

4.- Operaciones con sólidos

Muchos de los insumos de la industria de los alimentos se suministran como sólidos a las plantas procesadoras: sales, azúcares, harinas, aditivos, especias molidas, extractos secos.

Pueden presentarse embalados o a granel y clasificarse según diferentes cualidades características o de importancia para el procesamiento en que serán integrados:

Homogeneidad: esta propiedad puede referirse al tamaño o a su composición; y también varía cuando durante el transporte y almacenamiento se producen aglomeraciones o agregados.

Agresividad: algunos insumos, como el caso de hidróxidos y sulfitos son corrosivos y otros como el cloruro de sodio manifiestan esta cualidad más lentamente.

Higroscopicidad: esta característica aumenta con la reducción del tamaño. Los polvos finos presentan grandes superficies de contacto, y resultan vulnerables a la humedad del aire.

Volatilidad: especias molidas y extractos secos pierden su calidad en contacto con el aire. Algunos polvos muy finos como la celulosa o los finos del comino molido pueden llegar a ser explosivos a determinadas concentraciones.

Pureza: los productos sólidos que se utilizarán para integrar alimentos de manera aséptica deben ser considerados especialmente para preservar su condición de pureza y evitar contaminaciones y degradaciones.

Adherencia: muchos aditivos, como las gomas, presentan esta propiedad que obliga a un trato especial en su uso y manipulación.

Humedad: El contenido de agua influye en las operaciones con sólidos, las moliendas en seco requieren humedades del orden del 14%. Su peso específico también varía con el contenido de humedad.

Porosidad: Este parámetro se determina mediante la relación entre la densidad de un producto a granel y la de su cuerpo sólido.

Densidad: es un factor necesario para el cálculo de los equipos e instalaciones utilizadas en su operación.

material	Kg/m³	material	Kg/m³	material	Kg/m³
Cacao	480	Avena molida	430	Suero polvo	560
Café	330	Cebolla polvo	510	Celulosa	1355
Almidón	560	Sal gruesa	960	Ácido cítrico	1550
Huevo polvo	340	Sal fina	950	Na (OH) 98%	1610
Gelatina	680	Azúcar blanco	800	Sal a granel	990
Celulosa	680	Azúcar imp.	480	Goma guar	660
Leche polvo	610	Harina	480	Alginato sodio	710

Manejo de Sólidos

La industria alimentaria recibe gran parte de sus insumos y elabora muchos de sus productos como sólidos, por lo que el manejo de los mismos incluye maniobras de transporte, aparte de la reducción de tamaño.

Empaque

El empaque, el envase y el embalaje están íntimamente ligados a la naturaleza del producto al medio de transporte y al equipo de manipulación.

Se reconoce como sistema de empaque al conjunto recipiente, tapa, cobertura de protección, etiqueta, anillos, grapas o precintos de seguridad, y la base o tarima.

Los envases son estructuras rígidas como cajones, cajas, botellas, frascos y tarros, que pueden presentar impresiones gráficas, y contener productos líquidos, sólidos o gaseosos, para proteger sus características intrínsecas, estando o no en contacto directo con el contenido. Su diseño está destinado a la distribución comercial y facilitación al consumidor final.

Las cajas: Son arreglos unitarios de cantidades fijas cuyas medidas deben corresponder a un módulo de prisma predefinido, tendiendo a 60 x 40 cm. de dimensiones externas, y su altura debe acondicionarse al tamaño de los productos co-

mercionalizados. Este módulo puede multiplicarse y/o subdividirse y por consiguiente obtener otras dimensiones (múltiplos y submúltiplos) que se adapten a cualquier necesidad.

Las medidas de las cajas individuales de los productos exportados deben acondicionarse internamente al módulo estipulado y siempre es posible encontrar alguna opción de medidas que permita este acondicionamiento espacial.

Son rígidas, generalmente de forma cuadrada o rectangular, con sus caras cubiertas. Cuando se construyen de madera o plástico se denominan cajones.



Cajas trabadas sobre tarimas y plastificadas (pallets).

Los cajones de madera obligatoriamente son de un solo uso y tienen una capacidad de carga de 25kg y una tara de 2,5 kg, mientras que los de plástico son reutilizables, tienen una capacidad de carga aproximada de hasta 20kg y una tara de 2 kg.

La Organización de las Naciones Unidas O.N.U. ha dispuesto para la utilización de las maderas provenientes de los países

en vía de desarrollo, aplicable en cualquier país de destino, cuando se empleen, pallets, esquineros o cajas en madera permitir solamente el uso de maderas industriales o especies renovables, como pinos o eucaliptos. No se permite el empleo de especies nativas y tampoco son reutilizables.

Se llaman bocoy a los barriles de madera que se utilizan para alimentos fermentados especiales como kéfir, vino, cerveza, encurtidos. Debe su rigidez estructural a unos aros de metal (cinchas) que aseguran las tablillas entre sí, Se fabrican de maderas especiales como roble en capacidades de 100 a 400 litros. Hace años que se encuentran en desuso debido a su limitada capacidad y a que requieren mucha atención de personal especializado para su mantenimiento.

