Station, Salt Lake City, octubre de 1961. Jenike y sus colaboradores: "Flow Properties of Bulk Solids", *Proc. Am. Soc. Testing Materials*, 60, 1368-1381 (1960). Jenike y Leser, A: "Flow-No Flow Criterion in the Gravity Flow of Powders in Converging Channels", *Proc. Fourth Intern. Congr. Rheology* Pt. 3, Ag. 26-30, 1963, págs. 125-141. Brown University, Providence, RI. Jenike: "Steady Gravity Flow of Frictional-cohesive Solids in Converging Channels", *J. Appl. Mech.*, 31, series E5-11 (marzo de 1964). "Why Bins Don't Flow", *Mech. Eng.*, mayo de 1964, págs. 40-43. Johanson y Colijn: "New Design Criteria for Hoppers and Bins," *Iron Steel Eng.*, octubre de 1964, págs. 85-104. Jenike: "Storage and Flow of Solids", *Bull.* 123, Utah Engineering Experiment Station, Salt Lake

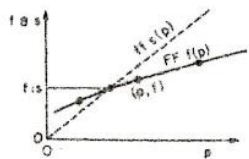


Figura 7-22. Sólo hay flujo cuando FF está por debajo de ff (Con autorización de Chemical Engineering).

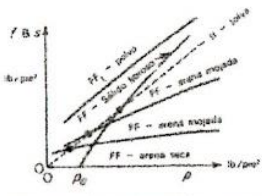


Figura 7-23. Curvas FF para varios materiales (Con autorización de Chemical Engineering).

City, noviembre de 1964. Jenike: "Gravity Flow of Frictional-cohesive Solids-Convergence to Radial Stress Fields", *J. Appl. Mech.*, 32, series E205-207 (junio de 1965). "Quantitative Design of Mass-flow Bins", *Powder Technol.*, enero de 1967, págs. 237-244. Jenike y Johanson: "On the Theory of Bin Loads", Paper 68-MH-8, American Society of Mechanical Engineers, 21-23 de octubre de 1968. Johanson: "The Placement of Inserts to Correct Flow in Bins", *Powder Technol.*, enero de 1968, págs. 328-333.

Especificación de materiales a granel para obtener el mejor flujo. Se pueden eliminar muchos problemas de flujo desde el origen, mediante la especificación rígida, precisa y sensible de las características físicas de los materiales.

El tamaño de partículas es uno de los factores más comunes controlables que afectan la capacidad de flujo de un material dado. En general, se puede suponer que cuanto mayor sea el tamaño de las partículas y más libre se encuentre el material a partículas finas, tanto más fácilmente fluirá. Las especificaciones pueden dictar el tamaño deseado de las partículas y la uniformidad de los tamaños para las materias primas adquiridas. La molienda en la planta puede reducir los desperdicios y mejorar las capacidades de flujo, produciendo un material molido con un mínimo de partículas finas; pero esto incluye operaciones adicionales que pueden no ser justificables desde el punto de vista económico.

Con frecuencia se realiza la facilidad de manejo mediante la granulación de las materias primas. El tamaño grande de partículas, la uniformidad de los tamaños y las superficies lisas y duras de las partículas contribuyen a mejorar el flujo.

El contenido de humedad es otro factor común y controlable de flujo. La mayoría de los materiales pueden absorber con facilidad humedad hasta cierto punto, además la adición de humedad puede provocar problemas importantes de flujo. Las especificaciones pueden controlar la cantidad del contenido de humedad en las materias primas adquiridas. El contenido de humedad puede reducir en la planta, incluyendo una operación de secado en la línea de procesamiento. Los costos del secado se pueden compensar mediante un flujo más eficiente, costos más bajos de envíos y un buen control de las pérdidas causadas por los detenciones.

También se puede lograr el control de la humedad al reemplazar el aire en el recipiente o depósito que contiene al material con un gas seco y estable, por ejemplo, nitrógeno. Esta técnica se utiliza también para proteger materiales contra ciertos tipos de deterioro, tales como la pérdida de vitaminas en los artículos alimenticios.

Las temperaturas elevadas pueden provocar problemas graves de flujo en algunos materiales que contienen gluten, azúcares u otros componentes solubles y de punto de fusión bajo. Esos materiales se hacen pegajosos en las temperaturas elevadas y puede ser necesario instalar equipo de enfriamiento. Como sucede con los equipos de secado, es preciso realizar un estudio para determinar si el costo adicional del enfriamiento se puede contrarrestar mediante los ahorros logrados al mejorar el flujo. Por supuesto, se deberán tomar también en consideración otras ventu-

ras posibles, tales como las cualidades de conservación del producto a temperaturas más bajas.

El envejecimiento parece hacer mejorar la capacidad de flujo de ciertos materiales. Esto se debe probablemente a la oxidación superficial de las partículas, a la distribución más uniforme de la humedad y al redondeo de las esquinas de las partículas que provoca el manejo.

El contenido de aceite no reduce materialmente la capacidad de flujo. Por ejemplo, la adición de aceites y grasas a los ingredientes de alimentos para animales, hace mejorar la calidad de las píldoras hechas con esos materiales, endureciendo sus superficies y habilitándolas para resistir la atracción.

Se utilizan compuertas (Fig. 7-24) para controlar el flujo procedente de depósitos, tolvas y equipos de procesamiento a los alimentadores o directamente a los transportadores. Existen en una gama amplia de estilos, que van desde la compuerta deslizante manual simple (que con frecuencia es muy difícil de manejar a mano) al diseño de precisión de cremallera y piñón, que por lo común se cierra herméticamente contra el polvo y el goteo. La compuerta de cremallera y piñón funciona manualmente con un mínimo de esfuerzo y se adapta con facilidad al funcionamiento hidráulico, neumático y eléctrico. La compuerta de cuadrante operada con palanca se usa a menudo cuando se desea una compuerta de apertura rápida. No se diseña para controlar el flujo del material sino para permitir la descarga libre de los materiales con muchos terrones. Hay centenares de estilos de compuertas de entre los que se puede efectuar la selección y cuando se aplican adecuadamente permiten eliminar con frecuencia la necesidad de un alimentador más costoso.

Los controles del nivel de sólidos son importantes para determinar el nivel de los materiales en los depósitos y tolvas y para proteger también los transportadores contra los daños producidos por el atascamiento, si se sitúan en vertederos de transferencia y descarga. Pueden activar simplemente una señal de alarma visual o auditiva o conectarse eléctricamente al sistema de transportación para poner en marcha o detener automáticamente los transportadores. Existen muchos diseños que van desde los dispositivos costosos que utilizan isótopos radiactivos hasta las paletas simples. Los dos diseños que se muestran en la figura 7-25 dependen de interruptores limitadores con activación mediante un cono suspendido en uno de ellos y un diafragma de acero inoxidable en el otro. En cualquier caso, la presencia de

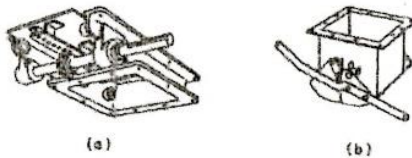


Figura 7-24. Compuerta de cremallera y piñón (a) y de cuadrante (b).

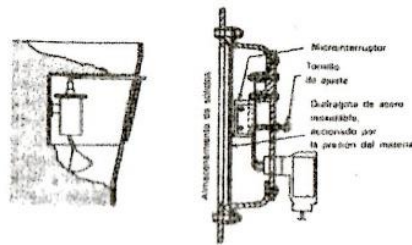


Figura 7-25. Unidades de control de nivel de tolvas.

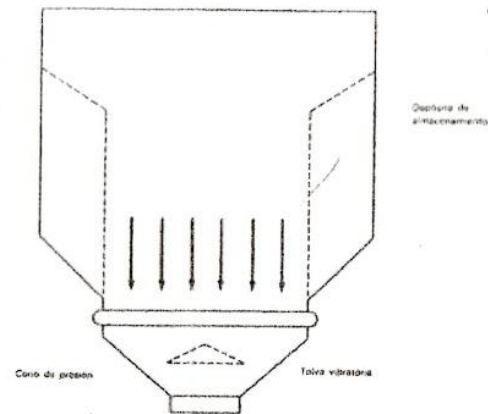


Figura 7-26. Tolva vibratoria. Enancha la abertura de la tolva de almacenamiento y rompe los puentes que forman los materiales (Con autorización de Mechanical Engineering).

material apoyado contra el cono o el diafragma abre o cierra el interruptor, activando así una señal de alarma en el último caso mientras que en el anterior corta la energía de alimentación del transportador.

ALIMENTADORES Y DISPOSITIVOS DE AYUDA PARA EL FLUJO

Con frecuencia se presentan situaciones en las que los depósitos de flujo de masas no se pueden instalar por razones tales como las de limitaciones de espacios y los requisitos de capacidad. Asimismo, a veces, el producto que se debe almacenar tiene una función de flujo FF (que se describió antes) que se encuentra por debajo del factor de flujo ff , de modo que se producen puentes y sin ayuda no es posible el flujo de masas. Para afrontar estas situaciones, existen numerosos tipos de ayudas para el flujo, que de entre los más convenientes utilizan un alimentador y una tolva corta de flujo de masa para ampliar el canal de flujo de un depósito de flujo de embudo. La elección del alimentador o la ayuda para el flujo se deberá hacer siempre como parte del análisis del recipiente de almacenamiento. A continuación, los sistemas resultantes suelen ser tan eficientes como los de tipo de flujo de masa.

Las tolvas vibratorias son ayudas para el flujo consideradas entre las más importantes y versátiles. Se usan para ampliar la abertura de los depósitos de almacenamiento y provocar el flujo al romper los puentes formados por el material. En la figura 7-26 se muestra este tipo de alimentador. Son comunes dos tipos básicos de tolvas vibratorias: el tipo giratorio, en el que la vibración se aplica perpendicularmente al canal de flujo (figura 7-27) y el tipo de torbellino, que al proporcionar una elevación y una oscilación combinada al material, hace que se rompan los puentes que se forman (figura 7-28). Una de las versiones de este tipo de ayuda de flujo es un depósito que vibra u oscila por completo. Estos depósitos tienen por lo común una capacidad de solo aproximadamente 100 pies³.

También se usan alimentadores de sinfín para ayudar a descargar depósitos y producir una alimentación uniforme. En este caso es importante la necesidad de un sinfín de paso variable para producir un arrastre uniforme del material por la abertura completa de la tolva (figura 7-29). Para que haya flujo uniforme, la razón de la abertura del alimentador del sinfín al diámetro no debe sobrepasar seis.

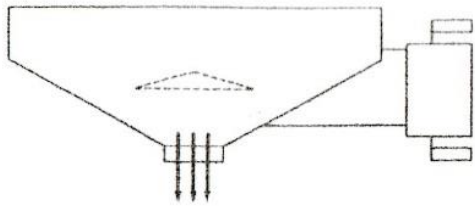


Figura 7-27. Tolva giratoria. La vibración se aplica perpendicularmente al canal de flujo. (Con autorización de Mechanical Engineering).

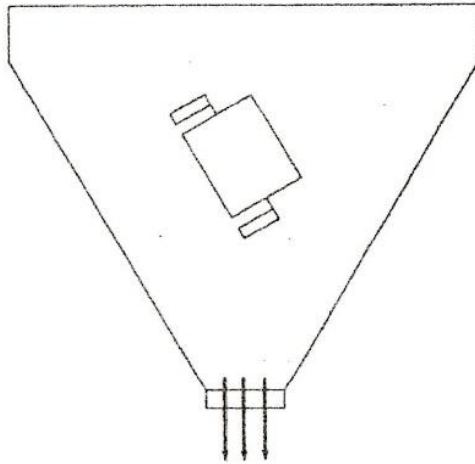


Figura 7-28. Tolva de resiliño. Dos motores montados le dan al material un movimiento de ascenso y descenso. (Con autorización de Mechanical Engineering).

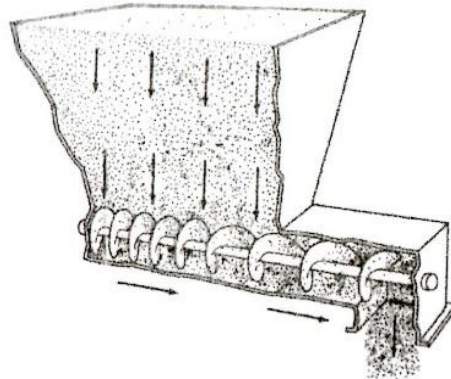


Figura 7-29. Alimentador de sinfín. Necesita un sinfín de paso variable para producir un arrastre uniforme del material. (Con autorización de Chemical Engineering).

También se pueden utilizar **alimentadores de banda o de banda articulada** para dar una alimentación uniforme a partir de un depósito; pero es preciso tener cuidado para que no se produzcan puntos muertos en el canal de flujo por encima de la banda del alimentador (figura 7-30). Las capacidades de esos alimentadores se pueden incrementar, haciendo cónica la salida en el plano horizontal y el vertical. Para asegurar el flujo de los sólidos que no circulan con libertad a lo largo de la pared frontal del depósito, se necesita la placa golpeadora inclinada al frente de la tolva. La conicidad debe aplicarse sólo en una dirección. Por ejemplo, un alimentador de banda articulada para rocas grandes tendrá los faldones del depósito cerrados herméticamente contra la plataforma para evitar que las rocas tengan una acción de cuña entre la tolva y el alimentador y la conicidad estará sólo en el plano horizontal. Sin embargo, para las ranuras largas, no resulta práctico el utilizar como conicidad una anchura creciente de las ranuras.

Se han utilizado bandas con éxito bajo aberturas ranuradas de hasta 100 pies, con una anchura constante de 8 pulg. Se deben to-

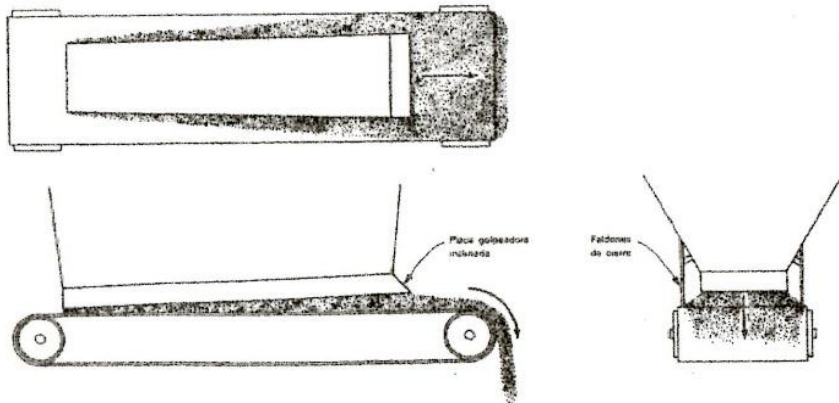


Figura 7-30. La placa inclinada de golpeo en la banda de los alimentadores de banda articulada asegura el flujo de sólidos que no circulan con libertad. (Con autorización de Chemical Engineering).

mar disposiciones para ajustar en el campo el espacio entre el faldón y la banda, con el fin de proporcionar un flujo uniforme en toda la longitud. Puesto que la distancia mínima entre el faldón y la banda debe permitir que pase por debajo la partícula mayor, los alimentadores de banda muy largos se limitan a los sólidos más finos.

Se aplican los mismos principios a los alimentadores de banco. El faldón se eleva por encima del banco en un faldón en espiral para proporcionar una capacidad mayor en la dirección de rotación (figura 7-31). La reja, situada fuera del depósito, sólo arrastra el material que fluye de debajo del faldón.

Los **alimentadores vibratorios** proporcionan también un flujo uniforme a lo largo de una abertura ranurada de longitud limitada (figura 7-32). También en este caso, aumenta la distancia entre la plataforma del alimentador y la tolva en la dirección de alimentación. La longitud de la ranura se limita por el movimiento del alimentador. Puesto que, en las ranuras largas, el componente ascendente del movimiento no se ve atenuado por la abertura frontal, los sólidos tienden a apelmazarse. Cuando se trata de sólidos pegajosos, esto puede provocar problemas de flujo, así como también un incremento de la energía requerida para los materiales de flujo libre. Con el fin de superar estas dificultades, se diseñan alimentadores vibratorios y de placa de movimiento alternativo para la alimentación a través de la ranura. Aun cuando este tipo de alimentador puede necesitar varios impulsores para adaptar anchuras excepcionales, los propulsores son pequeños debido a la longitud corta del alimentador.

Los **alimentadores de estrella** con un transportador recolector de sinfín (figura 7-33) proporcionan una salida muy uniforme a lo largo de la abertura ranurada. Se debe agregar una sección vertical de, cuando menos, una salida, por encima del alimentador, con el fin de asegurar la salida uniforme por la abertura.

Otros métodos de contribuir a las descargas de los depósitos son los cojines de fluidización de aire y las unidades de brazo giratorio.

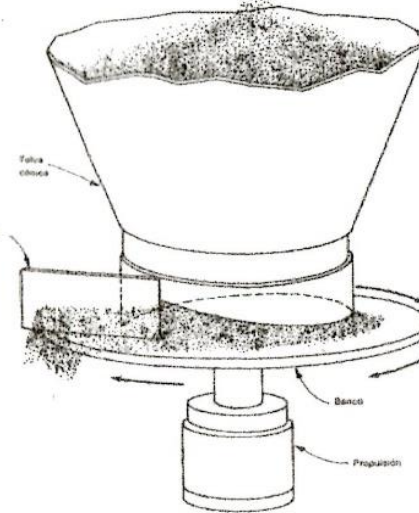


Figura 7-31. Alimentador de banco. El faldón se eleva en un patrón en espiral para incrementar la capacidad en el sentido de la rotación. (Con autorización de Chemical Engineering).

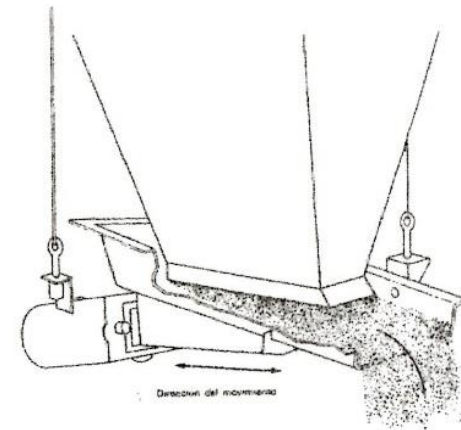


Figura 7-32. Alimentador vibratorio. La distancia entre la placa alimentadora y la tolva se incrementa en la dirección de la alimentación. (Con autorización de Chemical Engineering).

PESADO DE SÓLIDOS A GRANEL

El **pesado automático** ha reemplazado en gran parte al manual en las industrias de procesamiento químico, debido a la aparición de procesos de mayor capacidad y la necesidad de economizar mano de obra. Asimismo, la seguridad de los equipos de pesado aumentó considerablemente durante la última década y disminuyeron los costos de inversión. Se usan tanto pesadas por lotes como continuas.

Pesado por lotes. En este caso, se mide una unidad dada (peso y, a continuación, se obtiene el peso total deseado medianamente múltiplos de la unidad dada. Las balanzas por lotes se utilizan cuando se llevan a cabo pesadas pequeñas, ya sea individualmente o por grupos en secuencia.

La mayoría de las balanzas por lotes incluyen un recipiente montado en una viga pesadora, contrabalanceada por un conjunto de pesas aproximadamente iguales al peso deseado. Se activa o detiene una fuente de alimentación montada sobre el rec-

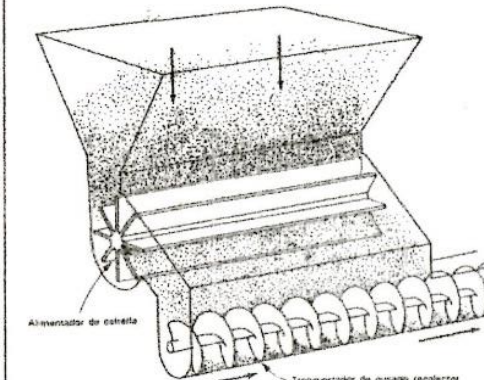


Figura 7-33. Alimentador de estrella. El tornillo recolector asegura salida uniforme. (Con autorización de Chemical Engineering).

piente pesador mediante una señal generada por el brazo de la balanza. En los últimos años, los sistemas directos de control mecánico de las balanzas se han reemplazado en gran parte por el control neumático o cilindro hidráulico de la fuente de alimentación y la descarga del recipiente pesador, los que se activan mediante controles eléctricos.

El tipo de sistemas de control de balanza en el que el movimiento del brazo se capta mediante un transformador diferencial o un grupo de celdas de carga, tiene un interés especial. La salida de esos dispositivos es proporcional al desplazamiento del brazo de la balanza que, a su vez, lo es a la cantidad de material en el cubo de pesado. Esto proporciona muchos beneficios, además de determinar los pesos con exactitud. Una de las ventajas más notables es la capacidad para utilizar la salida del transformador para indicar el peso real de los recipientes de pesado, o bien, mediante una calibración diferente, las variaciones del peso deseado. Puesto que el dispositivo de lectura suele ser un voltmetro calibrado en pequeños incrementos, éste se puede situar alejado de la balanza. Esas características no eran posibles con las balanzas mecánicas directas. En la figura 7-34 se muestra una balanza automática del tipo por lotes.

