



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INTRODUCCIÓN A EQUIPOS DE MANEJO DE SÓLIDOS A GRANEL PARA  
ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la  
Facultad de Ingeniería

POR

AUGUSTO FERNANDO ORTEGA MÉRIDA

Al conferírsele el título de  
INGENIERO MECÁNICO

Guatemala, octubre de 1,997.



08  
T(4109)  
CIA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

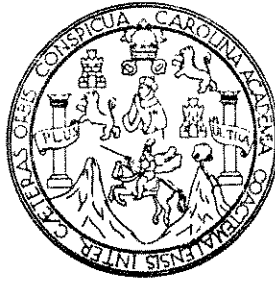
**INTRODUCCIÓN A EQUIPOS DE MANEJO DE SÓLIDOS, A GRANEL, PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de

**INGENIERÍA MECÁNICA**

con fecha 25 de abril de 1,997.

  
Augusto Fernando Ortega Mérida



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1o.	Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra
VOCAL 2o.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3o.	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4o.	Br. Víctor Rafael Lobos Aldana
VOCAL 5o.	Br. Wagner Gustavo López Cáceres
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Héctor Santizo
EXAMINADOR	Ing. Aníbal Chicojay
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alvarado
SECRETARIO	Ing. Francisco J. González López

Guatemala, 16 de Julio de 1,997

Ingeniero  
Carlos Humberto Pérez Martínez  
Director de la Escuela de  
Ingeniería Mecánica, USAC.  
Presente

Señor Director:


Atentamente de dirijo a Ud., para informarle que he concluido la revisión del trabajo de tesis titulado: INTRODUCCION A EQUIPOS DE MANEJO DE SOLIDOS PARA ESTUDIANTES DE INGENIERIA MECANICA, desarrollado por el estudiante AUGUSTO FERNANDO ORTEGA MERIDA, previo a optar el título de Ingeniero Mecánico.

Al concluir la revisión del trabajo, para el cual fui designado asesor, me es grato manifestarle que este cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados llenando los requisitos reglamentarios estipulados para estos casos.

En virtud de lo anterior, lo remito a su consideración para los consiguientes pasos de aprobación, en el entendido que el desarrollo del trabajo y las conclusiones del mismo, son responsabilidad del autor y el asesor.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

  
Ing. Otto De León  
Colegiado No. 229  
ASESOR



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Coordinador del área de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo titulado Introducción a Equipos de Manejo de Sólidos a Granel para Estudiantes de Ingeniería Mecánica, del estudiante Augusto Fernando Ortega Mérida, recomienda su autorización.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

*Pedro E. Kubes*  
Inq. Pedro Enrique Kubes Zacek

Coordinador de Area

Guatemala, julio de 1.997.

/behdei.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Apartado Postal 217-I-01-907, Guatemala  
Ciudad Universitaria, Zona 12  
Guatemala, Centroamérica

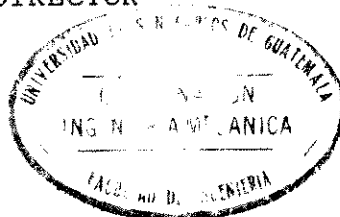
El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Area Materiales y Complementaria, al trabajo de tesis titulado Introducción a Equipos de Manejo de Sólidos a Granel para Estudiantes de Ingeniería Mecánica, del estudiante Augusto Fernando Ortega Mérida, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑANZA A TODOS

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Carlos Humberto Pérez Rodríguez'.

Inq. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

DIRECTOR



Guatemala, octubre de 1,997.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

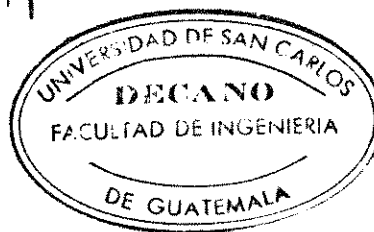
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.  
Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala  
Ciudad Universitaria, Zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, al trabajo de tesis titulado **Introducción a Equipos de Manejo de Sólidos a Granel para Estudiantes de Ingeniería Mecánica**, presentado por el estudiante universitario **Augusto Fernando Ortega Mérida**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS

DECANO



Guatemala, octubre de 1.997.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS, por haberme dado la vida, y con ésta, la oportunidad de hacer obras de bien a los demás.

Agradezco a mis Padres, Miguel Ángel Ortega Mérida y Lilia Marina Mérida de Ortega; por su entrega, dedicación y constancia para lograr bienestar de sus hijos.

Agradezco a mis hermanos, tíos, abuelos y demás miembros de mi familia, en especial a los que hoy ya no están entre nosotros; por su constante apoyo y motivación.



DEDICATORIA

Dedico esta obra a mis padres:

Miguel Ángel Ortega Mérida

Lilia Marina Mérida de Ortega

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE GRAFICAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
GLOSARIO	vii
INTRODUCCIÓN	ix
1. MANEJO ESTÁTICO DE SÓLIDOS	1
Introducción	2
1.1 Propiedades de Sólidos a Granel	2
1.1.1 Ángulo de reposo	2
1.1.2 Segregación de partículas	3
1.1.3 Abrasividad y fricción	4
1.1.4 Cambios según condiciones específicas	4
1.2 Manejo de sólidos en bolsas y contenedores	5
1.2.1 Manejo y llenado de bolsas	6
1.2.2 Toneles de fibra y acero	7
1.2.3 Transportadores para contenedores	9
1.2.4 Contenedores especiales de sólidos	10
1.3 Descarga de sólidos desde tanques y diseño de tolvas	11
1.3.1 Ángulos en tolvas	11
1.3.2 Compuertas y accionamientos	12
1.3.3 Flujo natural desde silos y tanques	13
1.4 Almacenamiento de sólidos al aire libre	14
1.4.1 Diseño de un silo al aire libre	14
1.4.2 Protección climática	15
1.4.3 Operación de depósitos al aire libre	16
1.5 Pesaje de sólidos a granel	18
1.5.1 Básculas de camiones y carros de ferrocarril	19
1.5.2 Básculas en tolvas y contenedores estáticos	20
1.5.3 Pesaje de contenidos netos	22
1.5.4 Controles y medidores	23
1.6 Muestreo desde un flujo continuo	24

2.	TRANSPORTE DE SÓLIDOS A GRANEL	27
	Introducción	28
2.1	Flujo inducido desde silos y tanques	28
	2.1.1 Barredoras y limpiadores de pisos	28
	2.1.2 Conos revolvedores	30
	2.1.3 Cojines de aire	30
	2.1.4 Actuadores de flujo	32
	2.1.5 Esclusas	32
2.2	Transportadores y elevadores mecánicos de sólidos	33
	2.2.1 Fajas transportadoras	33
	2.2.2 Tornillos helicoidales	36
	2.2.3 Transportadores de paletas o de cadena	37
	2.2.4 Elevadores de guacales	39
	2.2.5 Otros tipos de transportadores	42
2.3	Transporte Neumático	43
	2.3.1 De presión negativa	43
	2.3.2 De presión positiva	44
	2.3.3 Sistemas combinados	46
	2.3.4 Colectores de polvos	47
3.	PROCESAMIENTO DE SÓLIDOS A GRANEL	49
	Introducción	50
3.1	Pulverizado y Molienda	50
	3.1.1 Quebradores de quijadas	50
	3.1.2 Molino giratorio	51
	3.1.3 Molino de rodos	52
	3.1.4 Molinos de impacto	53
	3.1.5 Molinos de bolas	54
	3.1.6 Energía necesaria para la molienda	55
3.2	Separadores de sólidos	57
	3.2.1 Clasificación	57
	3.2.2 Hidroseparatoros	58
	3.2.3 Centrifugadoras	59
3.3	Cribado	60
	3.3.1 Fundamentos del cribado	62
	3.3.2 Factores que influyen la selección	63
	3.3.3 Material procesado	65
	3.3.4 Cribas circulares	67

3.4 Mezclado	68
3.4.1 Mezcladores de pantalones	70
3.4.2 Mezcladores de tornillo sin fin	71
3.4.3 Mezcladores de listón	72
3.5 Granulación de Sólidos	73
3.5.1 Extrusoras	73
3.5.2 De presión circular	74
4. SEGURIDAD EN MANEJO DE SÓLIDOS	75
Introducción	76
4.1 Rotulación	76
4.2 Dispositivos mecánicos	76
4.3 Dispositivos eléctricos	80
4.4 Precauciones	83
Conclusiones	x
Recomendaciones	xii
Referencias	xiv
Bibliografía	xv
Anexo	xvii

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

Figura 1	Ángulo de reposo.....	2
Figura 2	Segregación en silos.....	3
Figura 3	Efectos de abrasividad y fricción.....	4
Figura 4	Tipos de bolsas de papel.....	6
Figura 5	Llenadora de bolsas.....	7
Figura 6	Cerradora de bolsas.....	7
Figura 7	Transporte de toneles.....	9
Figura 8	Contenedores especiales.....	10
Figura 9	Ángulos de tolvas.....	11
Figura 10	Accionamientos de compuertas.....	12
Figura 11	Tipos de figuras de tolvas.....	13
Figura 12	Paredes retenedoras.....	15
Figura 13	Equipo de almacenaje al aire libre.....	15
Figura 14	Paredes protectoras al clima.....	16
Figura 15	Depósitos al aire libre.....	17
Figura 16	Báscula para camiones.....	19
Figura 17	Báscula para carros de ferrocarril.....	19
Figura 18	Báscula de proceso.....	21
Figura 19	Báscula de mezcla.....	21
Figura 20	Proceso de pesaje y mezclado.....	22
Figura 21	Indicador digital.....	23
Figura 22	Diagrama electrónico de un control digital...24	24
Figura 23	Muestras por medio de faja con agujeros.....	25
Figura 24	Muestras por medio de divisor rotativo.....	25
Figura 25	Muestras por medio de resbaladero.....	25
Figura 26	Muestras de recipiente en cadena.....	26
Figura 27	Barredora de fondo.....	29
Figura 28	Fondos móviles.....	29
Figura 29	Conos rotatorios.....	30
Figura 30	Cojines de aire.....	31
Figura 31	Introducción de aire.....	31
Figura 32	Vibrador mecánico.....	32
Figura 33	Esclusa dosificadora.....	33
Figura 34	Faja tipo canal.....	35
Figura 35	Faja dentada.....	35
Figura 36	Transportadores de tornillo.....	37
Figura 37	Mezcladora de tornillo.....	37
Figura 38	Transportador de paletas.....	38
Figura 39	Transportador de cadena autolimpiante.....	38
Figura 40	Transportador de canal-cadena.....	39
Figura 41	Partes básicas de un elevador de guacales....40	40
Figura 42	Tipos de elevadores de guacales.....	41
Figura 43	Elevador de guacal-cadena.....	41
Figura 44	Vibrador de excitación rotante.....	42
Figura 45	Vibrador de excitación electro-magnética....42	42
Figura 46	Sistemas de presión negativa.....	44
Figura 47	Sistemas de presión negativa.....	44
Figura 48	Sistemas de presión positiva.....	45
Figura 49	Diagrama de presión positiva.....	46

Figura 50	Sistemas combinados.....	47
Figura 51	Colectores de polvos.....	48
Figura 52	Molino de tenazas dobles.....	51
Figura 53	Molino de tenazas sencillas.....	51
Figura 54	Molino giratorio .....	52
Figura 55	Molino giratorio pivotante.....	52
Figura 56	Molino de rodos.....	53
Figura 57	Molino de martillos.....	54
Figura 58	Rodete de martillos.....	54
Figura 59	Molino de bolas.....	55
Figura 60	Hidroseparadores.....	59
Figura 61	Centrifugadores de mezclas sólido-líquidas...	60
Figura 62	Criba circular.....	62
Figura 63	Tipos de cribas y sus elementos.....	67
Figura 64	Tipos de mezcladores.....	69 y 70
Figura 65	Mezcladores de pantalones.....	71
Figura 66	Mezcladores de tornillo.....	72
Figura 67	Mezcladores de listón.....	73
Figura 68	Extrusoras.....	74
Figura 69	Perdigonera de presión circular.....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA No. 1	Normas para toneles	Pag. 8
TABLA No. 2	Atributos físicos de control	Pag. 58
TABLA No. 3	Tipos de operaciones de cribado	Pag. 61
TABLA No. 4	Factores que influncian la selección	Pag. 63
TABLA No. 5	Tabla de operaciones peligrosas	Pag. 77

## GLOSARIO

**Abrasividad:** acción mecánica de raer o desgastar por medio de la fricción creada por los materiales en movimiento.

**Barredora:** refiérase al tipo de maquinaria que por medio de su acción mecánica limpia un sólido suelto en un piso.

**Báscula:** conjunto de equipos, utilizados para medir el peso de distintas cantidades de sólidos.

**Ciclón:** aparato estático que separa las partículas en suspensión que un fluido en movimiento turbulento contiene.

**Cribado:** acción de separar las distintas partes de un sólido por medio de uno o un grupo de tamices o coladores.

**Densidad:** masa por unidad de volumen de un cuerpo.

**Esclusas:** mecanismo por medio del cual pasa una cantidad de producto, separándolo de un fluido transportador o de otro tipo de producto.

**Extrusora:** máquina que da paso a presión a un material a través de un dado, por medio de un tornillo impulsor.

**Faja:** banda de tejidos de nylon trenzados recubiertos de caucho con sus extremos unidos por grapas de metal que gira sobre dos cilindros transportando material.

**Filtros:** dispositivos que recuperan material transportado en un flujo.

**Fluidizada:** se refiere a separadores de tamaño de moléculas que utilizan el flujo de un fluido para su acción separadora.

**Flujo:** es la acción de fluir de un flujo de material siendo este sólido, líquido o gaseoso.

**Granulometría:** rama de la sedimentología que estudia la forma y el tamaño de las partículas de un sólido.

**Guacal:** recipientes en forma de vasijas que tienen un determinado volumen y van adheridas a una banda en los elevadores.

**Helicoidal:** superficie alabeada engendrada por una recta que se mueve apoyándose en una hélice y en el eje del cilindro que la contiene.



**Impacto:** choque de un proyectil o alguna otra cosa contra algo, granos contra cuchillas aceradas, causando el desmoronamiento del grano.

**Merma:** parte de material que se pierde cuando se manipula cierto material.

**Mezcla:** agregado de distintas sustancias que no tienen acción química entre si.

**Micras:** unidad de longitud, submúltiplo del metro =  $10^{-6}$ , medida que se aplica en forma de volumen sobre los materiales a transportar.

**Molino:** artefacto por medio del cual se quebranta, machaca, lamina o estruja algún material, con el objeto de homogenizar, reducir o poder manejar algún material.

**Perdigonera:** aparato que por medio de presión, comprime un material hasta volverlo perdigones.

**Presión Negativa:** se refiere al tipo de transporte que utiliza un flujo de aire para mover el material, haciendo que el vacío movilice el material.

**Presión Positiva:** se refiere al transportador que sopla aire y este flujo moviliza el material.

**Puentes:** estructuras de material que obstaculizan el flujo de un material dentro de un silo o recipiente.

**Quijadas:** elementos de un molino de tipo rústico que ejercen presión sobre los materiales desintegrando los mismos.

**Rodete:** elemento rotor de los molinos de sólidos.

**Segregación:** acción mecánica de separación de diferentes partículas en un flujo de sólidos.

**Succión:** en los transportadores neumáticos de presión negativa es la entrada de material al equipo.

**Tolva:** depósito en forma de cono invertido o pirámide abierto por los dos extremos, para almacenaje o recolección de sólidos

**Vibración:** acción mecánica por medio de la cual se transporta o se separa un sólido en movimiento.

## INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación crea una herramienta útil y práctica para la introducción de los estudiantes de Ingeniería Mecánica en actividades del campo profesional que tienen gran demanda en la actualidad.

En éste trabajo se describen en forma simple los conceptos básicos que se deben conocer para manejar sólidos con eficiencia y productividad. Se desarrolla en tres áreas básicas: propiedades de los sólidos, transporte y procesamiento de los sólidos. Los aspectos a cubrir son de uso común en la industria y en los campos de desarrollo de los ingenieros mecánicos, por lo que este documento será una herramienta al servicio de la ingeniería, en general.

CAPÍTULO I  
MANEJO ESTÁTICO DE SÓLIDOS

## INTRODUCCIÓN

El manejo estático de sólidos se refiere a materiales que no están en movimiento o que han logrado reposo después de estar fluyendo. Una gran cantidad de equipo de manejo está diseñado para este estado. También se incluye en este capítulo el comportamiento de un material que recientemente terminó su movimiento y del que apenas acaba de empezar a fluir. Se hace énfasis en el comportamiento de las partículas de diferentes tamaños en un mismo material.

## 1.1 PROPIEDADES DE LOS SÓLIDOS, A GRANEL.

## 1.1.1 ÁNGULO DE REPOSO.

Cuando un material cae desde una altura en forma libre, y sin aceleración inicial hacia abajo, forma una pila de material acumulado sobre la superficie que está cayendo. La forma geométrica que adopta el material sobre la superficie es de un cono redondo con la punta hacia arriba. El ángulo que forma la superficie del cono con una línea horizontal perpendicular a la línea de caída del material se le conoce como ángulo de reposo. Existen diferentes ángulos para distintos materiales y en base al mismo se pueden calcular espacios de almacenaje, dimensiones de equipos y otros datos útiles. No es una medida de la fluidez del material pero es posible inferir algunas de sus propiedades a través de él<sup>1</sup>.

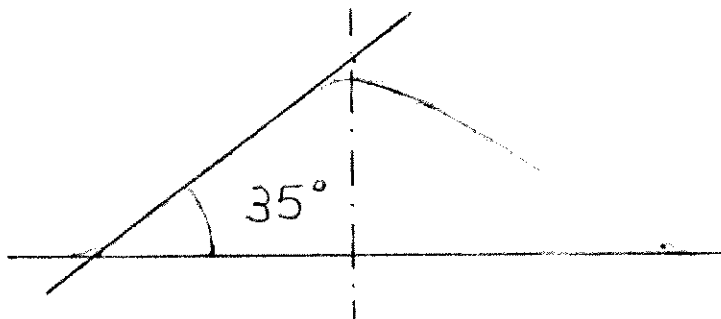


Fig. 1 Ángulo de reposo en una pila de material

<sup>1</sup>Ref. McNaughton, K. pp10

### 1.1.2 SEGREGACIÓN DE PARTÍCULAS.

Al empezar a fluir las partículas de un sólido toman direcciones predeterminadas dependiendo de sus múltiples características propias; por ejemplo: tamaño, textura, rugosidad y sobre todo peso específico. Estudios relacionados con este fenómeno han determinado que existen varios mecanismos de segregación dependiendo de diferentes factores; entre los cuales podemos mencionar: de ángulos de reposo, fricción en resbaladero, efectos de flujo, efectos dinámicos, etc. Generalmente, en el manejo de sólidos ocurre una combinación de distintos mecanismos, las condiciones del material determinan, en gran parte, su comportamiento, el efecto más común y claro al verlo es la acumulación de finos en el centro de la pila y los gruesos o partículas de tamaños mayores en la superficie de la pila o en las partes bajas.

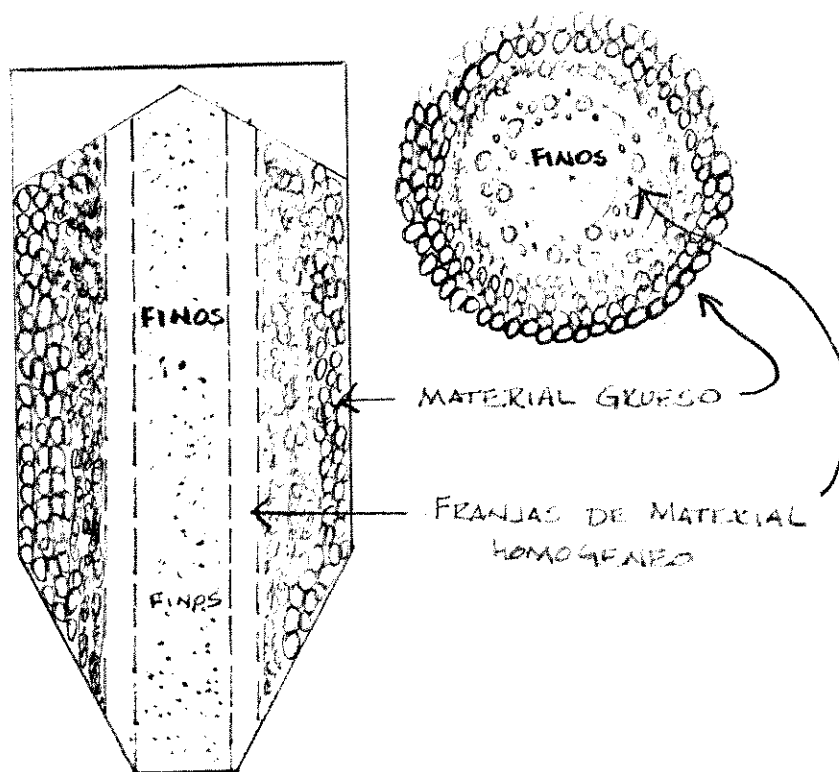


Fig. 2 Diferentes tipos de segregación en silos

### 1.1.3 ABRASIVIDAD Y FRICCIÓN.

Los sólidos, y en especial los granos de cierto tamaño de granulometría, son formados por cristales que resultan con diferentes formas, esto da como resultado diferentes grados de rugosidad de las partículas. Esta rugosidad genera una fuerte fricción al estar en movimiento las partículas, pues por su figura son altamente abrasivas. Al diseñar ductos de transporte o resbaladero para materiales sólidos este fenómeno debe ser tomado en cuenta pues existen pocos metales que sean aptos de resistir este tipo de abrasividad.