Los bidones se fabrican de plástico, generalmente PVC, aptos para su almacenamiento a la intemperie. Sus capacidades van de 25, 50, 100, hasta 200 litros. Se usan para líquidos y para el traslado a granel de productos terminados. Los modelos de mayor capacidad pueden diferir en sus tapas que pueden ser chicas, grandes o medianas, variando inversamente en accesibilidad al contenido y firmeza del recipiente.



bidones de PVC recién descargados en una finca olivícola (Capayán).

Se pueden diferenciar cuatro tipos básicos de bolsas:

Bolsas de abertura automática que pueden abrirse con un rápido tirón; están constituidas con fuelles laterales y poseen un fondo cuadrado que les permite permanecer verticales cuando están vacías.

Fondo de mochila de papel o plástico que presentan un fondo plano. Las bolsas de papel resistente utilizan un material especial llamado “papel Krapp”, de color marrón, que plastificado resulta sumamente fuerte e impermeable.

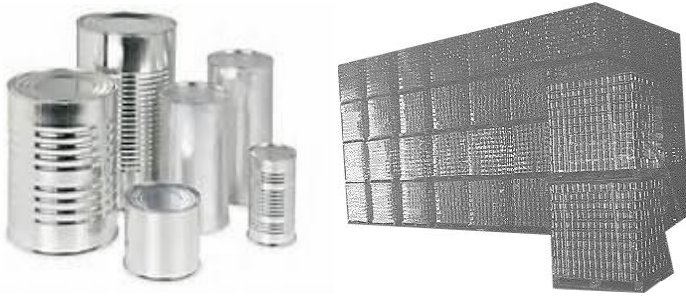
Plana de construcción sencilla sin fuelles, o cuadrada de fondo doblado y fuelles de reducir el ancho cuando están cerradas.



Acarreo de bolsas con granos con zorras de mano y cintas transportadoras y apilamiento de viejos bocoys.

Los envases de hojalata o latas, quizá resulten los más populares en la industria conservera, se producen en una gran varie-

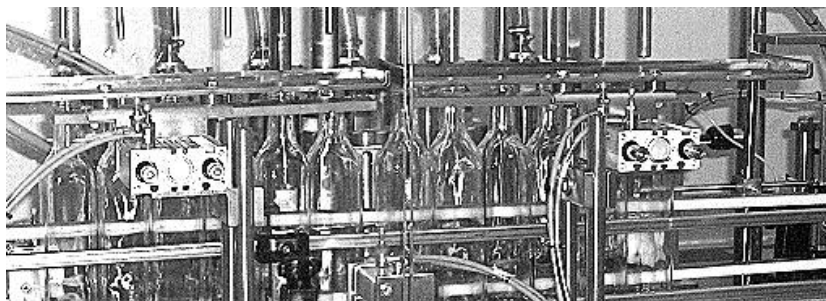
dad de formas y tamaños y con distintos recubrimientos interiores según las exigencias particulares de cada alimento. Se sellan en la planta elaboradora antes de tratarse térmicamente en máquinas especiales calibradas permanentemente.



Envases de hojalata y su almacenamiento en depósito.

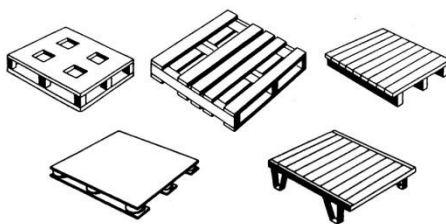
Los sacos son contenedores preformados, contruidos en material flexible, abiertos en un extremo por el cual se llenan. Pueden fabricarse de una capa o de capas múltiples combinando materiales diferentes. Su relativamente bajo precio y su aptitud para complementar contenedores rígidos los hacen cada vez más populares. Estos sacos diseñados con una camisa de intercambio calórica se usan en algunos casos en la fermentación de vinos.

Las botellas se construyen de vidrio, plástico, cerámica, barro, etc. Su capacidad varía desde 25 cm³ hasta 4 litros. La botella de vidrio de 2 litros se conoce como “magnum”.



Botellas en una línea de envasado automático.

Las plataformas de madera, plástico, metal o cartón reforzado, que se utilizan para facilitar el manejo de mercancías y embalajes (con el apoyo de un montacargas) se denominan tarimas; son imprescindibles para constituir sistemas de embalajes e integrar cargas unitarias (*palets*) con el fin de almacenarlas o transportarlas eficientemente.



Originarios de las industrias de las frutas grandes (pera, manzana) los denominados bins se usan con cada vez más frecuencia para todo tipo de frutas, debido a su practicidad para el manejo mecánico (autoelevadores) y a que permite considerar como unitaria una carga a granel. Suelen estar construi-

dos de mallas de plástico, con estructuras de metal, y tienen una dimensión aproximada de 1m³.



Bines conteniendo con aceitunas y apilados junto a cajones.