El principio de funcionamiento de las balanzas de tipo por lotes se basa en el concepto de que una corriente de material tiene densidad constante. Si esto es cierto, entonces, se corta la circulación, en algún punto del avance del peso por lotes deseado, la cantidad de material que fluye permanecerá constante entre el momento en que se capta el peso y se detiene el flujo. El peso total en el recipiente es la suma de la carga que se debe al flujo y la cantidad que fluye durante el período de corte. Por esta razón,

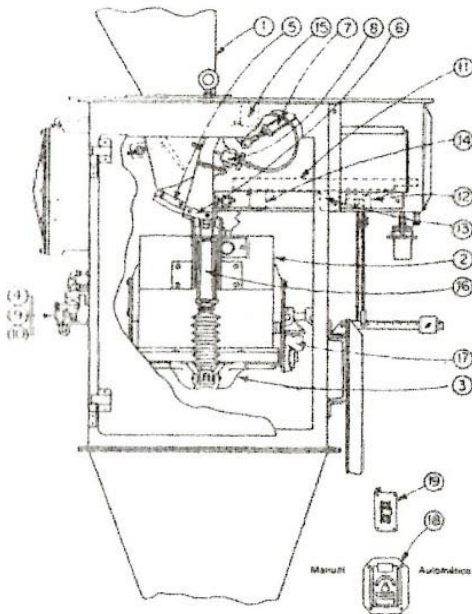


Figura 7-34. Balanza automática del tipo por lotes. Componentes: 1) Depósito. 2) Cubo de la balanza. 3) Compuerta del cubo. 4) Válvula de solenoide. 5) Compuerta de masa. 6) Compuerta de goteo. 7, 8) Cilindros de aire alimentados por válvulas activadas por solenoides. 9, 10) Válvulas activadas por medio de solenoides. 11) Brazo de la balanza. 12) Dispositivo reforzador. 13, 14, 15) Microinterruptores. 16) Cilindro de aire. 17) Microinterruptor. 18) Interruptor selector. 19) Interruptor manual. (Con autorización de la St. Regis Paper Company).

son importantes las condiciones de alimentación a la balanza. El flujo uniforme es esencial para un pesado preciso por lotes.

Si el material fluye con libertad, se podrá utilizar una tolva de flujo de masa (figura 7-35). Si no fluye libremente, se deberá utilizar un alimentador apropiado, que puede ser de sin fin, de banda o vibratorio. Esos dispositivos se describen en la sección de alimentadores y ayudas para el flujo.

Cuando se necesita una presión extrema en las pesadas, la alimentación al recipiente pesador se divide en dos porciones sucesivas: una carga grande a granel, seguida por una alimentación final breve de goteo, que debe tener un índice de flujo de aproximadamente 0.01% del índice a granel.

Una de las aplicaciones típicas de las balanzas por lotes es el pesado de cargas por máquinas embaladoras. Otra es el pesado de cantidades dadas de materias primas y su conducción a la siguiente unidad de procesamiento, que puede ser una mezcladora o un autoclave. Las balanzas de pesado por lotes pueden tener una precisión de $\pm 0.25\%$, cuando se equipan con controles a granel y de goteo.

Pesado continuo. Incluye un dispositivo sensible tanto a la cantidad total de material que fluye como a los cambios en el flujo. El material pasa constantemente sobre los elementos sensores del peso de la balanza continua, que puede rastrear el flujo y sus cambios y, eventualmente, proporciona una lectura final al sacar el total. Las balanzas de peso continuo utilizan una sección de transportador de banda sobre la que pasa el material que se va a pesar.

La banda se monta en una plataforma sensible al peso, equipada con celdas de carga, que puede detectar cambios mínimos en el peso de los materiales que pasan sobre la banda. La salida de la celda de carga —que suele ser un cambio de resistencia proporcional al peso— se integra a lo largo de intervalos cortos y se da la condición de flujo. Esto puede ser un índice de flujo o bien —al final de una pesada— el peso total. En la figura 7-36 se muestra un pesador continuo, que se denomina a veces dosificador. Las balanzas de peso continuo se utilizan principalmente para la alimentación de materiales a procesos continuos en indus-

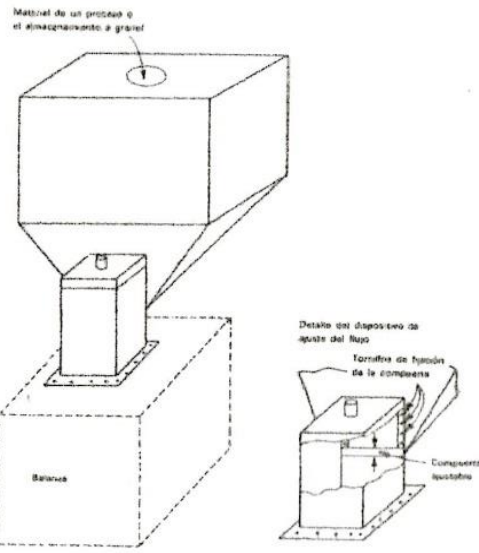


Figura 7-35. Tolva de flujo de masa para productos de flujo libre, que se utiliza con balanzas de llenado y pesado simultáneos.

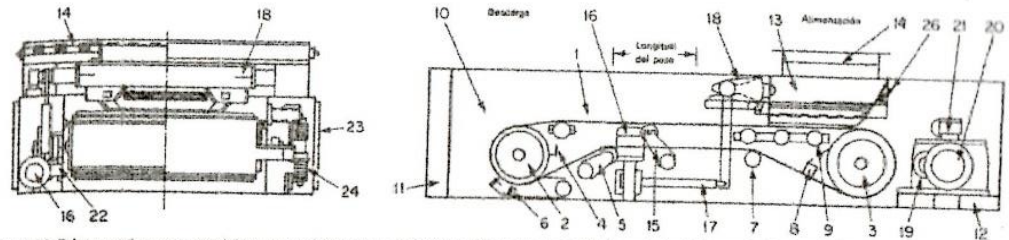


Figura 7-36. Balanza continua para materiales a granel. 1) Banda de transportador. 2) Polea delantera. 3) Polea posterior. 4) Recogedor de polea. 5) Ensamblaje recogedor de resorte. 6) Raspador exterior de la banda (con resorte). 7) Control de circulación de la banda. 8) Raspador de banda (interno). 9) Raspador de polea. 10) Canal lateral. 11) Canal transversal. 12) Canal transversal. 13) Vértedero de transición (opcional). 14) Compuertas de corte de alimentación. 15) Rodillo pesador. 16) Motor impulsor de sin fin de la compuerta. 17) Sin fin de la compuerta. 18) Tornillo de ajuste manual de la compuerta. 19) Generador (opcional). 20) Motor impulsor de sin fin de la compuerta. 21) Transmisión de velocidad variable. 22) Ajuste de velocidades para la propulsión a motor. 23) Acoplamiento. 24) Elemento sensor del peso. 25) Almacenamiento en tolva (opcional). 26) Placa de apoyo ajustable (opcional). (Havy Richardson Scale Co.).

ces medidos y uniformes. Pueden efectuar pesadas dentro de un error de $\pm 1\%$ e incluso 0.1%, en determinadas condiciones.

Todas las balanzas requieren una observación continua para

asegurarse de que se mantenga el peso establecido y no haya desviaciones por los cambios en la fluidez o la densidad de masa del producto.

EMBALAJE DE SÓLIDOS

Un embalaje para sólidos en la industria química suele ser un recipiente de transporte que contenga un volumen de 40 pies³ o menos y una carga de 4 000 lb o menos. Los tipos más importantes son las bolsas, las cajas de cartón, los bidones o tambores, las cubetas, las cajas para artículos a granel y las cajas con zunchos de alambre (tabla 7-15), la mayoría de los cuales se usan para un solo viaje. El mercado prescribe con frecuencia el tipo de embalaje, después de dejar margen para las propiedades de los productos y las características de procesamiento y de las plantas. A veces, hay la posibilidad de hacer una elección entre los envíos en paquetes o a granel, en cuyo caso se deben hacer comparaciones de costos de los sistemas (tabla 7-16).

Agencias reguladoras. La construcción y el tipo de los embalajes deben satisfacer reglas establecidas por diversas agencias, de las cuales las más comunes son:

Uniform Freight Classification Committee, Chicago. Para materiales no peligrosos: la regla 40 se aplica a bolsas y cajas de cartón y la 41 a cajas de cartón y recipientes para artículos a granel.

Department of Transportation, Washington. Reglamentos para materiales peligrosos, incluyendo especificaciones para los recipientes de envío: Agent R. M. Graziano's Tariff núm. 25 (24 de abril de 1972).

National Classification Board of the Motor Freight Industry Washington. Para explosivos y artículos peligrosos en transportes a motor: Tariff número 13.

New England Motor Freight Bureau, Barrington, Mass. *REA Express*, Nueva York. Clasificación Oficial de envíos por expreso: regla 36, paquetes.

U.S. Coast Guard. Reglamentos para envíos por vía acuática.

Recubrimientos. En el momento de la preparación o el llenado, muchos recipientes para sólidos a granel se forran con una bolsa de película de polietileno, con la finalidad de evitar que se desborden las partículas finas, retrasar la liberación o la absorción de humedad o evitar la contaminación de los productos con los materiales de construcción del recipiente. La longitud del forro tiene que ser suficiente para permitir que se cierre la parte superior, atándola con alambre o mediante el sellado térmico. El calibre de la película (espesor) que se necesita, depende del peso, la densidad de masa y la aspereza de las partículas del contenido. Son comunes los calibres de 2 a 10 milipulgadas. En el caso en que se ponga el forro en una caja de cartón, se prefiere el tipo de corte en V y para facilitar el manejo, los forros se hacen por lo

común en la forma de tubos continuos, con sellos térmicos y perforaciones separadas a intervalos equivalentes a una longitud de bolsa (véanse los costos en la tabla 7-15).

BOLSAS

Bolsas de papel de capas múltiples. Estas bolsas (figura 7-37) —hechas de capas de papel kraft o combinaciones de plásticos y papeles kraft para fines especiales— son los paquetes más comunes para casi todos los materiales granulados e en polvo, así como también para briquetas o bloques de sólidos, tales como hule sintético, ceras y aislamientos.

Las bolsas vacías se envían por lo común en forma comprimida (para obtener una alta densidad de carga) y en tarimas que generalmente miden 48 x 42, 48 x 40 y 50 x 44 pulg; el número de bolsas vacías por tarima varía de acuerdo con el tamaño. Son comunes de 1 500 a 2 000. Una tarima típica llena pesa cerca de 2 000 lb. En los almacenes las cargas de las tarimas con frecuencia se disponen en forma terciada.

Son comunes dos diseños de bolsas, la de válvula y la de boca abierta. El tipo de válvula tiene los dos extremos cerrados durante la fabricación, realizándose el llenado a través de una pequeña abertura (válvula) en una esquina de la bolsa. Las de boca abierta tienen un extremo cerrado de fábrica y el otro que se cierra después del llenado.

Las bolsas de boca abierta se cierran principalmente mediante cosido, aun cuando también se suele aplicar adhesivos a presión. Las bolsas de válvula se pueden sellar también, si tienen mangas cerrables. Las bolsas de válvula tienen la ventaja sobre las del tipo de boca abierta de que existen máquinas llenadoras muy productivas que no sólo requieren menos mano de obra que en los equipos de llenado de bolsas de boca abierta, sino que pueden tener también índices más elevados de empaquetado. Además, las bolsas de válvula selladas permiten una mayor densidad de carga entre las tarimas.

Para facilitar la normalización, la Manufacturing Chemists Association Packaging Committee recomienda cuatro tamaños de tarimas de cuatro entradas, desechables, para productos químicos en bolsas (véase la tabla de página siguiente):

El patrón más común es el de cinco bolsas en una tarima de 48 x 42 pulg. Este tamaño de tarima permite determinar la carga máxima de los remolques, poniendo la dimensión de 42 pulg a

Tamaño de tarimas pulg.	Anchura de cara de bolsas llenas pulg.	Longitud de cara de bolsas llenas pulg.	Sacos o bolsos sobre tarimas (tamazón)
48 x 40	16	24	5
48 x 47	16	24	5
52 x 44	17 $\frac{1}{2}$	26	5
52 x 36	16	36	3

través de la plataforma; las cargas máximas en vagones de ferrocarril son también posibles de determinar al poner el lado de 48 pulg. a través del vagón.

Las bolsas de boca abierta y válvulas cosidas son menos importantes excepto, quizá, para productos con densidades de más de 60 lb/pie³, o cuando se hacen envíos individuales o en lotes pequeños. Esos diseños de bolsas tienen la ventaja de proporcionar un asidero fácil al extremo de la línea cosida.

El punto de partida para la determinación del tamaño de las bolsas es el peso o el volumen del producto que se debe empacar y su densidad de masa (aireada y asentada). Asimismo, es preciso tomar en consideración el tamaño, la forma y el peso de las partículas; el grado de aireación en el momento del embalaje, la fluidez; la temperatura y la humedad relativas; el tipo de sistema de manejo hasta la máquina llenadora y en ella; el método de cierre de las bolsas, el tipo de estas últimas y el patrón y el tamaño de la tarima. Se necesitan tres conjuntos de dimensiones: 1) de tubo — anchura y longitud exterior del tubo antes de que se fabriquen los cierres de las bolsas—; 2) el acabado —la longitud, la anchura y el espesor de la bolsa después de la fabricación— y 3) la cara llena —longitud, anchura y espesor de la bolsa después de llenar—. En la tabla 7-17 y la figura 7-37 se muestran esas dimensiones y sus relaciones recíprocas.

A partir de la figura 7-38, que se aplica a bolsas de válvula cosida, de boca abierta cosida y de válvula engomada, se puede obtener una primera aproximación al tamaño. A continuación, la anchura y la longitud resultantes del tubo se pueden convertir en dimensiones de acabado y llenado y pedirse muestras de bolsas para la verificación sobre el terreno. El cambio de tamaño de las bolsas para pesos distintos, variaciones de la densidad, patrones diferentes de tarimas, etc., resulta sencillo mediante la utilización de gráficas. Los factores de corrección para situaciones particulares tales como los pliegues especiales, los tipos de máquinas de llenado, el sistema de almacenamiento y las características de los productos, se dan en la tabla 7-18.

Para utilizar la gráfica, dado el peso del material que se debe empacar, se utilizan los procedimientos que siguen: 1) se obtienen las densidades de masa del producto asentado y del producto suelto (o aireado). Para esto sirve bien una caja de un pie cúbico y, a continuación, se calcula el promedio de las dos densidades; 2) se estiman los requisitos de volumen de la bolsa (BVR) a partir de la relación $BVR = (\text{peso que se debe empacar por } 1.728) / (\text{densidad promedio})$; 3) multiplíquese el BVR por el producto de los factores de corrección (tabla 7-18), que reflejan las condiciones de embalaje, almacenamiento y productos; 4) a partir de la figura 7-38, se obtiene el tubo de bolsa equivalente (BTE) y 5) con el BTE corregido, se determina el tamaño de bolsa que se necesita para el entarimado.

Ejemplo: Se deben empacar 50 lb de partículas de polietileno (PE) con densidades de masa de 36 lb/pie³ en forma asentada y 34 lb/pie³ en forma suelta, en bolsas de válvula engomada, construidas con tres capas de papel kraft y un forro libre de PE de 2 milésimas de pulgada. Las bolsas se cargarán sobre la tarima en un patrón de cinco bolsas, 40 bolsas por tarima, en tarimas de 48 x 42 o 48 x 40 pulg. Determinen el tamaño apropiado de las bolsas.

$$\text{Densidad promedio} = (36 + 34) / 2 = 35 \text{ lb/pie}^3$$

$$BVR = (50 / 35) \times 1.728 = 24.70$$

Factor de corrección (de la tabla 7-18):

Para láminas de protección de películas PE de 2 milésimas de pulg. 1.05
 Para máquinas de llenado, de tipo de fluidización 1.02
 Para un tamaño de partículas de 1/4 pulg. 1.00
 Para almacenamiento y manejo, 24 horas 1.00
 Factor general de corrección (producto de lo anterior) 1.07

$$BVR \text{ corregido} = 24.70 \times 1.07 = 26.50$$

$$BTE \text{ (de la figura 7-38)} = 640$$

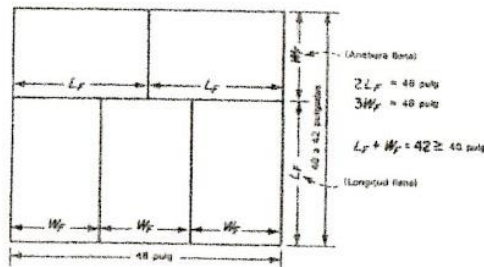
Determinación del tamaño de las bolsas:

Para un patrón de tarima de cinco bolsas, son válidas las relaciones que siguen: $24 \text{ pulg. } W_F = 16 \text{ pulg. } W_F + L_F = 40 \text{ pulg.}$

Para la primera aproximación, sea $T_F = T_B = 6 \text{ pulg.}$ y $L_F = 24 - 1 = 23 \text{ pulg.}$ Puesto que $L_F = L_F - (T_F + T_B) / 2 - 1$
 $L_F = 23 + 6 + 1 = 30 \text{ pulg.}$

y $BTE = W_F L_F = 640$

$$W_F = 640 / L_F = 640 / 30 = 21.3 \text{ pulg.}$$



Puesto que $W_F = W_F - T_F + 1$, y $W_F = W_F$, se tiene

$$W_F = 21.3 - 6 + 1 = 16.3 \text{ pulg.}$$

Al verificar la conformidad con la longitud de la tarima, se tiene:

$$2L_F = 48 \text{ pulg., or } 2(24) = 48 \text{ pulg.}$$

$$3W_F = 48 \text{ pulg., or } 3(16.3) = 48.9 \text{ pulg.}$$

Al verificar la conformidad con la anchura de la tarima se tiene:

$$W_F + L_F \geq 40 \text{ pulg. } \leq 42 \text{ pulg.}$$

o bien

$$16.3 + 24 = 40.3 \text{ pulg.}$$

Bolsas de empaqueo, bolsitas y sacos pequeños, y formas de sellado y llenado. Los pesos de productos de unas cuantas onzas hasta 25 lb se ponen con frecuencia en paquetes hechos de papel, películas de plástico o combinaciones de estos materiales. A continuación, los grupos de paquetes se envían en cajas de cartón o bolsas de empaqueo (véanse los costos en la tabla 7-19).

Las formas de llenado y sellado consisten en un proceso mecánico que utiliza un tubo de papel recubierto de plástico, lo sella térmicamente en un extremo, a continuación, corta la bolsa llena, para separarla. Este método tiene la ventaja sobre el llenado de bolsitas o sacos pequeños de que el costo de la fabricación del embalaje se evita hasta que se hace verdaderamente indispensable, la mano de obra de embalaje se reduce a un operario que puede atender a varias máquinas. Asimismo, el tiempo de espera para satisfacer los pedidos se hace más corto, porque se puede comprar papel o película de plástico estándar con los distribuidores locales, evitando con frecuencia el tener que esperar de cuatro a ocho semanas para recibir bolsas fabricadas. Esto se ve contrarrestado por la inversión más elevada en equipos que se necesita para las máquinas automáticas.

Las **bolsitas y los sacos pequeños** se hacen con una o más capas de papel o películas de plástico. Los dos tipos principales de

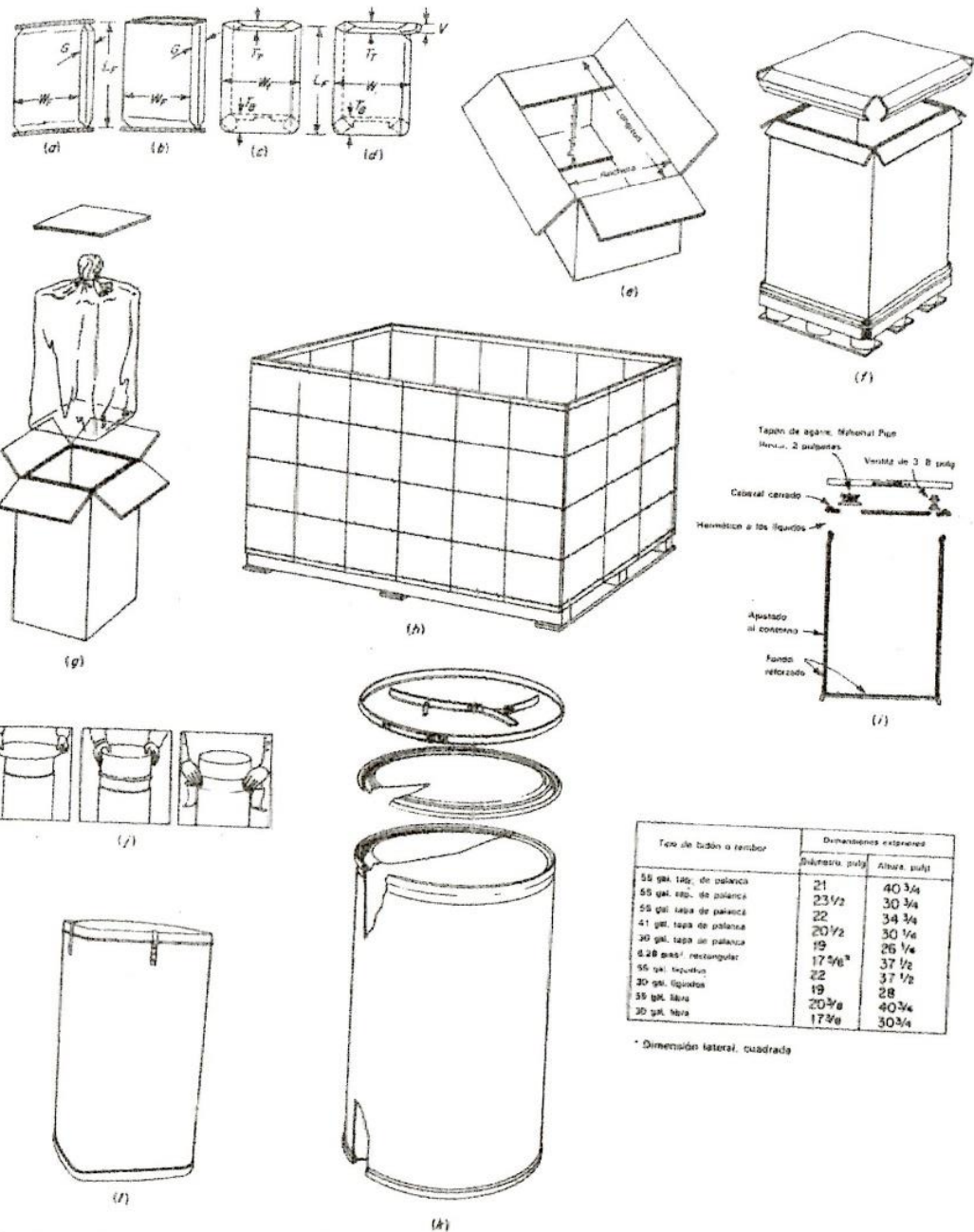


Figura 7-37. Embalajes típicos que se usan para productos químicos. a) Bolsa de válvula cosida. b) Bolsa de boca abierta cosida. c) Bolsa de válvula pegada. d) Bolsa de válvula pegada de máquina cerrada. e) Dimensiones interiores de una caja de cartón de ranura regular. f) Caja de cartón fibroso para pesos hasta de 3 000 lb (1 362 kg). g) Caja para bolsa. h) Caja zuchada con alambre para artículos a granel. i) Bidón de polietileno para líquidos, con embalaje exterior de fibra. j) Bidón de fibra con cubierta desmontable. k) Bidón de fibra con cierre de palanca. l) Bidón rectangular de fibra de tapa montada con sujetadores.