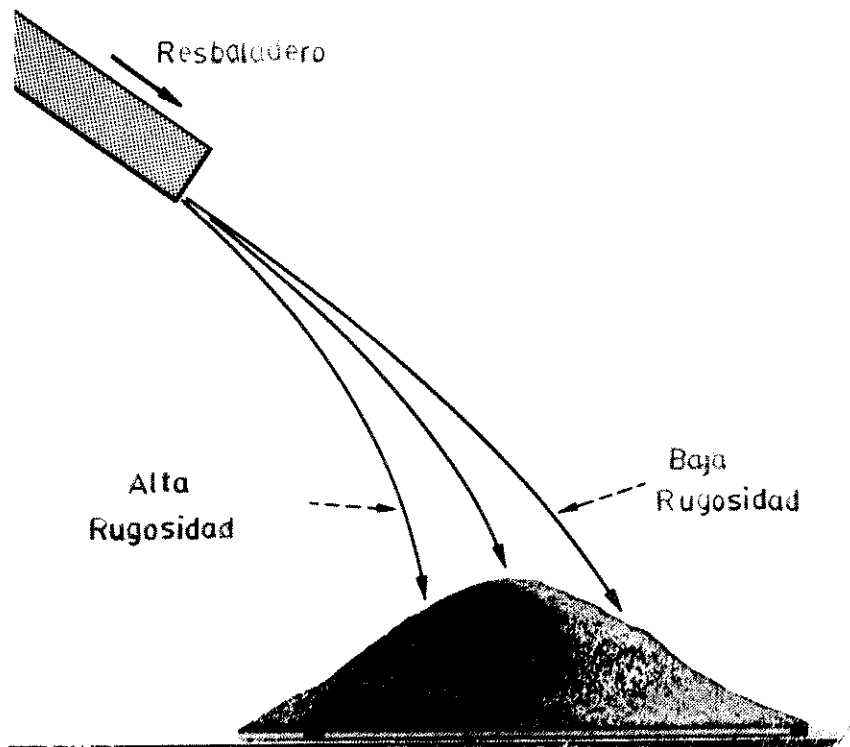


Fig. 3 Efectos de abrasividad y fricción

### 1.1.4 CAMBIO DE PROPIEDADES SEGUN CONDICIONES ESPECÍFICAS.

Los materiales sólidos, en polvos o gránulos, tienden a sufrir cambios en sus propiedades según el cambio de condiciones físicas a las que se ven sometidos. Un material en reposo, almacenado o en espera de un proceso, tiende a poseer la cualidad

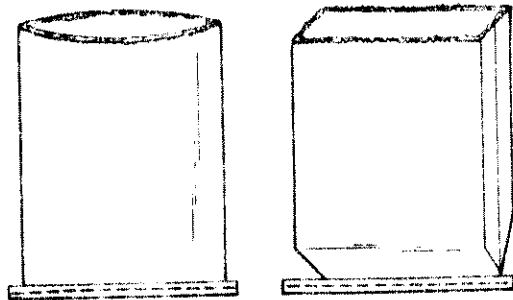
de fraguar sus partículas, otros en cambio son higroscópicos (absorben agua) por lo que se debe tener especial cuidado cuando un material se ve sometido, aun en movimiento (aunque este generalmente disminuye los cambios de propiedades), a un cambio en sus condiciones físicas.

La humedad es el cambio de condición al cual se le puede atribuir el mayor cambio en las propiedades de los sólidos. Un pequeño cambio de humedad en determinados materiales hace que estos generen puentes entre su estructura molecular. Este efecto produce una compactación de los materiales y por ende su resistencia a fluir. La temperatura causa el efecto mas dramático en los materiales al congelarlos, sin embargo este no es el caso para Guatemala, a excepción de situaciones que se dan en los cuartos fríos o en climas artificiales. El efecto que es realmente común es la diferencia de temperatura entre el día y la noche o entre el espacio de un remolque de carga y un silo de almacenaje. El cambio que en algunos materiales ocasiona este fenómeno es variable sin embargo es mas notorio en materiales de partículas finas y regularmente es una compactación por fraguado. Existe un cambio en las condiciones físicas de un material, que es por si muy significativo en los materiales, y se trata de la sobrecompresión que se sucede en el material que queda en el fondo de los depósitos de los mismos y para los cuales deben considerarse equipos distintos de vibración o aeración para contrarrestarlo. El tiempo de almacenaje influye en el comportamiento del material y es un factor a considerar. En realidad lo que siempre sucede es una combinación de situaciones que, generalmente (dependiendo del material), dificultan las condiciones de fluidez de los materiales o incluso sus propiedades físicas o químicas.

## 1.2 MANEJO DE SÓLIDOS EN BOLSAS Y CONTENEDORES

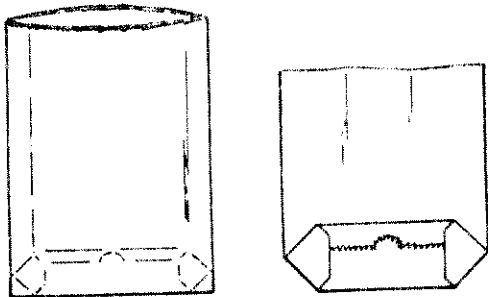
Es la forma más común de manejar materiales a granel. Este tipo de manejo proporciona un buen trato a los materiales y reduce significativamente la merma, sin embargo cuando son grandes cantidades de material puede resultar oneroso.

## 1.2.1 MANEJO Y LLENADO DE BOLSAS.

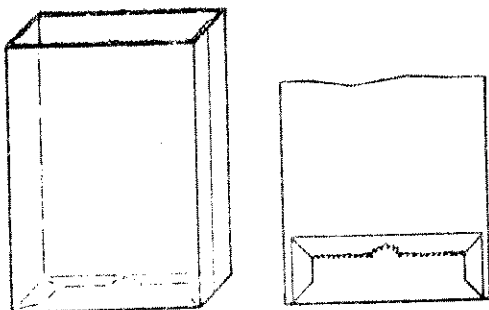


Tubo plano

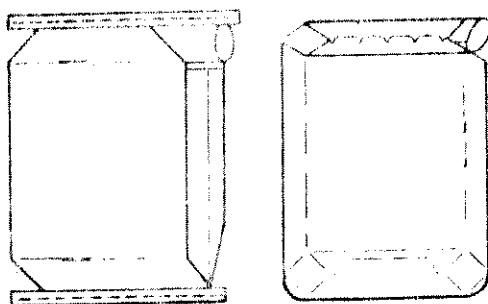
Tubo cosido



Fondo de maleta



Bolsas de boca abierta



Bolsas con válvula

Fig. 4 TIPOS DE BOLSAS  
DE PAPEL

Existe una gran cantidad de tipos de bolsas para manejo de sólidos y, el manejo de sólidos en bolsas es la manera más común de comercializar alimentos o materiales de alto valor agregado.

El manejo de bolsas se refiere básicamente a las bandas transportadoras utilizadas para transporte de costales de polietileno o bolsas de papel que son las partes fundamentales de las líneas de llenado. Existe otro tipo de sistemas, aunque no muy difundidos en Guatemala, los cuales tienen por objeto el estibado de costales o bolsas en forma automática con el objeto de ahorrarse el personal involucrado en esta repetitiva tarea. Esta maquinaria cuenta con controles eléctricos y mandos programables.

Es de tener en cuenta los accesorios de seguridad necesarios para el manejo de estos equipos pues se trata de maquinaria en movimiento que trabaja muy cercana a personal con tareas altamente repetitivas. Las barandas de las bandas transportadoras y las guardas de todos los motores eléctricos son muy importantes.

El llenado de bolsas se lleva a cabo de dos maneras: una completamente manual, con alto uso



de mano de obra y la otra por medio de llenadoras automáticas para volúmenes mayores. En la primera una bolsa es colocada en una boca de salida la cual generalmente tiene clavos o algún mecanismo de engrape o sujeción de la bolsa a la boca y luego es puesta sobre una báscula y con el tradicional cucharón, generalmente de aluminio, el peso es ajustado en forma completamente manual. En la segunda se trata de maquinaria con computadores electrónicos que controlan el funcionamiento y ajustan automáticamente las acciones de sus elementos. Existen dos tipos básicos de este tipo de maquinaria, la de altos volúmenes, exclusiva para un solo tipo de producto y la que generalmente es de faja y gobernada por un control eléctrico, capaz de llenar bolsas de diferentes pesos y productos.

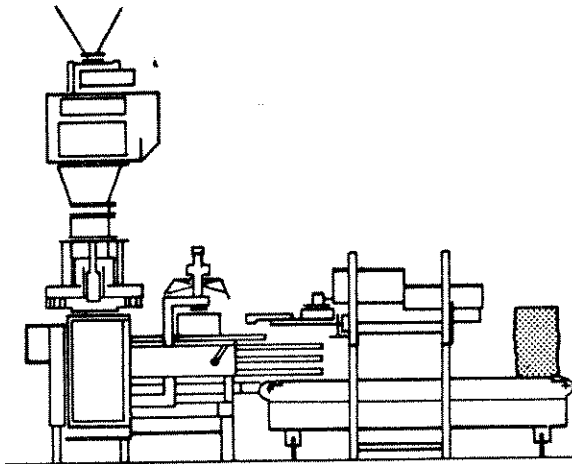


Fig. 5  
Llenadora de bolsas

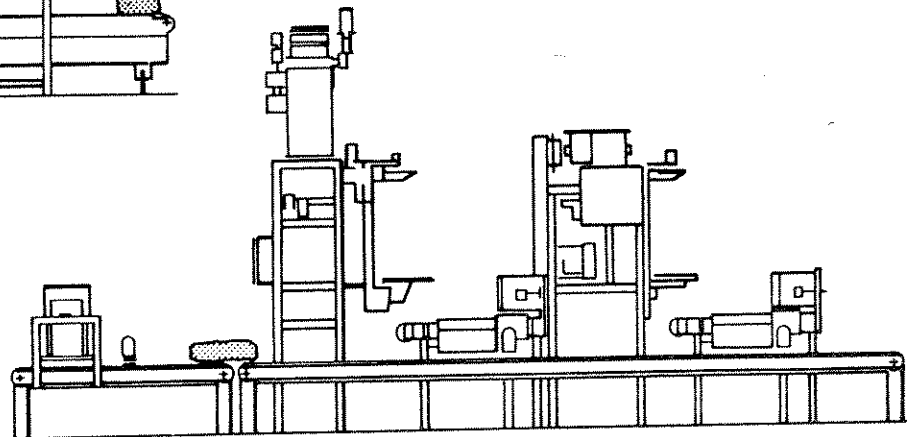


Fig. 6  
Cerradora de bolsas

### 1.2.2 TONELES DE FIBRA Y ACERO.

Ocasionalmente, algunos ingenieros tendrán que hacer uso de toneles en el manejo de sólidos, es un sistema caro de manejo y

esta dirigido a sólidos que son muy valiosos. El uso de toneles, ya sea de fibra o acero, genera el problema del espacio que ocupan los envases vacíos, que en ocasiones llegan a ser contaminantes y hasta caro su desecho. Sin embargo, con un buen manejo pueden ser desechados con facilidad para cumplir otras funciones, algunos se pueden utilizar varias veces y otros se pueden reciclar.

Se debe tener especial cuidado con toneles que contengan sustancias tóxicas o venenosas y que se deben destruir los envases para evitar accidentes. Cuando se trabaja con alimentos para animales confinados en grandes cantidades hay que cuidar que los envases, en este caso ya sea bolsas o contenedores, no regresen al punto de origen del alimento, desde varias concentraciones de animales, pues una enfermedad o virus que este presente en una comunidad puede contagiarse a otra vía los empaques.

Existen dos tipos básicos de toneles, los de fibra y los de acero; su construcción es diferente y sus usos varían, están diseñados en diferentes tamaños y por lo mismo están normalizados de diferente manera.

TABLA No. 1

Tabla de normas para toneles<sup>2</sup>.

Capacidad, Lts (gals)	Diametro interno Cms (Pulg)	Altura Interna Cms (Pulg)	Diametro Externo Cms (Pulg)	Altura Total Cms (Pulg)	Calibre lamina acero, cuerpo	Calibre lamina acero, tapadera	Calibre lamina acero, fondo	Calibre anillo de acero	Peso de tara aprox. kgs	Especificacion DOT*
208 (55)	57.15 (22 1/2)	83.03 (32 11/16)	60.56 (23 27/32)	88.42 (34 13/16)	16	16	16	12	29.32	17C
208 (55)	57.15 (22 1/2)	83.03 (32 11/16)	60.56 (23 27/32)	88.42 (34 13/16)	18	16	18	12	25.23	17H
113.4 (30)	46.36 (18 1/4)	69.37 (27 5/16)	49.77 (19 19/32)	73.66 (29)	18	18	18	12	17.05	17C & 17H

Notas:

1. Las dimensiones tienen una tolerancia normal de fabricación de  $\pm 0.16$  Cms. (0.32 Cms en altura).
2. Los pesos de los contenedores pueden variar.
- 3\*. Este tipo de contenedor cumple con las especificaciones DOT 17H y DOT 17C del departamento de tránsito terrestre y marino de los EE.UU. así como normas ANSI.

<sup>2</sup>Ref. McNaughton, K. pp31.

### 1.2.3 TRANSPORTADORES PARA CONTENEDORES

El manejo de toneles en planta se lleva a cabo a través de bandas transportadoras de hule o de metal y transportadores de rodillos por gravedad, también existen elevadores hidráulicos y eléctricos, de hecho se cuenta con una diversidad de montacargas motorizados para este tipo de manejo. Manejando toneles o contenedores de tipo rígido, se debe tener mas delicadeza para no abollarlos con un golpe pues este tipo de envase también refleja el prestigio de la industria o institución que distribuye los productos, por lo tanto se tiene que tener especial cuidado en los movimientos bruscos de los contenedores. Un método simple aunque rústico de manejo de contenedores rígidos es el de colgarlos por medio de cadenas y polipastos a marcos o estructuras metálicas. Otro método económico de manejo es el de implementar armazones de metal de pequeño tamaño con rodos para poder deslizar los contenedores por lugares de proceso o almacenaje. En ocasiones y en especial para la industria plástica se pueden utilizar mangueras de transporte neumático para vaciar los contenidos.

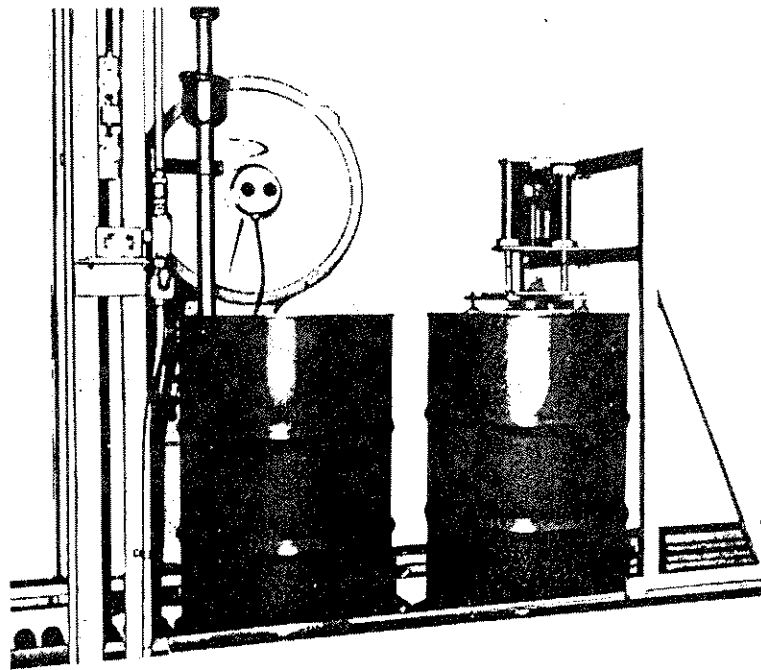


Fig. 7 Transporte de toneles

#### 1.2.4 CONTENEDORES ESPECIALES DE SÓLIDOS.

Los contenedores especiales son aquellos contenedores que transportan cantidades no comerciales de sólidos, sino cantidades de materiales para algún proceso o mezcla. En plantas industriales dedicadas al procesamiento de sólidos es generalmente de mucha importancia transportar y manipular cantidades de sólidos que resulta demasiado trabajoso embolsar en las tradicionales bolsas de 100 lbs, y muy pequeñas para transportarlas a granel en vehículos de cierta capacidad; además de que por medio de ellos se pueden iniciar o finalizar procesos de sólidos como mezclado o pesado. Existe una gran cantidad, sin embargo, los mas conocidos son las bolsas de polietileno de una tonelada para montacargas y contenedores rígidos de similar tamaño de metal o de resina plástica, estos en especial muchas veces resultan siendo un mezclador.

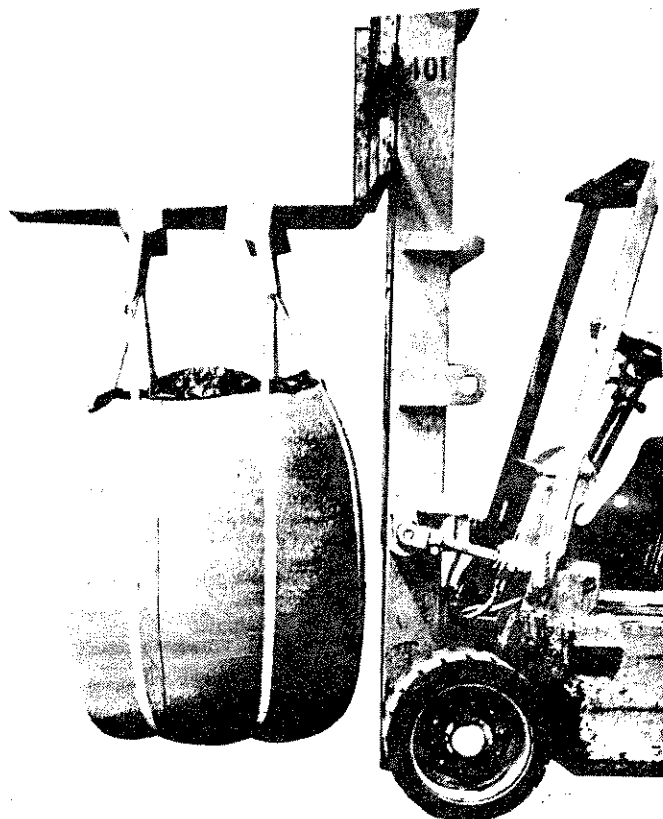


Fig. 8 Contenedores especiales

### 1.3 DESCARGA DE SÓLIDOS DESDE TANQUES Y DISEÑO DE TOLVAS.

La descarga por gravedad de silos o tanques llenos de sólidos requiere de un diseño cuidadoso de tolvas de descarga o sistemas de barrido para fondos planos.

#### 1.3.1 ANGULOS EN TOLVAS.

Los ángulos en las tolvas de descarga van directamente relacionadas con la fluidez de los sólidos que se estén descargando. Para la gran mayoría de sólidos se toma el valor arbitrario de 45 grados, sin embargo se debe tomar en la práctica, la norma de diseñar las tolvas con los ángulos mas inclinados posibles, pues esta norma aumenta la velocidad de descarga, aunque en algún momento puede reducir el tamaño de los silos. Las siguientes ilustraciones muestran las formas mas comunes de aliviar presiones en las tolvas de los silos.

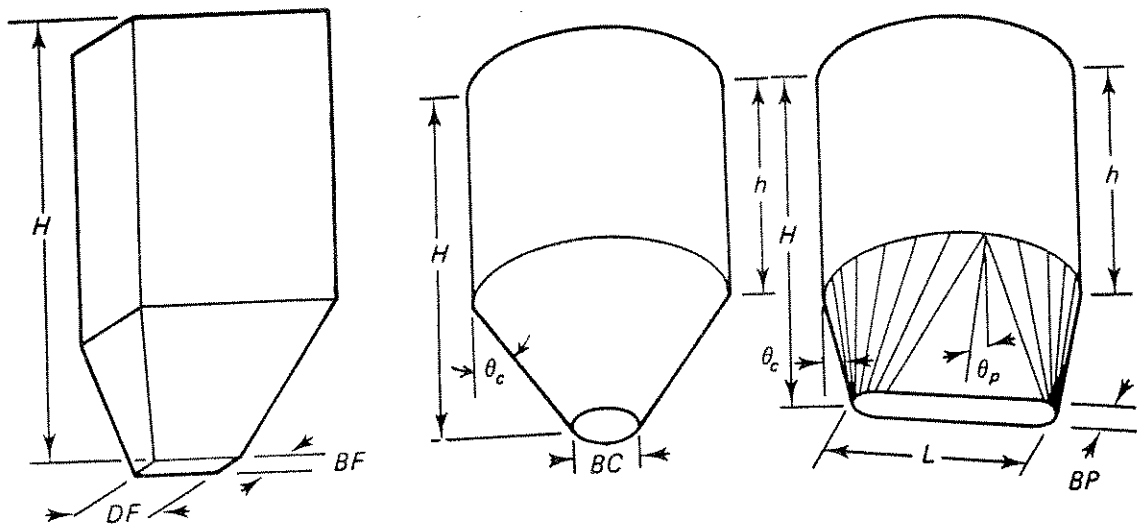


Fig. 9 Ángulos de Tolvas

Las tolvas mas fáciles de fabricar son las de forma pirámide invertida, sin embargo estas tienen el problema, según sea el material, de una acumulación de finos en los ángulos de las esquinas. Siempre que sea posible o cuando sea una tolva para materiales muy caros o finos, se debe sustituir las pirámides de

ángulos con conos circulares o pirámides de varios ángulos.

### 1.3.2 COMPUERTAS Y ACCIONAMIENTOS.

Son los accesorios que controlan, regulan y dirigen el funcionamiento de un silo de cualquier naturaleza, también son usadas para controlar descargas de transportadores y elevadores de todo tipo. El tipo de compuerta más usada en la mayoría de industrias es una lámina de cierto espesor que corre entre dos guías, hasta un tope. Existen otros tipos de compuertas, como las de tiras de lámina que se inclinan por medio de varillas que las hacen girar. El tipo de compuerta que se escoge para un determinado silo depende del espacio disponible para su colocación y el grado de precisión en la descarga.

El accionamiento de las compuertas se lleva a cabo usando cuatro tipos de fuerza: manual, eléctrica, hidráulica y neumática. El accionamiento de tipo manual se lleva a cabo por medio directo o por medio de cadenas o ejes, la fuerza se transmite por medio de un engranaje a una cremallera a lo largo de la lámina, este tipo de accionamiento es fácil convertirlo a eléctrico pues, el motor puede acoplarse al eje del engranaje. El accionamiento hidráulico y neumático tienen básicamente el mismo principio sin embargo el accionamiento hidráulico proporciona mayor fuerza y el accionamiento neumático mayor velocidad. Para este tipo de accionamiento se coloca un cilindro hidráulico del largo de la luz de la compuerta y se hace accionar por medio de señales eléctricas hacia controles neumáticos.

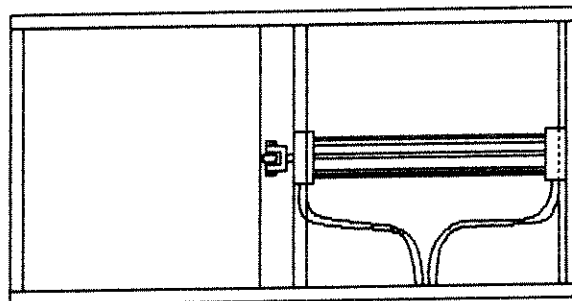


Fig 10 visto inferior de una compuerta neumática con mangueras de accionamiento.