Cada uno de los elementos de contención descriptos anteriormente representa un estadio en un proceso de continuo cambio y desarrollo y no deben ser considerados como alternativas definitivas para elegir un contenedor.

Cada sistema de empaque está formado por recipientes de estructura flexible como bolsas, costales y *big-bags* elaborados en materiales simples o compuestos, y pueden presentar impresos gráficos, para la exhibición y promoción de uno o varios productos líquidos, sólidos o gaseosos, estando o no en contacto directo con el contenido, destinados a facilitar la distribución comercial y brindar un servicio de post venta al usuario intermedio y final.

Es importante considerar que durante el proceso de distribución y comercialización el producto será sometido a riesgos tales como:

Disminución o ganancia de volumen; cambio o pérdida de color o transparencia; variación de su densidad; hidratación o deshidratación no deseadas; pérdida de peso debido a disminución de humedad, deterioro de su textura y presentación; compresión; tracción de fuerzas axiales; vibración; golpes; fricción, que entre otros efectos pueden generar roturas, rayaduras y fisuras, que pueden constituirse en motivo de rechazo, por parte del comprador.

También se deben prever factores de riesgo por la exposición comercial, la exhibición en los puntos de venta, deterioro causado por la manipulación de los clientes, la adulteración de los contenidos por manipuladores descuidados, el plagio, y el ataque de la competencia.

Los embalajes están contemplados en la Norma ISO 780 y 7000 en cuanto a su manejo, advertencias y símbolos pictóricos, y por el Reglamento de la Organización Internacional del Trabajo O.I.T. que por razones ergonómicas se ha estipulado que ninguna carga que requiera manipularse por fuerza humana en algún momento de su Distribución Física Internacional, podrá pesar en bruto más de 25 Kg. Y la reglamentación 87 (R 87) de la O.I.M.L (Organización Internacional de

Metrología Legal) aplicable a los productos para venta para unidades, en lo relacionado con las unidades empleadas en la descripción del contenido en cada envase, considerada en las estipulaciones del Código Alimentario Argentino y las Reglamentaciones Mercosur.

La Norma ISO 7000 regula el rotulado de los empaque y embalajes con el objetivo de identificar y ubicar el producto durante su comercialización, informar sobre las características del producto y la responsabilidad integral y facilitar la administración del inventario. También brinda detalle sobre la promoción comercial del producto, las instrucciones sobre los sistemas de manejo que deben aplicarse a las cargas, la seguridad de las personas y equipos necesarios para la manipulación y control de las mercancías.

Los elementos digitales para la identificación, como los códigos de barras, facilitan el reconocimiento del producto en su transporte, almacenamiento y comercialización.

Estos códigos exigen la aplicación de tecnologías apropiadas siendo las más frecuentemente utilizadas UPC (*Universal Product Code*), EAN (*European Article Numering*) y CODA-BAR.

Las Tarjetas inteligentes (*smart cards*) son pequeñas etiquetas plastificadas con componentes electrónicos en su interior que brindan información por radiofrecuencia, resultando suma-

mente útil en la identificación y control de mercaderías con fecha de caducidad.

Desde hace unos 50 años, y cada vez con más frecuencia se usan contenedores o “*containers*” para el traslado de mercaderías en conjunto de una misma especie o mixturas compatibles y pueden contar con equipos de refrigeración.

Estos recipientes se construyen en acero, aluminio y madera contrachapada. Sus medidas estandarizadas, su versatilidad de configuración y sus acondicionamientos para ser operados mediante grúas los hacen prácticos para el envío de productos alimenticios, especialmente con destino a exportación.

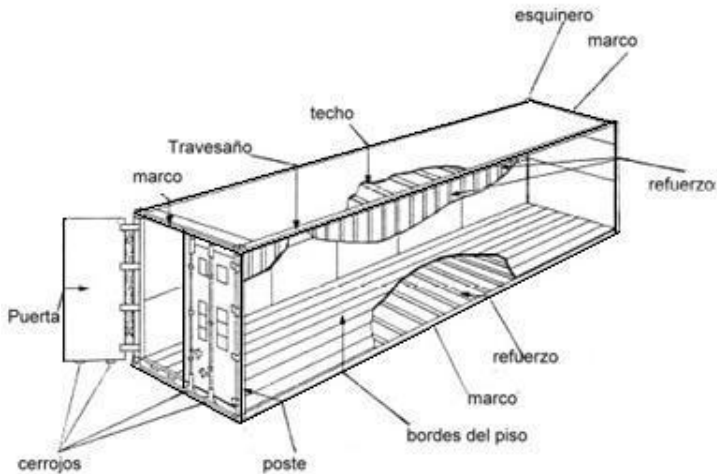
Medida en pies	denominación	Interiores en metros		
		largo	ancho	alto
20	<i>Standard</i>	5,895	2,350	2,392
40	<i>Standard</i>	12,029	2,350	2,392
40	<i>High cube</i>	12,024	2,350	2,697
20	<i>Open top</i>	5,888	2,345	2,315
40	<i>Open top</i>	12,029	2,342	2,326
20	<i>Flatrack</i>	5,698	2,230	2,255
40	<i>Flatrack</i>	11,832	2,228	1,981
20	<i>Flatrack collapsible</i>	5,675	2,213	2,270
40	<i>Flatrack collapsible</i>	11,660	2,200	2,245
20	<i>Platform</i>	0,058	2,438	---
40	<i>Platform</i>	12,192	2,245	---
20	<i>Refrigerated</i>	5,724	2,286	2,014
40	<i>Refrigerated</i>	11,840	2,286	2,120
20	<i>Bulk</i>	5,934	2,358	2,340
20	<i>Tank</i>	0,058	2,438	2,438

Características principales de los contenedores de ultramar.