Tipo de bolsa o tambor	Dimensiones exteriores	
	Anchura, pulg.	Altura, pulg.
55 gal. tap. de palanca	21	40 3/4
55 gal. esp. de palanca	23 1/2	30 3/4
55 gal. tapa de palanca	22	34 3/4
41 gal. tapa de palanca	20 1/2	30 1/4
30 gal. tapa de palanca	19	26 1/2
6.28 gal. rectangular	17 3/8*	37 1/2
55 gal. líquido	22	37 1/2
30 gal. líquido	19	28
35 gal. líquido	20 3/8	40 3/4
30 gal. líquido	17 3/8	30 3/4

* Dimensión lateral, cuadrada

Tabla 7-15. Costos aproximados, en 1971, de recipientes para productos químicos

Tamaño de recipiente, descripción	Costo unitario	Volumen utilizable, pies ³	Observaciones
Bidones metálicos^b			Tanques de acero negro recubiertos con epoxi extra
55 gal, acero, estándar, placa de calibre 18, DOT-17E, nuevo	\$7.31	7.35	
55 gal, acero, estándar, placa de calibre 16, DOT-17C, nuevo	8.46	7.35	
55 gal, acero, cabeza desmontable, calibre 18, Regla 40, acero ^d	7.79	7.35	
55 gal, acero, cabeza desmontable, calibre 20, DOT-17H, nuevo	6.73	7.35	
55 gal, acero, cabeza desmontable, calibre 18, usado, reacondicionado	4.05	7.35	
55 gal, acero, estándar, calibre 18, usado, inspeccionado, limpio	4.50	7.35	
55 gal, aluminio, estándar, placa de 0.102 pulg.	37.30	7.35	
55 gal, acero inoxidable tipo 304, estándar, calibre 16, DOT-5C	99.00	7.35	
55 gal, acero, estándar, calibre 20, DOT-17E	5.28	4.00	
30 gal, acero, cabeza desmontable, calibre 20, Regla 40	5.54	4.00	
16 gal, acero, tapa de tópe desmontable, calibre 22	2.76	3.14	
55 gal, acero galvanizado, estándar, calibre 18, DOT-17E	9.72	7.35	
55 gal, acero, cabeza desmontable, recubrimiento de polietileno de 40 milipulgadas, accesorios externos, calibre 20, 18.53.5 de volumen utilizable, DOT-17M	13.65	7.80	
Lanternas de fibra^{b,c}			
61 gal, 9 hojas, límite de carga de 400 lb, sólo para productos secos, Regla 40 ^d	3.45	8.15	
55 gal, 9 hojas, límite de carga de 400 lb, sólo para productos secos, Regla 40 ^d	3.15	7.35	
41 gal, 9 hojas, límite de carga de 400 lb, sólo para productos secos, Regla 40 ^d	3.05	6.28	
41 gal, 9 hojas, límite de carga de 400 lb, sólo para productos secos, Regla 40 ^d	2.95	5.48	
30 gal, 9 hojas, límite de carga de 400 lb, sólo para productos secos, Regla 40 ^d	2.50	4.00	
30 gal, 7 hojas, límite de carga de 225 lb, sólo para productos secos, Regla 40 ^d	2.25	4.00	
15 gal, 6 hojas, límite de carga de 150 lb, sólo para productos secos, Regla 40 ^d	1.85	3.00	
55 gal, 9 hojas, protección de polietileno, límite de carga de 400 lb, Regla 40 ^d	3.35	7.35	
55 gal, 9 hojas, forro de polietileno y tela de aluminio, límite de carga de 400 lb, Regla 40 ^d	4.05	7.35	
55 gal, 10 hojas, moldeado a soplado, forro de polietileno de 15 milipulgadas hermético a los líquidos, cabeza hermética, tapa de acero con abertura NPT de 2 y 1/2 pulg, límite de carga de 600 lb, DOT-21 C, 21CP, para productos líquidos	7.85	7.35	
30 gal, 9 hojas, igual que el anterior con la excepción de que su límite de carga es de 450 lb	5.90	4.00	
15 gal, 8 hojas, igual que el anterior, con la excepción de que su límite de carga es de 150 lb	2.85	4.00	
15 gal, 5 hojas, igual que el precedente, con límite de carga de 150 lb	1.75	2.00	
55 gal, 9 hojas, límite de carga de 400 lb, tapa la fibra semicircular, desmontable, estilo "Racon"	0.75	0.1335	
15 gal, igual que el anterior	3.05	7.35	
15 gal, igual que el anterior	2.74	6.01	
Bolsas, papel de capas múltiples, película de polietileno (PE)			
Bolsa de válvula empomada, cara de 20 1/2 x 22 pulg, fondo y parte superior de 5 1/2 pulg, con película libre de 1 milipulgada papel kraft, sin impresiones, manga interna de PE	0.15	1.33	Para manga recogida, agréguese 0.00 dólares por bolsa
Bolsa de válvula cosida, 18 x 5 1/2 x 20 1/2 pulg, manga interna de PE de 5 1/2 pulg con película libre de 1 milipulgada papel kraft de 2/50, 1/60, sin impresiones	0.15	1.33	Para impresión, agréguese aproximadamente \$ 0.004/color por un lado solo; idé \$ 0.004/color para el segundo lado
Bolsa de válvula empomada, 18 1/2 x 22 1/2 pulg, fondo y parte superior de 5 1/2 pulg, manga interna de PE, papel kraft 1/50, sin impresiones	0.08	0.84	
Bolsa de boca abierta cosida, 20 x 4 x 20 1/2 pulg, papel kraft liso, 3/50, 1/60	0.14	2.09	
Bolsa de válvula empomada, 24 x 25 1/2 pulg, papel kraft liso de 3/50, 1/60	0.16	2.09	
Bolsa de válvula empomada, 24 x 25 1/2 pulg, fondo y parte superior de 5 1/2 pulg, manga atrapada, papel kraft liso, 1/50, 1/60	0.15	2.00	
Bolsa empomada de boca abierta, 22 x 24 pulg, fondo de 6 pulg, papel kraft liso 1/130 (o 2/70)	0.08	0.08	
Bolsa de tubo plano, de boca abierta, película PE de 10 milipulgadas lisa, 20 1/2 x 34 1/2 pulg	0.21	1.33	
Bolsa de válvula de extremo cuadrado, 20 1/2 x 22 pulg de cara, fondo y parte superior de 5 1/2 pulg, película PE de 10 milipulgadas, lisa	0.26	1.33	
Bolsas plegables, bolsas y cajas plegables^e			
Bolsa, 18 1/2 x 16 1/2 pulg, 2 capas de película PE, de 2 milipulgadas de espesor cada una	0.035	0.12	
Bolsa, tipo autocarero, 6 x 2 1/2 pulg, peso básico de 2 a 40 lb, papel kraft natural	0.03	0.12	
Bolsa, tipo de pizarra, 8 1/2 x 3 x 2 1/2 pulg; peso básico de 2 a 40 lb, papel kraft natural	0.03	0.12	
Caja plegable, 5 x 1 x 8 pulg, tipo de paso corto, cartón kraft de 12 puntos, con exterior blanqueado	0.06	0.025	
Caja plegable, 9 1/2 x 4 1/2 x 15 pulg, fondo y parte superior de superposición completa, cartón de 30 puntos con exterior blanqueado	0.12	0.37	
Cajas para artículos a granel, cajas de cartón corrugado			
Caja de cartón ranurado regular (RSC) 24 x 16 x 6 pulg, 275 lb, pared doble resistente, con juntas de grapas (cosidas con alambre)	0.31		
RSC, 16 x 6 x 24 pulg, pared doble resistente de 275 lb, juntas cosidas con alambre, del tipo de abertura en el extremo	0.23		
Caja para bolsa interior, RSC, 15 x 15 x 22 pulg, pared doble resistente de 275 lb, forro con remache de resistencia de doble pared 600 lb	0.95	2.86	
Caja para artículos a granel, (GR) 600 (prueba en lb para las dos piezas), forro interno laminado de aproximadamente 41 x 34 x 36 pulg, menos recubrimientos de PE y tarima	5.00	5.00	Añadase \$2.25 para tarima especial de 60 y \$0.50 para el forro
Botellones, tambores de plástico, frascos y botellas^f			
Botellón, 13 1/2 gal, polietileno, moldeado por soplado	9.25	1.35	
Lanternón, polietileno, 15 gal, moldeado por soplado, ICC-34 (DOT-34) ^g	10.50	2.08	
Botellón, 15 gal, vidrio, para ácido nítrico, caja de madera	22.50	2.00	
Letra, 1 gal, de vidrio, con asa, tapa de plástico	0.36	0.1335	
Botella, 1 cuarto, vidrio tipo "Boston", redonda, con tapa de plástico	0.10	0.054	
Frasco, 1 cuarto, de vidrio, boca ancha, tapa de plástico	0.15	0.034	

Tabla 7-15. Costos aproximados, en 1971, de recipientes para productos químicos—(continuación)

Tamaño de recipiente, descripción	Costo unitario	Volumen utilizable, pies ³	Observaciones
Botellones, tambores de plástico, frascos y botellas^f (continuación)			
Frasco, 1 gal, polietileno, boca ancha, tapón de plástico	\$0.16	0.1335	
Botella, 1 gal, polietileno, cuello estrecho, tapón de plástico	0.16	0.1335	
Botella, 1 cuarto, polietileno, cuello estrecho, tapón de plástico	0.08	0.034	
Frasco, 1 pinta, polietileno, boca ancha, tapón de plástico	0.07	0.017	
Latas cubetas^h			
Cubeta, 5 gal, acero, cabeza hermética, acero negro de calibre 26, pico de ferrame de PE, no forrado	1.23	0.67	
Cubeta, 5 gal, acero negro de calibre 26, cabeza desmontable, no forrado, tapa con pestañas, asa de alambre de alambre	1.07	0.67	
Lata, 1 gal, cubierta de reborde de fricción, asa (lata de pintura)	0.34	0.1335	
Lata, 1 cuarto, cubierta de reborde de fricción (para pintura)	0.14	0.034	
Lata, 1 gal, oblonga de tipo "F", con asa y tapa a rosca	0.37	0.1335	
Lata, 1 cuarto, oblonga, de tipo "F", con cubierta a rosca	0.17	0.1335	
Tarimasⁱ			
	Tamaño	Costo del tipo desechable ^h	Costo del tipo almacén ^h
	40 x 48	\$2.50	\$4.50
	35 x 42	1.90	4.10
	42 x 48	3.25	5.00
	48 x 48	3.50	5.40
	44 x 50	4.00	6.10
Materiales para envolver^j			
Película, polietileno, del tipo de tubo soplado, no se encoge, rendimiento = 30 000 pulg ² (80 milipulgadas) empaque estándar Zondel	0.20	—	Costo por lb
Película, polietileno, 70% encogible, dirección de máquina, 30% en dirección transversal a la máquina; rendimiento antes del encogimiento = 30 000 pulg ² (80 milipulgadas) Zondel S-203 ^h	0.38	—	Costo por lb
Película, polietileno, encogible, rendimiento antes del encogimiento = 31 100 pulg ² (80 milipulgadas), U del LT ^h	1.03	—	Costo por lb
Papel kraft ^k , de calidad para envolver, peso básico de 50 lb/rama, rendimiento = 3 000 pies ² /rama	30.00	—	Costo por rama

^h El lanternón tiene aberturas en la cabeza de 2 y 1/2 pulg NPT (National Pipe Thread)
ⁱ Precio por vagón, f.o.b., fábrica en la Costa Este
^j Departamento de Transportes
^k Cabeza desmontable sujeta con anillo de pernos, con tornillos realizados
^l Los tambores sus de fibra lisa, con fondo y cubierta de acero y tienen un anillo de cierre por medio de una palanca
^m Precio por vagón, f.o.b., planta del comprador
ⁿ Precio por camion, f.o.b., planta del comprador en la Costa Este
^o Datos dados para películas de la Union Carbide Corp (se proporciona el nombre de la marca).

Tabla 7-16. Datos comparativos de recipientes^a

Producto: píldoras de plástico de 30 lb/pie ³ de densidad de masa	Bolsas domésticas de papel	Cajas para artículos a granel	Tarima sellada de 300 pies ²	Lanternón para materiales a granel	Recipientes de furgón	Vagón tolva
Construcción	De paredes múltiples, con extremo perpendicular, válvula empomada, 3 capas con la última capa de forro de aislamiento libre hasta el producto, 1 70 lb	Caja corrugada con cilindro interno y forro de polietileno	4 hojas SBR de buje, tela y láminas de neopreno	Tanque de aluminio soldado con bomba de descarga accionada por aire	De aluminio soldado, para muelle en balsas, camiones y vagones del ferrocarril	Acero soldado con interior recubierto de plástico
Tamaño	16 x 25 x pulg, boca	24 x 34 x 49 pulg de altura	7 pies 2 pulgadas de diámetro por 8 pies de altura	5 pies de anchura y 900 pies	5 x 8 x 30 pies	Carroones de 5 250 pies y 100 ton, racks de calibre estándar, 4 pies 8 1/2 pulg
Capacidad, lb (densidad del producto de 30 lb/pie³)	50	900	10 000	35 000	50 000	180 000
Peso de vacío (taras) típico, lb	0.75	30	550	20 000	3 200	100 000
Costo unitario, dólares, cts	\$0.145	\$7.25	\$860	\$18 000	\$4 200	\$38 000
Costo de alquiler, dólares, cts	16	16	16	16	16	272
Vida estimada	Un viaje	Un viaje	10 años	15 años	10 años	20 años
Rango de empaque plástico, milés	Cualquiera	Cualquiera	1 000	250 máximo	Cualquiera	380 mín.
Costo del sistema (tipico por 100 lb)	\$1.15	\$1.60	\$0.65	\$0.20	\$0.20	\$0.08
Costo en planta (tipico por 100 lb)	\$25 000 a \$50 000	\$5 000 a \$15 000	\$40 000 a \$75 000	\$5 000 a \$30 000	\$10 000 a \$30 000	\$10 000 a \$30 000

^a Basado en los precios de 1971.
^b Incluye el costo por recipiente, el llenado, el manejo y el almacenamiento —para volumen mínimo de 1 000 ton/mes—, pero no se incluye el flete o la amortización del equipo de llenado.
^c Representa la inversión típica en equipos de llenado y manejo. La cantidad real depende de la disposición de la planta y la naturaleza de las instalaciones existentes.

Tabla 7-17 Dimensiones de bolsas de papel de capas múltiples

Tipo de bolsa	Dimensiones del tubo	Dimensiones de la cara acabada	Dimensiones de la cara, lona*	Dimensiones de la válvula
Bolsa abierta cosida	Anchura = $W_f = W_f + C_f$ Longitud = $L_f = L_f$	Anchura = $W_f = W_f - C_f$ Longitud = $L_f = L_f$ Carceta = C_f	Anchura = $W_p = W_f + \frac{1}{2}$ pulg Longitud = $L_p = L_f - 0.07 C_f$ Espesor = $C_p = C_f + \frac{1}{2}$ pulg	Anchura = $V = C_f \pm \frac{1}{2}$ pulg
Válvula cosida	Anchura = $W_f = W_f + C_f$ Longitud = $L_f = L_f$	Anchura = $W_f = W_f - C_f$ Longitud = $L_f = L_f$ Carceta = C_f	Anchura = $W_p = W_f + 1$ pulg Longitud = $L_p = L_f - 0.07 C_f$ Espesor = $C_p = C_f + 1$ pulg	Anchura = $V = T_p \left\{ \begin{array}{l} +0 \text{ pulg} \\ -1 \text{ pulg} \end{array} \right.$
Válvula engomada	Anchura = $W_f = W_f$ Longitud = L_f	Anchura = $W_f = W_f$ Longitud = $L_f = L_f - (T_p + T_b)/8 - 1$ Espesor en la parte superior = T_p Espesor en el fondo = T_b	Anchura = $W_p = W_f - T_p + 1$ pulg Longitud = $L_p = L_f - T_p + 1$ pulg Espesor = $T_p = T_p + \frac{1}{2}$ pulg	

Significado de los subíndices: B = fondo; f = cara acabada; F = cara lona; T = tubo; T = parte superior
 * Las fórmulas se basan en las condiciones de las bolsas después del aplastamiento mecánico.
 † La dimensión de la válvula es la distancia plana, que no debe sobrepasar ± 1 pulg + G para mantener un buen cierre. Circunferencia de la válvula = dos veces la anchura.
 ‡ H_f y T_b suelen ser iguales; si difieren, así es el promedio. T = espesor.
 § La dimensión de la válvula es la distancia plana. La anchura de la válvula se puede hacer menor que la anchura de la parte superior, sin afectar las propiedades de cierre.

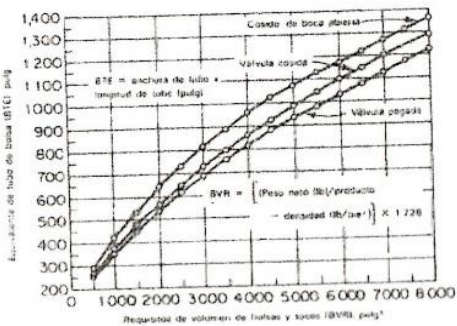


Figura 7-38. Tamaños aproximados de bolsas de papel de capas múltiples.

bolsas de papel son las de fondo de pinza y las cuadradas. Los dos tipos suelen tener un esquinero que contribuye a darles una sección transversal rectangular (lo que constituye un rasgo cuando se empaquetan en bolsas o cajas de cartón). Aun cuando el tiempo de espera para la satisfacción de los pedidos es más largo que para el dispositivo de conformación, llenado y sellado y el mano de obra operacional es mayor, los costos de capital y mantenimiento son más bajos (tabla 7-15) y la seguridad del equipo más elevada. Esos paquetes pequeños requieren un recipiente principal para los envíos. Se emplean muchas las cajas de cartón corrugado, al igual que las bolsas flexibles de empaquetado.

Las bolsas de empaquetado son de boca abierta, engomadas, con una o más capas, ya sea de fondo cuadrado o de diseño de autobertura (con esquineros). Las bolsitas se meten en las bolsas de empaquetado con el eje largo paralelo al de las bolsas. Puesto que las bolsitas deben empaquetarse firmemente, es indispensable contar con un equipo de carga de compresión mecánica.

Tabla 7-18 Factores de corrección f de volumen equivalente de bolsas (BVE) para condiciones específicas*

Tipo de material	Asistido y tipo de material de construcción de bolsas		Características de la máquina llenadora		Condiciones de transporte, manejo y almacenamiento				
	f	Tipo	f	Características de las partículas del material		Transporte mecánico		Transporte neumático	
				Tamaño, pulg	Forma	Corriente de salida del producto	Del almacenamiento	Corriente de salida del producto	Del almacenamiento
Laminaciones de papel kraft y asfalto	1.03	Núcleo, peso bruto	1.00	$\frac{1}{16}$	Píldoras, redondas	1.00	1.00	1.00	1.00
				$\frac{1}{8}$	Píldoras, redondas	1.06	1.00	1.00	1.00
				$\frac{3}{16}$	Cubos	1.01	1.01	1.01	1.01
				$\frac{1}{4}$					
Poliétileno depositado por extrusión sobre papel kraft	1.05	Núcleo, peso neto	1.03			1.02	1.01	1.03	1.02
Poliétileno depositado por extrusión sobre papel kraft con perforaciones parciales	1.01	Banda	1.05	Malla +200	Gránulos, bordes agudos	1.02	1.02	1.03	1.03
Laminados de papel kraft, poliétileno y papel de aluminio	1.15	Banda de prepesado	1.01	Malla +200	Gránulos, bordes lisos	1.02	1.02	1.03	1.03
Papel kraft encerado	1.09	Fluidización	1.02	-50, +200 Malla	Laminillas	1.00	1.02	1.05	1.03
Glassine	1.04	Gravedad	1.15	$+\frac{1}{4}$, $-\frac{3}{4}$	Escamas	1.02		1.03	
Película libre de poliétileno, de 1 a 4 milipulgadas de espesor	1.03	De prepesado—boca abierta	1.00						
		Peso bruto—boca abierta	1.10	Mezcla de mallas de -30 a +200	Gránulos, agudos	1.01	1.01	1.03	1.02
Bolsa de película de poliétileno (película tubular extruida con extremos sellados térmicamente)	1.10			Mezcla de mallas de -30 a +200	Gránulos, redondos	1.02	1.02	1.05	1.03
	1.15			Malla de -325	Gránulos, laminillas	1.04	1.03	1.07	1.03

* Los factores aproximados se basan en muchas observaciones de cada material o cada condición indicada.
 † Se aplica a todos los materiales comerciales de tipos diseñados, a menos que se indique otra cosa.

CAJAS

Las cajas para artículos a granel (figura 7-37) de papel kraft corrugado para productos secos y a granel, caen en dos categorías: las grandes, para cargas de 1 000 a 3 000 lb, y las pequeñas para cargas de 50 a 150 lb. Las cajas grandes se utilizan mucho para el envío de resinas y las pequeñas para algunos materiales de tamaño regular (tales como sosa cáustica) y para productos de baja densidad de masa que se considera que tendrán que satisfacer fletes demasiado elevados estos se embalan en bidones o tambores.