## 1.3.3 FLUJO NATURAL DESDE SILOS Y TANQUES

El flujo natural desde silos y tanques es provocado por el diseño de los dos elementos anteriores, los ángulos de caída de las tolvas de los silos o tanques y el diseño de las compuertas de descarga. Un silo puede tener dos tipos de fondo: en forma de tolva que busca la no acumulación de material en las paredes y los de fondo plano donde el mismo material hace la tolva de descarga por medio del ángulo de reposo y luego es necesario, por medios mecánicos barrer el fondo del tanque. El flujo de material es provocado por una presión que se modifica con el movimiento de las partículas. El centro del silo es descargado primero, y luego, el material en contacto con las paredes, este efecto conlleva cierta segregación de partículas. Los diseños de silos deben tomar en cuenta la fluidez de los materiales que se están almacenando y su grado de compactación, con el tiempo de almacenaje, pues la efectividad de un tanque está en la protección que brinda a los materiales y la facilidad con que pueden descargarse los mismos, de él.

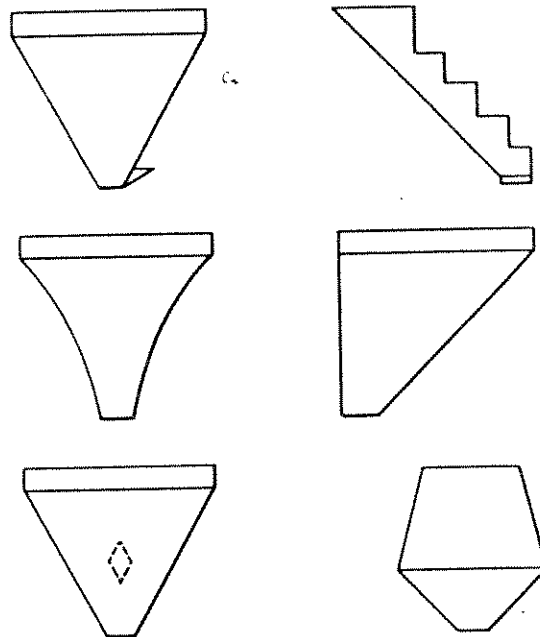


Fig. 11 Tipos de figuras de tolvas

#### 1.4 ALMACENAMIENTO DE SÓLIDOS AL AIRE LIBRE

Existen una gran cantidad de industrias que necesitan guardar sus materiales de proceso al aire libre, en especial las de construcción. Algunos materiales son resistentes a la intemperie y los fenómenos atmosféricos no cambian en gran medida sus propiedades. Sin embargo, existen industrias donde se requieren diferentes grados de protección para sus materiales, y este tipo de industrias serán enfocadas en este inciso.

##### 1.4.1 DISEÑO DE UN SILO AL AIRE LIBRE

Para diseñar un silo al aire libre se debe tener presente las propiedades físicas y químicas del material que se planea almacenar. Las propiedades físicas para determinar el comportamiento del sólido al ser movido y luego dejado en reposo, y las químicas, en especial, para determinar los fenómenos por los cuales un reactivo o algún agente externo deteriore el material.

Entre las propiedades físicas del material que mas nos interesan estan su ángulo de reposo y el grado de compactación que sufre con el tiempo ( aunque este puede ser afectado por cambios quimicos ) y los cambios de temperatura. El ángulo de reposo nos da las dimensiones del silo, pues se puede calcular el tamaño de la pirámide que formará el silo y con la densidad tambien encontraremos un aproximado en peso del material. Una vez determinado el tamaño deseado de la pirámide podemos diseñar la altura cilíndrica del silo, para lo cual se pueden construir paredes siempre que este considerada la presión que ejercerá el material en forma proporcional desde la base.

Las propiedades químicas de los materiales en general determinan el grado de protección que se le debe proporcionar, en especial se debe tomar en cuenta la higroscopia del material.



Fig.12 Paredes  
retenedoras.

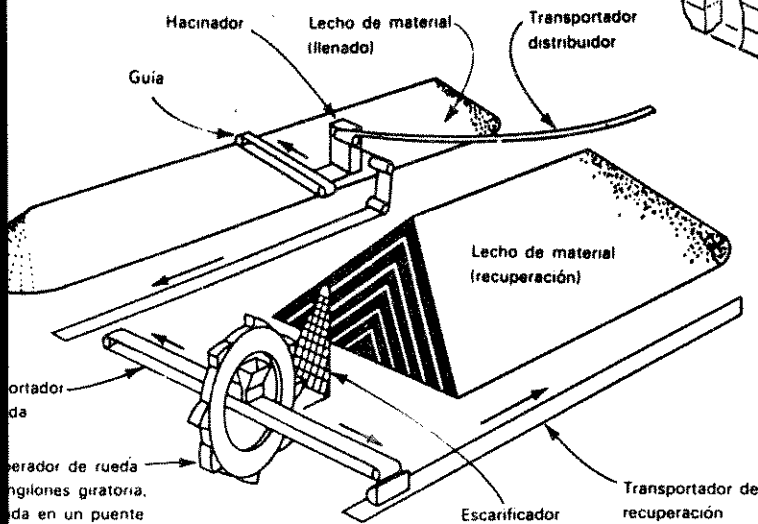
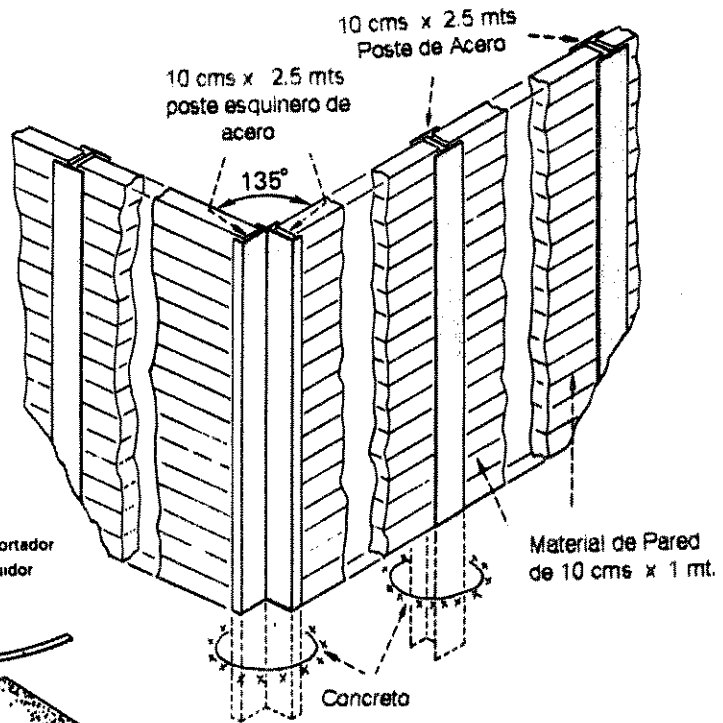


Fig.13  
Equipo de almacenaje.

#### 1.4.2 PROTECCIÓN CLIMÁTICA.

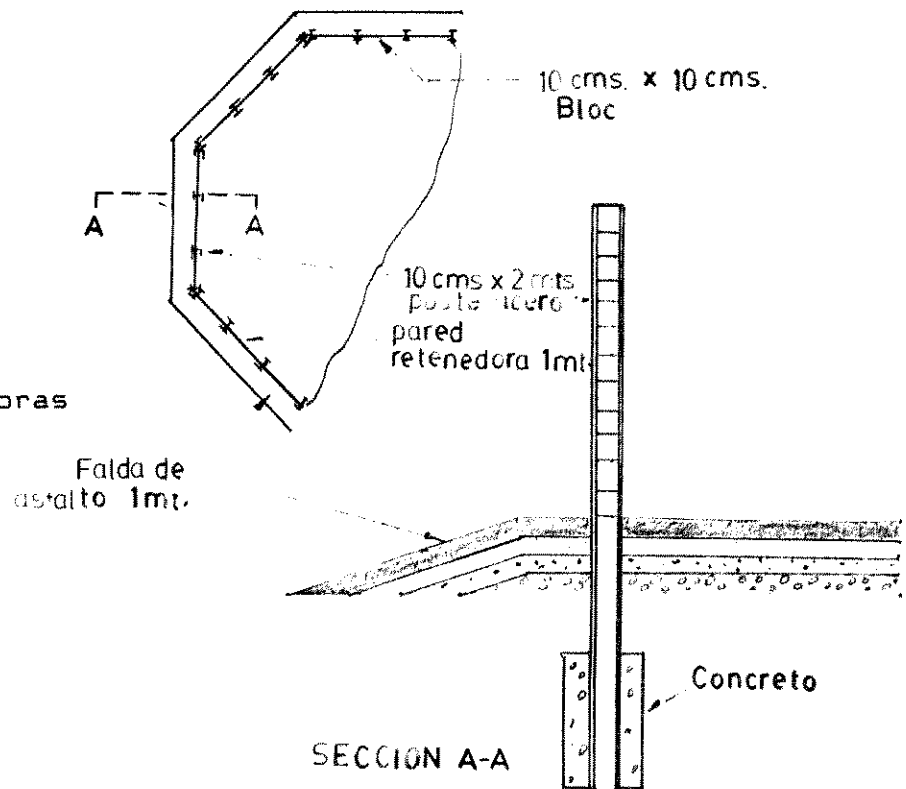
Como protección al medio ambiente se puede utilizar cualquier material impermeable, en especial, láminas o rollos de materiales plásticos que pueden ser unidos con alguna cinta adhesiva o termofundidos como forma de unión. La protección que se le puede proporcionar al material esta dada por la impermeabilidad de los materiales que se utilicen para su cobertura. Este tipo de protección puede ser incrementada por armazones provisionales de madera y para protección contra microbios se pueden incluir pastillas gasificantes de insecticidas o inhibidores de hongos. Si las condiciones económicas o la necesidad de brindar una mayor protección al material es necesaria pueden utilizarse tortas de asfalto o cemento como bases de silos, y otra opción económica es

el tirar fondos de plástico o caucho.

Fig. 14

Paredes Protectoras

al Clima.



#### 1.4.3 OPERACIÓN DE DEPÓSITOS AL AIRE LIBRE.

Existen varias formas de manejo de sólidos aplicables a la operación de depósitos al aire libre, el principio básico es de formar pirámides de material lo mas alto posible. En este capítulo explicaremos tres métodos básicos de manejo: desde el punto de descarga con una banda transportadora portátil, utilizando un cargador frontal, utilizando transportadores y un elevador.

Un material de este tipo se transporta en camiones con carga. Estos se deben descargar en un punto específico desde el cual se alimenta la banda transportadora por gravedad, o por algún medio mecánico o manual. La banda descarga el material en punto más alto de la pirámide. El tamaño de la pila de material esta limitado por el tamaño del equipo. Al utilizar un cargador frontal, la utilización de camiones de volteo facilita en gran medida el trabajo de almacenamiento.

El cargador frontal con el material en el suelo puede hacer pirámides pequeñas hasta donde le sea posible por su tamaño, sin embargo puede hacer pirámides mas grandes aunque no tan perfectas cuando se logra hacer una meseta de material donde subir el cargador, el trabajo es rústico y la utilización de estructuras de sostén de telas impermeables es limitado. La tercera opción se trata de la utilización de un elevador de guacales para descargar desde tubos de diámetro conveniente el material y formar pilas cercanas al equipo elevador. De esta manera es fácil formar pilas de gran tamaño y se tiene la opción de descargar a un transportador elevado con varias compuertas a lo largo, para formar una cordillera de material entre un par de muros de regular tamaño y consistencia.

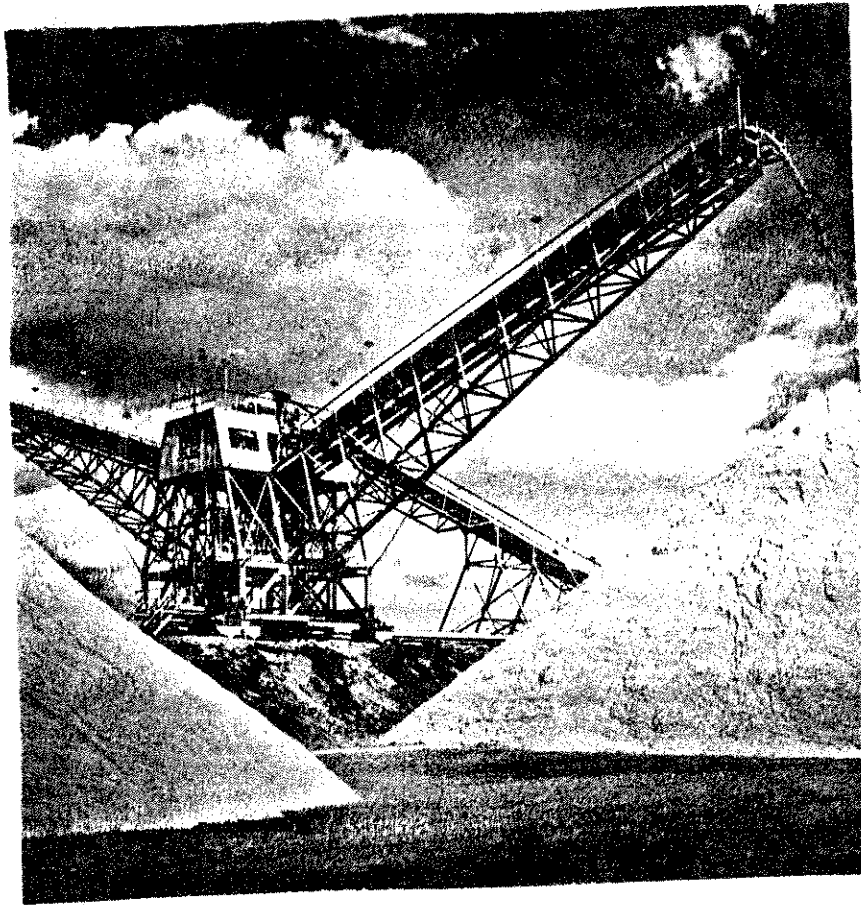


Fig. 15 Depósito al aire libre

## 1.5 PESAJE DE SÓLIDOS, A GRANEL

Esta es la medida mas común con la que se calculan las cantidades de sólido que se almacenan, transportan o procesan, el volumen no es una medida confiable de la cantidad de sólido que se pesa.

### 1.5.1 BÁSCULAS DE CAMIONES Y CARROS DE FERROCARRIL.

Existen diversidad de básculas de para pesaje de vehiculos de carga, se ha desarrollado una tecnologia avanzada en el diseño de instrumentos de pesaje y se les ha agregado electrónica y telecomunicaciones para el control de flujo de materiales en distintas fuentes.

El principio es bastante sencillo, por medio de cuchillas triangulares que descansan en triángulos vaciados en piezas receptoras, se crean palancas que, interconectadas, transmiten un par motor el cual se mide al final por medio de contrapesos o por medio de una celda de carga ( instrumento electrónico consistente en un material que cambia de resistencia eléctrica según la tensión mecánica a la que se le somete ).

Las cuchillas de las básculas deben ser de materiales de alta dureza para mejorar la precisión del sistema. El diseño de la colocación de una o mas básculas es un cálculo que generalmente depende del flujo de vehiculos que se espera transiten por la misma vía. Se debe tener especial cuidado en el tipo de báscula que se planea instalar pues existen diferencias en su acceso, en la maniobrabilidad de los vehiculos sobre la misma, la rapidez de los trámites del pesaje, etc.

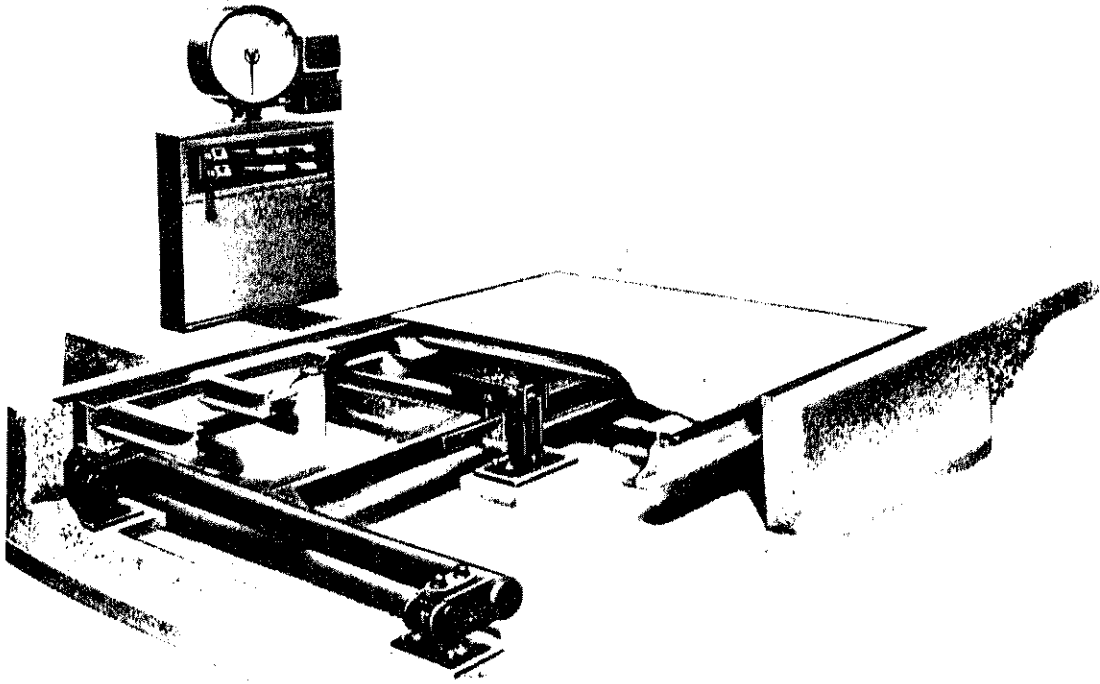


Fig. 16      Báscula para camiones

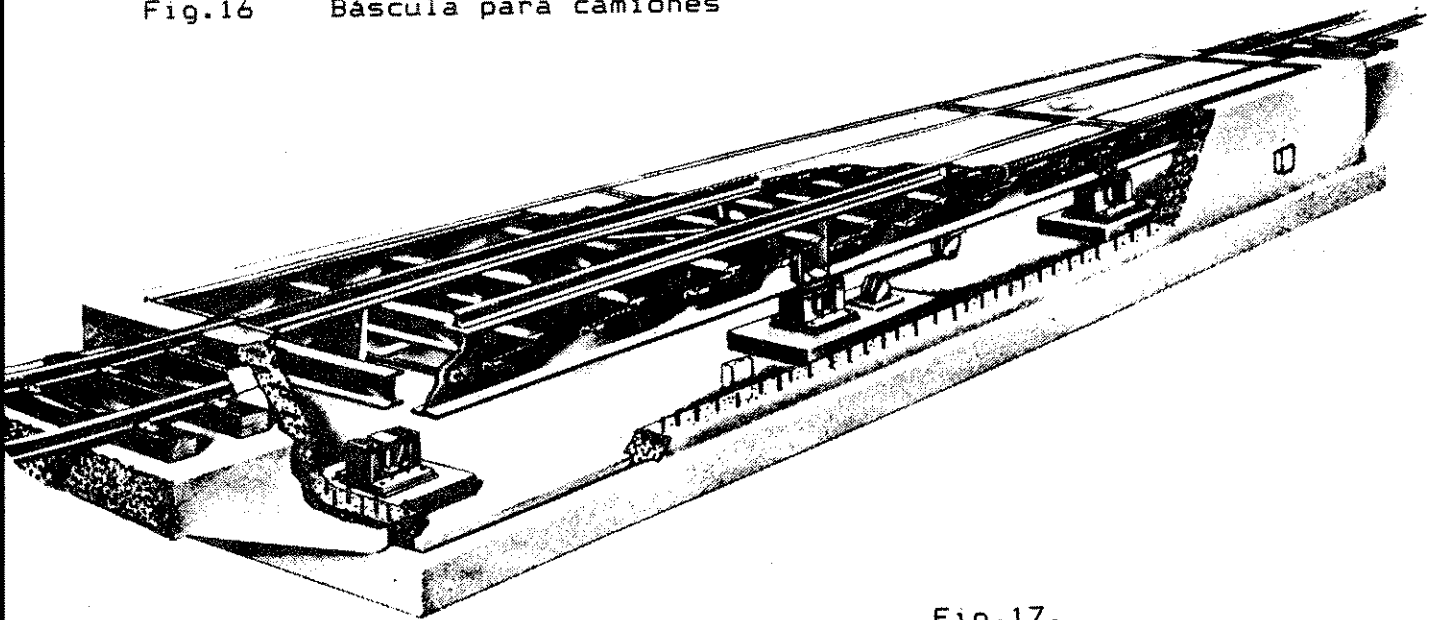


Fig. 17.  
Báscula para  
carros de ferrocarril y camiones.

### 1.5.2 BÁSCULAS EN TOLVAS Y CONTENEDORES ESTÁTICOS.

Las básculas para contenedores estáticos son de gran importancia en procesos de mezclado, entrega y envasado de sólidos. El principio de pesaje es similar al utilizado en básculas de vehículos, con opción de tener indicadores de peso del tipo electrónico, mecánico o analógico, que pueden ser manejados a distancia, el electrónico en especial tiene la ventaja de poder transformar la señal y manejarla por medio de computadores. Se utilizan básculas para dos tipos de aplicaciones: cuando se pesa un solo material o cuando se pesan varios materiales ( si se requiere pesaje simultáneo debe contarse con varias básculas, si es en secuencia se puede utilizar la misma báscula ). El proceso de pesar un solo material esta muy relacionado con el volumen, por lo que si la densidad del material se mantiene constante puede solo medirse el volumen. Los sistemas de pesaje de varios ingredientes cuentan con depósitos de los mismos de fácil acceso a la, o en su caso las, básculas y su forma de alimentación puede ser por gravedad o por medio de dosificadores mecánicos, como tornillos helicoidales o transportadores/elevadores de otro tipo. Estos sistemas se logran hacer rápidos y precisos por medio de procesadores de información ( computadores ), que transformen las señales electrónicas a eléctricas y, por medio de éstas, gobernar las compuertas de descarga o los motores de los dosificadores que ejecutan la descarga y la carga de la báscula.