Sánchez Brizuela, R; Mansilla, S. (2019) E.C.U. UNCA

Los contenedores están contruidos con un diseño de nervaduras reforzadas que los hacen funcionales como verdaderas estructuras auto portantes.

El costo de un contenedor es aproximadamente de 1 [U\$S/kg] que pesa el contenedor (por ejemplo uno de 20 pies pesa 2.500 kg y uno de 40 pies unos 4.000 kg) la carga máxima de un contenedor está limitada en Argentina a 25 Tn.



4.2.-Reducción de tamaño

Se puede clasificar según el estado de agregación del material a tratar (líquido o sólido).

La desintegración mecánica de sólidos comprende: Corte, Molienda, Trituración y Pulverización.

El grado de humedad de los sólidos permite clasificarlos en alimentos húmedos, que se cortan, rallan, muelen, despulpan, y se les extraen jugos, y los secos que se trituran y muelen.

En cuanto a líquidos se aplica: Emulsificación, Homogenización y Atomización.

Los esfuerzos observados en esta operación incluyen: corte, frotación o cizalla, compresión e impacto, y aunque casi siempre se encuentran combinados puede observarse que la acción de uno es dominante.

De las reducciones de tamaño se obtienen harinas, jugos, pastas y pastones, polvos, desmenuzados, triturados, dispersiones y homogenizados.

Algunos ejemplos son las harinas de cereales, las proteicas (como la harina de hueso y de pescado), el cacao y la caña de azúcar que se desmenuzan, las especias, los quesos que se trituran para texturizarlos, algunos aditivos como alginatos, lactosa, algarroba, etc.

Generalmente el problema abordado en esta operación en está orientado al cálculo energético según las relaciones conocidas como las tres Leyes de la Molienda.

La Ley de Kick tiene aplicación cuando se reducen cuerpos con diámetros equivalentes del orden de los centímetros.

$$\frac{dE}{dm} = k \ln \left(\frac{dX_i}{dX_f} \right)$$

$\frac{dE}{dm}$: Energía por unidad de masa

k : coeficiente de molienda de Kick

$\frac{dX_i}{dX_f}$: Relación entre los tamaños iniciales y finales de las partículas

La relación $\frac{X_i}{X_f}$ se conoce como relación de reducción

La Ley de Bond está propuesta para macropartículas del tamaño del orden de los milímetros

$$\frac{dE}{dm} = C_B \left(\frac{1}{\sqrt{X_i}} - \frac{1}{\sqrt{X_f}} \right)$$

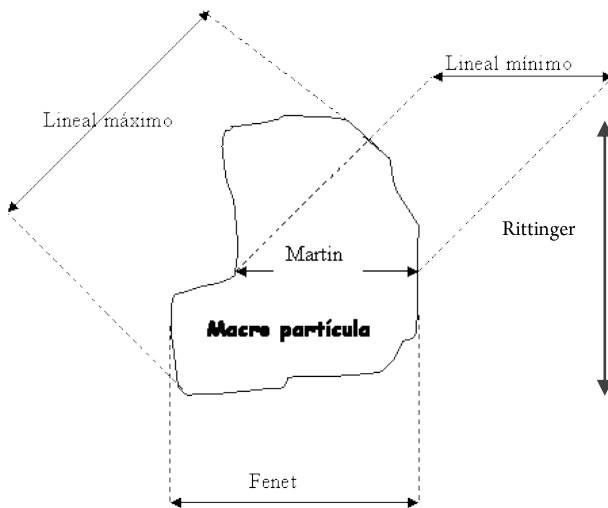
C_B es el coeficiente de molienda de Bond.

Von Rittinger plantea una relación aplicable para partículas del orden de las décimas de milímetro o menores.

$$\frac{dE}{dm} = C_R \left(\frac{1}{X_i} - \frac{1}{X_f} \right)$$

C_R es el coeficiente de molienda de Rittinger.

El tamaño de una partícula puede determinarse microscópicamente usando los siguientes diámetros de referencia:



La medición del tamaño puede realizarse indirectamente a través de la Ley de Stokes:

$$(\rho_p - \rho_f)gD^2 = 18\mu 10^8$$

En la industria alimentaria se usa generalmente mallas para medir el tamaño de las partículas, estas se definen por el número de hilos que ocupan una unidad de área.