Una caja para artículos a granel algunas veces llamada "caja con bolsa interna" consiste en una caja dentro de otra, más otros elementos tales como acojinamientos en los extremos, forros de bolsas de polietileno y materiales de cierre (cinta, goma y grapas). Las placas de papel kraft corrugado de pared doble consisten en un forro exterior, un medio corrugado, una línea central, otro medio corrugado y un forro interno; el tablestacado de pared simple consiste en un forro interno y otro externo con un centro corrugado. Las especificaciones para cada tipo de cajas dependen de las necesidades de servicio; es común una resistencia al reventamiento de 600 lb/pulg² para cargas de 1 000 lb, y de 275 para 150 lb. Se dispone de materiales de construcción que resisten la humedad elevada y el mojado con agua.

Las ventajas de estos recipientes están determinadas por sus características de cierre y su utilización eficiente del espacio de almacenamiento así como su transporte. Los inconvenientes son el espacio que se requiere para almacenar los componentes de las cajas antes de su montaje y el mercado limitado de reutilización. Cuando se hacen sobre pedido, el tiempo de espera para las cajas va de tres a seis semanas. Los equipos de llenado son similares a los de los tambores o bidones. La preparación de la caja puede necesitar dos hombres debido a las dificultades de manejo de los componentes. En la tabla 7-19 se da una idea de las velocidades del llenado para diversos tipos de cajas y varias disposiciones de llenado.

Las cajas de madera con zunchos de alambre (con cargas típicas de una a dos toneladas) se usan poco para los productos químicos. El cuerpo de la caja—duelas delgadas de madera sujetas con alambre de acero zunchado en torno a cada placa—se sujeta a una tarima de madera de plataforma sólida. La parte superior consiste también en placas de madera sujetas con alambre. Un forro de polietileno protege los productos y evita que se caigan por las grietas. Las desventajas de este tipo de recipiente son la mano de obra que se necesita para su preparación y el espacio para desmontarlas. Puesto que los fabricantes están casi siempre cerca de las fuentes de madera dura, los costos de envío a los usuarios pueden ser muy elevados y los tiempos de espera para satisfacer los pedidos de tres a cuatro semanas.

Se hacen cajas plegables con cartón, en unidades del tamaño solicitado por los consumidores (desde unas cuantas onzas hasta cerca de 25 lb), con el fin de contener productos tales como insecticidas, compuestos que se funden, sales y aditivos alimenticios. Con frecuencia se incluyen bolsas de polietileno para proteger los productos contra la humedad o evitar que se derramen por las aberturas diminutas de los pliegues, en las partes superior e inferior. El tiempo de espera para satisfacer pedidos va de seis a ocho semanas. Las cajas plegables montadas son densas y se almacenan eficientemente cuando se cargan en tarimas. Una tarima típica mide 30 x 36 pulg, con una carga de 48 pulg de altura. Los equipos de llenado—que se pueden utilizar también para llenar bolsitas, sacos pequeños y frascos de vidrio—van desde las unidades pequeñas de funcionamiento manual hasta las automáticas para alta producción. Las más comunes son las del tipo manual, de pesado en bruto.

Las cajas de cartón para envío de líquidos en latas y botellas, los sólidos a granel en frascos, bolsitas y cajas plegables y los artículos granulados con o sin embalajes individuales, se hacen por

lo común de papel kraft corrugado. Puesto que los recipientes dentro de los cartones pueden soportar comúnmente cargas impuestas en sentido vertical, las cajas de cartón se construyen en forma menos sólida que las utilizadas para materiales a granel. Los tipos más comunes son el cartón ranurado regular (RSC), el RSC de extremo abierto y los recipientes ranurados de superposición central, para llenado especial. Las juntas de los extremos se pueden engrapar, coser, engomar o fijar por medio de cintas adhesivas.

Las especificaciones incluyen las dimensiones de longitud, anchura y profundidad en este orden (figura 7-37e). Cuando las cajas se preparan y cierran mediante equipos automáticos, las tolerancias dimensionales se hacen críticas. Las cajas de cartón se envían ya montadas a los usuarios desde las fábricas situadas en todos los centros industriales. Puesto que el tiempo de espera para la satisfacción de los pedidos va de cuatro a seis semanas, las existencias o inventarios de cajas vacías requieren un espacio considerable.

Con frecuencia, el tamaño de los artículos empacados en cartones corrugados no permiten entrelazar hilera de cartones y deja espacios vacíos considerables entre ellos. Puesto que el cálculo manual del mejor tamaño de los cartones para la densidad mínima de carga en tarimas requiere un esfuerzo considerable, existen programas de computadora para venta, alquiler o utilización sobre la base de contratos. Como ejemplos tenemos el programa CAPE-ARRANGE (Danray Corp. Dallas, Texas), y SPACE I (Physical Distribution Services, Marketing Publications, Inc, Washington, D.C.).

BIDONES O TAMBORES

Los bidones o los tambores (figura 7-37) hechos de acero o fibra, son los siguientes en importancia después de las bolsas de papel de capas múltiples. Para pasteles o sólidos secos, predominan los tambores de fibra; para los líquidos, los bidones de acero. Estos últimos, en el diseño de cabeza abierta, se usan para productos secos cuando son peligrosos o se deben almacenar al aire libre o cuando tengan una densidad que hagan que los pesos razonables sobrepasen los límites para los tambores de fibra. Aunque sólo son comunes unos cuantos tamaños, se pueden hacer tambores de fibra sobre pedido casi de cualquier tamaño y en cualquier combinación de diámetros y longitud para volúmenes de 0.75 a 75 galones y pesos que van de 60 a 550 lb (tabla 7-15).

Las ventajas de los tambores o bidones son la protección del contenido, la facilidad para volver a cerrarlos y un valor apreciable de reventa y reutilización. Una de las limitaciones más graves es la del uso ineficiente del espacio debido a su forma cilíndrica, que da como resultado costos elevados de almacenamiento y transporte. Para vencer esto, se ha desarrollado un tambor de fibra de sección transversal cuadrada (tambor Ro-Con*) y la "caja con bolsas internas" corrugada para artículos a granel.

Los tambores de fibra decorados con anuncios publicitarios cuestan de 10 a 40 centavos de dólar cada uno, dependiendo de la complejidad y el número de colores. El tipo más común es el cuerpo de papel kraft, de capas múltiples, con fondo de acero y tapa reforzada, introducida a presión en el tambor. Sobre el cuerpo se ajusta adecuadamente una tapa de acero mediante un anillo apretado con un sistema de palanca. Para la protección contra el vapor, se incluyen barreras entre las capas o se usan forros como primera capa de contacto con el producto. Entre la barrera y los materiales de forro hay películas de polietileno (PE), aluminio y acero, poliésteres y silicones. Cuando se deben almacenar líquidos, se usan forros de PE moldeados por soplado. Los forros de PE de película libre insertados por el usuario proporcionan una combinación de barrera y propiedades de

* Marca Registrada, Greif Bros. Container Corp.

Tabla 7-19. Datos de rendimiento para sistemas embalados

Tipo de máquina de llenado y pesado	Número de bocas de llenado	Detalle del embalaje				Detalle del producto			Peso del contenido, lb	Índice de embalaje, paquetes/min		Variación del promedio, onzas	Personal necesario para empaques*				Inversión aproximada (1971)		Muecas de paquetes	
		Tipo	Tamaño, pulg	Construcción de, peso básico - pliegues	Cierre	Materiales	Densidad de masa, lb/pulg	Tamaño de partícula, estándar de EUA		Preparación de empaques, suministros	Operadores de máquinas llenadoras		Cerradores de paquetes	Asistentes, cargadores y preparadores de tamal	Máquina llenadora	Sistema	Paquetes sobre transportadores	Colocación automática en paletas		
Fluidización SFW I	4	Bolsa de válvula engomada	20x25 Ancho de ca-pesado de 5	4-170 (= 4 hojas, 170 lb)	Manga interna	PVC	38	Malla -60	50	12	17	4	1	1	0	2	\$25 000	\$160 000	Si	No
Banda centrífuga, PWS I	2	Bolsa de válv. engomada	21x25 1/2 top	4-170 Barrera de PE I	Manga interna	PE I	30	Pildoras, 1/2 pulg	50	16	22	0.5	0.5	1	0	0.5	35 000	125 000	Si	Si
PWS, llenador de boca abierta SMC I	1	Bolsa SOM I	16x5x30 1/2 top	4-170 Barrera de PE	Cosida, pegada con cinta	PE	30	Pildoras, 1/2 pulg	50	8	12	0.5	1	1	1	2	10 000	45 000	Si	No
Fluidización SFW I	2	Bolsa de válv. engomada	20x25 1/2 top	4-170	Manga atrapada	PVC	38	Malla -60	50	6	6	4	1	1	0	1	18 000	75 000	Si	No
Fluidización SFW Impulsor, SFW	3	Bolsa de válv. engomada	21x25 1/2 top	4-170	Manga atrapada	PE	30	Pildoras de 1/2 pulg	50	16	24	3	1	1	0	1	22 000	125 000	Si	Si
	4	Bolsa de tubo plano de PE	18x20 1/2 top	3-170	Manga atrapada	Cemento Portland	94	Malla -325	94	22	28	8	1.5	1	0	0.5	25 000	150 000	Si	Si
Taladro, SFW, peso neto	1	Bolsa de válvula cosida	16x5x30 1/2 top	4-100	Manga atrapada	PE	38	Cubitos de 1/2 pulg	50	1	2	3	0.25	0.25	0	0.5	6 000	12 000	No	No
Banda centrífuga, SFW	2	Bolsa de válvula engomada	15x5x35	3-150 Barrera de PE	Manga atrapada	Fertilizante, mezclado	55	Malla -10 a +10	80	12	16	8	1	1	0	2	15 000	75 000	Si	No
PWS, llenador de boca abierta, SMC I	1	Bolsa SOM I	17x5x30	3-150 Barrera de PE	Cosida, sin cinta	Fertilizante, mezclado	55	Malla -10 a +10	80	16	22	4	1	1	2	2	10 000	55 000	Si	No
Fluidización, SFW	4	Bolsa de válvula engomada	18x20 1/2 top	3-150 Barrera de PE	Manta interna de PE	Fertilizante, mezclado	55	Malla -10 a +10	90	18	24	60	1	1	0	2	27 000	80 000	Si	No
PWS, de boca abierta, con sellado térmico	1	Bolsa de tubo plano de PE	16x20 1/2 top	10-Barrera de PE	Sellado térmicamente	Fertilizante, mezclado	55	Malla -10 a +10	50	18	24	4	1	1	1	2	15 000	65 000	Si	No
Por gravedad, SFW	1	Bolsa de válvula cosida	16x5x30 1/2 top	4-100	Manga atrapada	Policloruro	38	Cubos de 1/2 pulg	50	0.2	0.1	16	0.25	0.5	0	0.25	800	3 000	No	No
De balanza de plataforma, con corte automático después del llenado, SFW	1	Tambor	55 gal.	6 hojas de fibra (300 lb)	Cubierta de acero ce-rrada con palanca	Compuesto limitador	45	Malla -20 a +30	250	1	4	2	1	0.5	0.5	1	6 000	25 000	Si	No
Balanza de plataforma, corte y llenado automático, SFW	1	Caja para artículos a granel, recubri-miento de PE de 3 milipulgadas	15x15x24	Extensor: prueba a 275 lb, DW = Recubri-miento 500 lb I	Grapas	Inactivo, grado técnico	40	Malla -200	100	0.5	1	4	1	1	1	1	10 000	20 000	No	No
De balanza de plataforma, corte y llenado automático, SFW, engrapador automático	1	Caja para artículos a granel	31x11x30	Cajas internas y externas, 600 lb a prueba, placas de papel kraft DW	Grapas	FE	30	Pildoras de 1/2 pulg	900	0.33	0.50	8	2	0.75	0.25	...	10 000	50 000	Si	No
Núcleo vertical, SFW	1	Bolsa pequeña	10x4x25 14x27	Papel de 3-130, 2 a 4 mil-pulgadas de PE	Engomada, sellado térmicamente	Polvo inerte	50	Malla de -325	10	5	10	1	1	1	1	3	5 000	25 000	Si	No
Núcleo vertical, SFW	1	Caja plegable	6 1/2 x 3 1/2 x 9	Placas recubiertas de 12 puntos, con forro PE de 2 milipulgadas	Engomada, recubri-miento de PE tipo	Polvo inerte	50	-10 micras	1.5	8	12	0.5	1	1	1	3	5 000	10 000	Si	No
Conformadora y llenadora de bolsas PWS	2	Bolsa	8 1/2 x 13	Película de PE de 1 a 3 mil-pulgadas	Corte por atmósfera ca-liente, sello térmico.	Detegente, suavizante y reciclaje	30	Malla -30 a +10	2.5	10	12	0.5	1	...	...	2	25 000	35 000	Si	No
Empacadora, alimentación manual, cierre mecanizado	...	Bolsa de empaquetar	23x30	2-140	Engomada	Bolsa de herbicidas, para 12.5 lb	45	Malla -325	60	1.5	3	...	0.5	0.5	0.5	0.5	10 000	15 000	Si	No
Empacadora, alimentación y cierre manual	...	Bolsa de empaquetar	23x30	2-140	Engomada	Bolsa de herbicidas, 12.5 lb	45	Malla -325	60	1.5	3	...	0.5	0.5	1	1	5 000	2 000	No	No
Envase corrugado, alimentación manual, cierre mecanizado	...	Caja de cartón regular, ranurado	26x16x7	278 DW	Engomada	Bolsa de herbicidas, 12.5 lb	45	Malla -325	60	1	2	...	0.5	0.5	0	1	7 000	10 000	Si	No

* Las fracciones indican el tiempo requerido por un hombre para realizar la actividad; éstas se adicionan para calcular el número de personas necesarias.
 † Incluye el equipo y la instalación; pero no los edificios o los servicios que se requieren.
 ‡ Definición de abreviaturas: SFW = llenado y pesado simultáneos; PWS = balanza de pesado previo; SMC = cerrador de máquina de coser; DW = pared doble; SOM = boca abierta cosida; PE = polietileno; PVC = cloruro de polivinilo.

forro con un costo menor que el de la inclusión de los forros como parte del cuerpo del tambor.

Se hacen también tambores de fibra con una tapa de fibra removible y un fondo de fibra que se puede retirar o permanecer fijo al cuerpo. Estos tambores no se pueden volver a utilizar adecuadamente; pero cuestan menos que los de tipo de cubierta metálica con cierre de palanca. Los equipos de llenado consisten casi siempre en una canalera de operación manual, conectada a un depósito de suministro que reposa sobre una balanza de plataforma. En la tabla 7-19 se muestra la productividad de mano de obra de los diversos sistemas.

OPERACIONES DE EMBALAJE

Las operaciones de embalaje de artículos secos a granel se dividen en dos categorías: pesado y llenado de un paquete —que es el recipiente de envío— a pesado y llenado de paquetes pequeños que, a su vez, se ponen en otros recipientes para su envío.

La elección del equipo y el modo en que se combina en un sistema depende de factores como los productos y sus propiedades

químicas, físicas y reológicas; el tipo de paquete que se debe llenar, la salida total de embalajes que se requiere, el índice instantáneo y el promedio de llenado; el costo, las actitudes y la disponibilidad de mano de obra, el espacio disponible para los equipos, las condiciones de almacenamiento, los envíos y transportes, el costo y la disponibilidad de capital, las características temporales de las actividades de embalaje, la duración esperada de la operación, las condiciones sanitarias, de seguridad, de embalaje y trabajo que imponen las dependencias oficiales, las características de mantenimiento y seguridad de los equipos, los cambios que se pueden esperar en los productos y su demanda y la naturaleza del mercado para los productos (ya sea, industriales, de consumo, agrícolas o del gobierno).

Pesado

Hay dos tipos principales de equipos de llenado, pesado y embalaje: de llenado y pesado simultáneo —donde el material se pesa al mismo tiempo que se vierte al recipiente— y de prepesado —donde el material se pesa antes de que se llene el recipiente—. El primer tipo se aplica principalmente a las bolsas de válvulas

Peso del contenido, lb	Índice de embalaje, paquetes/min		Variación del promedio, onzas	Personal necesario para empaques*				Inversión aproximada (1971)		Muecas de paquetes	
	Práctico	Instantáneo		Preparación de empaques, suministros	Operadores de máquinas llenadoras	Cerradores de paquetes	Asistentes, cargadores y preparadores de tamal	Máquina llenadora	Sistema	Paquetes sobre transportadores	Colocación automática en paletas
50	12	17	4	1	1	0	2	\$25 000	\$160 000	Si	No
50	16	22	0.5	0.5	1	0	0.5	35 000	125 000	Si	Si
50	8	12	0.5	1	1	1	2	10 000	45 000	Si	No
50	6	6	4	1	1	0	1	18 000	75 000	Si	No
50	16	24	3	1	1	0	1	22 000	125 000	Si	Si
94	22	28	8	1.5	1	0	0.5	25 000	150 000	Si	Si
50	1	2	3	0.25	0.25	0	0.5	6 000	12 000	No	No
80	12	16	8	1	1	0	2	15 000	75 000	Si	No
80	16	22	4	1	1	2	2	10 000	55 000	Si	No
90	18	24	60	1	1	0	2	27 000	80 000	Si	No
50	18	24	4	1	1	1	2	15 000	65 000	Si	No
50	0.2	0.1	16	0.25	0.5	0	0.25	800	3 000	No	No
250	1	4	2	1	0.5	0.5	1	6 000	25 000	Si	No
300	0.5	1	0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	1 500	5 000	Si	No
100	0.5	1	4	1	1	1	1	10 000	20 000	No	No
900	0.33	0.50	8	2	0.75	0.25	...	10 000	50 000	Si	No
10	5	10	1	1	1	1	3	5 000	25 000	Si	No
1.5	8	12	0.5	1	1	1	3	5 000	10 000	Si	No
2.5	10	12	0.5	1	...	...	2	25 000	35 000	Si	No
60	1.5	3	...	0.5	0.5	0.5	0.5	10 000	15 000	Si	No
60	1.5	3	...	0.5	0.5	1	1	5 000	2 000	No	No
60	1	2	...	0.5	0.5	0	1	7 000	10 000	Si	No

las bolsitas, las cajas para artículos a granel y las cajas para bolsas; el último a las bolsas de boca abierta, las bolsas pequeñas y las cajas de cartón, a los recipientes de conformación, llenado y sellado y, a veces, a las bolsas de válvula.

Hay otra distinción que se hace entre los pesadores netos y los pesadores en bruto. Los pesadores netos se definen por la razón (en la gama de 0.3 a 0.5) del peso del material cargado al del recipiente de pesado y las piezas asociadas. Las balanzas de prepesado son buenos ejemplos de pesadores netos. En los pesadores en bruto, de los que los dispositivos de llenado y pesado simultáneamente constituyen un buen ejemplo, la razón suele ser mayor que la unidad. Los pesadores netos tienen una precisión que está dentro ± 0.125 a $\pm 0.25\%$ y los pesadores en bruto ± 0.5 a 1.0% . El mantenimiento de ciertas condiciones de las balanzas de alimentación es crítico para obtener precisión y sostener un índice dado de producción; tienen una gran importancia los depósitos de sobreflujos y los dispositivos apropiados de alimentación. Si se desea, se puede incrementar la exactitud del pesado, a un costo elevado, mediante accesorios y modificaciones especiales, balanzas armónicas adaptadas con mecanismos de balanceo, balanzas con interceptadores de balanceo, dispositivos de goteo y a granel y alimentadores.

La exactitud de un dispositivo pesador dinámico se expresa como el porcentaje de desviación en más o en menos, de un peso

preestablecido, que sólo se puede aproximar al peso real deseado. La naturaleza dinámica del pesado requiere que la balanza responda a las condiciones estáticas estables, así como también a una serie de condiciones dinámicas constantes. Las variaciones pequeñas de la densidad del producto pueden hacer que el peso establecido se desvie, dando como resultado pesos embalados inaceptables. Con frecuencia se sospecha que la sensibilidad de la balanza es deficiente, cuando, de hecho, es el peso establecido el que se desvia. Esto se puede verificar con facilidad, probando una serie de pesos y determinando su desviación estándar.

Pesado de verificación. Debido a la desviación de los pesos establecidos y la influencia de las legislaciones federales y estatales sobre las desviaciones permitibles de los pesos anunciados, una de las principales fases nuevas del llenado y el pesado de paquetes es el de la verificación. Esta última se puede realizar manualmente con una balanza de plataforma y seguir, a continuación, un procedimiento estadístico simple, con una gráfica de control. Existen dispositivos aplicables a las balanzas de prepesado, que toman y registran pesos estáticos inmediatamente antes de la descarga a la máquina de llenado. Hay pesadores de verificación en líneas que pesan cada paquete y lo rechazan o lo dejan pasar más adelante dependiendo de su peso además de que mantienen un registro de los resultados. Un desarrollo reciente permite el reajuste automático continuo del peso establecido de la balanza

por medio de una minicomputadora de procesamiento que registra cada peso, y a continuación, a partir de una serie de ellos, calcula si el peso establecido se está desviando o no. A continuación, se hace un ajuste del peso básico de la balanza.

Equipos de llenado y pesado

En la selección de equipos de llenado de entre la gran variedad disponible (tabla 7-19) y su combinación en el sistema total, tiene especial interés la relación del equipo con las producciones instantáneas, promedio y personal. El sometimiento a métodos, la subdivisión en elementos de trabajo y la predicción del tiempo necesario para cada función operacional por medio de datos normalizados tales como MTM (medición de tiempo de métodos) y GPD (datos para fines generales) permiten la identificación precisa de los trabajos y su contenido. De ese modo, se puede calcular la producción promedio y, a partir de ese valor, la instantánea.

El índice instantáneo, que es el índice que incluyen los fabricantes de equipos es sus garantías de funcionamiento, se define como el número de paquetes producidos por minuto, cuando el equipo funciona en condiciones normales. El índice promedio —la medida que necesita el usuario para planear la producción y sus compromisos— se puede definir como el promedio aritmético (paquetes por minuto) producido en un turno (por lo común de ocho horas). Es preciso tomar en consideración la seguridad del equipo al determinar los índices promedio, puesto que las fallas de funcionamiento que provocan tiempo ocioso pueden tener efectos importantes sobre los valores de los índices.