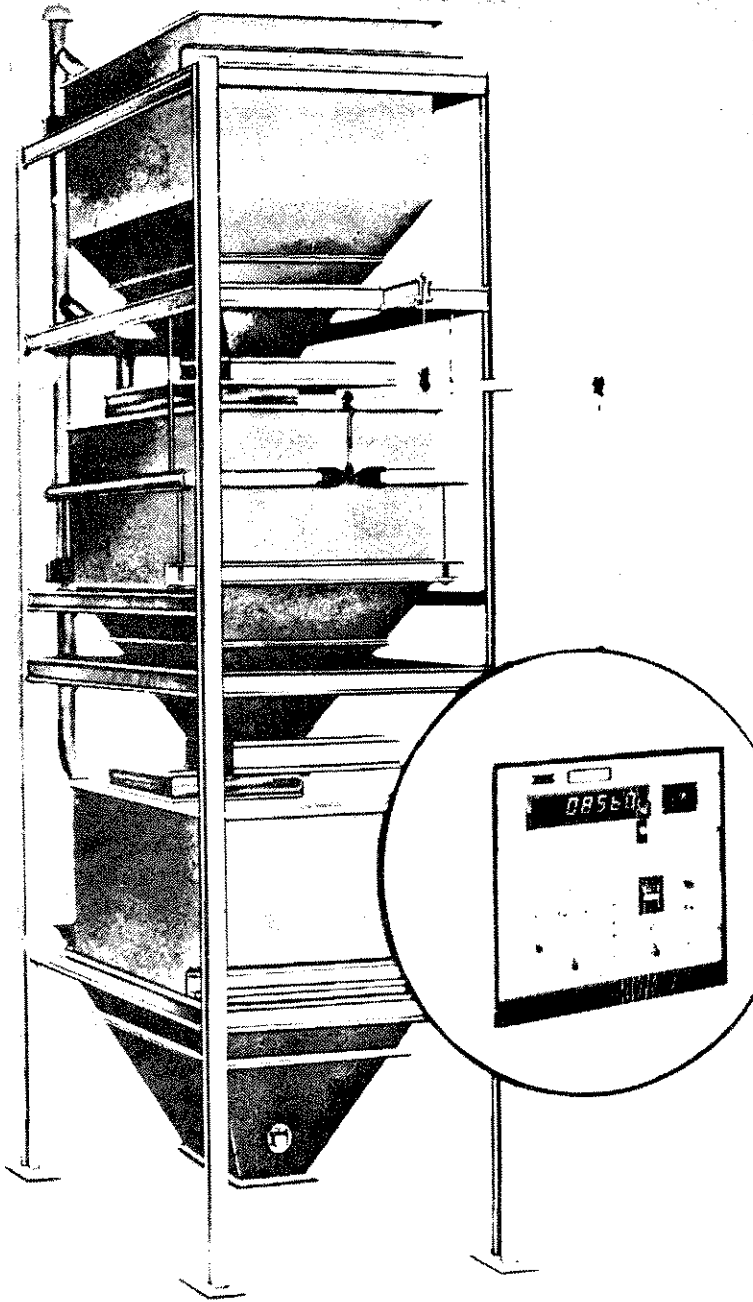


Fig. 18  
Báscula de proceso

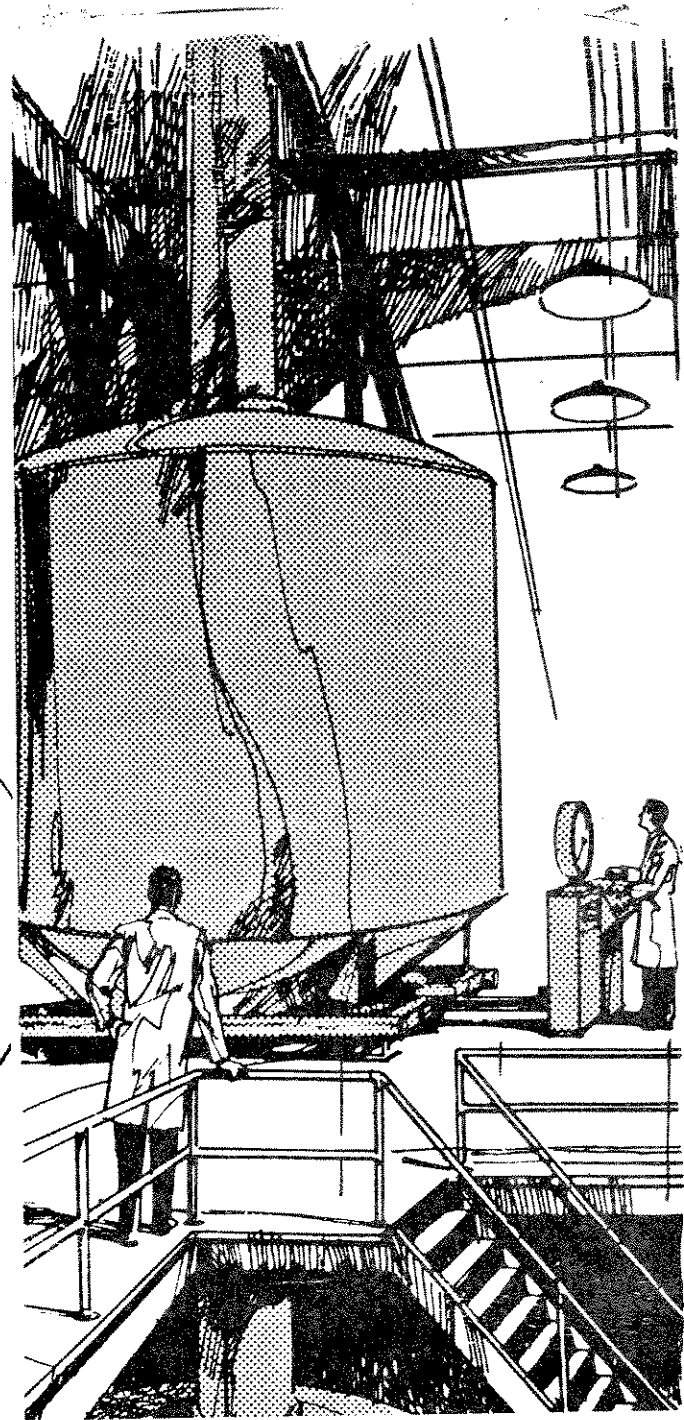
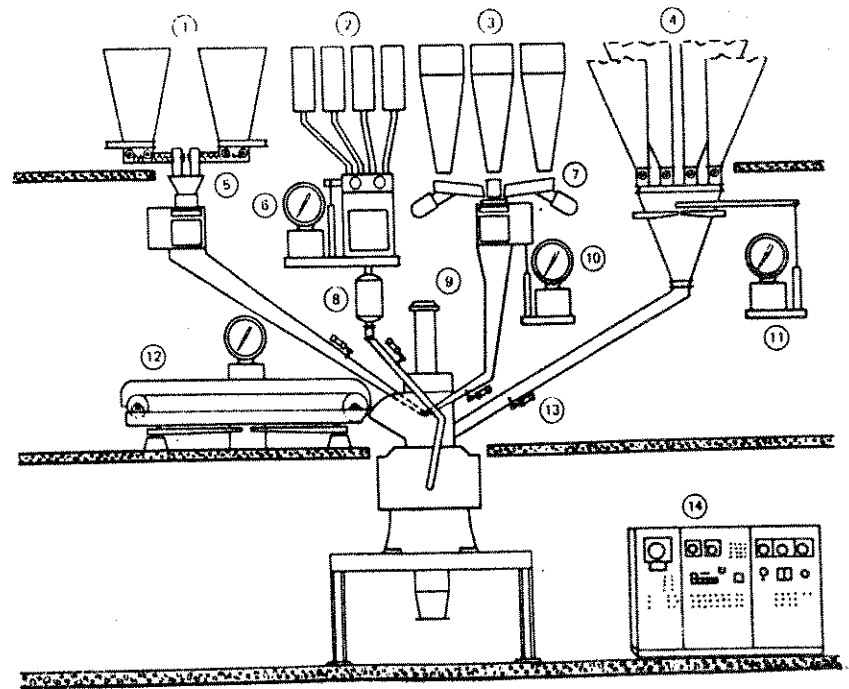


Fig. 19  
Báscula de mezcla



- |   |                           |                             |   |                               |
|---|---------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|
| ① Depósitos y alimentadores de colorantes | ④ Ingredientes corrosivos | ⑦ Alimentadores Vibratorios | ⑩ Báscula de Ingredientes                     | ⑬ Válvulas de Mariposa        |
| ② Tanques de Aceite                       | ⑤ Báscula de Colorante    | ⑧ Tanque de bombeo          | ⑪ Báscula de Ingredientes Corrosivos          | ⑭ Panel de Control Corrosivos |
| ③ Depósitos de Almacenamiento             | ⑥ Báscula de Aceite       | ⑨ Mecedora                  | ⑫ Báscula del transportador de trozos de Hule |                               |

Fig. 20 Proceso de pesaje y mezclado

### 1.5.3 PESAJE DE CONTENIDOS NETOS.

La maquinaria mencionada en los artículos anteriores pesa exclusivamente el peso neto, el pesaje de peso bruto se hace solo una vez en los vehículos de carga, pero deben volver a pesarse una vez han descargado y de la diferencia de pesos resulta el peso neto. Sin embargo, cuando el material viene en empaques individuales es necesario tomar en cuenta el peso de los mismos, para lo cual el material debe ser vaciado y los empaques pesados para determinar la cantidad verdadera con la que se cuenta en el proceso.



#### 1.5.4 CONTROLES Y MEDIDORES.

Para un proceso industrial en el cual se estén manejando sólidos, muchas veces van estos acompañados de líquidos para lograr mezclas, ya sea alimenticias, fertilizantes, plastificantes o de materiales de construcción. Los sólidos generalmente se miden por su peso, como mencionamos anteriormente, los líquidos pueden medirse por su volumen o también por su peso y para el efecto se requiere de medidores especiales.

Para regular los procesos son necesarios controles que bien pueden ser: mecánicos, eléctricos, electrónicos, hidráulicos, neumáticos o una combinación de los mismos. Los líquidos y los sólidos generalmente se pueden medir paralelamente y, si el proceso es manual, el material mas sencillo debe ser medido automáticamente pues un operario no puede poner atención dos procesos a la vez.

La regulación de compuertas rápidas es, generalmente, por medios neumáticos, la reacción de cilindros hidráulicos o motores eléctricos es mas lenta. Las señales de equipos en funcionamiento pueden ser emitidas por la posición de los contactores de los motores de los mismos y la posición de las compuertas puede ser controlada por contactos de fin de carrera o de proximidad. Estas señales son eléctricas y de potencia demasiado alta para manejarlas en tableros de control de tamaños adecuados.

Para reducir el tamaño de los tableros de control es necesario transformar las señales, para el efecto, se hace uso de relés de alta sensibilidad. Una vez transformada la señal esta se puede manejar por medio de informática, simplificando el proceso y reduciendo el tamaño de los equipos a utilizar.

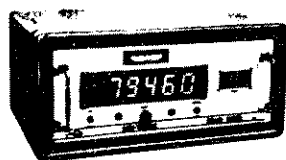


Fig. 21 Indicador digital

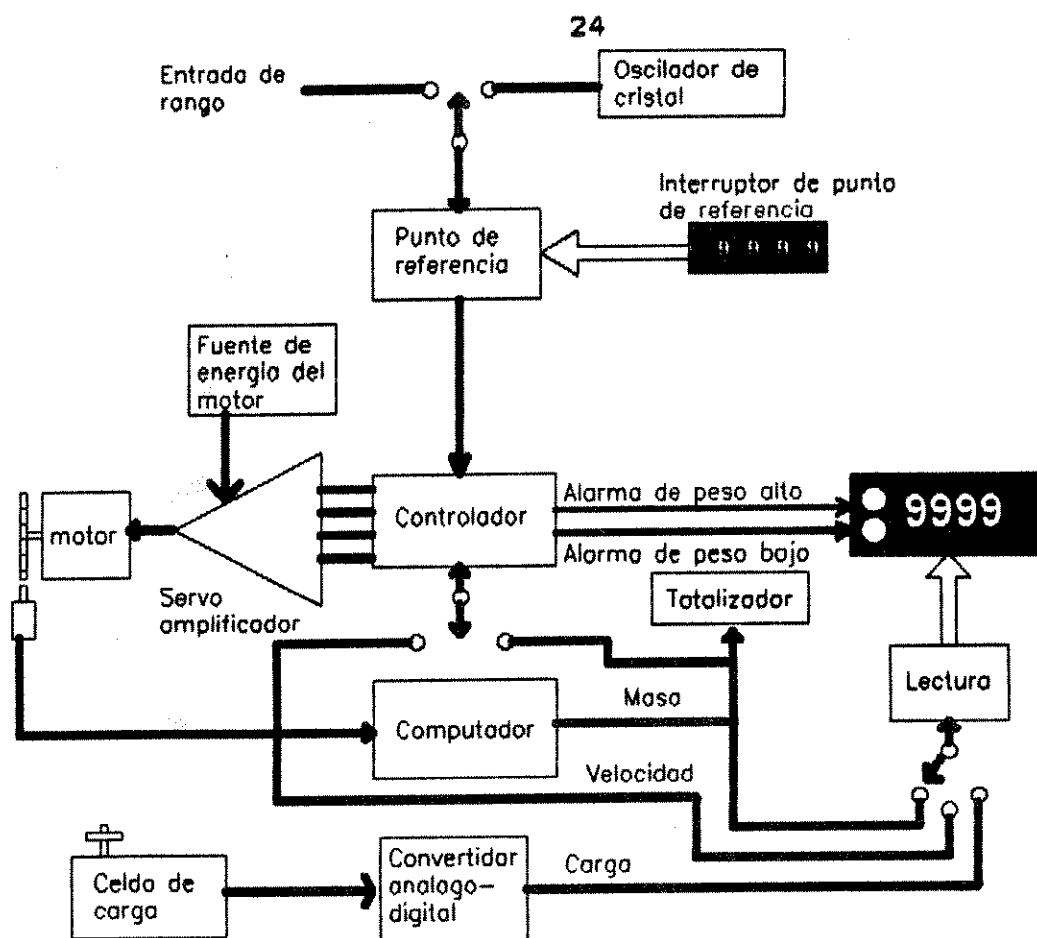


Fig. 22 Diagrama electrónico de un control digital

### 1.6 MUESTREO DESDE UN FLUJO CONTINUO.

Cuando los procesos son de pequeño volumen, una muestra representativa es fácil de sacar del flujo del proceso, del material procesado o de los ingredientes. Otra situación se presenta cuando es necesario lograr una muestra representativa de un flujo grande en proceso, pues debido al manejo que sufren los materiales los procesos de segregación son más severos y por ende se debe contar con muestras que reflejen la totalidad de los ingredientes del material a muestrear. Para el efecto se utilizan infinidad de mecanismos, algunos de lo mas ingeniosos. Se ilustra algunos de ellos.

Fig. 23  
Muestras por medio de faja  
con agujeros

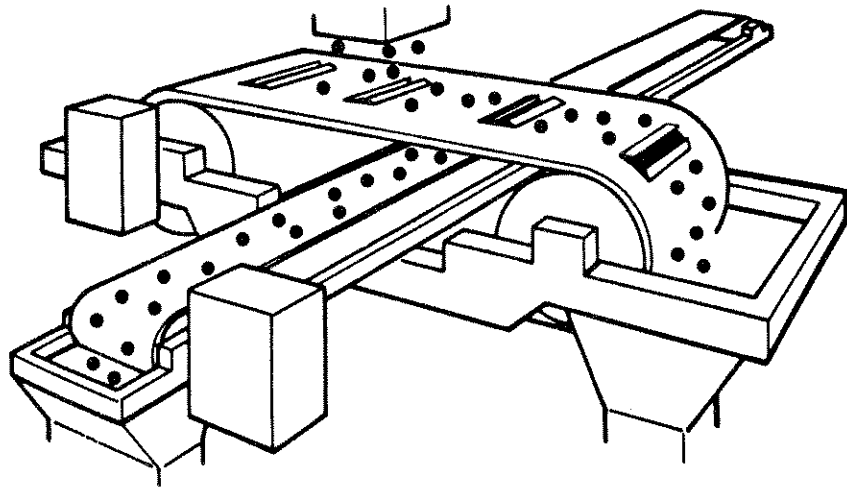


Fig. 24  
Muestras por medio de  
divisor rotativo

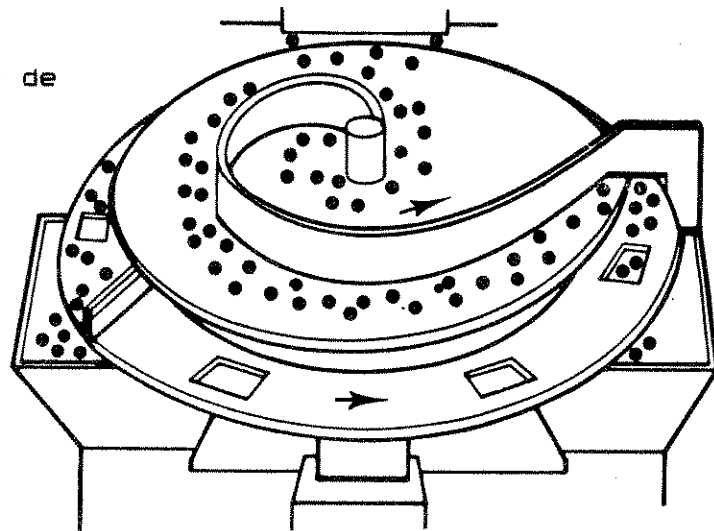
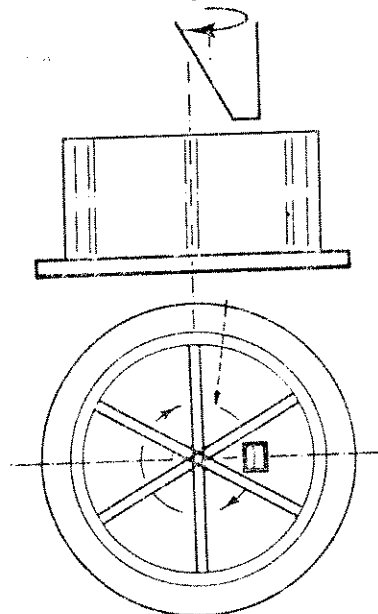


Fig. 25  
Muestras por medio de  
resbaladero



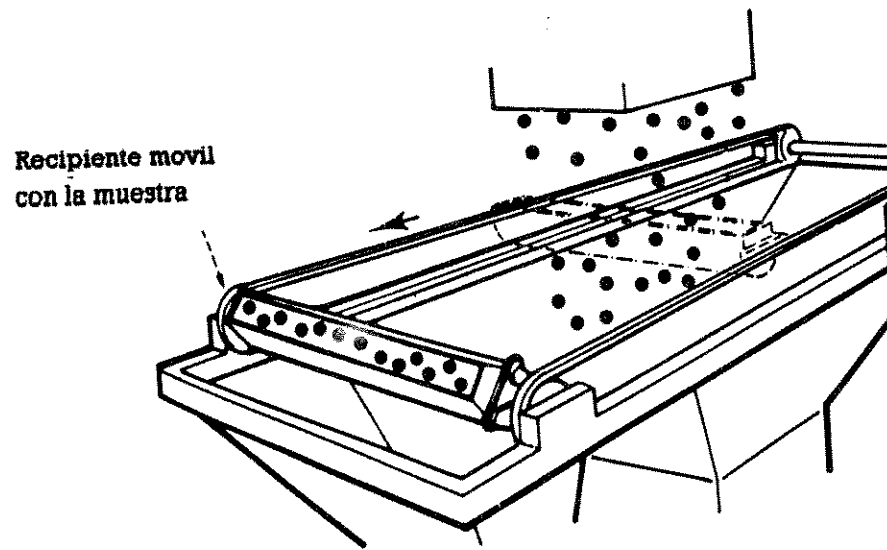


Fig. 26  
Muestras de recipiente  
en cadena

CAPITULO II  
TRANSPORTE DE SÓLIDOS, A GRANEL.

## INTRODUCCIÓN

La maquinaria necesaria para el transporte de sólidos, está basada en aplicaciones de la ingeniería mecánica. Las propiedades físicas y químicas de los materiales se manejan con mecanismos apropiados, los cuales se diseñan dependiendo del tipo de aplicación. Existen dos tipos de transporte: El provocado por fuerzas mecánicas sobre el material y la liberación de la energía potencial del material guiado por elementos estáticos. En este capítulo trataremos del primero, pues el segundo ha sido tratado en el capítulo anterior.

### 2.1 FLUJO INDUCIDO DESDE SILOS Y TANQUES.

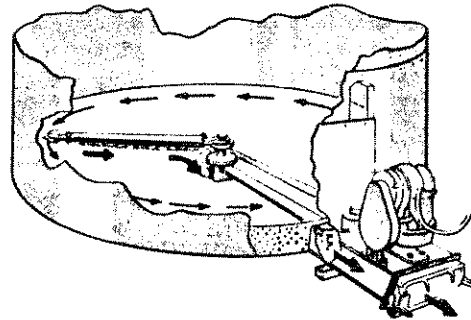
El problema que ocasiona un material que no fluye como consecuencia de una compactación, de exceso de rugosidad en los silos o de tener un fondo plano, ocasiona la necesidad de contar con equipo que provoque o cause el movimiento del material para poder realizar la descarga.

#### 2.1.1 BARREDORAS Y LIMPIADORAS DE PISOS.

Los silos de pisos planos tienen el problema de que, una vez el ángulo de reposo del material ha formado una tolva natural, esta misma debe de ser removida por medios mecánicos. La descarga del fondo del silo debe estar colocada en el centro del silo para que se de este efecto, de ser así es posible colocar compuertas a intervalos sobre el transportador subterráneo de descarga de modo que se pueda formar una vía de acceso al centro del silo. Cuando se trata de silos cuya descarga se realiza eventualmente con periodos de carga relativamente largos, es preferible remover el medio de potencia (ya sea eléctrico o hidráulico), pues el equipo estará sometido a una gran presión y al ser cargado el silo, si el agujero de carga esta en el centro, el impacto del material al caer podría dañar alguna conexión o el mismo motor. Este motor accionara un tornillo sin fin que debe tener un extremo atado a un punto fijo encima de la compuerta de descarga central, y el otro debe girar paralelo a la circunferencia exterior del silo.

El giro del extremo libre debe tener un medio de mantener su posición pues de lo contrario debido a su rotación llegaría a incrustarse en el material a transportar, por lo que al accionar la barredora esta debe estar a una distancia que le permita transportar el material sin atascarse.

Fig. 27  
Barredora de fondo



Existen además de las barredoras, una serie de mecanismos propios para remover materiales de pisos planos, que consisten en una serie de cuñas que se insertan en el material con un movimiento lineal y al regresar, arrastran una cantidad de material. Este tipo de mecanismos muy populares en los aserraderos para manejo de aserrín es apropiado para materiales que no sean de muy alta densidad, pues de lo contrario es muy difícil insertar las cuñas.