Para la convención U.S. *Standard Sieve* (ASTM):

Tabla N°23

N° ASTM	Abertura (mm)	Abertura (pulg)
10	2.00	0.0787
12	1.68	0.0661
14	1.41	0.0555
16	1.19	0.0469
18	1.00	0.0394
20	0.841	0.0331
25	0.707	0.0278
30	0.595	0.0234
35	0.500	0.0197
40	0.420	0.0165
45	0.354	0.0139
50	0.297	0.0117
60	0.250	0.0098
70	0.210	0.0083
80	0.177	0.0070
100	0.149	0.0059
200	0.074	0.0029
325	0.044	0.0017
400	0.037	0.0014

ISO 565:1990; ISO 3310-1:2000 (*international*), EN 933-1 (*European*) ASTM E11:01 (US)

Considerando una esfera:

$$A = \pi D^2 \quad \wedge \quad V = \frac{\pi D^3}{6} \quad \rightarrow \quad \frac{V}{A} = \frac{D}{6}$$

para una determinada densidad ∂

la cantidad de partículas totales será: $n^{\circ} = \frac{m}{\partial V}$

y como el área total de las partículas es: $A_T = n^{\circ} A = \frac{m}{\partial V} A = \frac{m}{\partial} \frac{6}{D}$

El objetivo de la operación de reducción de tamaño puede establecerse en base al resultado, porque la forma final del producto alimentario así lo requiere, como en los casos anteriormente mencionados de la obtención de una harina, un triturado o un polvo, o también fijarse en la optimización de las condiciones de elaboración, debido a que favorece los fenómenos de superficies de contacto, como transferencia de materia y energía y reacciones químicas.

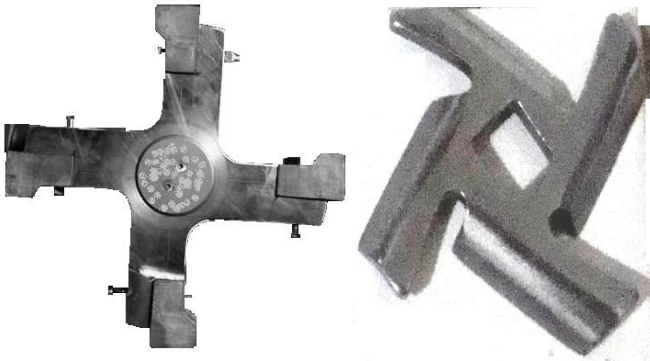
En muchos contextos se diferencia trituración de molienda, aún cuando se utilicen los mismos equipos para una y otra operación se referencian trituradoras y molinos. Para el alcance de este texto podemos acordar que la trituración origina productos heterogéneos mientras que los productos de la molienda son homogéneos.

En algunos casos como la molienda del pimiento para pimentón el objetivo de la operación es transformar el tejido del fruto seco en un polvo fino (pimentón) mientras en otros, como la molienda de la malta para elaborar cerveza, se pretende solo resquebrajar ligeramente la corteza para permitir que durante la maceración el agua penetre al interior de la semilla y disuelva el almidón, procurando convertir la menor cantidad posible de cáscara en polvo (harina).

4.3.- Algunos tipos de Molinos

1.- contra una superficie. (impacto)

Los molinos de martillos y cuchillas pertenecen a este tipo, sus diseños se componen de una carcasa que contiene un cernidor que solo deja pasar el material reducido cuando ha alcanzado un tamaño determinado por el espacio de la abertura de la criba seleccionada.



Tipos de muelas: **Martillos**

Cuchillas

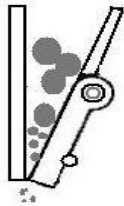
Estos molinos son usados para triturar aceitunas, en la industria de la carne. Trabajan bien con sólidos pastosos y altos contenidos de grasa.

Tienen la ventaja de su sencillo mantenimiento y bajo costo, pero hay que considerar que permiten incorporar aire durante la operación lo que puede resultar inconveniente.

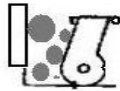
2.- entre dos superficies. (corte)

Trituradoras de quijada o mandíbulas:

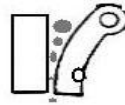
No son populares en la industria agroalimentaria, con algunas excepciones como las peladoras de nuez (algunos diseños).