Equipos de llenado de bolsas de válvula. Aunque las bolsas de papel y plástico se pueden llenar mediante una gran variedad de equipos, predominan los del tipo de llenado y pesado simultáneo (pesado en bruto). El dispositivo más importante en esta categoría es el del tipo de fluidización, para el que se aplican las gamas y los parámetros que siguen:

Parámetro	Gama de capacidades
Tamaño de partículas	Píldoras de 3/8 de pulgada a inferiores a una micra
Densidad a granel	0.5-200 lb/pie ³
Puntos de llenado (canaletas)	1-4
Peso empacado	20-150 lb
Volumen empacado	1-6 pie ³
Material de construcción en contacto con el producto	Aceros al carbono, inoxidables y recubiertos de plástico
Capacidad de producción	1-30 bolsas/min
Tamaños de válvulas de las bolsas	3-5 1/2 pulg
Límites de error en el pesado	± 2 onzas posibles ± 4 onzas, normalmente

Ensayadoras de fluidización. Pueden satisfacer cualquier exigencia de producción que vaya de la escala de plantas piloto a la de las instalaciones con transportadores, de alto tonelaje y trabajo intenso. Se proporciona una cámara con un cojín de aire en el fondo, adyacente a una canaleta de llenado. Una columna de productos sobre esta sección, que es la que provoca el flujo, se puede abrir a la atmósfera o encerrarse y someterse a presión. Cuando se alcanza el peso deseado de la bolsa, la balanza pesadora que forma parte del equipo activa el mecanismo para cerrar la válvula por la que pasa el material hasta la bolsa. El aire de fluidización y presión se puede obtener mejor mediante un ventilador de desplazamiento positivo a razón de 3 hp por canaleta de llenado.

En los fluidizadores equipados con transportador y canaletas múltiples y en algunos tipos de máquinas llenadoras de banda y sinfin tiene un interés especial una combinación del asiento del

operario, el reposo de la bolsa y el trabajo de sujeción de las mangas. Este dispositivo hace que el operario se encuentre en una posición sencilla y positiva de la manga. El uso amplio de las mangas internas de películas de polietileno ha reducido la importancia de la característica de sujeción de las mangas.

Otro desarrollo que tendrá efecto considerable es un dispositivo automático de colocación de bolsas, que consisten en una máquina que contiene aproximadamente 100 bolsas vacías y válvulas engomadas y un mecanismo para retirar las bolsas de alimentación, abrir la válvula y ponerla sobre la canaleta de llenado, iniciando el ciclo de llenado y descarga. El costo del dispositivo instalado se puede recuperar en aproximadamente un año de funcionamiento, basándose en los índices típicos de salarios que se pagan en Estados Unidos para la mano de obra de líneas de embalaje.

Por lo común, se aplican llenadores de núcleo o del tipo de asiento a bolsas de válvula del tipo de manga doblada, cuando se necesitan índices de producción de una a dos bolsas por minuto y admiten límites de error en el pesado ± 1%. Los más comunes son los diseños de canaleta de llenado de sinfin simple (por lo común del tipo de pesado neto), con características de llenado y pesado simultáneo.

Las llenadoras de peso en bruto necesitan un dispositivo de alimentación que puede ser una banda, un vibrador o un sinfin, dependiendo del producto. Se pueden manejar partículas de tamaños que van de 1/2 pulg a polvo de malla 325, al igual que artículos con densidades de masas que van de 5 a 200 lb/pie³. La potencia requerida va de 0.5 a 5 hp. Se obtiene exactitud en el pesado, haciendo el motor hasta una determinación rápida, una vez que alcanza el peso correcto, y el sistema de la balanza activa al control mecánico o eléctrico. Aun cuando las ensacadoras de fluidización han reducido la importancia del tipo de sinfin, éste último tendrá siempre aplicaciones en los lugares en los que el espacio constituya un problema y se deban mantener bajas inversiones.

Las ensacadoras centrifugas del tipo de banda se usan más en productos granulados o en píldoras, con densidades de masa que van de 25 a 100 lb/pie³. La llenadora de canaleta simple llenado y pesado simultáneo, que consisten básicamente en un transportador de banda corta, manejan de una a tres bolsas por minuto con exactitudes de pesado que se encuentran dentro de 1%; el diseño de dos canaletas es más común en las instalaciones de altas velocidades, equipadas con transportadores, en donde se usan balanzas de prepesado. Se pueden manejar hasta 30 bols por minuto, con una exactitud de pesado que esté dentro de ± 0.1% o menos.

Llenadores de tipo de hélice. Estos llenadores se utilizan mucho para los materiales divididos finamente tales como cemento Portland, el yeso, la cal y el talco y contienen una hélice que gira en una caja (similar a una bomba centrifuga) para introducir el producto en las bolsas. La mayoría de las máquinas hélice se instalan con transportadores, aun cuando se han llegado a utilizar máquinas de canaleta simple, cuando se realiza en forma manual el manejo de las bolsas. Las densidades de masa se limitan a 50 lb/pie³ y superiores. Son posibles índices de llenado de cemento Portland de hasta 30 bolsas de 94 lb por minuto con exactitudes de pesado que están dentro de, aproximadamente ± 2%. La potencia requerida va de 5 a 10 hp por canaleta de llenado. Los llenadores de hélice se están viendo reemplazados por los del tipo de fluidización, debido a que estos últimos tienen más exactitud de pesado, una mayor limpieza y un costo reducido de inversión y operación.

Los llenadores del tipo por gravedad se utilizan a veces en operaciones marginales, cuando las inversiones se deben limitar y el desempeño no sea crítico. Son posibles índices de embalaje de 0.5 bolsas por minuto y exactitud de pesado dentro de ± 2 a 5%. Sólo se pueden manejar en la práctica materiales granulados en píldoras de flujo libre, en la gama de 1/4 de pulg a malla 5

Equipos para llenar bolsas de boca abierta. Dos de las consideraciones primordiales al escoger este tipo de equipos (tabla 7-19) y tomar una decisión entre los sistemas de boca abierta y los de bolsas de válvulas, son la mano de obra que se necesita para una producción dada y las limitaciones de capacidad del sistema de cierre. Con las bolsas de boca abierta, el pesado y el llenado se realizan por lo común en una balanza de prepesado neto; a veces se usan pesadores en bruto para las producciones bajas. Los principios de funcionamiento y las prácticas de instalaciones de las balanzas automáticas se describieron antes en esta subsección.

Las balanzas de prepesado se descargan a un sistema de vertederos al que se fijan las bolsas. La energía cinética de la carga al llegar al fondo permite que la bolsa se mantenga en pie sin resbalado lateral, en un transportador de la máquina cerradora. La bolsa llena cae después sobre un transportador de banda corta que la transfiere a una máquina selladora. Las bolsas vacías se mantienen en forma manual sobre sistema de vertedero o con un dispositivo de abrazaderas. Esas balanzas manejan de 8 a 35 cargas por minuto. Las exactitudes de los pesos se conforman a las leyes de peso y valor de los productos.

Cierre de bolsas. Las bolsas de boca abierta, de papel de capas múltiples, se cierran mediante cosido, y las del tipo de fondo de pinza, mediante adhesivos fundidos en caliente. Se usan tres tipos de costuras. El más sencillo y rápido consiste en coser con hilo de algodón o rayón, con aguja, en costuras entrelazadas en un punto de cadena. Esto resulta adecuado para los productos de bajo costo donde los derrames a través de las costuras no tengan importancia. Un método mejorado consiste en agregar una cinta plana sobre la boca abierta y coser a través de ella con la aguja y la lezna. Otro hilo adicional, llamado cuerda de filtro, se puede agregar entre la costura de aguja y la banda para incrementar la protección contra los derrames; pero esto reduce los índices de cierre.

Se puede tener un cierre completamente a prueba de derrames mediante el procedimiento de "cinta sobre costura" en donde la cinta se pega sobre el cierre cosido y acabado, mediante un dispositivo situado más adelante que la cabeza cosedora. Para un cierre a prueba de derrames con índices elevados de producción se usa el cierre de pinza engomada. La unidad selladora aplica una cabeza de 1/8 de pulgada de adhesivo termoplástico al extremo doblado de cada pliegue y, luego, los vuelve a doblar y los comprime contra la cara de la bolsa. Se aplican a la costura presión y enfriamiento para que se asiente el adhesivo, antes de descargar la bolsa.

Las bolsas de película de polietileno se cierran mediante el sellado térmico, uniendo la cara y la parte posterior de la bolsa. La unidad de cierre consiste en un par de bandas que sostiene la parte superior de la bolsa y la guían por una sección calentada que funde la cara y la parte posterior. A esto sigue una sección de enfriamiento.

El llenado de tambores y cajas para artículos a granel se realiza en tres operaciones: preparación, llenado y pesado, y cierre. Puesto que la preparación de las cajas para artículos a granel es molesto, se recomienda un lugar de trabajo con métodos bien establecidos y equipos auxiliares de trabajo. El pesado y el llenado se pueden hacer en forma manual o automática. Hay una similitud suficiente entre los dos métodos como para que los sistemas manuales se puedan mecanizar posteriormente.

La instalación más común consiste de un transportador lineal con una balanza de plataforma en el centro. Esta balanza puede ser del tipo simple de carátula, que vigila el operario para detener el flujo. La primera etapa de la mecanización consiste en agregar un interruptor de corte a la balanza. Es posible obtener rangos de llenado de 10 a 20 lb/s, con exactitudes de pesado que se encuentran dentro de ± 1%. La verificación del pesado se realiza con facilidad, al observar el peso neto en la carátula. Un operario competente puede manejar un sistema manual dentro

de unas cuantas onzas del peso deseado. A veces se usan balanzas de prepesado para los productos de flujo libre, cuando el peso neto sea de 200 lb o menos o bien un múltiplo de un peso que se puede ajustar en la balanza y repetirse, para obtener las cantidades que se desea. La principal ventaja del pesado preliminar es una mayor exactitud.

El llenado de bolsitas, sacos pequeños y cajas de cartón incluyen dos operaciones principales: llenado y cierre. Otra etapa adicional en el caso de las cajas de cartón es el preparar y colocar forros de plástico. El llenado y el pesado pueden incluir ya sea el pesado preliminar o el pesado y el llenado simultáneos; el prepesado se suele utilizar por lo común cuando se requiere una exactitud muy elevada. Con dispositivos alimentadores apropiados, se pueden adaptar esos llenadores para latas y frascos.

Las bolsitas de plástico se cierran mediante el sello térmico. Las bolsitas y las bolsas de papel se pueden coser mediante equipos similares a los utilizados para las bolsas de boca abierta de papel de capas múltiples; pero con la utilización de guías de bolsas y transportadores apropiados. Se prefiere el método del sellado adhesivo, ya sea mediante una goma fundida en caliente o un líquido que pegue con rapidez. El equipo de cierre de adhesivos puede satisfacer producciones que van de unas cuantas bolsas hasta cerca de 50 por minuto. El índice necesario determina si el procedimiento de llenado debe ser manual o automático. Para índices de hasta 20 paquetes por minuto, resultan prácticas las operaciones manuales. Para índices mayores, se hace necesario algún tipo de mecanización. La economía determina la elección entre diversas líneas manuales o una sola automática.

Conformación-llenado-sellado. Los recipientes pequeños prefabricados, cuando se llenan a índices elevados, presentan un problema debido a la necesidad de manejar y almacenar recipientes vacíos. Para resolver esta dificultad, evolucionó el tipo de embalajes de conformación, llenado y sellado, que no sólo especifican el problema de suministro, sino que producen recipientes superiores. Este método implica dos funciones principales: el ciclo de pesado y el ciclo de producción de la bolsa y llenado. Es posible obtener índices de hasta 50 paquetes por minuto, con múltiplos de esta cantidad en máquinas con dos o más estaciones. Las balanzas de prepesado son del mismo tipo utilizado para el llenado de recipientes pequeños.

En la actualidad, la conformación, el llenado y el sellado se limita a productos que tienen partículas de flujo razonablemente libre, con bajas concentraciones de polvo. Puesto que el sellado térmico para formar las bolsas es el que asegura el éxito de este sistema, se necesitan películas termoplásticas u otros plásticos y papeles con un recubrimiento termoplástico. La elección de la conformación, el llenado y el sellado en función de los paquetes prefabricados depende de la economía; pero se aplica por lo común a los materiales no temporales.

Llenado, envoltura y sellado de bolsas empacadas y cajas de cartón

Se pueden utilizar cajas corrugadas para el envío de recipientes pequeños, flexibles o rígidos, con bolsas empacadas para los flexibles. Las cajas corrugadas se cargan en forma manual, semiautomática (carga manual de la caja armada mecánicamente) o totalmente automática. La preparación y la carga manual resulta práctica hasta para tres cajas por minuto, la semiautomática para 10 y la automática hasta 40 envases. A cada equipo se asocian transportadores que llevan paquetes al cargador de cajas y retiran los envases llenos de la máquina selladora.

El sellado de las cajas de cartón se hace automáticamente mediante adhesivos, cintas adhesivas o grapas, o bien, en forma manual, con cintas adhesivas o grapas. Las máquinas cerradoras selladoras de cartón han llegado a precios tan atractivos que hasta las operaciones pequeñas pueden justificar su empleo, incluso cuando el resto de la línea funcione en forma manual. Existen se-

lladores y corredores de cajas que admiten tamaños diferentes de paquetes en orden aleatorio.

Las **bolsas empacadas** se pueden llenar en forma manual; pero se prefiere utilizar unidades de compresión de diseño específico. Permite realizar una carga íntegra en la que todas las partes del paquete compartan las fuerzas impuestas por el transporte. Una unidad de compresión cargada manualmente maneja de dos a cuatro bolsas por minuto; las unidades semiautomáticas, con alimentación mecánica de paquetes y una unidad manual de aplicación de bolsas empacadas, puede manejar de 15 a 20. Las bolsas empacadas se cierran automáticamente con cinta o adhesivo con preferencia de este último, sobre todo para las operaciones automáticas.

El **embalaje compacto, el atado y la envoltura**. Estas técnicas tienen aplicaciones limitadas para los productos químicos, la envoltura y el atado son sustituidos por cajas de cartón y bolsas empacadas y tienen la ventaja de que los paquetes se hacen con papel que se presenta en rollos.

El **embalaje compacto** es un desarrollo nuevo e importante. La aplicación más importante hecha hasta ahora en la industria química es para unir paquetes para envíos en tarimas. Una cubierta de película de polietileno compactable sirve para sujetar la carga de una tarima y permite que absorba fuerzas de transporte considerablemente más altas que en el caso de que se embalara por algún otro método. Se elimina cargar la tarima, los adhesivos y los flejes, lo que contrarresta los costos de la envoltura compacta; pero además este tipo de envolturas compactas resultan económicas, sobre todo por la reducción de los daños que sufren los artículos transportados.

La cubierta de polietileno compactable, aplicada en forma manual consiste casi siempre en una bolsa prefabricada suficientemente grande para envolver la carga. Los equipos para la compactación de las cubiertas van de pequeñas unidades manuales alimentadas por propano que necesitan cerca de cinco minutos para compactar una carga de 2 000 lb hasta líneas transportadoras completamente automáticas que manejan hasta 30 tarimas por minuto.

Marcaje y etiquetado de los paquetes. La información en las etiquetas se puede dividir en dos clases; la fija para cada recipiente y la que varía de un paquete a otro o de un lote a otro. Como ejemplo de información fija se tienen el nombre y la dirección, el peso neto, el nombre del producto y las advertencias relativas a los peligros de manejo que pueda ofrecer. La información variable incluye el número de mezcla o lote, el número consecutivo de los paquetes, información codificada y, quizá, la fecha de fabricación. Los paquetes para exportación requieren las dimensiones externas y el peso bruto, el neto y el de la tara (recipiente vacío) en unidades inglesas y métricas. Cuando se tenga inseguridad respecto a los requisitos de etiquetado, deberá consultarse a un asesor legal experimentado. La información fija la imprime por lo común el fabricante de los envases. La información variable se puede aplicar en forma manual con sellos de goma estarcido o mediante equipo de marcaje automático en línea.

MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE PAQUETES

Requisitos del almacén. Los paquetes acabados de la industria química son por lo común bolsas, tambores o bidones, cubetas o cajas de cartón (estas últimas suelen contener unidades más pequeñas). Los equipos de almacenamiento y manejo de paquetes se pueden agrupar en tres categorías principales de desempeño: 1) del embalaje a la carga unitaria de tarimas, 2) de la carga unitaria de tarimas al almacenamiento o el envío y 3) del almacenamiento al envío.

En los últimos años, se ha observado la tendencia a descentralizar los almacenes, de modo que se almacenan cada vez menos productos acabados en las plantas productoras. Los inventarios típicos en las fábricas consisten en una producción de dos a tres días; pero en los puntos de almacenamiento, el inventario puede llegar hasta la producción de 15 a 30 días. Aun cuando es conveniente un movimiento elevado de inventarios, la variedad de especificaciones y grados de productos conduce con frecuencia a tiempos más prolongados de almacenamiento. Debido a esto, existen equipos de almacenamiento y transportadores relacionados para permitir ya sea el movimiento de los productos a velocidades elevadas al entrar y salir en los almacenes de las plantas, o la permanencia virtualmente estática.

El manejo mecánico de productos en almacenes comenzó con una combinación de tarimas y carritos elevadores de horquilla. Puesto que los almacenes no tenían equipo de desplazamiento, las cargas en tarima se colocaban en el piso o unas sobre otras. Aun cuando todavía se practica esto, las cargas se desplazan en la actualidad en un sistema de almacenamiento en anaquel que permite almacenar cargas de taras en columnas verticales que aprovechan mejor el volumen o la altura de los almacenes. También se usan transportadores para llevar las cargas en tarimas al almacenamiento, recuperarlas y transferirlas al departamento de envíos. Casi siempre participan en todos los movimientos los carritos elevadores de horquilla.

Sistemas de manejo de paquetes

Los sistemas de control de manejo de paquetes puede depender de motores de arranque simple, relevadores entrelazados con control de fotoceldas o computadoras. Los controles de estado sólido se están aplicando cada vez más en los dos últimos sistemas.

Un segundo control que se requiere es el de los paquetes o la tarimas manejados por transportadores y otros equipos. Este manejo puede consistir en transferencias en ángulo recto, en ascenso vertical o en un conjunto de limitaciones a los lados de un transportador de banda.

Análisis de sistemas. La elección de un sistema específico de manejo debe tomar en consideración las compensaciones que se pueden hacer entre diferentes tipos de equipos y entre la automatización y los equipos manejados y controlados por seres humanos. Después de que la tendencia se aplicó en favor de la automatización completa, la industria está comenzando a reconocer las capacidades únicas de los seres humanos para manejar operaciones complejas, donde los procesos de toma de decisiones son demasiado complicados para ese control por medio de computadoras. Otras desventajas de la automatización es el costo elevado de mantenimiento que se requiere, y que se puede elevar anualmente entre el 5 y el 10% del costo original de los equipos y, a veces, más. También se requieren con frecuencia nuevas capacidades técnicas.

Los factores que se incluyen en cualquier análisis económico de los sistemas de almacenamiento y manejo de materiales son: 1) la vida mecánica y económica esperada del sistema; 2) el costo anual de mantenimiento; 3) los requisitos de capital y los beneficios esperados sobre la inversión; 4) el valor de los terrenos y el costo de la construcción de edificios; 5) el análisis detallado de cada posición de trabajo (para determinar las compensaciones entre la mano de obra y el equipo, son importantes la disponibilidad y los costos esperados en el futuro para la mano de obra); 6) la relación del control del sistema y el personal utilizado (compensaciones entre el control por medio de seres humanos y el mecánico); 7) el tipo de sistema de información (computarizado o manual) y 8) los cambios esperados de productos, recipientes, cargas unitarias de taras y las preferencias de los clientes durante la vida del sistema.

Carros montacargas de horquilla. La espina dorsal de la mayoría de los sistemas de manejo en las plantas, en la industria química, el carro montacarga de horquilla. Existen en capacidad que van de 1 a 50 toneladas, y los más utilizados son los vehículos de 2 000, 3 000 y 4 000 lb y, a veces, las unidades de 6 000 lb (figura 7-39). Esos carros se impulsan por lo común mediante motores de combustión interna que consumen gas licuado de petróleo (LPG) o mediante acumulador de electricidad.

Con los motores de combustión interna, se usan a menudo las transmisiones automáticas, que se justifican con facilidad cuando los vehículos tienen que desplazarse muchas veces durante el día. A pesar de lo suave que es el control producido por las transmisiones automáticas, resulta de todos modos inferior al de los carros eléctricos, sobre todo los que poseen controles de estado sólido. También se usan motores de gasolina y diesel; pero sobre todo en equipos para trabajo al aire libre y en las unidades muy pesadas.

La industria productora de carros montacargas es competitiva, y se presentan innovaciones con mucha frecuencia. Se dispone de ventas y servicios competentes a bajo costo que proporcionan los fabricantes o sus concesionarios. En general, la aplicación de la ingeniería de ventas es servicio muy valioso y sin costo alguno.

Se dispone de numerosas opciones para la selección de los carros montacarga, los que se distribuyen en dos clases de vehículos especiales —que incluyen controles, transmisiones, protecciones, etc.— y accesorios, que son dispositivos que manejan tipos específicos de cargas (figura 7-40). En esta segunda categoría se incluyen los postes de gran elevación, hasta 24 pies; accesorios de manejo para productos circulares, tales como artículos en rollos y tambores; accesorios tales como las abrazaderas para cajas de cartón y el mecanismo de desplazamiento lateral de la horquilla.