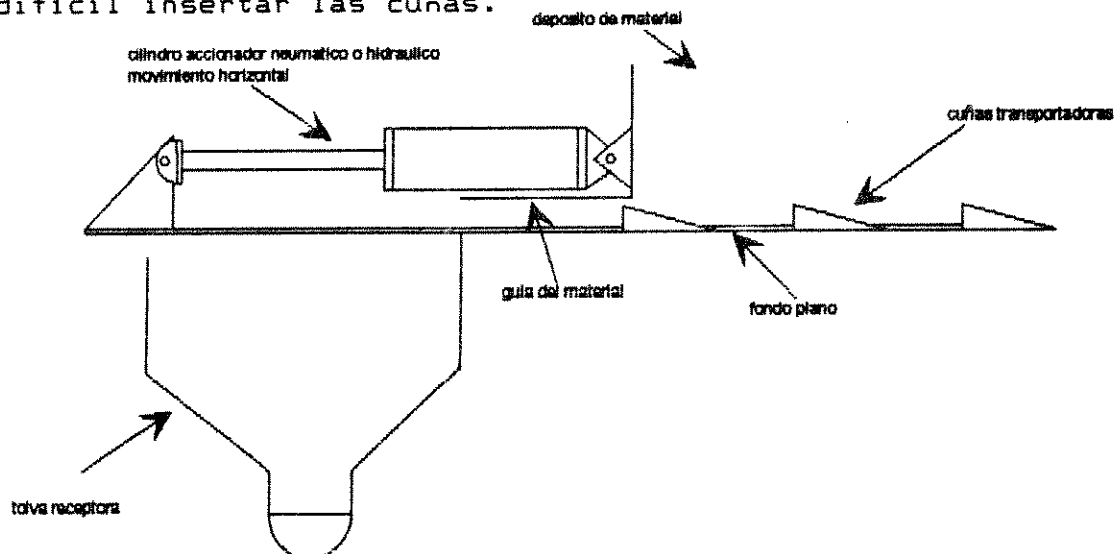


Fig.28 Fondos móviles

### 2.1.2 CONOS REVOLVEDORES.

Este tipo de mecanismos consisten en un cono con un ángulo que desvíe el material hacia la parte exterior del silo, el cual debe ser redondo, logrando una franja de material en la pared exterior del silo. El material acumulado se transporta por medio de la rotación del cono el cual debe estar dotado de paletas en su base. El fondo de este tipo de tanques debe ser reforzado para la aplicación de estos aditamentos especiales.

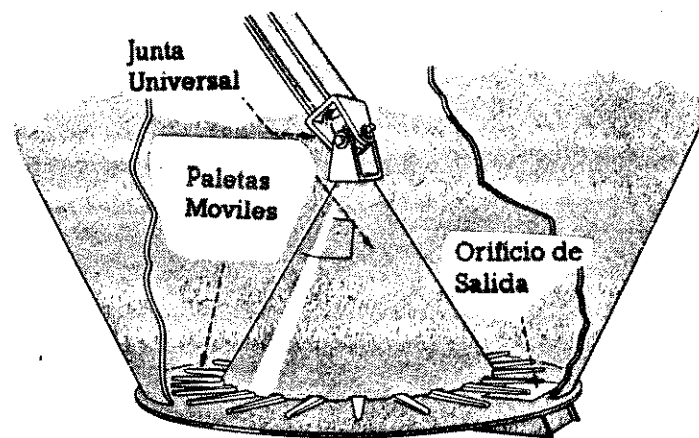


Fig. 29 Conos rotatorios

### 2.1.3 COJINES DE AIRE.

El flujo de un silo puede ser inducido por distintos mecanismos que provoquen un movimiento de la base del puente que se forma en el fondo de los mismos por la compresión a la que esta sometido el sólido y otras causas. Un mecanismo relativamente sencillo para lograr este efecto son los cojines de aire, los cuales pueden ser de dos tipos: con bolsa inflable, o agujeros inyectoros en las paredes del tanque. Los de bolsa inflable consisten en una bolsa firmemente adherida a las paredes del tanque controlada por una válvula de aire que alimenta la bolsa con una presión regulada dependiendo del diseño. Los de agujeros inyectoros consisten en una serie de mangueras



conectadas a boquillas inyectoras de aire que aumenten la velocidad del fluido y quiebran las columnas de los puentes o aflojan el material compactado.

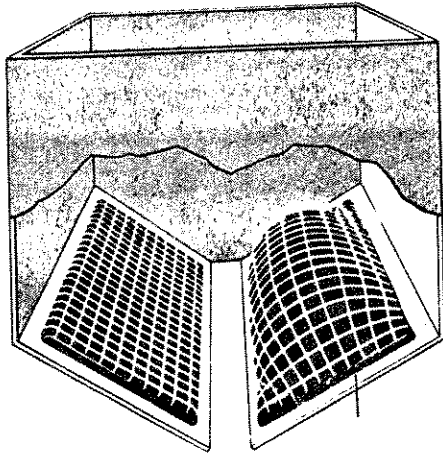
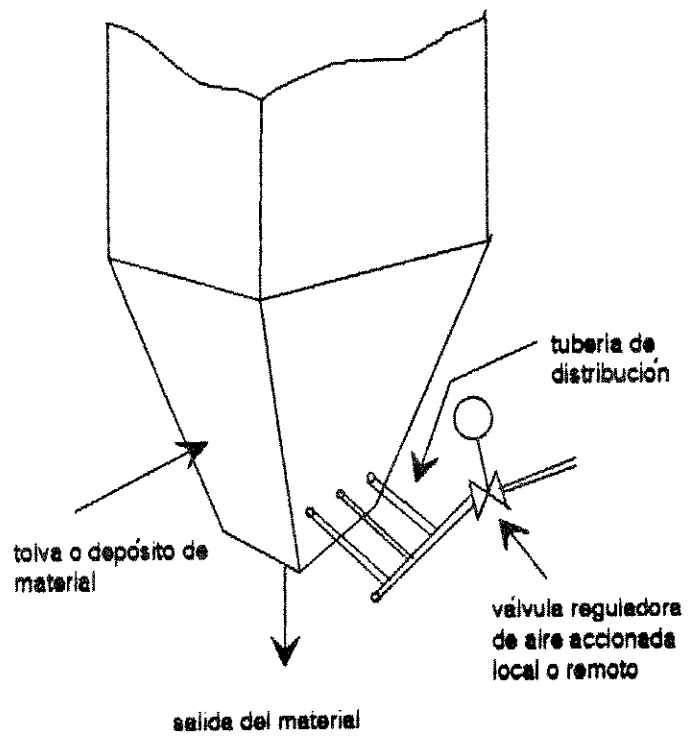


Fig. 30  
Cojines de aire

Fig. 31  
Introducción de Aire



#### 2.1.4 ACTUADORES DE FLUJO.

En ocasiones, los actuadores de flujo también, son llamados vibradores. Estos son herramientas utilizadas para la iniciación del movimiento de masas en los tanques y su principio es muy sencillo. En un eje se colocan dos contrapesos que pueden graduarse en la intensidad de vibración, y se hace girar por medio de una polea, este aparato se puede soldar o en su caso atornillar a las paredes del tanque. El motor debe ser colocado en un lugar fijo y lo mas exento de vibración posible y cualquier motor eléctrico que sea necesario para la operación del silo debe ser colocado en lugar fijo y transmitir su potencia por medio de fajas.

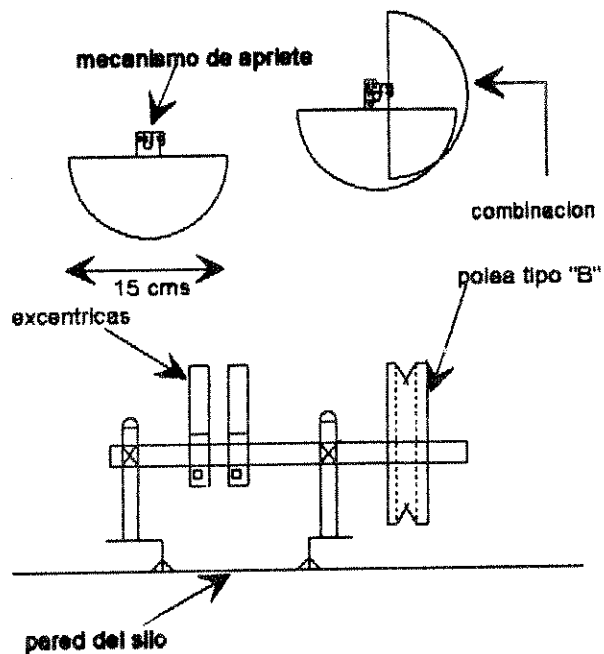


Fig. 32  
Vibrador mecánico

#### 2.1.5 ESCLUSAS.

Las esclusas son aparatos sumamente útiles para separar aire de los sólidos, pero además son un excelente medio de provocar movimiento regulado de sólidos. Una esclusa es una estrella de metal que gira dentro de una caja con su forma exterior, mientras gira la estrella se acumula material entre sus rayos y lo deja caer en su parte inferior, si la estrella se detiene el material deja de fluir y se convierte en una compuerta. Este movimiento

induce el flujo en el material y es una excelente forma de regularlo.

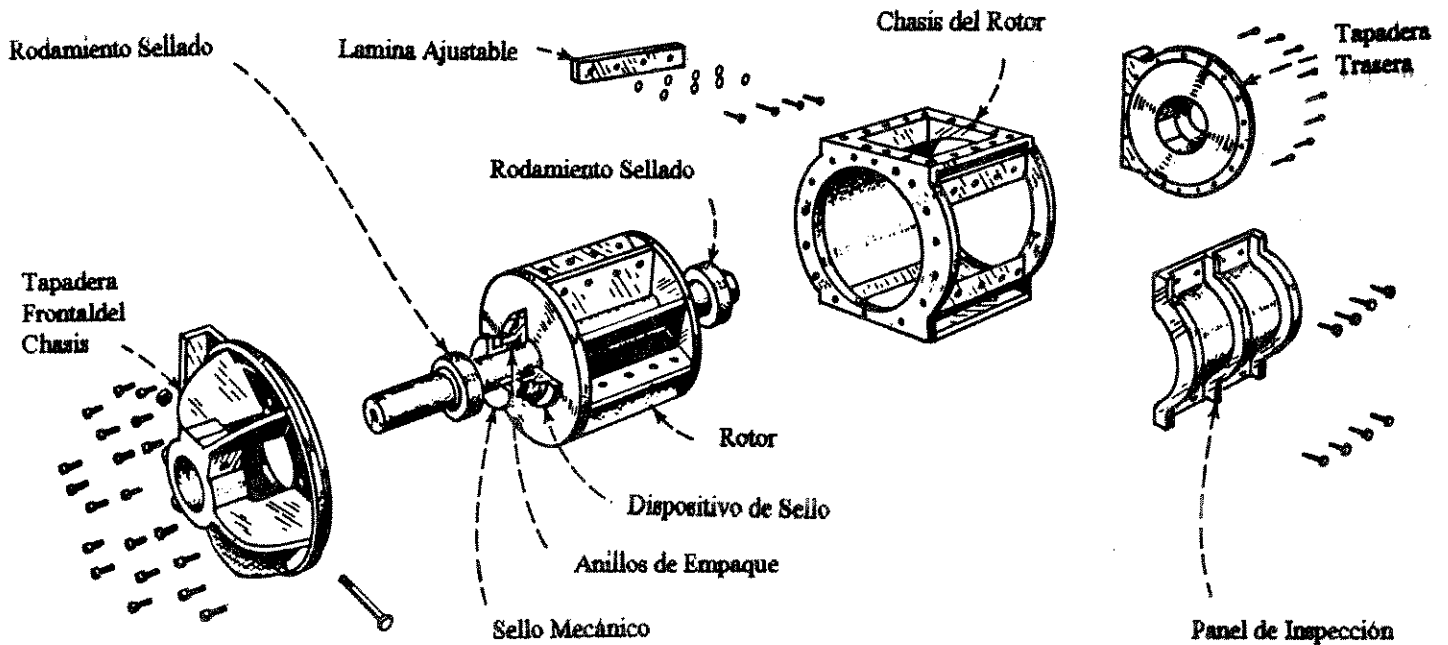


Fig. 33 Esclusa dosificadora desarmada

## 2.2 TRANSPORTADORES Y ELEVADORES MECÁNICOS DE SÓLIDOS.

La maquinaria diseñada para movilizar sólidos a través de piezas en movimiento es responsabilidad directa de la ingeniería mecánica. Se deben tener en cuenta los volúmenes a movilizar y la densidad de los mismos, para poder calcular el tamaño y la potencia de los equipos a utilizar.

Es necesario calcular los materiales con base en el desgaste y fuerza que van a recibir. Los mecanismos de seguridad son de gran importancia tanto para el funcionamiento de los equipos como para su conservación.

### 2.2.1 FAJAS TRANSPORTADORAS.

Las fajas transportadoras son quizás la forma mas popular de

manejar sólidos, es una banda sin fin que transporta materiales en forma horizontal o en forma inclinada. Una banda transportadora generalmente cuenta con cinco componentes básicos:

1. La faja sobre la cual se transporta el material, generalmente es de fibras tejidas de nylon recubiertas de caucho.
2. Los rodos que cargan y mueven la faja dándole su forma acanalada en la parte transportadora y guiando el retorno de la misma.
3. Las poleas que tensan y mueven la faja en sus extremos.
4. El motor que induce el movimiento a través de ejes para el efecto en una de las poleas o en varias.
5. La estructura que soporta los rodos y las poleas, como también las máquinas motrices.

Existe una gran gama de fajas para diferentes aplicaciones como: convencionales, otras que cuentan con refuerzos de acero, para trabajos en maquinaria caliente, etc. La capacidad de transporte de una faja se puede determinar por medio de la fórmula:

$$tph = \underline{ApS}$$

donde A = área seccional de la banda de material, p = densidad del material, S = velocidad de la faja, teniendo en cuenta que todas las medidas estén relacionadas por sus dimensionales.

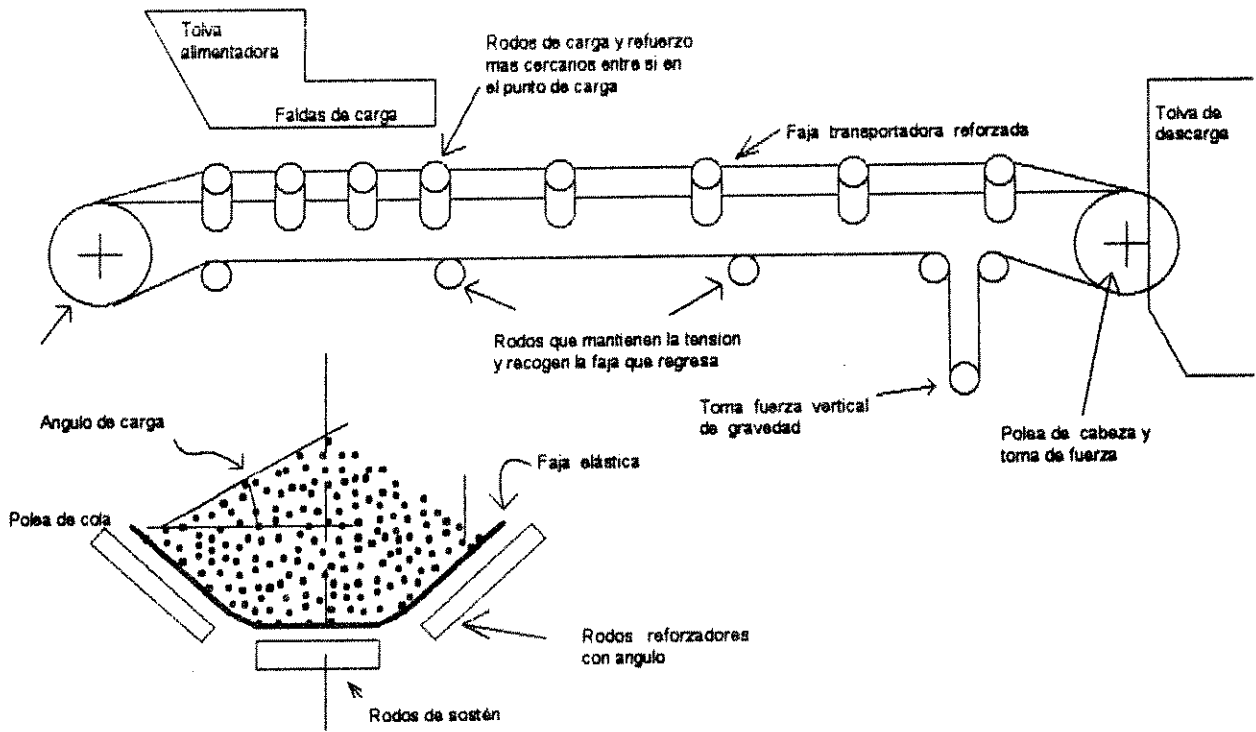


Fig. 34 Faja tipo canal

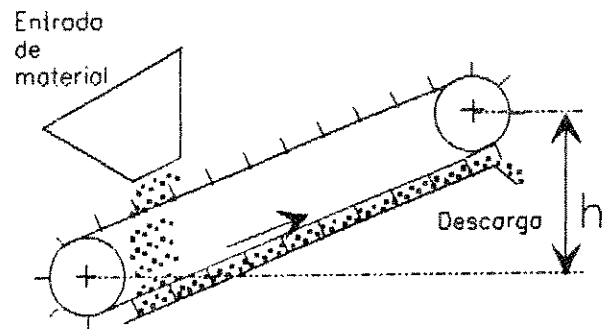
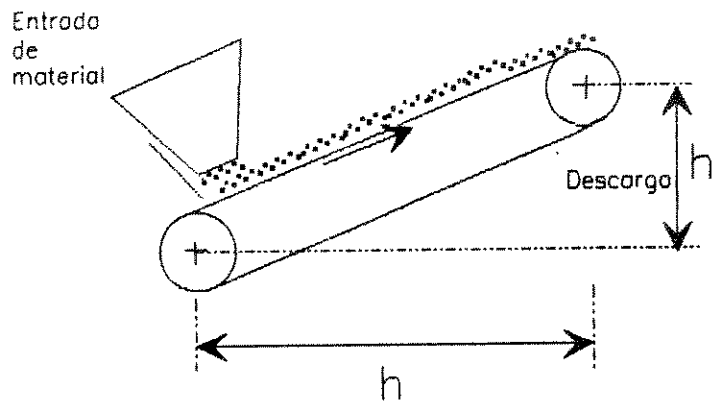


Fig. 35 Faja dentada



### 2.2.2 TORNILLOS HELICOIDALES.

El método mas económico y sencillo de transportar sólidos de diferentes características es sin duda un tornillo helicoidal girando sin fin dentro de un tubo o canal "U".

Este equipo ofrece una gran versatilidad y existen diferentes aplicaciones. Los elementos móviles son en realidad pocos pues el espiral del tornillo va montado sobre un tubo que gira sobre dos cojinetes en los extremos o si el tornillo es muy largo con un cojinete intermedio que cuelga de una viga atravesada en el canal.

Este tipo de transportador puede fácilmente hacerse a prueba de polvo. Si se trata de un transportador para materiales rústicos que no son abrasivos o corrosivos puede fabricarse un tornillo de acero rolando en frío, ahora si se trata de un material alimenticio o que se puede descolorar es preferible utilizar materiales de construcción inoxidables y resistentes a la abrasividad. Este tipo de transportadores pueden realizar su función con cierta inclinación, sin embargo pierden eficiencia conforme la inclinación aumenta. Una inclinación de  $15^\circ$ , disminuye la eficiencia del tornillo al 70%, si la inclinación se incrementa a  $25^\circ$ , la eficiencia se reduce a 40%, puede mejorarse la eficiencia de los transportadores inclinados utilizando tubo.

Cuando un transportador de tornillo es insuficiente pueden colocarse dos tornillos en un mismo canal y este cambio aumenta su capacidad de entrega, aunque disminuye la capacidad del transportador en las pendientes. Los tornillos helicoidales suelen utilizarse también como mezcladores de sólidos e incluso existen diseños específicos para máquinas mezcladoras de baja capacidad que funcionan en base al principio del tornillo sin fin.

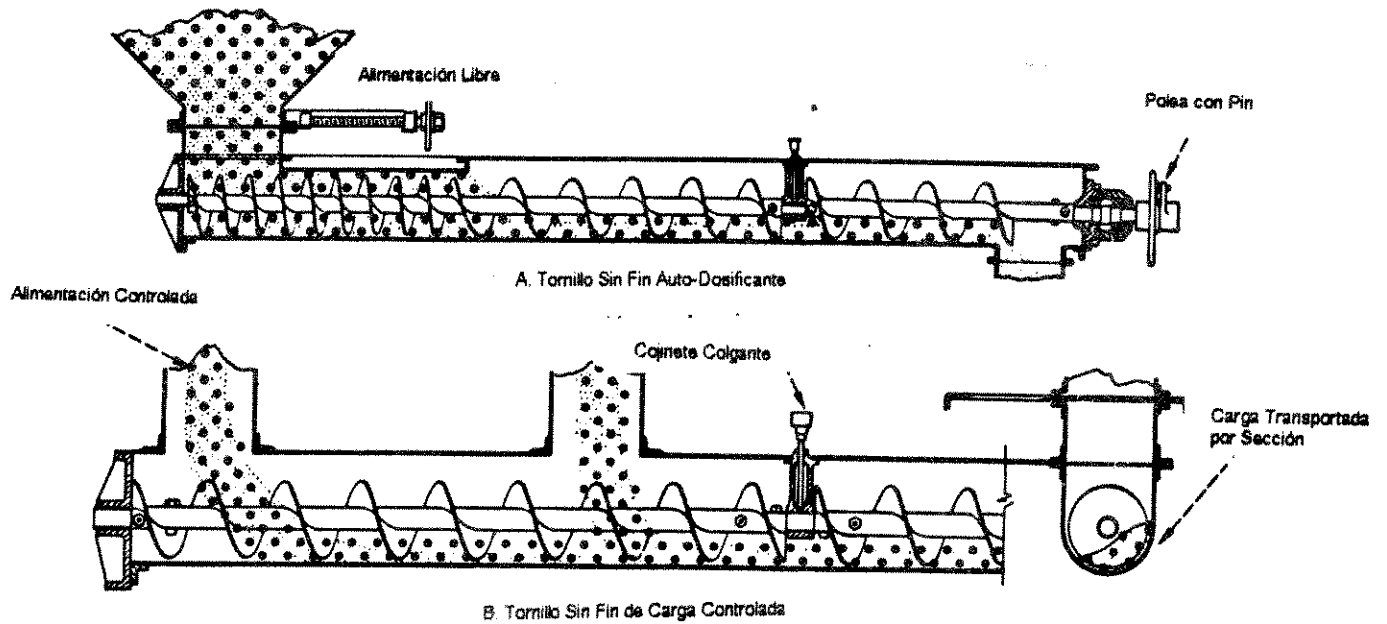
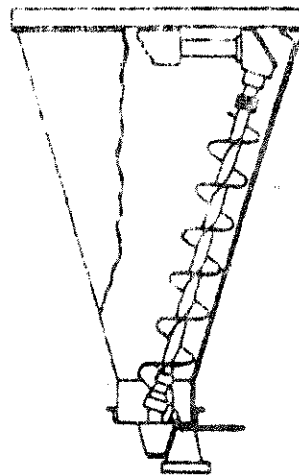


Fig. 36 Transportadores de tornillo sin fin

Fig. 37  
 Mescladora de tornillo  
 sin fin



### 2.2.3 TRANSPORTADORES DE PALETAS O DE CADENA.

Este tipo de transportador de sólidos está diseñado para manejar grandes cantidades de sólidos por relativamente largas distancias.