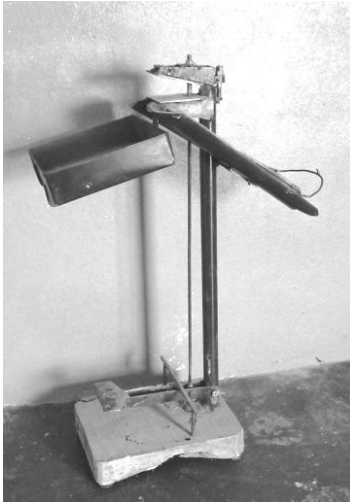
Blake



Dodge



Excéntrico superior



Peladoras de nuez manual de quijada y motorizada de impacto

Las densidades de molienda se calculan conociendo que:

Sánchez Brizuela, R; Mansilla, S. (2019) E.C.U. UNCA

$$A = \pi D^2 \text{ y } V = \frac{\pi}{6} D^3 \text{ entonces } \frac{A}{V} = \frac{6}{D}$$

Y que en una masa m de n partículas, su densidad δ

$$n = \frac{m}{\delta V}$$

$$\text{El área total } A_T = n A = \frac{m}{\delta V} A = \frac{m}{\delta} \frac{6}{D}$$

Las consideraciones energéticas se fundamentan en el aumento de área:

$$\frac{dE}{dA} = k.A^n$$

Uno de los modelos más utilizados es el de Kick que propone:

$$K = K_k f_c$$

donde f_c es la resistencia a la trituración (propiedad del material a dividir)

Esta ecuación resulta apropiada para pequeñas reducciones en sólidos relativamente grandes, donde el aumento de área superficial puede despreciarse.

Se utiliza: $E = k \text{ Ln } (x_1/x_2)$

Y se considera más exacta la expresión de Rittinger:

Sánchez Brizuela, R; Mansilla, S. (2019) E.C.U. UNCA

$$E = K_R f_c \left(\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right)$$

Existen otros modelos, como el de Bond:

$$E = E_i \left(\frac{100}{L_2} \right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{1}{q^{\frac{1}{2}}} \right)$$

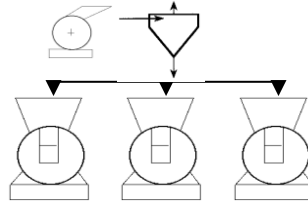
Donde E_i es una propiedad que se determina experimentalmente

Los equipos utilizados en la molienda de especias (pimentón, pimienta, anís, comino) son del tipo de disco y están conformados por una carcasa que contiene la muela que gira contra otra que permanece estática, montada sobre una estructura ajustable. Una tolva en su parte superior ingresa la alimentación por unas ranuras que posee la pieza móvil.

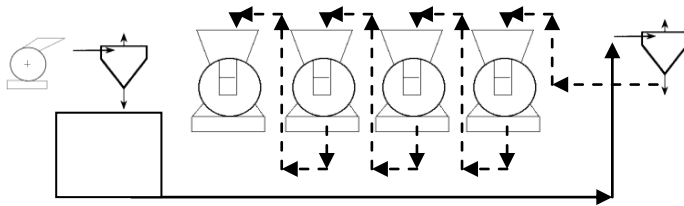


Las disposiciones de los discos pueden configurar equipos verticales (tipo Smith) u horizontales (tipo Cándor).

La molienda tiene un límite natural en la práctica en una tasa de reducción de ocho veces el tamaño, por lo que los productos finos requieren de sucesivas operaciones (dos a cuatro).



Los sistemas de molienda frecuentemente complementan trituradoras, ciclones y molinos.



La humedad de la materia prima en todas las moliendas tiene un límite superior de 13,5% que si se supera se corre el riesgo de que se produzcan empastamientos y caramelizaciones.

El empastamiento requiere la salida de servicio del molino, que generalmente se desarma para retirar el material adherido a los discos mediante martillo y cincel. Una técnica efectiva consiste en separar las muelas y, con el molino en marcha, agregar producto terminado hasta el desprendimiento del empaste.



Molinos tipo Smith

Pintura de C. Albarracín (S. María; Catamarca)

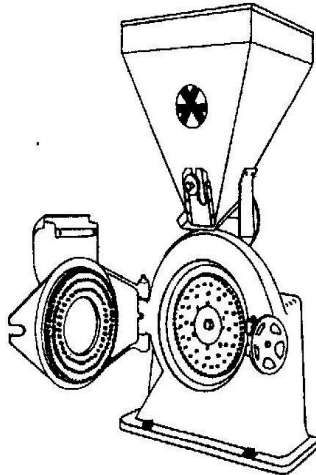


Molinos tipo Cóndor

Monteros Tucumán

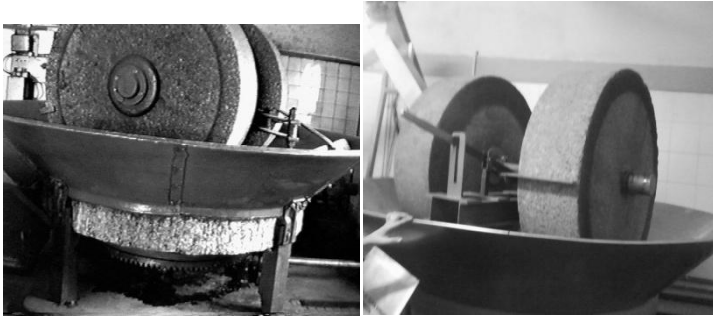
El tamaño del producto se regula mediante el acercamiento de las muelas. Estas están construidas de una pasta abrasiva, que ha reemplazado las antiguas piedras de molino.