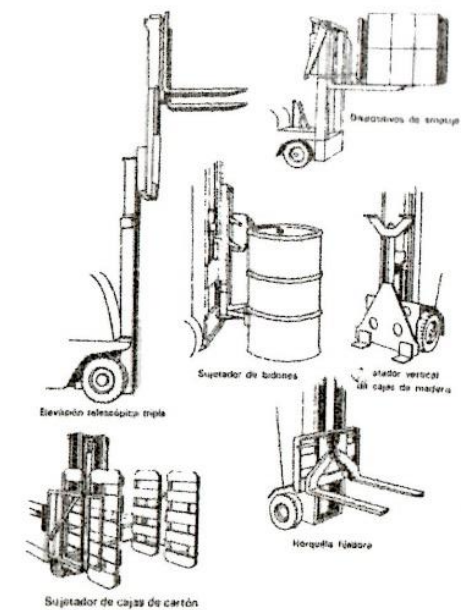


Figura 7-40. Varios tipos de accesorios para elevadores de horquilla.

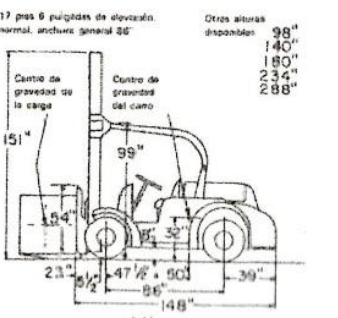
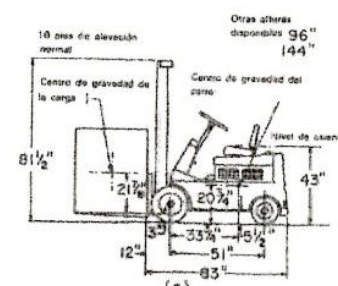
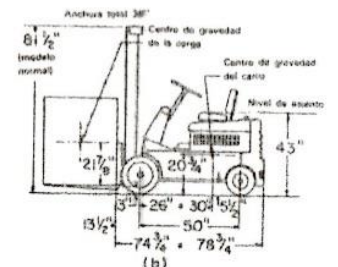
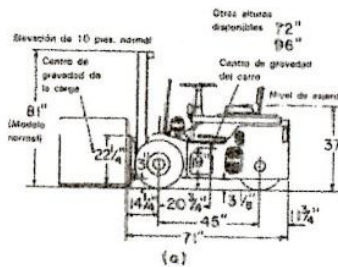


Figura 7-39. Dimensiones de elevadores de horquilla ordinarios. a) 1 000 a 2 000 lb de capacidad. b) Capacidad de 3 000 a 4 000 lb. c) Capacidad de 5 000 lb. d) Capacidad de 10 000 a 12 000 lb (Hyster Company).

Vale la pena señalar, sobre todo, entre los accesorios, al desplazador lateral que se utiliza para mover los carros horizontalmente, unas 4 pulg. de un lado a otro. El costo modesto de este dispositivo se recupera en unos cuantos meses de funcionamiento al reducir el tiempo de manejo, el mantenimiento y los daños causados a los productos. El conductor sitúa primeramente el carro aproximadamente frente a donde desea depositar una carga y, a continuación, realiza el ajuste horizontal final mediante el desplazador lateral. Sin este mecanismo, se necesitarán dos o tres maniobras del carro, sin que se logre nunca situar la carga en el punto ideal. La colocación correcta es importante para las cargas en tarimas, que se deben situar en forma tan apretada como sea posible.

Existen carros montacargas para afrontar una gran variedad de limitaciones de espacio libre. Vale la pena señalar el equipo para pasillos estrechos que ha surgido en los últimos años. Otro accesorio importante es el poste de elevación múltiple, que permite levantar cargas a más de 12 pies. En la especificación de cualquier poste tiene una importancia especial; el que pueda pasar por las diversas aberturas de puertas, que incluyen las de los camiones, las de vagones del ferrocarril y las de edificios. Para satisfacer la mayoría de las condiciones, la altura recogida del poste tiene que ser de 88 pulg. Un carro montacarga ideal para almacenes de distribución en fábricas de productos químicos tendrá una capacidad de 40 000 lb, propulsión eléctrica (mediante baterías, controles de estado sólido, dirección hidráulica, postes de elevación triple de hasta 16 pies (88 pulg. en posición recogida), desplazador lateral, protección para el conductor, llantas sólidas (excepto para usos exteriores) y horquillas ajustables.

Se aplicarán excepciones a los requisitos anteriores cuando se necesiten equipos a prueba de explosiones, alturas de techos de edificios que hagan que nunca se necesiten postes de elevación mayores que los estándar de 12 pies y cargas que no sobrepasen nunca 2 000 o 3 000 lb.

Las inversiones de capital en los equipos elevadores de horquilla varían con las especificaciones. En la tabla 7-20 se compara el costo del carro de propulsión eléctrica que se acaba de descubrir con otro alternativo, que funciona con LPG. El costo operacional es primordialmente para la energía, y el consumo de electricidad resulta más barato que los combustibles líquidos.

Tabla 7-20. Comparación de costos iniciales entre carros montacargas de horquilla, eléctricos y de gas LP, de 4 000 lb de capacidad*

Artículo	De gas LP	Eléctrico
Montacarga elemental	\$ 9 300	\$10 890
Transmisión automática	375	
Controles de estado sólido (estándar)		†
Poste de elevación triple, hasta 149 pulg.	900	900
Cambiador lateral	1 015	1 015
Dirección hidráulica (estándar)	†	†
Llantas sólidas (estándar)	†	†
Cargador y batería		4 000
Total	\$11 530	\$16 805

*Basado en los precios de 1972.
† Las piezas de repuesto no se incluyen.

El mantenimiento de los carros de gas es también más alto que el de los vehículos eléctricos. Cerca del 5% del costo inicial, anualmente, se aplica a los equipos de combustión interna y aproximadamente un 2% a los eléctricos. Una característica especial en los nuevos carros eléctricos con controles de estado sólido, es el uso de módulos o tableros de circuitos, que se pueden reemplazar como unidades y reconstruirse en la fábrica. Los costos típicos de mantenimiento para carros que funcionan cinco turnos de ocho horas por semana, son del orden de 75 centavos

de dólar por hora para los vehículos de gas y de 50 centavos por hora para los eléctricos. En esas condiciones, los costos de energía suelen ser de 5.2 centavos de dólar por hora para los carros de gas y 2.8 centavos por hora para los eléctricos.

Los carros de caballete, diseño para elevar recipientes con cargas pesadas o materiales tales como el acero estructural, se aplican también cada vez más en el manejo de artículos embalados o recipientes del tipo vagoneta. Por ejemplo, puede tomar un vagón de plataforma, recoger un recipiente de tipo vagoneta y depositarlo directamente en la plataforma de un camión remolque. También se puede utilizar para cargas vagones de plataforma e incluso barcos oceánicos. Se trata solamente de una de entre muchas máquinas móviles especiales que existen para afrontar problemas especiales de manejo de materiales.

Transportadores por deslizamiento. Las resbaladeras simples por gravedad y los vertedores en espiral aunque no son técnicamente transportadores, se utilizan mucho con sistemas de transportadores o como unidades separadas para hacer descender materiales de un piso a otro. Tienen un costo bajo y requieren poco espacio de suelo, cuando las pendientes se mantienen en ángulos bastante agudos. Sin embargo, se deben utilizar sólo después de realizar un estudio cuidadoso de los daños posibles para los recipientes, al chocar unos con otros o contra los lados de las resbaladeras o los vertedores. Existen unidades cerradas para funcionamiento en el exterior y se pueden proporcionar puertas de emergencia para satisfacer los requisitos de los códigos locales de la construcción. Se pueden usar vertedores de entrada y salida. Las tarimas pueden estar superpuestas y remachadas, para eliminar la posibilidad de que los recipientes queden suspendidos sobre bordes salientes. Los tramos se pueden también embriar y sujetar por medio de pernos.

La velocidad de deslizamiento de los recipientes hacia abajo de un vertedero espiral se puede controlar mediante el paso de la espiral o inclinando el borde exterior o el interior de las tarimas. La inclinación tiende a lanzar los recipientes hacia un lado de la tarima, de modo que varía su distancia total de recorrido. Aunque se fabrican casi siempre de acero, se pueden especificar tarimas de diferentes materiales, según lo requieran las aplicaciones específicas. En la tabla 7-21 se dan especificaciones de vertedores en espiral para condiciones normales. La figura 7-41 permite realizar la selección de tarimas sobre la base de la longitud y la anchura conocidas de un recipiente.

Por el peso pronunciado requerido, las resbaladeras tienen una aplicación limitada. Se usan sobre todo para cubrir el hueco entre los sistemas de transportadores de rodillos entre dos pisos diferentes, porque estos tipos de transportadores pueden sacar rápidamente los recipientes de la resbaladera y eliminar o redu-

Tabla 7-21. Especificaciones de vertedor en espiral, para condiciones normales

Anchura de la boca, pulg.	Espesor del metal, pulg.	Diámetro del núcleo, pulg.	Altura del rol de preparación, pulg.		Diámetro exterior del vertedero
			Mínimo	Máximo	
18	No. 18	10	9		3 pies 10 pulg.
24	No. 16	12	12		5 pies 0 pulg.
30	No. 16	15	15		6 pies 3 pulg.
36	No. 14	18	15		7 pies 6 pulg.
42	No. 14	21	18		8 pies 9 pulg.
48	No. 12	24	18		10 pies 0 pulg.

Anchura de boca, pulg.	Diámetro de abertura en el núcleo, tipo circular	Paso de la espiral		Entrada de pomas verticales, pulg.		Peso máximo de paquetes, lb.
		Mínimo	Máximo	Altura	Anchura	
18	4 pies 2 pulg.	4 pies 0 pulg.	6 pies 6 pulg.	18	14	150
24	5 pies 4 pulg.	5 pies 6 pulg.	8 pies 6 pulg.	24	20	190
30	6 pies 7 pulg.	7 pies 0 pulg.	10 pies 6 pulg.	30	24	230
36	7 pies 10 pulg.	8 pies 6 pulg.	12 pies 6 pulg.	33	30	270
42	9 pies 1 pulg.	10 pies 0 pulg.	14 pies 6 pulg.	36	36	310
48	10 pies 4 pulg.	11 pies 6 pulg.	16 pies 6 pulg.	36	42	350

cir las probabilidades de que se produzcan choques. También se pueden usar resbaladeras cuando los recipientes puedan caer desde un piso superior mediante algún dispositivo de transporte cargado manualmente.

En la figura 7-42 se dan dimensiones estándar típicas para resbaladeras de 30 y 45 grados y una resbaladera de 30 grados con limpieza por riel de rodillos. Obsérvese que la descarga se tiene que hacer siempre en el plano horizontal para evitar daños a los bordes delanteros de los recipientes. Se recomienda el uso de varios rodillos en el punto de alimentación para facilitar el caudal a la sección inclinada. Cuando la caída sea corta y los recipientes ligeros, un limpiador de rodillos evitará que los recipientes se acumulen en la resbaladera. La inclinación de las resbaladeras por gravedad está en función del peso de los recipientes, el tamaño y las características de fricción y se deberá escoger con cuidado para asegurarse de que los recipientes no se desplacen con demasiada rapidez o se detengan. En la resbaladera se utilizan por lo común láminas planas de acero, aun cuando existen superficies de madera, de tubería y de otros materiales.

Transportadores de rueda por gravedad. Se puede utilizar como unidades impulsoras horizontales o inclinadas para el flujo por gravedad. Están muy normalizadas y se venden por lo común en secciones de 15 o 10 pies, existen tramos de longitudes especiales con un costo adicional. Puesto que los transportadores de ruedas dan un respaldo esencialmente "de punto" a los recipientes, se recomienda en general que se sitúen por lo menos seis ruedas bajo la carga en todo momento. Así pues, la disposición de las ruedas la dicta el recipiente más pequeño que pueda manejar la línea. Es este tipo de transportadores sólo se pueden manejar recipientes de fondo plano, con la excepción de bolsas de paredes bastante rígidas, con las que el dispositivo funciona satisfactoriamente. Esto se debe al hecho de que los separadores de soportes de rodillos tienden a estirar las paredes de la bolsa y aplanarlas. Por el contrario, los transportadores de rodillos tienen tendencia a arrugar la superficie de las bolsas e impedir su desplazamiento. También se pueden diseñar especialmente transportadores de ruedas para manejar recipientes cilíndricos de paredes lisas.

Existen ruedas en cierto número de diseños diferentes, incluyendo variaciones de contornos y materiales que estén en contacto con los recipientes. Son bastante comunes las llantas de hule o plástico. Se pueden usar ejes con varias ruedas montadas en cada uno de ellos, pernos de cabeza ranurada con una sola rueda montada en el bastidor lateral o ejes cortos sostenidos por barras dobladas. Los transportadores de ruedas se usan en general con cargas ligeras y aunque los fabricantes pueden ofrecer anchuras de hasta 36 pulg o más, las normalizadas suelen ser las más pequeñas (hasta de 18 pulg.). Las clasificaciones nominales de cargas se dan en general como cargas uniformes totales que podrán soportar una sección normal.

Puesto que las unidades de ruedas son relativamente ligeras, tienen una inercia relativamente baja por lo que las cargas se

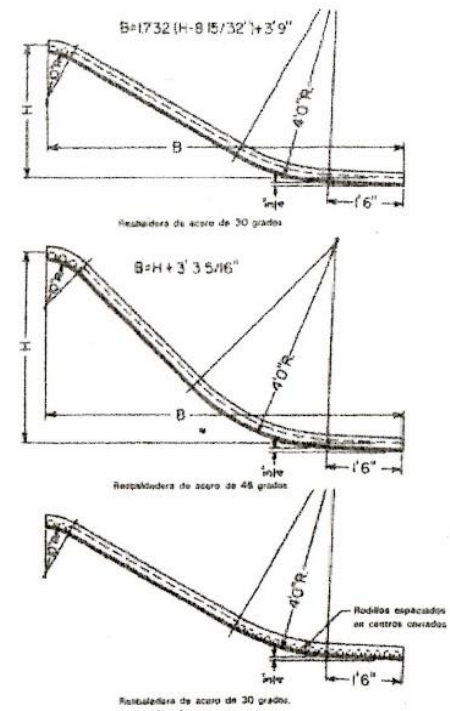


Figura 7-42. Dimensiones normales de resbaladeras (Logan Company).

pueden poner en movimiento y detener totalmente con facilidad. Además, los cajinetes de las ruedas están diseñados con tolerancias libres, con el fin de reducir la fricción en el arranque. Se usan por lo común placas metálicas o duelas de maderas duras voladizas, como toques para las líneas de transportadores. Existen secciones especiales con bisagras para permitir el paso de las personas por la línea del transportador, y se recomiendan soportes normales fijados al piso o suspendidos del techo. Se usan mucho las unidades del transportador de ruedas para el almacenamiento en vivo y existen unidades especiales telescópicas para la extensión y la retracción, con el fin de satisfacer condiciones variables. Los transportadores de ruedas se impulsan a veces mediante bandas de presión u otros métodos; pero se usan más como impulsoras o líneas de gravedad. Sólo son adaptadas para descarga lateral o extrema mediante elevación, puesto que los rodillos individuales tienden a sujetar los recipientes y evitan que se deslicen fuera de la línea en ángulo recto con la dirección de desplazamiento. Los niveles para las líneas de ruedas se pueden calcular aproximadamente a las dos terceras partes de los valores que se muestran para las líneas de rodillos en la tabla 7-22. Se debe tener cuidado de no sobrecargar las secciones del transportador puesto que tomarán una forma cóncava que evitará el desplazamiento.

Transportadores de rodillos. Los transportadores de rodillos por gravedad son considerablemente más pesados que los de ruedas y el peso se concentra a una mayor distancia de la línea central de eje. Por ende, los transportadores de rodillos tienen una inercia más elevada, resulta más difícil ponerlos en marcha y detenerlos, requieren una mayor inclinación que las unidades de

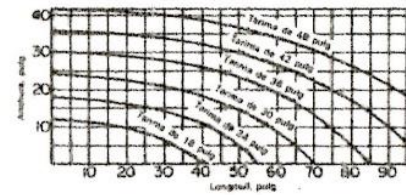


Figura 7-41. Gráfica para determinar la anchura de la tarima del vertedero para cualquier tamaño de embalaje. Donde se cruzan la longitud y la anchura del embalaje, la curva superior más cercana indica la anchura de la tarima (Logan).

Tabla 7-22 Grados para transportadores de rodillos

Artículo	Rodillos lisos o pronunciados contra el piso		Con lubricación a presión o engraseo, PWR	
	Sección de 10 pies	Curva de 90 grados	Sección de 10 pies	Curva de 90 grados
Cajas de cartón				
5-10 lb.	7½	8		
10-20 lb.	6	5		
20-50 lb.	5	4	7½	6
Fluores				
20-50 lb.	5	4	7½	6
50-100 lb.	4½	3	6½	5
100-250 lb.	4	3	5	4
Cajas de madera				
20-50 lb.	5	4	7½	6
50-100 lb.	4½	3	6½	5
100-250 lb.	4	3	5	4
Barriles				
Vacios	6	5		
Llenos	5	4		
Cestos	5	4		
Tambores, 150 lb o más	4	3	6	5
Cubetas	5	4	7½	6
Bandejas inclinadas				
50-100 lb.	4	3	6½	5
100-250 lb.	3½	3	5	4
250-500 lb.	3	2½	4½	3

Los grados están en el número total de pulgadas de caída que se requieren en cada sección de 10 pies. Curva de radio interno de 2 pies 6 pulg., 90 grados.

Las pendientes necesarias para el transportador de rodillos varían un poco, dependiendo del tamaño y el espaciado de los rodillos utilizados. Las pendientes recomendadas son para condiciones promedio, con rodillos de tamaños y capacidades que se ajusten a los materiales que se manejan.

Los flejes de acero sobre cajas o capotes, y también el bramante en los paquetes y los fardos tienden a hacer más lento el desplazamiento y puede requerir un poco más de pendiente.

Unas de impulso de nivel, cuatro. La cantidad promedio de impulso que se requiere para iniciar el movimiento de un paquete, a partir del reposo es de aproximadamente el 1% de su peso. Con cargas pesadas se recomienda un paso de aproximadamente ¼ pulg./pie. Esto no será suficiente para que el paquete se desplace por gravedad pero reducirá la cantidad necesaria de impulso.

Para transportadores de ruedas, utilicen pendientes de aproximadamente las dos terceras partes de las indicadas.

ruedas y, en tramos largos, tienden a hacer que se desplacen los recipientes a un ritmo acelerado. En la tabla 7-22 se muestran niveles típicos de transportadores de rodillos.

Las unidades de rodillos en espiral van equipadas por lo común con rodillos cónicos para compensar la diferencia de distancia recorrida por el borde interno y el externo del recipiente. También se usan rodillos cónicos en secciones curvas de líneas ordinarias de transportadores de rodillos.

Existen rodillos en una gama amplia de construcciones, con extremos de tubos ya sea perforados o conformados para admitir la inserción del cojinete. Los cojinetes pueden ser lijos, y el nylon se está haciendo el material más utilizado para estos tipos. Los cojinetes de bolsas o baleros son probablemente más comunes y existen con una gran variedad de sellos, o bien, se pueden dejar sin protección. Se pueden disponer accesorios de lubricación en un eje perforado o utilizar cojinetes prelubricados y sellados para siempre. Los ejes de rodillos suelen ser muertos y pueden cortarse de lingotes hexagonales para ajustarse a una abertura similar del armazón lateral, o bien, fabricarse redondos con extremos fresados planos para evitar el giro. Los rodillos se pueden montar en armazones laterales de muchas formas distintas, por encima de los marcos laterales, donde los recipientes tengan que deslizarse fuera de la línea, y por debajo de ellos, donde haya riesgo de que los recipientes se caigan.

Los transportadores de rodillos pueden manejar recipientes con bordes sobresalientes, tales como bidones de aceite, lo que

constituye una de sus ventajas sobre los transportadores de ruedas; sin embargo, no son adecuados para las bolsas, puesto que los lados tienden a quedar atrapados entre los soportes y evitan el desplazamiento hacia adelante.

Como sucede en el caso de los transportadores de ruedas por gravedad, las unidades de rodillos están muy normalizadas y existen equipos auxiliares para el apoyo de la línea en el piso o suspendida del techo. Existen muchos rodillos especiales para retrasar los recipientes cuando la velocidad se haga demasiado grande para la seguridad del manejo. Hay también interruptores, frenos, secciones con bisagras contrafuerzas y cruces.

Los transportadores de rodillos se impulsan con mucha frecuencia y el método más sencillo para ello es la utilización de una banda de presión en contacto con la superficie más baja de los rodillos. En la figura 7-43 se muestra una banda escalonada especial con cojinetes elevados, que puede poner en marcha la carga pero no acumular una presión excesiva de bloqueo, cuando se llena la línea. Existen otros impulsores similares, con grados variables de control sobre la potencia aplicada. Las unidades a rodillos de potencia más costosas son las que tienen los rodillos equipados con impulsores de cadena o de banda en V. También se pueden utilizar barras impulsoras suspendidas sobre transportadores superiores de cadena, para desplazar los recipientes a lo largo de una línea de rodillos.

Uno de los dispositivos más importantes de control en las líneas de transportadores de rodillos es el mecanismo de escape que permite que se liberen los recipientes individualmente desde una línea. Existen comúnmente mecanismos de escape de potencia en los sistemas muy mecanizados. Su función primordial es la de espaciar los recipientes para que se puedan manejar como unidades separadas.

Transportadores de banda plana. Estos transportadores de potencia tienen la capacidad de elevar los recipientes sobre planos inclinados. Con la ayuda de superficies especiales en las bandas, las pendientes pueden ser muy pronunciadas. Las bandas mantienen también a los recipientes espaciados exactamente en la misma forma en que se sitúan sobre el transportador; sin embargo, debido a la fricción relativamente alta, los dispositivos impulsores no pueden retirar los recipientes de las bandas.

En los diseños de transportadores de bandas se utilizan para la banda plana soportes de rodillos y lechos deslizantes. La gran variedad de diseños existentes permite una selección adecuada de bandas planas para cargas pesadas o ligeras y para diversas aplicaciones, tales como el llenado y el vaciado de cajas de cartón.