Existen varias aplicaciones del principio, sin embargo existen dos aplicaciones básicas: los de fondo cuadrado y los de

fondo redondo. Los dos tipos son autolimpiantes y cuando estan bien ajustados no dejan ningún residuo en los canales. Su construcción consta de una canal ya sea de fondo cuadrado o redondo, una cadena que tiene adheridas paletas de algún material de bajo coeficiente de fricción como teflón o algún otro plástico, dos poleas o ruedas dentadas en los extremos y rodos que giran libremente que mantienen elevada la cadena que va de regreso; existen combinaciones de inclinación en un mismo transportador de cadena para lo cual se utiliza un aditamento que mantiene la altura de las cadenas. Este tipo de transportador puede tener descargas intermedias, pero se debe tener la precaución de dejar la ultima descarga sin compuerta, para no tener problemas de material que se pasa en la cadena y se va al fondo.

Otro aditamento que es posible tener es el poner un cepillo limpiador sobre la descarga intermedia, logrando así un mínimo de material que se pasa al fondo, ( siempre se debe tener cuidado de remover el cepillo cuando la descarga no se utiliza ).

Cuando se manejan materiales con diferentes densidades es necesario instalar una compuerta reguladora de entrada para no sobrepasar la capacidad del motor, si se tienen una secuencia de transportadores de cadena es necesario ajustar la velocidad de los mismos, de modo que el último transportador que recibe sea el más rápido.

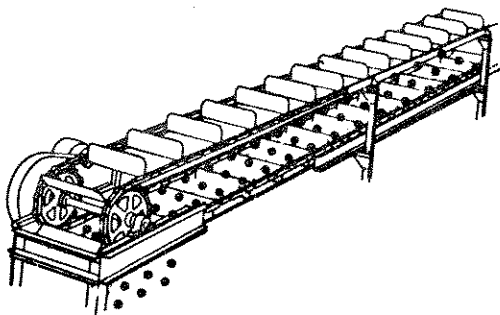


Fig. 38  
Transportador de paletas

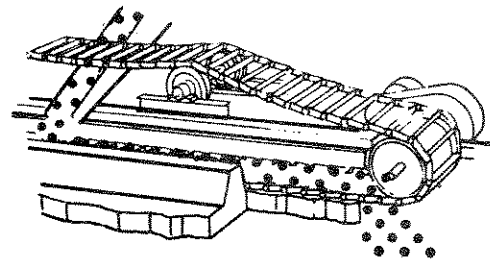


Fig. 39 Transportador  
de cadena autolimpiante



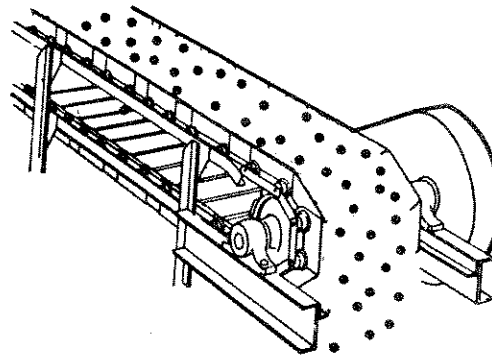


Fig. 40.  
Transportador  
de canal cadena

#### 2.2.4 ELEVADORES DE GUACALES.

Los elevadores, pueden definirse como un transportador que maneja sólidos en forma vertical, pueden haber elevadores de guacales que trabajen en forma en inclinada, pero son los menos comunes.

Los elevadores de guacales consisten en una faja de material flexible y resistente, que tiene atornillados con tornillos especiales, de cabeza plana y grande guacales plásticos o metálicos que giran alrededor de dos poleas de regular tamaño. Dos piezas críticas de los elevadores son la cabeza y la bota, que son los dos extremos.

La cabeza lleva la unidad motriz y debe proveérsele de una plataforma segura para poder efectuar servicios de rutina en el motor y reductor, además de revisar los acoples y los ejes. La bota tiene las chumaceras de la polea inferior sobre tornillos ajustables pues la faja tiende a estirarse con el uso y debe ser apretada y en casos cortada.

Cuando por alguna razón el elevador se atora de material o se le entrega más del que puede manejar, la polea superior gira quemando la faja que no logra moverse, el aumento de amperaje del motor eléctrico no es suficiente para disparar el contactor y debido a esto se revienta, por lo que se debe instalar un detector de movimiento en la bota sobre el eje de la polea que determine el funcionamiento del elevador.

Cuando un elevador cargado se detiene la carga que lleva el mismo, en un lado, domina al otro y se acumula una gran cantidad de material en la bota por lo que es necesario colocar un

dispositivo mecánico de giro en un solo sentido pues de lo contrario se atora en bota.

Existen tres tipos de elevadores: de descarga centrifuga, de descarga por gravedad, de tipo continuo. Existe también un tipo de elevador que consta de una cadena por la que pivotean los guacales y dejan caer su contenido.

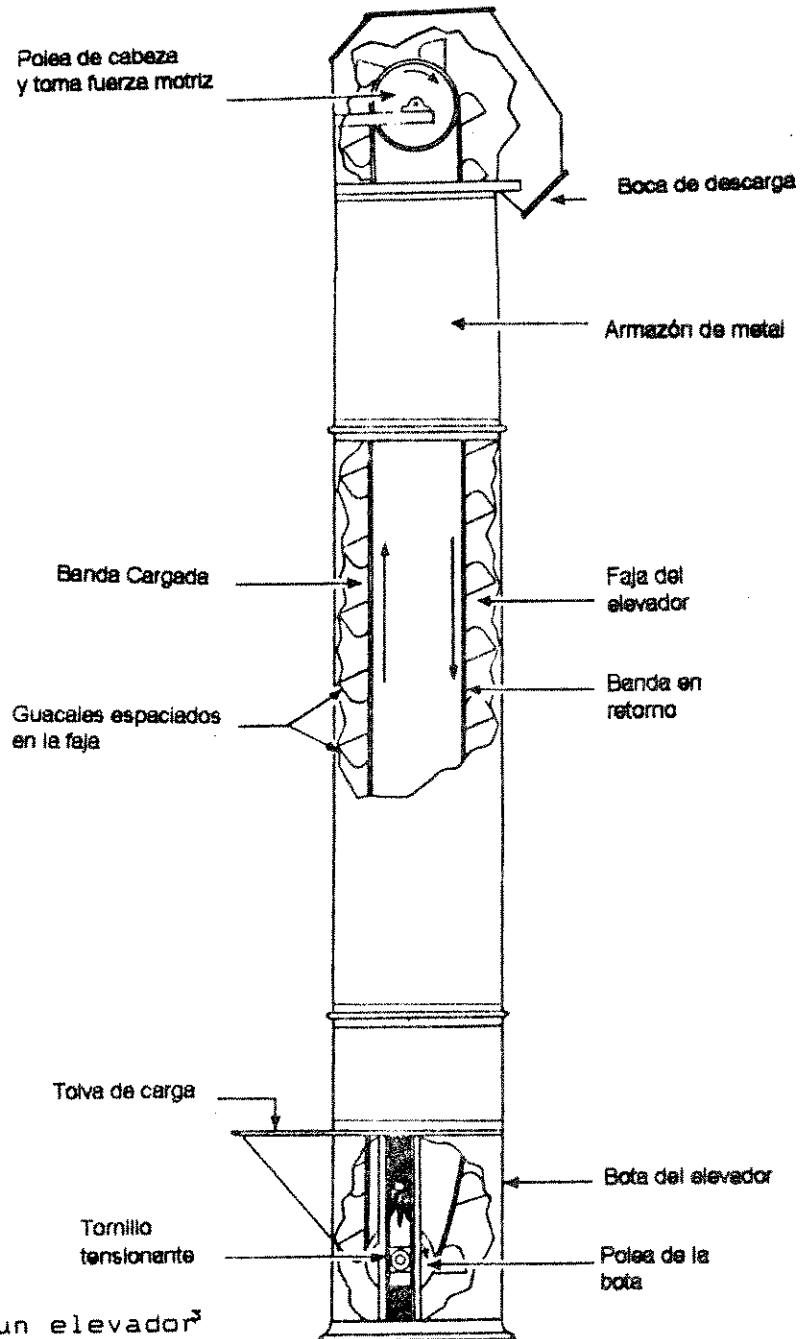


Fig. 41  
Partes básicas de un elevador<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Ref. Handling Agricultural Materials, S and b. conv. pp23.

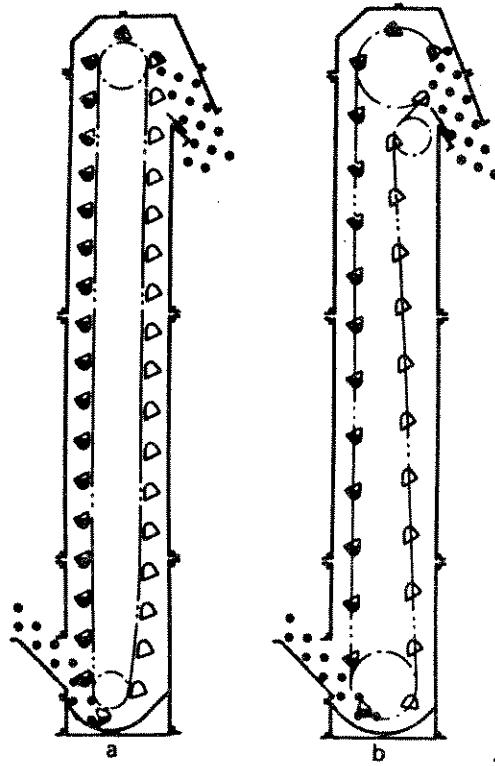


Fig. 42 Tipos de elevadores de guacales

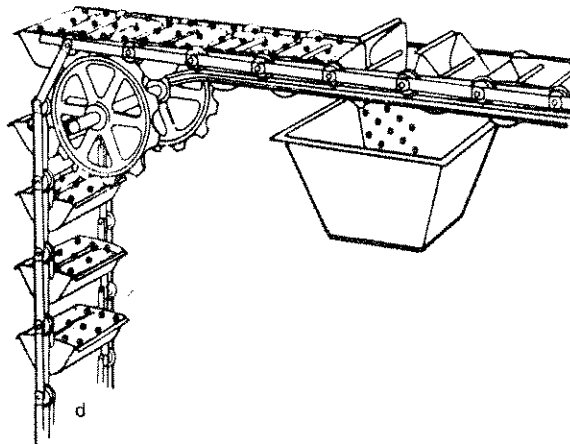


Fig. 43 Elevador de guacal-cadena

### 2.2.5 OTROS TIPOS DE TRANSPORTADORES.

En este inciso nos ocuparemos de maquinaria a base de vibración. Existen transportadores y elevadores que funcionan en base a una vibración de los canales o tubos donde se conducen los sólidos, la cual puede ser producida por contrapesos girando en un eje o por la fuerza magnética de un electroimán. Este tipo de transportadores es usado ampliamente y es combinado con otros procesos de la planta como cribado, secado o colado del material.

Se debe combinar una serie de carreras de vibración y frecuencias para lograr el mejor resultado en el material a transportar, se debe considerar el ángulo de vibración, que resulta ser la dirección, que toman las partículas al ser impulsadas. Este tipo de transportadores es usado generalmente en fundiciones, aserraderos o para granos. Los elevadores vibratorios son rampas en forma de espiral que giran revoluciones no completas impulsando el material por la rampa según la vibración.

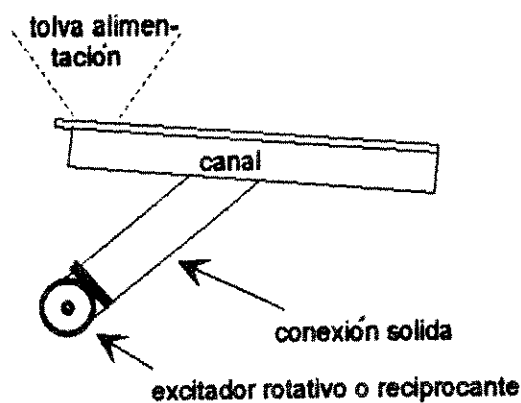


Fig. 44  
Vibrador de excitación  
rotante

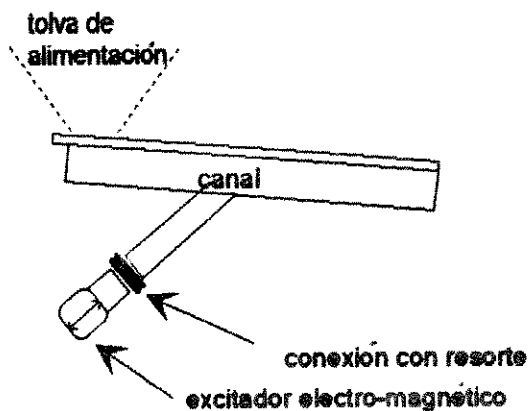


Fig. 45  
Vibrador de excitación  
electro-magnética

## 2.3 TRANSPORTE NEUMÁTICO.

Uno de los métodos más populares de transportar materiales sólidos es por medio de corrientes de aire dentro de tubos para el efecto. Este método proporciona una gran ventaja no solo para el transporte sino también para sanear ambientes de mucho polvo. Este tipo de transporte proporciona al ingeniero una opción de fácil manejo cuando es necesario transportar materiales en recorridos no rectos. Es sumamente útil cuando se transportan combustibles sólidos para su utilización; pues proporciona a la vez el aire y la dispersión necesarias para la combustión.

### 2.3.1 DE PRESIÓN NEGATIVA.

Los sistemas neumáticos de transporte de sólidos de tipo negativo o de aspiración, son los más prácticos para transportar materiales desde varios puntos de entrega. Este tipo de equipo consta de una unidad de ventilación, un ciclón recolector con válvula rotatoria, tubería, una cámara de aceleración y las entradas al ducto.

La unidad de ventilación crea una presión negativa en el ducto y sopla el material por el mismo, transportándolo con poco contacto con piezas mecánicas, esta presión hace que cualquier fuga sea hacia el interior. Este tipo de transporte puede causar cierto calentamiento por la compresión del aire, para lo cual se deben tomar precauciones especiales.

Un contenedor o paquete puede ser descargado sin tener que vaciarlo, simplemente introduciendo una boquilla aspiradora dentro del mismo y haciendo funcionar el sistema. Este tipo de sistemas produce cierta cantidad de aire que puede ser usada en operaciones de combustión o control de polvos en el ambiente.

Este tipo de sistemas puede ser usado en equipos de molienda, pues al accionar la unidad la criba tiende a embotarse y taparse al crear una corriente de aire que haga fluir el material por los agujeros de la criba, mejorando la calidad de la molienda y haciéndola más eficiente. Este tipo de sistemas tiene la ventaja de no necesitar filtros separadores de materiales, pues es suficiente con separadores mecánicos como ciclones o

válvulas rotatorias.

Fig. 46  
Sistema de presión negativa

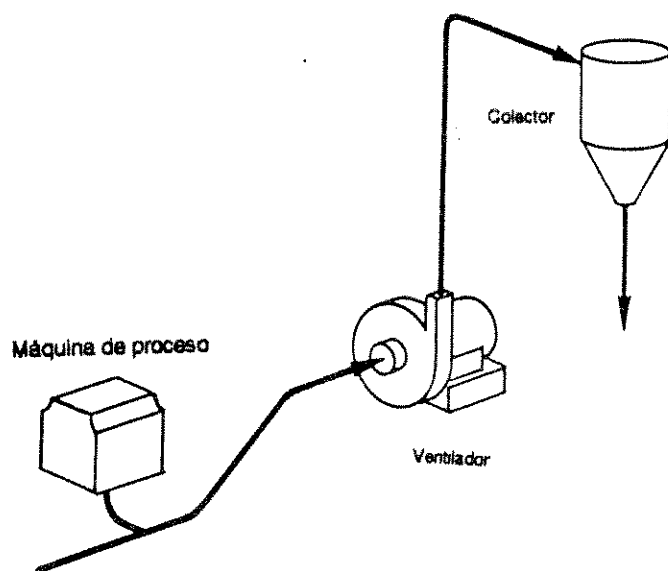
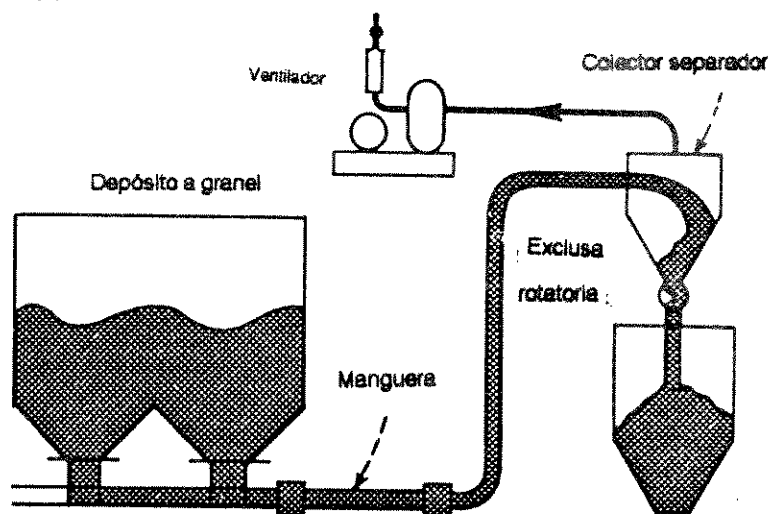


Fig. 47  
Sistema de presión  
negativa

### 2.3.2 DE PRESIÓN POSITIVA.

Un sistema de presión positiva transporta el material más eficientemente de un punto de carga a distintos puntos de entrega, dependiendo del costo. Una de las razones de este costo es que para la entrada del material es necesaria una válvula rotatoria, pero no necesariamente en la salida.

Generalmente la salida puede ser un ciclón con ventana de salida en el techo y una conexión simple en el fondo. Esto es posible cuando se manejan materiales granulares o libres de polvo. Cuando se transporta a cierto número de tolvas, un simple

filtro de bolsa, de material textil, puede servir.

Las ventajas en costo de este tipo de sistemas sobre los de aspiración son obvios cuando se transporta de un punto de entrega a varios puntos de descarga. Además, los sistemas de presión positiva hacen el mismo trabajo de transporte con tubería de dimensiones inferiores porque ellos operan con alrededor de 1.5 veces el diferencial de presión de los sistemas de aspiración.

Las máximas presiones de operación son normalmente de 10 a 12 libras por pulgada cuadrada, cuando tienen válvulas rotatorias en la entrada. La mayoría de válvulas rotatorias no pueden tolerar mayores presiones, por deflexiones en el eje o en los cojinetes y el incremento de aire soplado hacia dentro. Un sistema de aspiración por otro lado opera con presiones de 15 a 16 pulg de Mercurio ( 7.5 a 8 lbs/pulg<sup>2</sup>) de diferencial de presión y son necesarios grandes ventiladores y filtros.

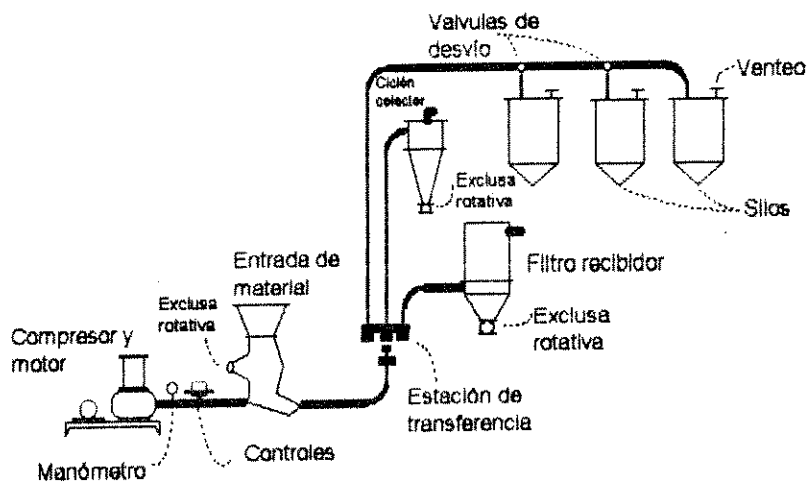


Fig. 48  
Sistema de presión  
positiva

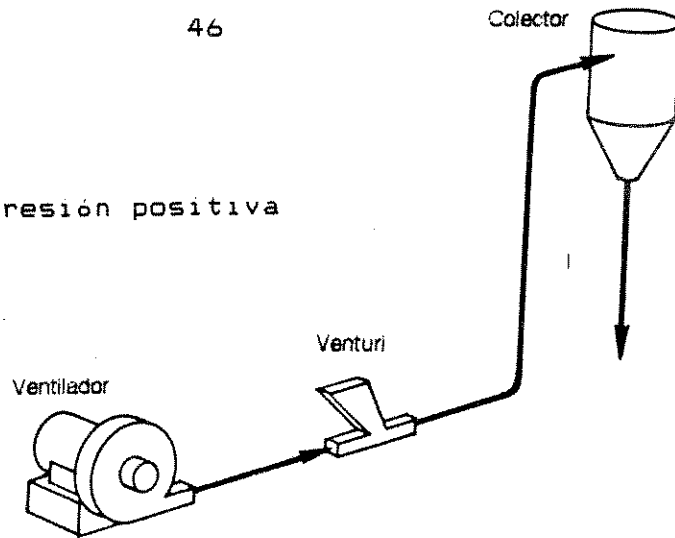


Fig. 49. Diagrama de presión positiva

### 2.3.3 SISTEMAS COMBINADOS.

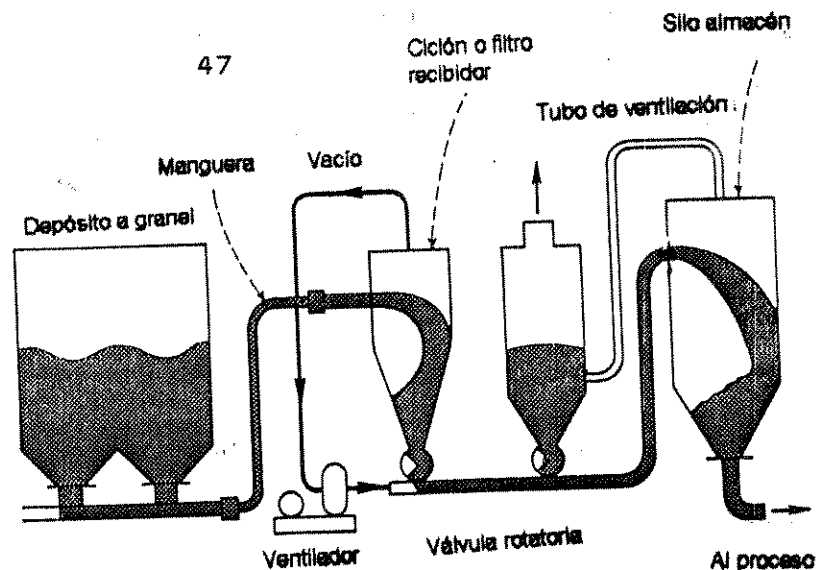
Tener la ventaja de combinar los dos tipos de transporte neumático es útil para transportar desde varios puntos de carga a varios puntos de descarga. Son el tipo de sistemas ideales para descargar carros de ferrocarril o unidades de transporte desde la superficie del suelo y por razones de higiene pueden también descargar debajo de la superficie.