Un molino especial, que se utiliza para maíz, café, pimienta, algarroba, es el tipo Perpless, cuyas muelas son de acero inoxidable con dibujos en relieve en forma de dientes.

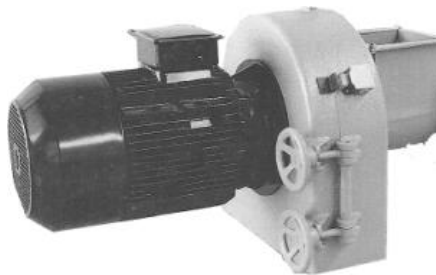


Sánchez Brizuela, R; Mansilla, S. (2019) E.C.U. UNCA

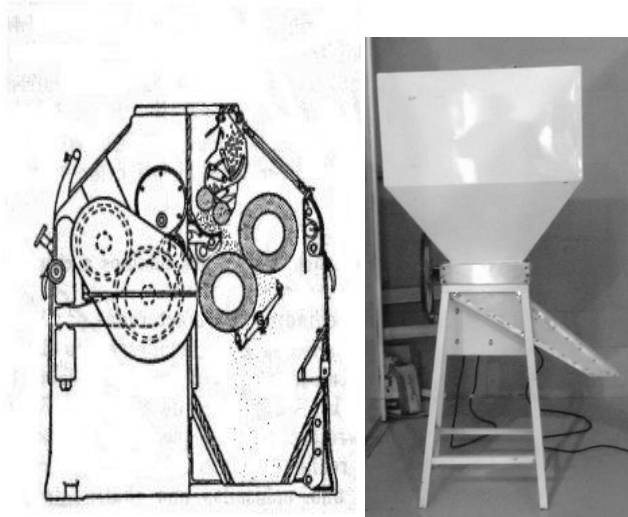
En la elaboración tradicional de aceite de oliva la molienda se realiza con molino de muelas (rulas) de piedra granítica o basáltica de forma cilíndrica o tronco - cónica de diámetro aproximado de 1,25m, que opera sobre un basamento resistente en forma de plato (solero), construido en la mayoría de los casos de fundición de hierro, según un diseño generalizado que contiene un canal (alfarje) para la recogida del aceite.



En los sistemas utilizados en los nuevos proyectos de enormes escalas se utilizan pequeños molinos de impacto.



Para la molienda de cereales se utilizan molinos de rodillos lisos (aunque tienen un pequeño dibujo estriado de bajo perfil) que giran generalmente a velocidades diferenciales (10%) para mejorar el efecto de “mordida”.



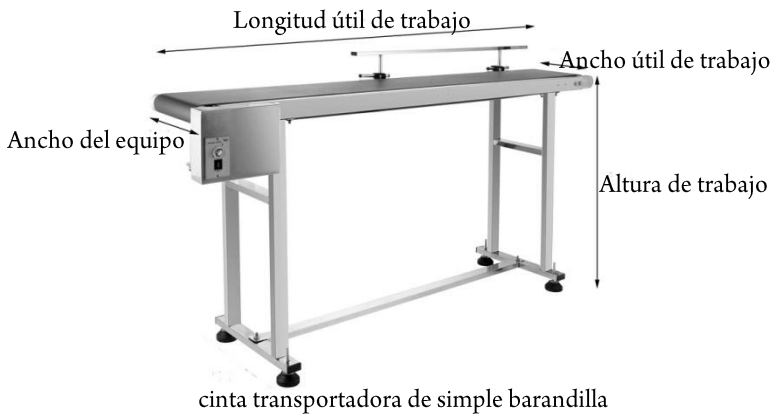
La función de los molinos cerealeros, tanto en el caso de las harinas como en la molienda de maltas para cervecería, es liberar el almidón contenido en las semillas, limitando obtener polvos indeseables de las cáscaras.



4.4.- Bandas y cintas transportadoras

Aunque en plantas procesadoras de gran porte se requiere de instalación y montaje, existe una importante oferta de equipos muy versátiles y de sencilla puesta en marcha para servicio en sistemas automatizados de transporte, elevación, dosificación y acumulo de materias primas o productos.

Los parámetros de selección son la densidad de carga admisible, que es la cantidad de material (en kilogramos) que soporta el equipo por unidad de longitud, las dimensiones de largo y ancho útil, si es ajustable geométricamente, su rango de velocidad de trabajo (generalmente $0-25 [\frac{m}{min}]$) el material de la cinta y del bastidor, algunas características especiales como anti-estática y si posee barandilla única o de ambos lados.