Transportadores de cadena. Estos dispositivos para el manejo de recipientes existen diseños de cadena de rodillo o en tipos menos costosos. Hay una gran variedad de transportadores de bandas que utilizan tramos simples y dobles de cadenas de rodillos, así como también un tipo deslizante con cadenas más baratas. En general, los transportadores de cadenas de duelas se usan sólo con cargas demasiado pesadas para el manejo económico mediante bandas, rodillos o unidades de ruedas o con formas irregulares que no son apropiadas para las unidades de rodillos o ruedas. Son particularmente adaptables para el manejo de tarimas puesto que se trata simplemente de tramos abiertos de cadenas con accesorios de superficies planas. El transportador de cadena

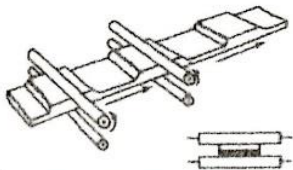


Figura 7-43. Banda con resaltes para la impulsión de un transportador de rodillos.

de almacén que se usa más comúnmente es el de cadena de arrastre. La cadena se puede montar encima o sobre el piso y se puede diseñar carretillas de arrastre para que se desprendan automáticamente en un punto específico. Aunque se usa con frecuencia la cadena superior y resulta casi siempre fácil suspenderla de miembros estructurales del techo, probablemente es más común la de piso. El desenganche automático es posible cuando las carretillas encuentran una obstrucción o golpean accidentalmente a personal del almacén. Por supuesto, el transportador de dos cadenas es más económico cuando se desplazan grandes toneladas sobre una trayectoria fija.

Los elevadores del tipo de cadena, tales como las unidades de brazo y charola se usan comúnmente para bidones y barriles. Los deslizamientos de gravedad ligera en los puntos de alimentación y descarga permiten que esas unidades rueden para entrar y salir con facilidad del transportador, sin necesidad de equipos especiales.

Elevadores. Se escogen por lo común elevadores del tipo de cable para cargas pesadas tales como recipientes grandes o tarimas llenas. Pueden hacerse totalmente automáticas y servir a muchos niveles de pisos. El uso de sistema de elevadores de diseño apropiado es con frecuencia la única solución económica para los problemas de plantas de múltiples pisos.

Accesorios de transportadores. Se pueden dividir en dos grupos, los que actúan sobre el recipiente y los que reciben la acción de este último. En el primer grupo hay artículos tales como deflectores, cargados de tarimas, impulsores (propulsados por medio de enlaces mecánicos, aire o fluidos), suspensores, selladores, engrapadoras y otros dispositivos similares. En el segundo grupo hay dispositivos tales como ojos eléctricos para contar o identificar, gracias a códigos impresos o de colores, verificadores de peso, contadores mecánicos y otros artefactos que contribuyen al funcionamiento automático de las líneas de transportadores.

Cargadores automáticos de tarimas. Esas máquinas reciben paquetes de la producción mediante un transportador. A continuación, se disponen los paquetes en columnas que se colocan sobre tarimas. El mecanismo para realizar esto consiste en transportadores de manejo de paquetes, detención de paquetes móviles, pistones etc., una placa de montaje de patrones de paquetes, un transportador de manejo de tarimas vacías y un elevador, un transportador de manejo de tarimas llenas y reguladores eléctricos para controlar la formación de columnas patrón. Los cargadores automáticos de tarimas pueden manejar de 40 a 80 paquetes por minuto o una a dos cargas de tarimas. La inversión de capital es aproximadamente de 45 000 dólares para la máquina básica, no instalada. Existen cargadores de tarimas semiautomáticos, dirigidos por operarios, que pueden manejar de 10 a 20 paquetes por minuto y cuestan aproximadamente 35 000 dólares, no instalados.

Almacenamiento de artículos embalados

Aumenta cada vez más el inventario necesario para respaldar un nivel de ventas dado, así como también el número de lugares a que se mantienen inventarios con el fin de proporcionar un mejor servicio. Puesto que una porción importante de las industrias de procesos químicos se encuentran en centros urbanos, donde el espacio resulta extremadamente valioso, se han hecho cada vez más importantes los medios eficientes para el almacenamiento de inventarios empacados. Existe una situación similar cuando se mantienen los inventarios en plantas de producción. En este caso, se puede disponer de más espacio que en lugares urbanos; pero se plantea siempre la necesidad de tomar la decisión relativa a si se usará el espacio con fines de almacenamiento o elaboración. Esas situaciones condujeron al desarrollo del concepto de red de almacenamiento.

Las redes de almacenamiento permiten colocar paquetes o cargas de tarimas verticalmente, o bien, horizontalmente. La mayoría de las cargas de tarimas se pueden distribuir a razón de dos o tres tarimas de altura, de modo que una repose sobre la parte superior de otra (a condición de que los paquetes puedan soportar el peso de las tarimas superiores). Puesto que las redes soportan el peso de la tarima, es muy posible apilar de seis a ocho tarimas (e incluso más). Se usan grúas y carretillas elevadoras de horquilla para colocar y retirar las tarimas.

Desde el punto de vista del movimiento de inventarios, son posibles cuatro sistemas principales de almacenamiento en redes: de entrada en vehículo, de conducción interna, de flujo y de pasillos.

Las redes de entrada en vehículos —que son prácticas hasta altura de 30 pies— se manejan mediante carros elevados de horquilla. El sistema de inventario requerido es el del último artículo que entra es el primero en salir (LIFO) lo que muchos consideran ineficiente. La inversión de capital (instalado) para un sistema de red de 5 000 tarimas es de aproximadamente 20 dólares por tarima almacenada, sin incluir el carro elevador. Las redes de entrada con vehículo utilizan adecuadamente el espacio de los pisos, con una razón más alta de espacio de almacenamiento a pasillos que las redes con corredores.

Una red típica de entrada en vehículo consiste en una estructura de acero para sostener los artículos situados en los bordes de las tarimas, mientras que el centro de éstas permanece sin apoyo. El espacio entre los miembros de soporte de tarimas es suficiente para permitir que entre un carro elevador para colocar o recuperar alguna carga. Esas redes se construyen habitualmente para dar acomodo a 12 tarimas, que se sitúan desde el pasillo de servicio, al extremo de la red. Cada posición de tarimas —debido a la red puede soportar verticalmente de seis a ocho tarimas.

En funcionamiento, el carro elevador toma la primera tarima y la lleva al extremo de la red, donde la deposita. Con la segunda tarima, el carro entra a la red con la tarima elevada, para permitir el paso sin chocar con el miembro de soporte. Este procedimiento se repite hasta llenar la red. La productividad de los carros elevadores es baja porque el conductor debe poseer agilidad y habilidad para manipular tarimas extendidas sobre el carro.

Las redes de conducción en vehículos son similares a las del tipo de entrada en vehículos, con la diferencia primordial de que los carros elevadores pueden entrar por los dos extremos. La ventaja principal de las redes de conducción interna en vehículos es que permiten un tipo de administración de inventario en el que el primer artículo que entra es el primero en salir (FIFO). La inversión de capital para la estructura de red instalada es de aproximadamente 20 dólares por tarima para 5 000 tarimas. En funcionamiento, la red se carga igual que la de entrada en vehículos. La descarga es diferente, puesto que el retiro de tarimas comienza en el extremo opuesto al de la carga.

Las redes de flujo son similares a las de conducción interna en vehículos, debido a que se cargan por un extremo y se descargan por el otro. Sin embargo, los carros no entran a la red. En lugar de ello, cada carril de la red está equipado con transportador, de rodillos, de rueda o de banda, dependiendo de las características de las tarimas que soporta las tarimas y las transporta (por gravedad) del punto de entrada al de descarga o hasta la tarima más cercana. Se trata de un sistema de inventario de FIFO.

La inversión de capital del sistema instalado es de aproximadamente 85 dólares por tarima para 5 000 tarimas. Una de las características de las redes de entrada en vehículos, de conducción interna en vehículos y de flujo es que, en cualquier momento, sólo un producto puede ocupar un sólo carril del almacenamiento. Los productos no se mezclan debido a las complicaciones que representa esto para la administración de inventarios. De todos modos, es raro que se requiera mezclar productos en la industria química, puesto que se producen en lotes, mezclas, etc., y se diseña por lo común un carril de almacenamiento para dar

ya sea un lote completo o alguna fracción de él. El resultado de esto es que el espacio total disponible de almacenamiento pocas veces se ocupa en forma total. Se trata de un problema que no se presenta en el caso de las redes de pasillos.

Las **redes de pasillo** —utilizadas cuando hay movimiento rápido de los inventarios— permiten una profundidad de almacenamiento de sólo una o dos cargas de tarima; pero ofrecen la ventaja del acceso instantáneo a los artículos almacenados. Aun cuando esto requiere solo un tiempo mínimo de empleo del carro elevador para el almacenamiento o la recuperación de una tarima, se debe dedicar a los pasillos un porcentaje elevado del espacio de los pisos.

El sistema de inventario que se necesita es el de el primer artículo que entra es el primero en salir (FIFO), ya que es conveniente

cuando los inventarios están sujetos a obsolescencia o deterioro o cuando consisten en materias primas cuyo valor fluctúa mucho. La inversión de capital para un sistema de almacenamiento típico de red de pasillos con una capacidad de 5 000 tarimas (una de profundidad) es de 15 dólares por tarima almacenada (esto no incluye la inversión en el carro elevador).

La operación de los carros elevadores es muy sencilla y productiva, incluso a elevaciones de 20 pies. Las redes de pasillos pueden tener una altura hasta de 100 pies; pero por encima de 20, se prefieren las grúas de aplicación a los carros elevadores, debido a que permiten dar un servicio de almacenamiento elevado a índices superiores. La inversión de los sistemas instalados de redes de pasillos, incluyendo una grúa, es de aproximadamente 120 dólares por tarima.

TRANSPORTE DE SÓLIDOS

TRANSPORTE DE SÓLIDOS A GRANEL

Limitado originalmente al envío de materias primas brutas y combustibles, el término de transporte de sólidos a granel se aplica en la actualidad a los productos manufacturados, que con frecuencia se convierten en materias primas para otras industrias. En los últimos años, se han desplazado en grandes unidades a granel toneladas crecientes de productos químicos altamente elaborados y terminados, hasta los depósitos de los clientes. Una definición útil de envío a granel es de cualquier unidad de más de 4 000 lb o 40 pies³. Los recipientes disponibles van de pequeñas tolvas portátiles de 70 pies de capacidad hasta vagones de ferrocarril de 9 000 pies cúbicos.

La elección de hacer los envíos en paquetes o a granel depende de la economía y los requisitos del mercado. Los productos de distintas fuentes que tienden a poseer las mismas características (aspecto, calidad y precio), se suelen ofrecer en forma a granel. Los que tienden a especializarse, aunque a veces se ofrecen en pequeñas unidades a granel, se venden por lo común en paquetes. Muchos productos se ofrecen en las dos formas. En la tabla 7-16 se da una comparación de los costos de las unidades típicas de paquetes y a granel.

Los **recipientes para materiales a granel** pueden ser abiertos o cerrados. En general, la elección se rige por el efecto del clima sobre los productos. Los materiales de valor elevado —por ejemplo, algunos minerales— se pueden enviar en recipientes abiertos, mientras que otros de costo relativamente bajo —como el cemento Portland— requieren recipientes cerrados. Otra influencia para la elección de los recipientes de artículos a granel es la de si las entregas se hacen por camión, ferrocarril o barco.

Cuando los clientes mantienen inventarios pequeños, se usan con frecuencia las entregas por camión, a condición de que la ubicación del punto de suministro esté cerca —por lo común a 480 km de distancia o menos— y que las entregas sean frecuentes. Sin embargo, si un usuario mantiene grandes inventarios, las entregas se suelen hacer por ferrocarril. Otros parámetros que influyen en la elección, son el costo de los transportes, los costos operacionales de las instalaciones de carga del abastecedor, las instalaciones de recepción y descarga de los clientes, el tiempo de desplazamiento para el recipiente y el número de viajes por año (de donde se deduce la inversión por viaje) y el costo operacional del recipiente, excluyendo el transporte.

Al hacer planes para instalaciones de carga o descarga de vagones de ferrocarril, es preciso tomar en consideración muchos factores dimensionales y de peso. Los transportistas comunes

que vayan a prestar servicio en la instalación se encuentran por lo común en condiciones de proporcionar ayuda técnica en lo que se refiere a los espacios libres y los pesos que se vayan a manejar. En la figura 7-44 se muestra un conjunto típico de espacios libres.

Un concepto nuevo e interesante de planeación de almacenamiento a granel y de artículos acabados (en donde se utiliza primordialmente el ferrocarril para las entregas a los clientes) es el uso de vagones tolvá en lugar de depósitos fijos de almacenamiento. Puesto que los productos se deben cargar eventualmente en vagones, se puede ahorrar mucho al evitar el manejo doble y las inversiones de capital. Un análisis de todo el sistema demuestra con frecuencia que éste es el método menos costoso, sobre todo cuando se apliquen normas de inventarios mínimos de artículos acabados.

Los **vagones tolvá** del ferrocarril, los camiones tolvá, los depósitos portátiles para artículos a granel, los recipientes de tipo de furgones (para barcos) las barcasas y los barcos mismos son los recipientes más importantes para materiales a granel. Los factores que determinan lo apropiado de cualquiera de esos reci-

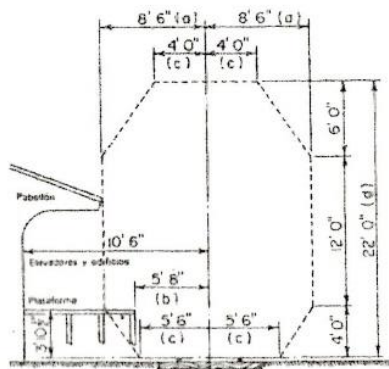


Figura 7-44. Espacios libres típicos de ferrocarril para vías rectas. a) y b) Algunos trenes necesitan un mínimo de 2.40 m. c) En algunos estados se deben de aumentar los espacios libres. d) Un ferrocarril del Oeste de Estados Unidos requiere 7.3 m de espacio libre sobre la parte superior de los traviesas (Stephens-Adamsan Mfg. Co.).

ipientes —después de establecer si se van a utilizar abiertos o cerrados— depende de las propiedades físicas de los productos, la más importante de las cuales es la facilidad de flujo, la corrosividad y la sensibilidad a la contaminación.

Los vagones tolvá de ferrocarril tienen tres diseños básicos: 1) cubiertos, con orificios de descarga en el fondo, 2) abiertos, con orificios de descarga en el fondo y 3) abiertos, sin orificios de descarga. Se usan tres tipos de sistemas de descarga: fluidizada, de presión diferencial y por gravedad. Para los vagones de tipo abierto sin orificios de descarga se usan con frecuencia cucharón de quijadas. La carga del vagón se hace por lo común a través de orificios situados en la parte superior. En la figura 7-45 se muestran ejemplos de tipos comunes de vagones tolvá cubiertos. En la figura 7-46 aparecen orificios de descarga fluidizada.

En la tabla 7-23 se dan dimensiones de vagones tolvá y otros vagones que se utilizan típicamente en la industria química. Se emplean frecuentemente sistemas de presión y vacío para la descarga de vagones tolvá cubiertos. Para algunos materiales de flujo libre, tanto en vagones tolvá cubiertos como la parte superior abierta, resultan útiles los dispositivos agitadores (figura 7-47a).

Debido a la escasez de vagones de ferrocarril que ha existido durante muchos años, se utilizan a menudo furgones para materiales a granel. Forrados con materiales apropiados para evitar la contaminación y con topes especiales en cada puerta, esos furgones son sustitutos aceptables de las tolvas cubiertas, aun cuando su descarga resulta más difícil. Para recoger el material se usan transportadores de vacío, varillas y cepillos (figura 7-47b).

La **carga de los camiones** y los **vagones tolvá** se puede hacer con muchos tipos de transportadores: de aire, de banda, de sin fin, etc. Cuando se requiere una carga extremadamente llena, se usan con frecuencia reguladores centrifugos. Disponibles en una gama amplia de capacidades, se pueden diseñar para cualquier tamaño de unidades, hasta cargamentos para bodegas de barcos (figura 7-48).

Las **tolvas sobre rieles** se necesitan para algunos envíos en furgones y vagones con descarga inferior. Ya que los furgones se descargan por uno de los lados, se utiliza para las tolvas una construcción bastante ligera, a fin de colocarlas a un lado de las vías. Sin embargo, para los vagones de descarga por el fondo, las tolvas se deben situar en la línea central de las vías. Para lo cual se requieren vías de traves fuertes sobre el pozo de la tolva y el transportador alimentador. En la figura 7-49 se muestra una tolva simple diseñada para utilizarse con un elevador de cangilones. Se dan las dimensiones típicas, pero se debe establecer la profundidad de la tolva con el fin de contar con un ángulo sufi-

ciente para que fluyan bien los materiales. Comúnmente, hay alimentadores de banda o de placa de movimiento alternativo que llevan los materiales al elevador de cangilones.

Se usan **camiones tolvá** para transportar por carretera diversos materiales. Los tipos de vehículos van de los abiertos a los cerrados. Los más comunes son los que se descargan por presión diferencial en su propio sistema de transmisión neumático, conectado temporalmente al silo de almacenamiento. En este tipo de camiones, la descarga de 40 000 lb de productos requiere aproximadamente una hora y, a veces, menos.

El peso real que puede llevar el camión depende de los límites de carga en las carreteras estatales que, a su vez, dependen del peso neto del vehículo y el número de ejes del camión (y el tractor, cuando se utilicen remolques). El peso total máximo combinado que se acepta para el vehículo y la carga es de 73 000 lb. En algunos estados, esta cantidad se reduce ligeramente, mientras que en otros se sobrepasa (Michigan permite 136 000 lb).

Es importante el sistema de "Containers" que se desarrolla con rapidez para las cargas empacadas. La SealLand Corp. desarrolló un dispositivo forrador patentado que se puede utilizar para convertir un transporte de "Containers" en transporte de materiales a granel. En la figura 7-50 se dan dimensiones de equipos típicos a granel para camiones tolvá.

Para la planeación de una instalación que vaya a manejar equipos de ferrocarril y carreteras son importantes la anchura, la longitud, la altura y el radio de giro de los vehículos que presten sus servicios en la instalación. Esas dimensiones se pueden obtener con facilidad de los transportistas así como también de los fabricantes de equipos. Es preciso proporcionar espacios libres adecuados a los trabajadores de los ferrocarriles y otros transportistas, los cuales se especifican con frecuencia en los códigos de prácticas laborales de los estados.

El desplazamiento de camiones y vagones de ferrocarril dentro de las plantas lo realizan con frecuencia los empleados de los transportistas. Sin embargo, puesto que los programas de producción de la planta y la disponibilidad de equipos de trabajadores ferroviarios no son con frecuencia compatibles, muchas plantas proporcionan sus propios servicios. Existen desplazadores primarios de construcción especial que pueden funcionar tanto sobre carreteras como sobre rieles. Los cargadores de extremo frontal se pueden equipar con acopladores para permitir el movimiento de vagones. En la actualidad no se aceptan en general los remolcadores de vagones por cable, debido a la falta de control de los vagones desplazados. El movimiento de los remolques se hace con frecuencia con tractores equipados especialmente con un acoplamiento ajustable de "quita rueda", que se acopla a cualquier remolque, sea cual sea la altura de su acoplador.

Tabla 7-23 Dimensiones y capacidades típicas de vagones de ferrocarril

Tipo de vagón	Clase AAR*	Dimensiones internas nominales			Dimensiones externas nominales			Volumen, pies ³ x 100	Peso, lb x 1 000
		Longitud	Anchura	Altura	Longitud	Anchura	Altura		
Vagón tolvá ACF de flujo central	LO	39 pies 8 pulg	10 pies 8 pulg	14 pies 10 pulg	39.7	207			
Vagón tolvá ACF de flujo central	LO	54 pies 8 pulg	10 pies 9 pulg	15 pies 1 pulg	47.0	200			
Vagón tolvá ACF de flujo central	LO	59 pies 12 pulg	10 pies 9 pulg	15 pies 1 pulg	52.5	200			
GATX	LO	42 pies 0 pulg	10 pies 8 pulg	14 pies 4 pulg	20.0	140			
Vagón tolvá de desplazamiento sobre aire	LO	54 pies 6 pulg	10 pies 7 pulg	14 pies 6 pulg	41.8	192			
Vagón tolvá	HT	42 pies 10 pulg	9 pies 8 pulg	14 pies 10 pulg	27.5	157			
Vagón gondola	GB	41 pies 6 pulg	9 pies 4 pulg	2 pies 5 pulg	42	100			
Furgón	XM	41 pies 10 pulg	9 pies 6 pulg	10 pies 0 pulg	42	8 pulg			
Furgón	XM	50 pies 7 pulg	9 pies 6 pulg	10 pies 8 pulg	55	2 pulg			
Furgón con equipo DF†	XL	50 pies 6 pulg	9 pies 5 pulg	10 pies 6 pulg	57	7 pulg			

* Association of American Railroads.

† Libre de daños y perjuicios.