Estos sistemas también son convenientes para transportar materiales livianos o polvorientos porque la succión en la entrada ayuda al producto a entrar en la línea de transporte. Alimentar los sistemas de presión positiva. Con este tipo de productos puede ser difícil y regularmente presentan serios problemas de colección de polvos en el área de entrada, debido a regresiones de viento o a fugas en la válvula rotatoria.

Generalmente, se combinan ventiladores de desplazamiento rotativo - junto con filtros receptores - en este tipo de sistemas para mantener el tamaño de las líneas al mínimo. Un solo ventilador puede ser satisfactorio, si las distancias de transporte son relativamente cortas, de modo que el tamaño de las líneas se mantiene pequeño. Un solo ventilador puede servir como aspirador y como presurizador en ambos lados del sistema, en ocasiones esto crea problemas y un buen diseño dicta que es mejor un ventilador para cada lado.



Fig.50  
Sistemas combinados



#### 2.3.4 COLECTORES DE POLVOS.

Los colectores de polvos se dividen en dos tipos: los ciclones y los filtros. Nos ocuparemos de los primeros, para luego describir los segundos.

La acción dentro de un tanque ciclón es similar a la de un tornado hecho por el hombre. Las proporciones de la unidad son tales que la salida de polvos esta localizada en el fondo bien abajo del vórtice llevando aire limpio a la salida del ciclón localizada en la parte superior. El remolino exterior gira las partículas a la parte de afuera de la parte cónica-cilíndrica, permitiendo a los sólidos separarse libremente del aire.

Un colector de alta eficiencia debe ser largo y delgado y usualmente tiene una caída de presión de dos veces la presión del aire en velocidad (3-6 pulg. H<sub>2</sub>O). El volumen de aire o gas a ser manejado dicta el tamaño o el diámetro del colector. El diámetro de la entrada y el diámetro de la salida esta dictado por el volumen que va a ser manejado y la caída de presión a través del ciclón.

Teóricamente un gran volumen de aire mejora la eficiencia, porque la velocidad de entrada tambien se incrementa, esto incrementa la velocidad centrífuga, que hace la separación de sólidos del aire. Simultaneamente, la caída de presión a través del colector se incrementa por el cuadrado del volumen que se esta manejando.

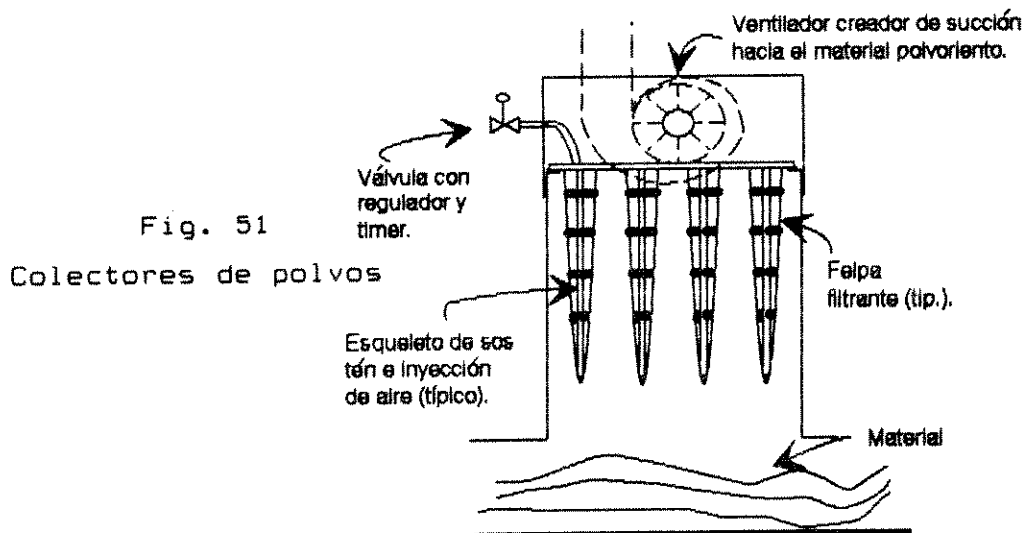
Los filtros hay de dos tipos: Los de agitación o

intermitentes y los continuos o regresores de aire.

Con los filtros de agitación la corriente de aire debe ser detenida para agitar los filtros para limpiarlos. Estos filtros pueden ser usados continuamente, separándolos por compartimientos.

La relación aire-área de transferencia -que varia con el polvo que se maneja es un factor determinante en el dimensionamiento del filtro. Una relación de 3:1 aire a tela, o un máximo de 3 pies cúbicos por pie cuadrado de tela es un máximo. Usualmente, una caída de presión en el rango de 6-10 pulgadas de  $H_2O$  es lo máximo permitido antes de limpiar el filtro.

En los filtros de aire continuos con regresión de aire las relaciones de aire-tela son de alrededor de 6-12:1, dependiendo del material. En casos extremos, como cuando se filtran materiales muy finos como el carbonato de calcio precipitado, carbón activado o carbón negro molecular, las relaciones pueden ser hasta 2 o 4 a 1.



CAPITULO III

PROCESAMIENTO DE SÓLIDOS, A GRANEL

## INTRODUCCIÓN

El procesamiento de sólidos es una de las más importantes actividades de la industria, en especial en el área de los alimentos y la construcción. Existen infinidad de procesos pero nos centraremos en algunos de los más importantes para convertir los sólidos, de materia prima, a materiales utilizables en la satisfacción de necesidades.

### 3.1 PULVERIZADO Y MOLIENDA.

El proceso más difundido de todos los procesos a los que se someten los sólidos es la reducción de tamaño o molienda. Los procesos alimenticios o de producción de materiales para distintos usos necesitan una uniformidad en el tamaño de partícula, por lo que las partículas después de ser molidas son clasificadas según su tamaño. Existen dos tipos de molienda: gruesa y fina, según sean sus aplicaciones en la molienda gruesa, generalmente se pasa el material por una criba que veremos en otro inciso.

#### 3.1.1 QUEBRADORES DE QUIJADAS.

A través de los años, ha habido un buen número de variantes, pero los diseños más comunes han incorporado una quijada vertical, o con alguna inclinación, fija y otra móvil que es accionada por una o dos tenazas<sup>4</sup>.

Un molino de tenazas dobles como el mostrado en la figura 52 está especialmente diseñado para aplastar materiales duros, tenaces y abrasivos. El eje excéntrico que opera un brazo ajustable acciona las tenazas de la quijada. El molino de quijadas de una sola tenaza es utilizado para aplicaciones menos pesadas, y ha estado sustituyendo al molino de dos tenazas por su bajo costo inicial; sin embargo tiende a gastar más las caras de las quijadas por su movimiento vertical.

---

<sup>4</sup>Ref. Anderson C., H. W. pp3.

Fig. 52  
Molino de tenazas  
dobles

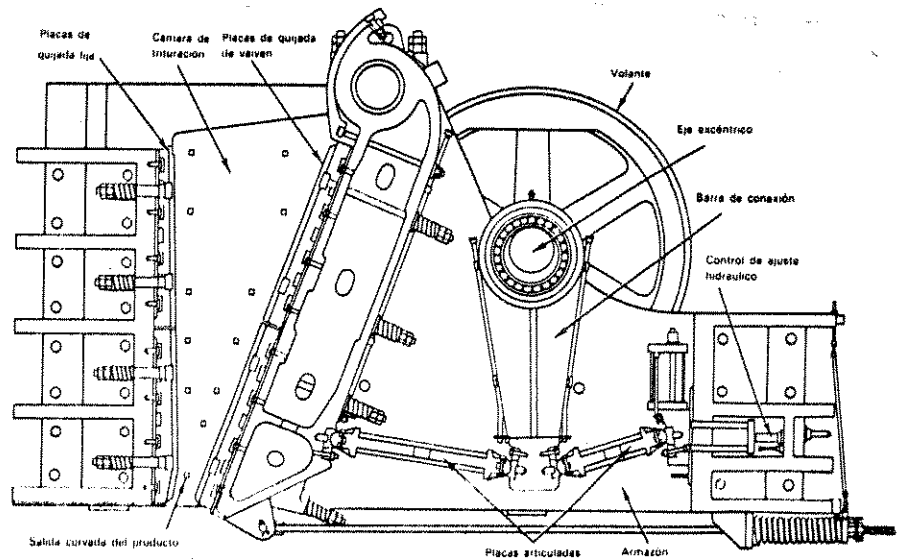
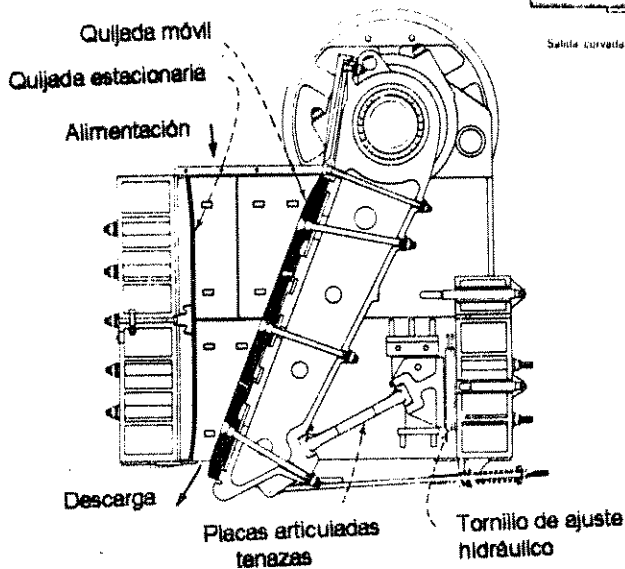


Fig. 53.  
Molino de tenazas  
sencillas

### 3.1.2 MOLINOS GIRATORIOS.

Este tipo de molinos pueden ser de dos tipos: de eje fijo y cabeza pivotante o viceversa. El primero de estos consta de una cabeza en forma de canasta, que tiene una manga larga y excéntrica que gira sobre un eje fijo, esto provoca un golpe uniforme de destripamiento lo que produce un alto grado de deformación en las partículas, antes de causar fractura en ellas.

El otro tipo de molino tiene un eje pivotante que es accionado por una excéntrica que recibe potencia a través de un eje con transmisión de noventa grados. Para lograr una ilustración, mostramos los dos tipos de molino en las figuras.

Fig. 54  
Molino giratorio

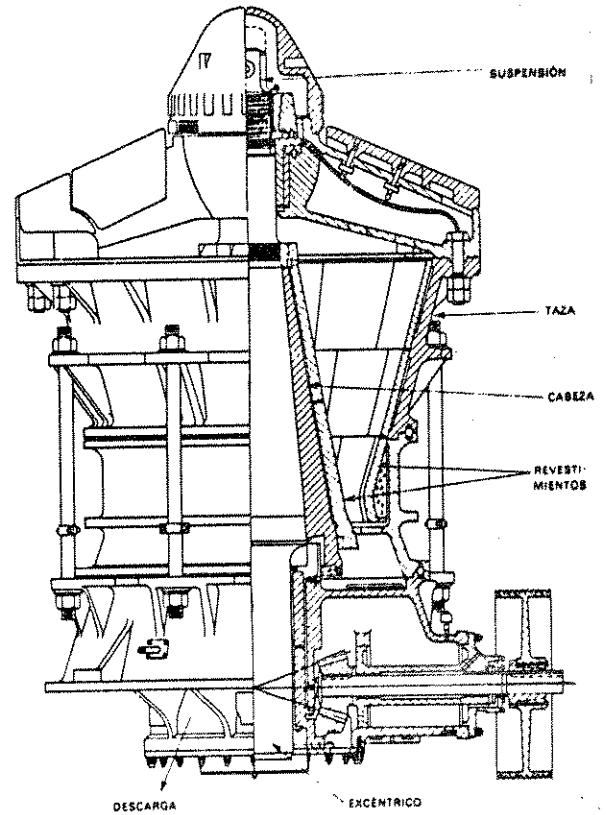
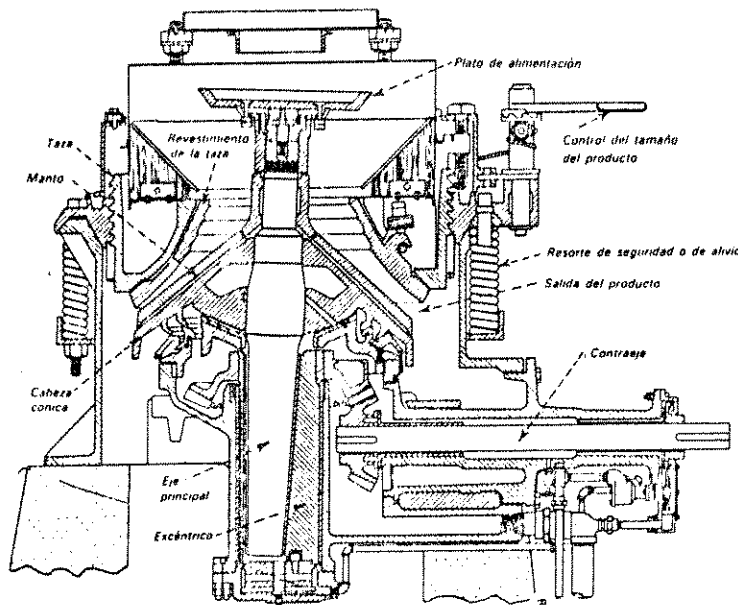
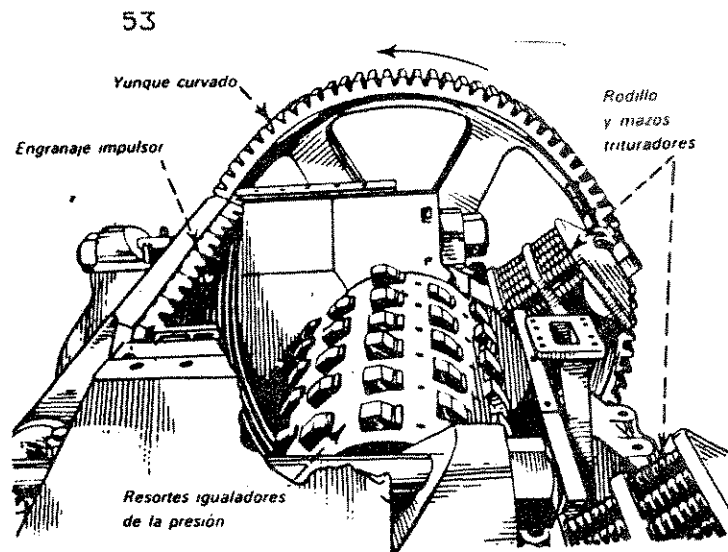


Fig. 55. Molino giratorio  
pivotante

### 3.1.3 MOLINOS DE RODOS.

Consta este tipo de molino de dos rodos separados por una tolerancia definida por la cual se hace pasar en forma de cascada, las partículas que se desea moler, puesto que constan de ejes largos, se instalan unidades moledoras en línea, dotadas de separadores de tamaño, en la entrada de cada una. De esta manera se pueden alcanzar reducciones sucesivas hasta alcanzar altos grados de fineza en las partículas.

Fig. 56  
Molino de rodos



#### 3.1.4 MOLINOS DE IMPACTO.

Los molinos de impacto, esencialmente son máquinas con rápidos martillos rotantes dentro de una carcasa. Varían en los diseños y algunos se construyen con diferentes características, mas sin embargo el principio regularmente es el mismo. Este tipo de molino puede reducir las partículas en un rango mucho mas alto que otros tipos de molinos. Sin embargo, la reducción lleva a una alta producción de finos y las partículas logran un tamaño muy variable. En los procesos donde se desea este tipo de reducción o se acepta esta variabilidad, este tipo de molino puede ser instalado sin mucho costo y el resultado de la molienda tiende a ser mas cúbico.

Entre los factores que pueden disminuir el rendimiento de un molino de impacto estan la facilidad de algunos materiales a formar masas pegajosas dentro de la cámara de molienda o la inclusión de materiales abrasivos que dañen los componentes de la máquina. Para lo cual puede agregarse agua al material aumentando su fluidez<sup>3</sup> y pasar los materiales por un magneto que atraiga los materiales ferrosos antes de entrar al molino.

---

<sup>3</sup>Ref. McNaughton., K. pp178

Fig.57  
Molino de martillos

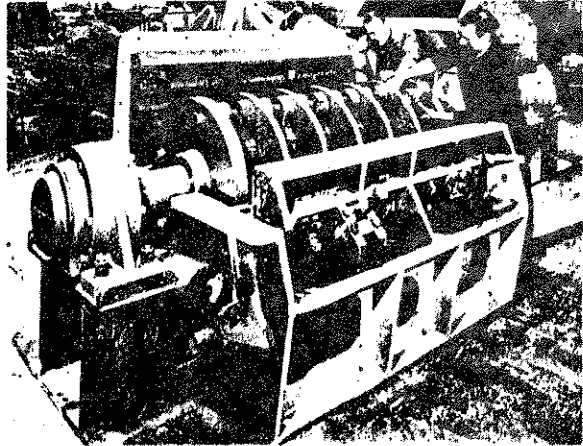
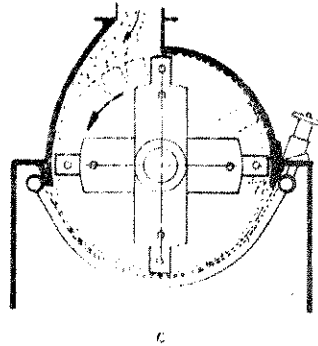


Fig. 58  
Rodete de martillos\*



### 3.1.5 MOLINOS DE BOLAS.

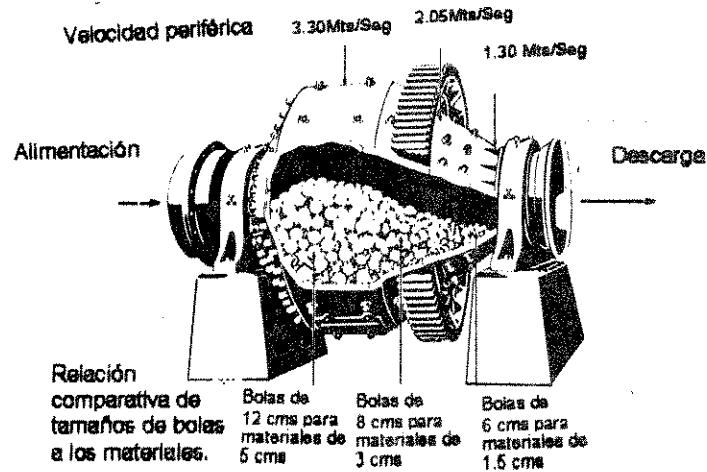
Este tipo de molino consta de un cilindro recto de más o menos igual diámetro, que longitud por donde se introduce el material, junto con las bolas o pelotas de material más denso luego se le hace girar. En ocasiones el material de las bolas también es usado en el proceso y con la acción de las partículas más densas pulveriza las partículas de baja densidad. Tienen un alto grado de consumo de potencia pero la inversión por unidad de volumen es baja.

---

\*Ref. Handling agricultural materials. S.R.M. pp13.



Fig. 59.  
Molino de bolas



### 3.1.6 ENERGÍA NECESARIA PARA LA MOLIENDA.

La energía para moler un determinado material ha sido objeto de investigaciones de laboratorio, con el objeto de poder predecir la cantidad de energía que se necesita para procesar un determinado peso o volumen del material. Debido a las pérdidas mecánicas y eléctricas de la maquinaria, es necesario utilizar factores de seguridad que aseguren que la maquinaria cuenta con la capacidad suficiente.

Si  $E$  = trabajo requerido para reducir una unidad de peso de alimentación con el 80% pasando a través de un diámetro de  $X_f$  micras hasta un producto con el 80% pasando a través de un diámetro de  $X_p$  micras, entonces

$$E = E_1 \frac{\sqrt{X_f} - \sqrt{X_p}}{\sqrt{X_f}} \sqrt{\frac{100}{X_p}}$$

donde  $E_1$  = índice de trabajo, o trabajo requerido para reducir una unidad de peso desde un tamaño infinito teórico hasta un 80% pasando por 100 micras. Este índice lo encontramos en:

Tabla 6 del anexo de Tablas  
Índices de trabajo promedio para varios materiales<sup>7</sup>.

<sup>7</sup>Ref. Perry, Robert H. y Cecil H. Chilton. pp8-12

El índice de trabajo es un coeficiente experimental que surge del análisis de resultados de laboratorio y del monitoreo de operaciones comerciales de trituración y molienda<sup>9</sup>. Existen ciertas reglas empíricas para extrapolar los índices de trabajo para condiciones diferentes a las que se midieron; para la molienda en seco el índice de trabajo debe incrementarse por un factor de 1.34 mas allá de la molienda en húmedo o mojado; para un circuito abierto se necesita un factor diferente a 1.34 adicional al que se midió en circuito cerrado; si el tamaño del producto  $X_p$  se extrapola debajo de 70m, un factor de corrección adicional es  $(10.3 + X_p) / 1.145X_p$ . De la misma manera, cuando se trata de un triturador de quijada o giratorio, el índice de trabajo se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$E_i = 2.59 \frac{C_s}{p_s}$$

en donde  $C_s$  = resistencia de trituración por impacto, pie-lb/pulg de espesor necesario para romperse;  $p_s$  = gravedad específica y  $E_i$  se expresan en Kw-h/ton.