Tornillo sinfín o chimango

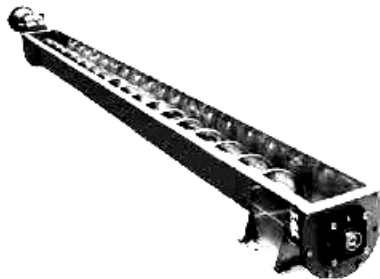
La densidad de transporte está en relación al caudal de material a mover y de las dimensiones del equipo según la ec:

$$\emptyset = k_Q 60 \text{ RPM} \frac{\pi}{4} D^2 A_e$$

$\emptyset$ es el caudal *másico* ; k_Q el *coeficiente de llenado* (menor al 50%);

RMP en número de revoluciones por minuto;

D el diámetro del tornillo; y A_e el área disponible (0,75D)



Ejemplo: Un tornillo como el de figura de 20 cm de diámetro, operado a 40 RPM.

$$\emptyset = 0,5 \cdot 60 \cdot 40 \cdot \frac{\pi}{4} (0,2)^2 \cdot (0,75 \cdot 0,2)$$

$$\emptyset = 5,65 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Son parámetros de selección: longitud, diámetro, densidad de carga, material y ángulo de elevación.

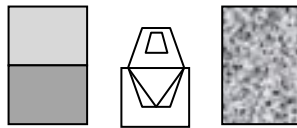
4.6.- Mezcla de sólidos

Se denomina mezcla a la dispersión de unos componentes entre otros.

Las muestras de una mezcla deben tener un tamaño tal que incluya todos los componentes y represente la dispersión entre ellos.

Se considera una mezcla perfecta cuando la probabilidad estadística de existencia es la misma que la de una dispersión al azar.

Se denomina mezcla perfecta cuando todas sus muestras tienen los componentes en las mismas proporciones.



Estado inicial → Estado Final

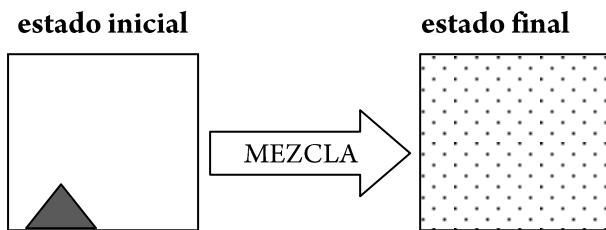
Los componentes se mezclan de manera eficiente cuando la relación entre el disperso y el concentrado es igual o mayor que 10 a 1.

Frecuentemente, en mezclas muy diluidas, es necesario realizar el mezclado mediante varias sucesivas etapas.

Se evalúa la capacidad del sistema de mezclado para producir el resultado esperado con el menor gasto de recursos posible.

La evaluación se realiza a través de muestras que se analizan en cuanto a su composición en referencia al componente de interés, observándose la dispersión entre las composiciones de las mismas.

El cálculo de la efectividad de la operación se realiza utilizando la variable estadística conocida como varianza.



Se determina la calidad de la mezcla calculando la desviación estándar de las fracciones parciales del soluto mediante un muestreo estadístico.

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

El índice de mezcla se obtiene relacionando las varianzas de los estados iniciales y finales:

$$M = (S_0^2 - S^2)/S_0^2$$

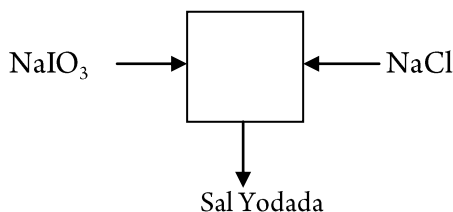
La varianza inicial se calcula como el producto de las fracciones que componen la mezcla.

El índice de mezcla es un parámetro de la efectividad del diseño de la operación de mezclado para cada caso.

Ejemplo:

Con el objeto de prevenir problemas de salud que se han identificado causados por deficiencias en de yodo en la dieta se ha propuesto su adición en la sal de mesa de manera de cumplir con las exigencias reglamentarias que según los rangos establecidos por legislación las declara, “aptas” con niveles de yodo entre 24,7 y 41,2 ppm, “deficientes” con niveles < 24,7 ppm y en “exceso” si superan las 41,2 ppm.

Considerando la mezcla de NaIO_3 33ppm en NaCl



$$S_0 = 0,999967 \cdot 0,000033 = 0,0099 = 3,29989 \cdot 10^{-05}$$

$$\text{y } S_0^2 = 1,08893 \cdot 10^{-09}$$

Se toman 10 muestras de 20g y se determina en laboratorio por titulación volumétrica con Tiosulfato de Sodio el contenido de yodo obteniéndose los siguientes valores:

muestra	Yodo	fracción
1	0,0001	0,000005
2	0,00072	0,000036
3	0,00032	0,000016
4	0,00039	0,0000195
5	0,00061	0,0000305
6	0,00048	0,000024
7	0,00059	0,0000295
8	0,00022	0,000011
9	0,00015	0,0000075
10	0,00055	0,0000275

se calcula $S^2 = 1,1145E-10$ y $M = 0,8976$ corresponde a una efectividad de la mezcla del 89,76%.

Las mezclas con efectividades superiores al 80% se consideran aceptables, pero debe precisarse su tolerancia en acuerdo con los requisitos del producto, en este caso (24,7 y 41,2) se exige superior al 66,80%.

En la industria, el índice de mezcla se utiliza para optimizar los tiempos de mezclado.

En el caso del ejemplo se podría mezclar menos tiempo ahorrando energía y aumentando la capacidad productiva.