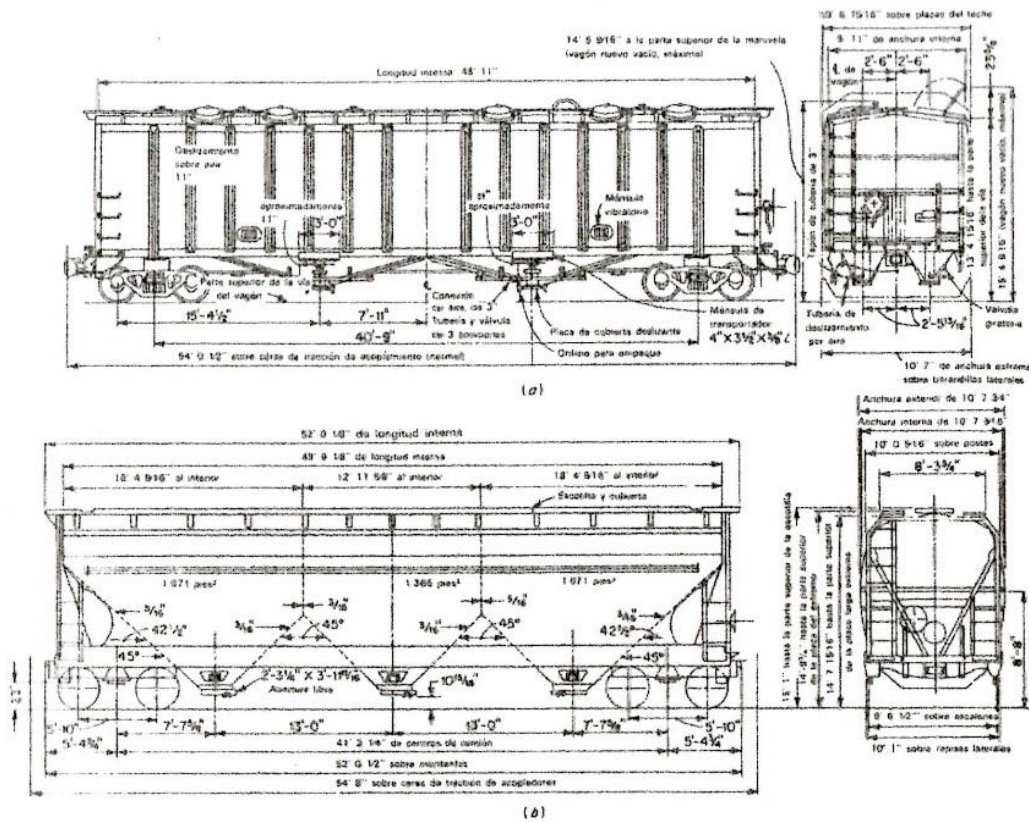


Figura 7-45. Vagones tolva cubiertos típicos. a) Vagón "Airslide" de 100 toneladas y 4 180 pies cúbicos; peso de vacío: 69 600 lb; límite de carga: 193 400 lb (por carga de la Transportation Division, General American Transportation Corp.). b) Vagón de flujo central de 100 toneladas y 4 700 pies cúbicos; peso de vacío: 62 800 lb; límite de carga: 200 200 lb (por cortesía de C&O/B&O Railroad).

TRANSPORTE DE ARTÍCULOS EMBALADOS

Elección de los vehículos. Las unidades pequeñas, tales como bolsas, cajas, cajas de cartón, botellones, latas y tambores o bidones se suelen transportar en vehículos cerrados, del tipo de furgones, que pueden ir de los pequeños vehículos para entregas de una capacidad de 3 000 lb a remolques capaces de manejar 42 000 lb. En los últimos años, se ha observado la tendencia a utilizar vehículos más elevados y anchos. Las instalaciones de carga y descarga se deben diseñar para manejar no sólo los vehículos más modernos y grandes, sino también las versiones más antiguas y pequeñas. En la figura 7-51 se muestran algunos remolques típicos con sus dimensiones principales.

En los últimos años, disminuyó el uso de los vagones cerrados de ferrocarril para el manejo de productos químicos empacados, a favor de remolques transportados "sobre plataformas" en los ferrocarriles. Este método de remolques sobre vagones de plataforma combina la conveniencia y la flexibilidad de los camiones con el bajo costo y la alta velocidad que ofrecen los ferrocarriles. Los vagones cubiertos de ferrocarril para el transporte de fletes

empacados incluyen en la actualidad no solamente furgones normales, sino también muchos equipos especiales que ofrecen calentamiento, aislamiento, refrigeración, volumen elevado para productos de baja densidad y protección especial para los artículos frágiles. En la tabla 7-23 se muestran las dimensiones principales para algunos de estos equipos. En especial, vale la pena mencionar el equipo DF (sin daños) que proporciona un entablado de contención en los vagones. Esos entablados forman módulos dentro del vagón que impiden que las cargas se desplacen durante el movimiento del mismo, de modo que los daños se reducen.

Tarimas. Estas plataformas portátiles, sobre las que se pueden manejar y almacenar materiales empacados (en la figura 7-52 se muestran varios diseños), se pueden encontrar en una gran variedad de tamaños normales en cualquier tamaño hecho a la medida. Sin embargo, las dimensiones tienden a basarse en las de los vehículos de transporte que las conducirán. La anchura más común de los camiones es de 88 pulg. y la de los furgones de 106 pulg., dando como resultado un tamaño de tarimas "normal" de 42 x 48 pulg., que permite ajustar dos en un camión (del lado de 42 pulg.) y dos en un furgón (del lado de 48 pulg.), con un esp-

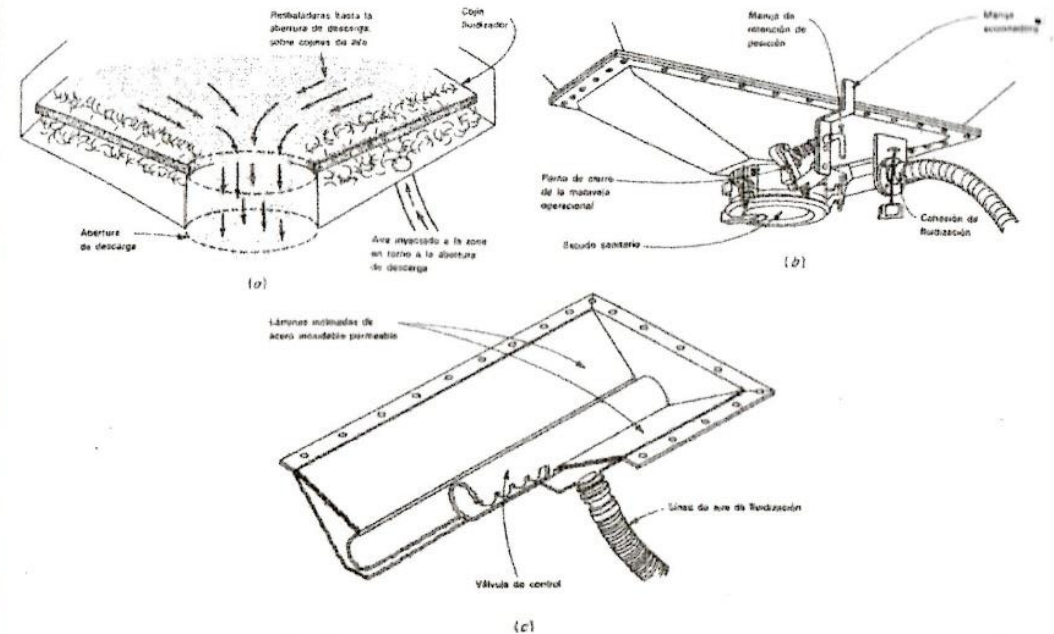


Figura 7-46. Salidas fluidizantes para vagones tolva. a) El aire introducido por el cojinete de fluidización hace que el polvo fluya hacia la abertura. b) Salida de mariposa de flujo central ACF que controla la descarga de polvos a granel fluidizados. c) Otro tipo de salida de mariposa de fluidización (Shippers Car Line Division, ACF Industries, Inc.).

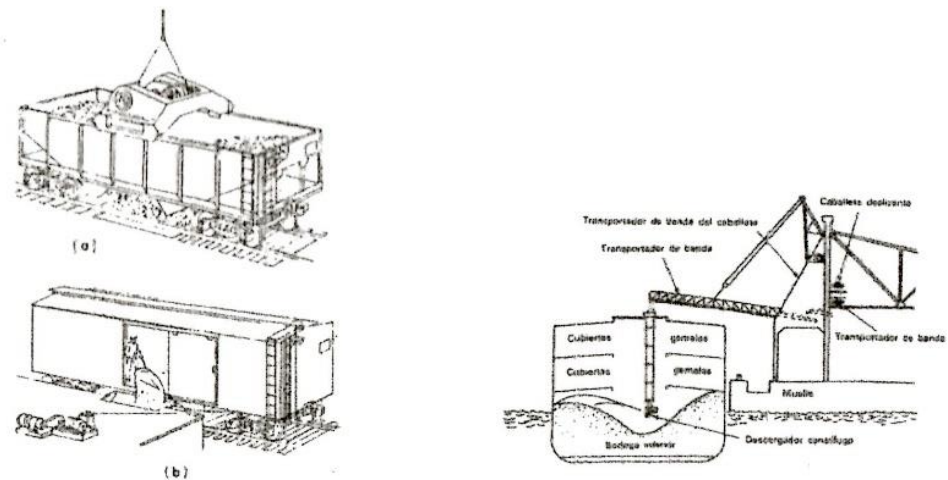
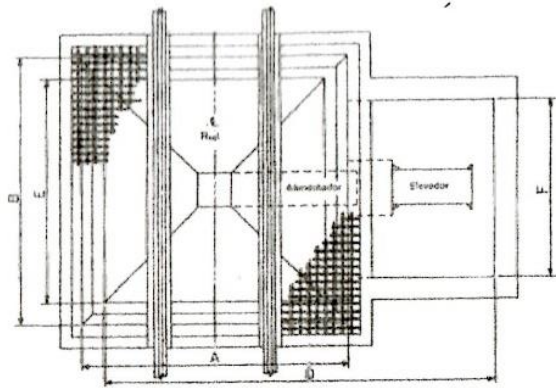


Figura 7-47. Dispositivos de descarga de vagones. a) Agitador de vagón. b) Pala mecánica.

Figura 7-48. Sistema para cargar barcos con regulador y vertedero enchufador (Stephens-Adamsen Mfg. Co.).



A x B	C	D	E	F
10' x 7'	9' 6"	16' 6"	5' 0"	7' 0"
10' x 10'	11' 0"	16' 6"	8' 0"	8' 0"
12' x 12'	12' 0"	17' 6"	10' 0"	8' 0"
14' x 18'	15' 0"	19' 0"	15' 0"	10' 0"

Figura 7-49. Tolvas de riel simple para elevadores. C = profundidad de pozo para un elevador de cañones espaciados. Se debe ajustar para el diseño de cañones continuos (Fairfield Engineering Co.).

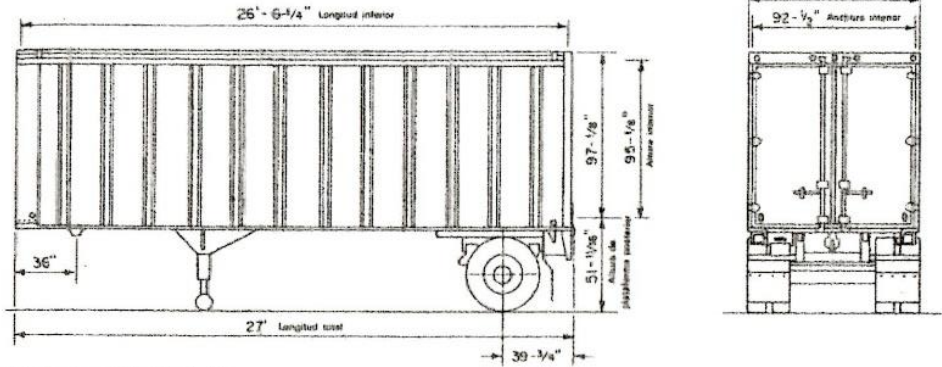
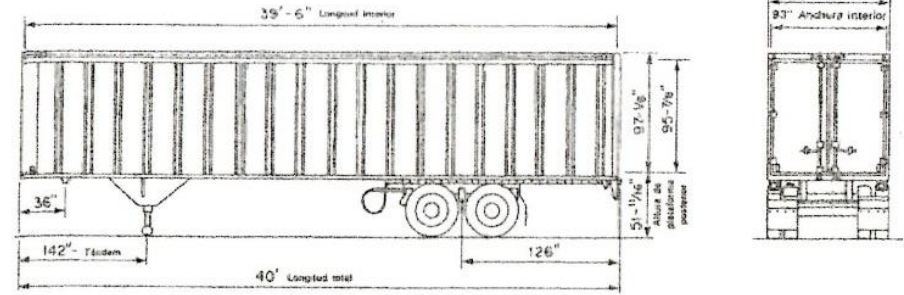


Figura 7-51. Remolques típicos (Tráilermóvil).

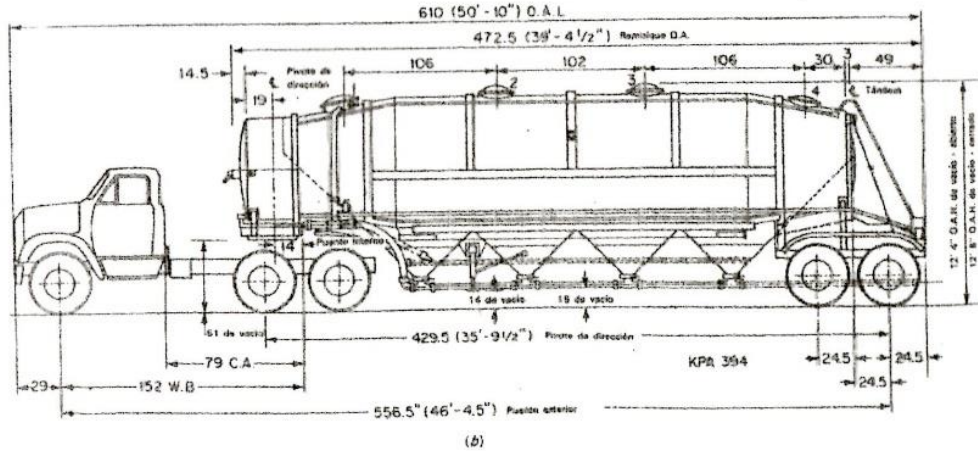
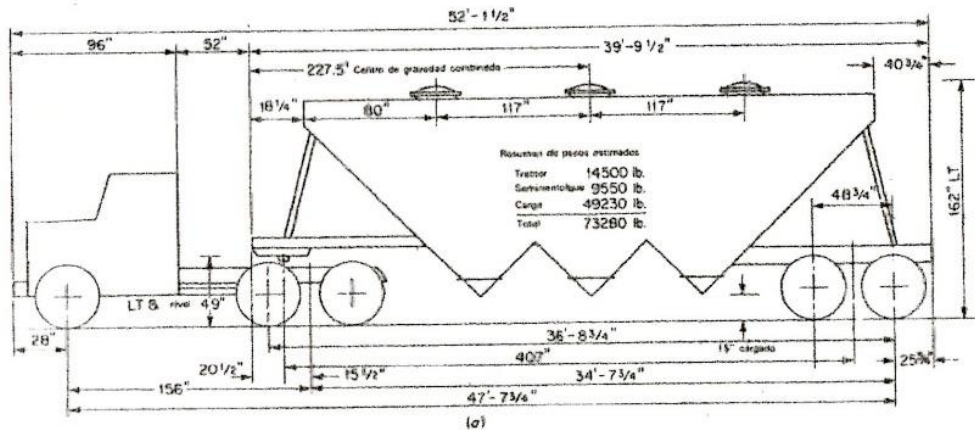


Figura 7-50. Camión tolva para materiales a granel. a) Camión concreto típico (Tráilermóvil). b) Tolva para plásticos (Buster Mfg. Co.).

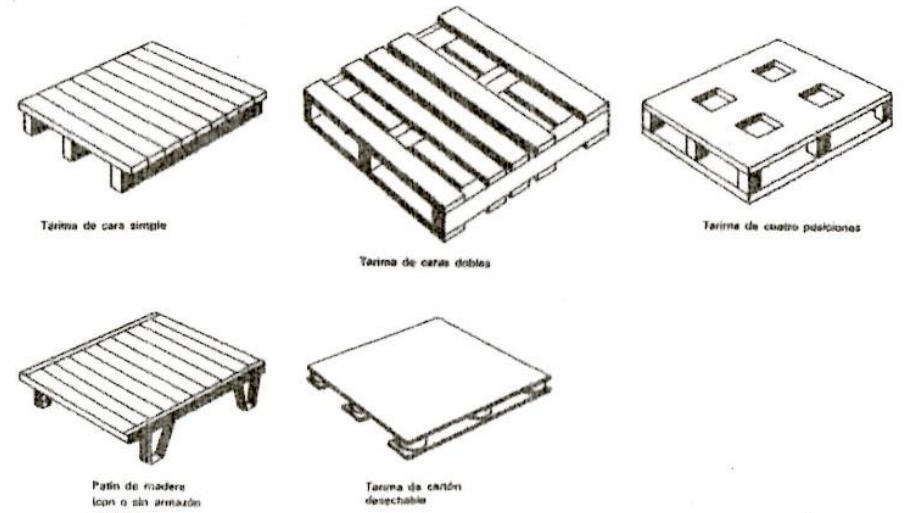


Figura 7-52. Tipos de tarimas.

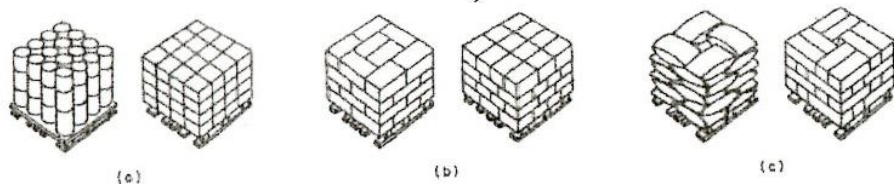


Figura 7-53. Patrones típicos de tarimas. a) Se usa comúnmente el patrón de bloques, aunque con frecuencia es inestable. Se puede asegurar, rodeando la hilada superior de recipientes con flejes o alambres. b) El patrón de enladrillado se usa mucho. Los recipientes se alteran para formar una carga relativamente estable, al poner hiladas alternativas en una posición de 90 grados, unas con respecto a las otras. c) Se utiliza el patrón de cubo cuando el enladrillado resulta inestable. Se pueden entrelazar hiladas alternas.

cio libre adecuado para las maniobras de los carros elevadores que manejan las tarimas.

Hay diversas variaciones de este tamaño básico, que incluyen el G.M.A., muy utilizado (Grocery Manufacturers Assn.) de 48 x 40 pulg. La elección del tamaño exacto depende de las anchuras normales de los camiones y los furgones, el tamaño de la carga en paquetes y las instalaciones de recepción y manejo de los clientes. De modo ideal, la suma de las dimensiones de los paquetes debe ajustarse exactamente a la tarima; sin embargo, esto resulta virtualmente imposible en la práctica. Son útiles las reglas empíricas que siguen; para bolsas: dimensiones exactas de tarima o un sobrante de $\frac{1}{2}$ de pulg a cada lado.

Para las cajas de cartón: dimensiones de la tarima o sobrante de $\frac{1}{2}$ de pulg en cada dimensión.

Para tambores, cilindros, etc.: dimensiones de tarima o exceso hasta de 1 pulg.

Los patrones de tarimas para las condiciones anteriores son muy numerosos. En la figura 7-53 se muestran algunos patrones comunes que son utilizados en las industrias de procesos químicos.

El material tradicional para la construcción de tarima ha sido la madera dura, como las de roble, arce y Fresno. También se utiliza con frecuencia el pino amarillo. Para unir las piezas componentes se emplean adhesivos y clavos.

La escasez creciente de maderas duras ha hecho aumentar el costo de las tarimas de madera, hasta el punto de que resulta económicamente factibles las de materiales plásticos y las compuestas de madera, papel y plásticos. Se están realizando muchos trabajos de desarrollo en el diseño de tarimas de plástico para el manejo de cargas típicas. Debido al costo de eliminación de las tarimas desechables, se justifican con frecuencia las que se devuelven.

Reducción y aumento de tamaño

POR

Richard H. Snow, Ph. D., Ingeniero Principal, IT Research Institute; Miembro de la American Chemical Society, American Institute of Chemical Engineers, American Institute of Chemists, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers. (Director de Edición de la Sección*)

Brian H. Kaye, Ph. D., Profesor de Física y Director del Institute for Fine Particles Research, Laurentian University; Miembro del American Institute of Physics, Sigma Xi. (Análisis de tamaño de las partículas)

C. Edward Capus, Ph. D., Funcionario Asociado de Investigación, National Research Council (Canadá); Miembro de la Canadian Society for Chemical Engineering, Chemical Institute of Canada (Aumento de tamaño)

Robert F. Conley, Ph. D., Gerente de Investigaciones Básicas, Georgia Kaolin Co. (Molinos de medios agitados y vibratorios)

Joseph Sheehan, B. Mech. Engr., Ingeniero Contratista, Raymond Division, Combustion Engineering Inc. (Pulverizadores)

Horlan Schwarzkopf, Dr. Ing., Vicepresidente para el Desarrollo de Productos, Kennedy Van Saun Corp. (Molienda de fertilizantes)

Wolfgang B. Pietsch, Ph. D., Director, Hutt GmbH, República Federal Alemana; Asesor, Komarek-Greaves and Company. (Compactación)

ANÁLISIS DE TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS

Distribución del tamaño de la partícula	8-3
Especificaciones de las macropartículas	8-3
Ecuaciones para el tamaño de las partículas	8-3
Medición del tamaño de la partícula	8-4
Muestreo de polvos	8-4
Métodos al microscopio	8-5
Métodos de sedimentación	8-5
Métodos centrífugos	8-7
Métodos de corriente	8-7
Métodos de tamizado	8-7
Métodos de titulación	8-8
Área superficial tomada de mediciones de absorción de gases	8-8
Técnicas de permeabilidad	8-8

*El desaparecido Lincoln T. Work, editor de esta sección en la cuarta edición, administró consejos valiosos para esta revisión; parte de su material sigue siendo actual, por lo que se conservó.

PRINCIPIOS PARA LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO

Propiedades de los sólidos	8-9
Molabilidad	8-9
Métodos para determinar la molabilidad	8-10
Desgaste del molino	8-10
Seguridad	8-11
Trabajo requerido para la reducción del tamaño	8-11
Relaciones teóricas	8-11
Eficiencia de la molienda	8-13
Molienda por vía seca y por vía húmeda	8-13
Agentes de dispersión y auxiliares de molienda	8-13
Reducción de tamaño en combinación con otras operaciones	8-14
Reducción de tamaño combinada con la clasificación del mismo	8-15
Características de los clasificadores de tamaño	8-16
Simulación de circuitos de molienda	8-16
Solución de ecuaciones de un circuito de molinos	8-17