Debido al carácter aleatorio de las partículas, ninguna ley de energía se aplica perfectamente bien en la práctica, y no se ha logrado encontrar un punto de partida para desarrollar una mayor comprensión de, o un dominio más amplio de las operaciones de molienda.

La mayoría de los primeros artículos publicados por investigadores de la materia que respaldaron alguna ley de la extrapolación de distribuciones de tamaño hasta tamaños muy finos, suponiendo la aplicación de algunas leyes de distribución de tamaño. Esto crea cierta confusión al analizar tamaños mayores con las técnicas de análisis de tamaño de las partículas que prevalecen en la actualidad, que se aplican hasta los tamaños mas finos, tal confusión ya no es necesaria.

<sup>9</sup>Ref. Perry, Robert. H. y Cecil H. Chilton. pp8-12

### 3.2 SEPARADORES DE SÓLIDOS.

La utilización de métodos de concentración de sólidos ha pasado a ser muy importante para la industria, en general pues, muchas materias primas se han escaseado de manera apremiante. Esta situación obliga a reprocesar materiales y separar - componentes muy escasos dentro de volúmenes grandes de materias primas. Por otra parte, muchos materiales de valor, en su estado natural, están mezclados con materias de gran abundancia y poco valor.

#### 3.2.1 CLASIFICACIÓN.

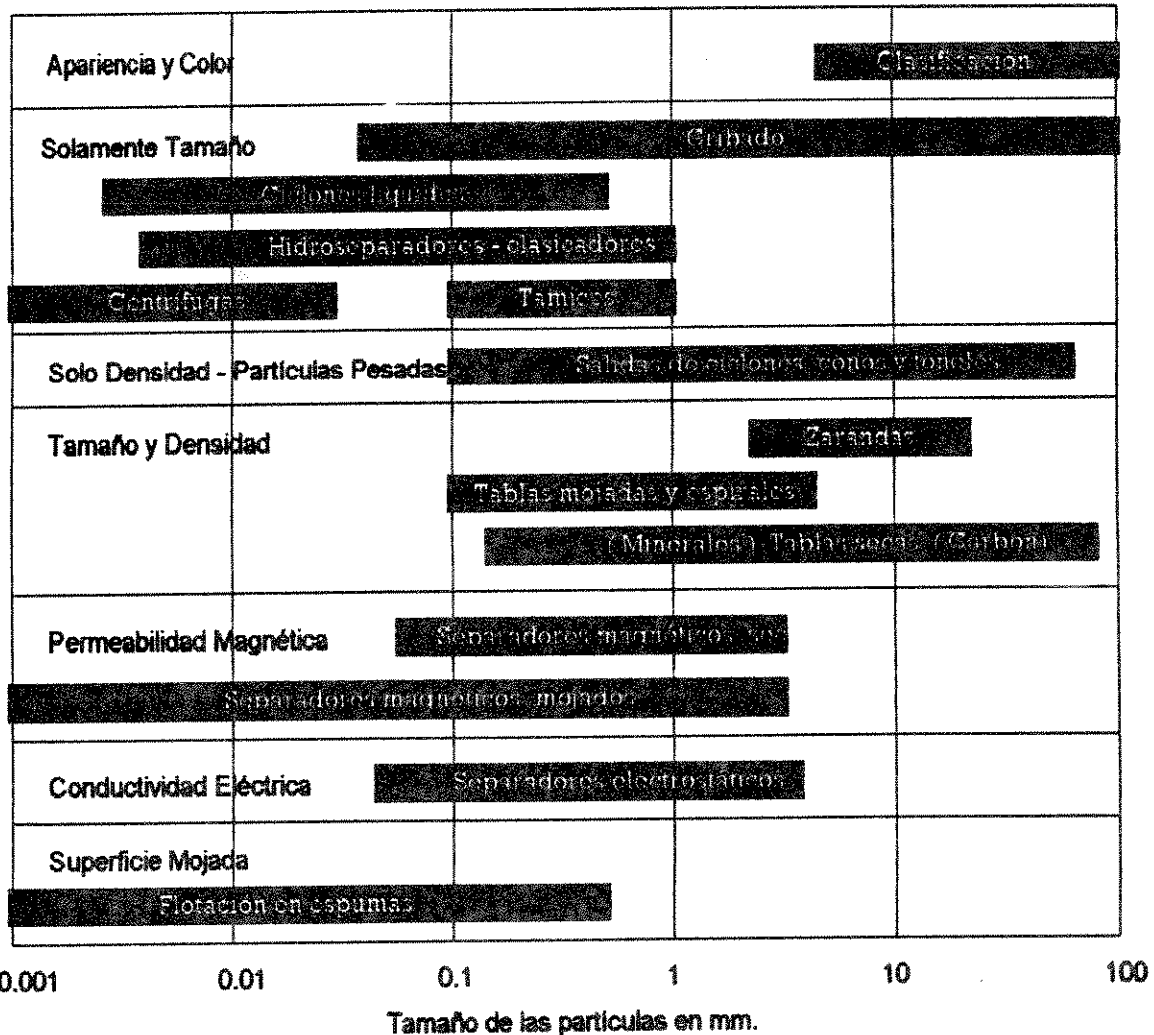
Cuando se separan dos sólidos de distintos tipos, existe siempre una concentración de los distintos componentes. Para efectuar esta separación es necesario clasificar los distintos tipos de materias que se encuentren en un determinado sólido. Muchas clasificadoras están diseñadas para separar sólidos de un determinado tamaño o para separar sólidos de líquidos.

Métodos de concentración de sólidos incluyen procedimientos de separación de mezclas para obtener un concentrado de mayor valor. Este mejoramiento se lleva a cabo, generalmente, por medio de un método mecánico, en vez de métodos químicos.

Las mayores aplicaciones de estos métodos de separación son utilizadas en el procesamiento de minerales. Los nuevos métodos y equipos están desplazando a los equipos tradicionales para separación de no minerales.

TABLA No. 2

TABLA DE ATRIBUTOS FÍSICOS DE CONTROL.



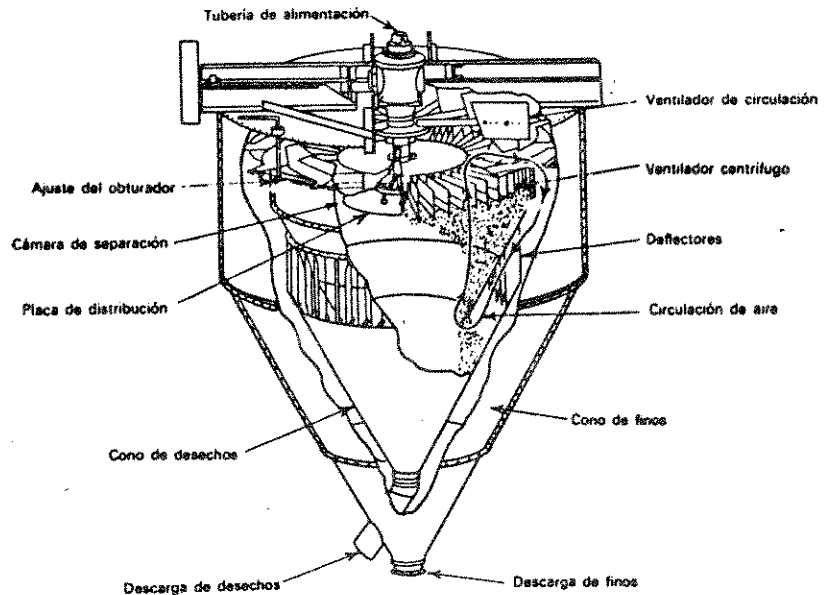
Las líneas negras indican los rangos de tamaño en los que las técnicas de separación sólido-sólido pueden ser aplicadas.

### 3.2.2 HIDROSEPARADORES.

Las unidades hidráulicas son particularmente útiles en la preparación de la carga de operaciones de concentraciones por gravedad. Esta maquinaria consta básicamente de un tanque donde se mantiene una cama revuelta (fluidizada), con agua limpia inyectada desde el fondo por medio de una placa de constricción o múltiples chorros. Existen algunos hidroseparadores que utilizan una sola cámara, sin embargo existen otros que utilizan varios

compartimientos que caen unos con otros internamente teniendo cada uno diferentes rangos de agua. La salida se da por medio de un sifón. La separación es muy efectiva y muestra una decisiva concentración de minerales pesados. Este efecto es de gran ayuda para concentraciones por gravedad subsecuentes como tablas agitadoras.

Fig. 60  
Hidroseparadores



### 3.2.3 CENTRIFUGADORAS.

Los separadores centrífugos ofrecen varias ventajas sobre otros tipos de separadores; el tamaño de la máquina es considerablemente mas pequeño y es posible hacer separaciones hasta de 5 micrones.

Un ciclón sólido/líquido es un recipiente de forma cónica-cilíndrica, el cual se le provee de una entrada tangencial cerca de la base para la introducción de la carga de lodo. El lodo que entra al ciclón, rota a una alta velocidad. Este efecto establece una fuerza centrífuga en el vórtice donde las partículas pesadas se mueven hacia la pared del ciclón moviéndose hacia abajo y descargando por la abertura del fondo, las partículas más pequeñas se mueven hacia el centro del vórtice y son descargadas por un rebalse en la parte superior del ciclón.

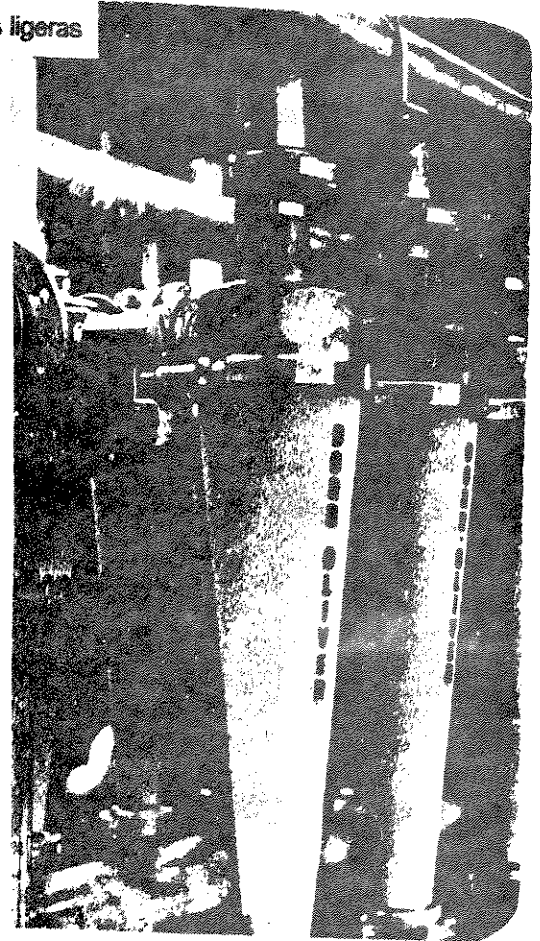
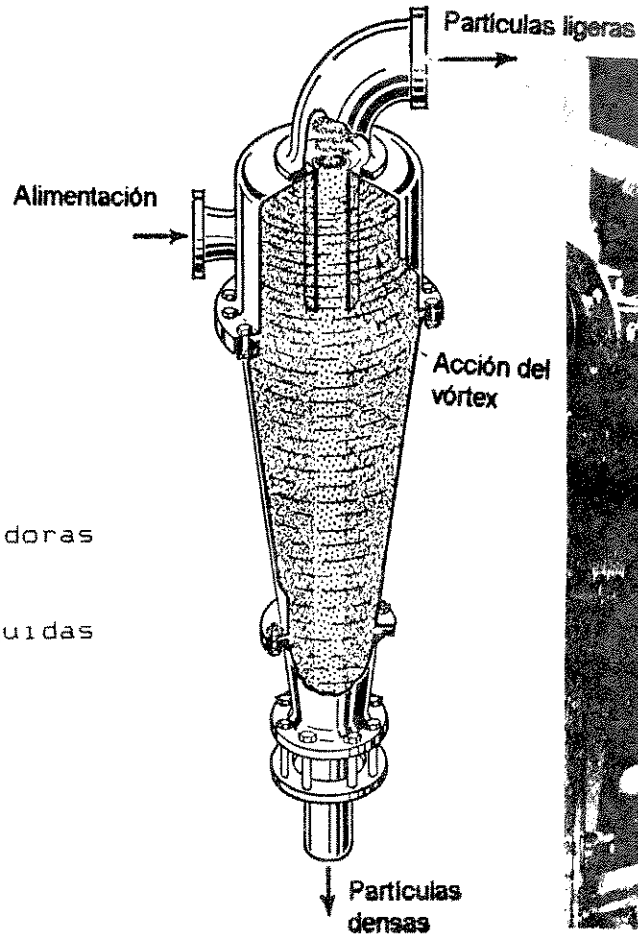


Fig. 61.  
Centrifugadoras  
de mezclas  
sólido-líquidas

### 3.3 CRIBADO.

Es el proceso de clasificar las partículas de un sólido por su diferencia de tamaño, forma o peso; pasándolas a través de una lámina con agujeros de distintos tamaños o una malla de alambre metálico. Este proceso de simple definición esta sumamente difundido en la industria y debido a su amplio uso se han desarrollado técnicas especiales de cribado para lograr diferentes aplicaciones. Describiremos sus principios y algunos de los factores que inciden en las diferentes aplicaciones.

**TABLA No. 3**

Tabla de tipos de operaciones de cribado.

Operación y su descripción.

Tipo de criba.

<p><b>Rascado-</b> Estrictamente la remoción de una pequeña cantidad de partículas fuera de tamaño en una alimentación donde predominan los finos. Típicamente la remoción de fuera de tamaño de una alimentación con aproximadamente un máximo de 5% de sobretamaño y un mínimo de 50% mitad de tamaño.</p>	<p>Basta, ancha intermedia y fina: la misma utilizada para separaciones.</p>
<p><b>Separación Basta-</b> Hacer separaciones de 4 mesh y mayores.</p>	<p>Cribas vibratorias, horizontales o inclinadas.</p>
<p><b>Separación, intermedia-</b> Hacer separaciones menores de 4 mesh y mayores de 40 mesh.</p>	<p>Cribas vibratorias, de alta velocidad, tamices centrifugadores y mangas estáticas.</p>
<p><b>Separación fina-</b> Hacer una separación más pequeña que 40 mesh</p>	<p>Alta velocidad, en cernidoras y centrifugas. Mangas estáticas.</p>
<p><b>Drenado de Agua-</b> Remoción de agua en una mezcla de sólidos-agua. Generalmente limitado a 4 mesh y mayores.</p>	<p>Vibradores horizontales, inclinado (alrededor de 10°) y cribas centrifugas. Mangas estáticas.</p>
<p><b>Remoción de Basura-</b> Remoción de materiales extraños de una alimentación de material procesado Es una forma de rascado. La criba dependerá del rango de tamaño del material procesado.</p>	<p>Cribas vibratorias, horizontales o inclinadas. Cribas Zarandas y Centrifugas. Mangas estáticas.</p>

<p>Otras aplicaciones- Transporte, recuperación de la media, concentración.</p>	<p>Cribas vibradoras, horizontales o inclinadas. Cribas zarandas o centrífugas. Mangas estáticas.</p>
---	---

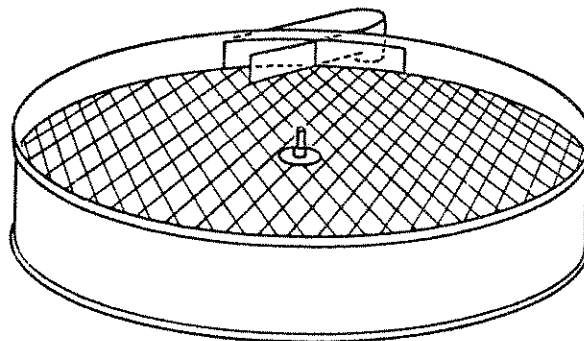
### 3.3.1 FUNDAMENTOS DEL CRIBADO.

Una criba consiste en una superficie plana con agujeros de diferente tamaño. Estos agujeros pueden ser cuadrados, rectangulares redondos o espaciados - intermitentes o continuos. La superficie esta enmarcada en un bastidor rígido al cual se le aplica una fuerza vibratoria. Existen algunas cribas o zarandas a las cuales se les aplica la fuerza directamente a la superficie del tamiz.

Los materiales a ser clasificados son situados sobre la superficie en movimiento. Para mejorar la eficiencia la superficie esta generalmente inclinada, o la línea de acción de la fuerza motriz esta ligeramente inclinada de la vertical de modo que el componente horizontal podrá mover las partículas a lo largo de la superficie. Este movimiento permite que cada partícula pueda ser presentada a un número de aberturas, y al ser dispersada a lo largo de la superficie da espacio a que otras partículas puedan tambien ser presentadas.

Para el promedio de operaciones de cribado, una eficiencia del 85 al 95% es aceptable. El incremento de la precisión de la criba es inversamente proporcional a la capacidad de la maquinaria.

Fig. 62  
Criba circular





### 3.3.2 FACTORES QUE INFLUENCIAN LA SELECCIÓN.

Para reducir el número de alternativas aceptables y llegar a una selección final, existe la necesidad de más información específica sobre el proceso, el material y los resultados deseados.

La información a ser generada por el operador cae dentro de alguno de los grupos siguientes:

1. Material procesado.
2. Flujo del proceso.
3. Tipo de operación de tamizado.
4. Limitaciones físicas de la planta.
5. Preferencias de equipo de los operarios.

#### TABLA No. 4

Tabla de Factores que influyen la selección.

Factor	Datos Requeridos	Ref.Fig No.	Comentarios
Capacidad de la Criba Cu	Nombre, Descripción y peso del material manejado	Tabla A	Si el material a ser cribado no se encuentra en la curva, usar la curva de piedra y modificar la densidad.
Factor de Finos Ff	% de mitad de tamaño	Tabla B	Provee una comparación de la dificultad de separación.

Factor de sobretamaño $F_s$	% de sobretamaño	Tabla B	Provee una tolerancia para estratificar. Se puede utilizar 2 Cm en un rango del 70 al 90% si la criba es suficientemente ancha.
Eficiencia $F_e$	% de eficiencia deseado	Tabla B	Separación de gruesos es usualmente 85%. Rango de separación es de 80 a 95%.
Tamices $F_d$	Número de separaciones	Tabla C	Deja área perdida en tamices inferiores.
Criba mojada $F_m$	Tamaño del agujero	Tabla D	Cuando la relación entre agua y alimentación es de 3 a 5
Área de agujero $F_{oa}$	% de área abierta del tamiz a usar.	Tabla E	Cuando la capacidad varía directamente con el cambio de área.

Agujeros en forma alargada Fs	Figura del agujero y relación largo/ancho	Tabla F	Cuando la parte larga del agujero es paralela al flujo y en línea con el movimiento de la criba, la capacidad es mayor.
Regla del 40% A= $0.40 Ct$ Cu Fw Foa Fs	% de alimentación menos de tamaño del agujero	-----	Debe usarse cuando 40% o menos de la alimentación es menor que los agujeros para operaciones de recribado.

Cu =

Capacidad

Ton/hr \*

sq.Ft

A = área en pies<sup>2</sup>

Ct = alimentación

Tons/hr.

\* Adaptado de los datos elaborados por Hewitt-Robbins

### 3.3.3 MATERIAL PROCESADO.

En el diseño de equipos para cribado de materiales, es necesario describir el material procesado con respecto a determinados parámetros. El nombre del material y sus propiedades químicas deben ser conocidas por los diseñadores de equipos para lograr encontrar las propiedades que afectaran el diseño. Generalmente, existen diferencias entre los materiales y también similitudes por lo que una muestra representativa es muy conveniente.

Las propiedades de los materiales que deben ser tomadas en cuenta para realizar un diseño práctico son:

1. Distribución de tamaño de partículas. Esta propiedad es fundamental para dimensionar correctamente la unidad de cribado,

así como la criba a instalar. En comparación con las especificaciones deseadas, el grado de dificultad para lograr la especificación puede ser anticipado. En algunos casos, productos de la criba tienen las especificaciones correctas; en otros casos, separación en fracciones específicas seguido de algún procedimiento de ablandamiento.

2. Gravedad específica del material. Esta propiedad provee una forma de relacionar el material a otro en instalaciones similares y permite calcular el desempeño en base al peso.

3. Densidad, a granel (peso en términos de densidad por volumen). Permite la determinación del volumen de flujo y una medida de la carga a ser soportada por la criba.

4. Contenido de humedad (% de agua, por peso). Esta información además de datos en el proceso que sigue al cribado, hará posible escoger entre cribado seco, húmedo o mojado. En algunos casos de cribado en seco, cuando el contenido de humedad es bajo, la selección de un medio de cribado adecuado eliminará los problemas. Secar antes el material, usando cedazo calentado o cribar en mojado agregando agua por medio de rociadores son métodos efectivos cuando se procesa en húmedo.

5. Características abrasivas del material. Esta propiedad tiene una gran influencia en materiales de construcción pasados por cribas. También tiene efecto en métodos de carga, colección y transporte de materiales.

6. Características corrosivas del material. Esta propiedad determina los materiales de construcción de los elementos que constituyen la criba. Esta propiedad tendrá gran influencia en la escogencia de cribado seco o mojado.

7. Ángulo de reposo. Afecta el diseño de las tolvas de alimentación y descarga.

8. Ángulo de deslizamiento en varios materiales que constituyen la criba, para minimizar paradas o barreras al material.

9. Figura de la partícula. Partículas largas o en forma de agujas, redondas, ovaladas o cúbicas; todas tienen diferentes características de cribado. Esta característica puede ser de gran

influencia en la selección del tamiz de la criba.

### 3.3.4 CRIBAS CIRCULARES.

La utilización de cribas circulares de vibración, para separar sólidos de sólidos y sólidos de líquidos es muy difundida. Estas máquinas pueden separar la mayoría de materiales en un rango de 45  $\mu\text{m}$  a 1/2 pulg. encontrados en industrias químicas de proceso. Materiales muy finos que recogen cargas de electricidad estática, como tamo, harinas o epóxicos, es preferible separarlas con otro tipo de equipo. Partículas de naturaleza regular, sin extremos en su tamaño son manejadas con mayor facilidad.

Debido a la versatilidad y a los relativamente bajos costos, cribas vibratorias de separación han tenido un uso extendido en los últimos 20 a 30 años. Algunas unidades antiguas son parte de líneas de producción que deben de ser mejoradas ya sea por incremento en su capacidad o por mejoramiento de la calidad del producto o por ambos.

Este mejoramiento, usualmente puede obtenerse modificando las cribas vibratorias disponibles, en vez de comprar equipo nuevo.

Para entender mejor como mejorar estas máquinas, debemos ver como trabajan y modificarlas para flujos más grandes y diferentes tamaños de partículas.

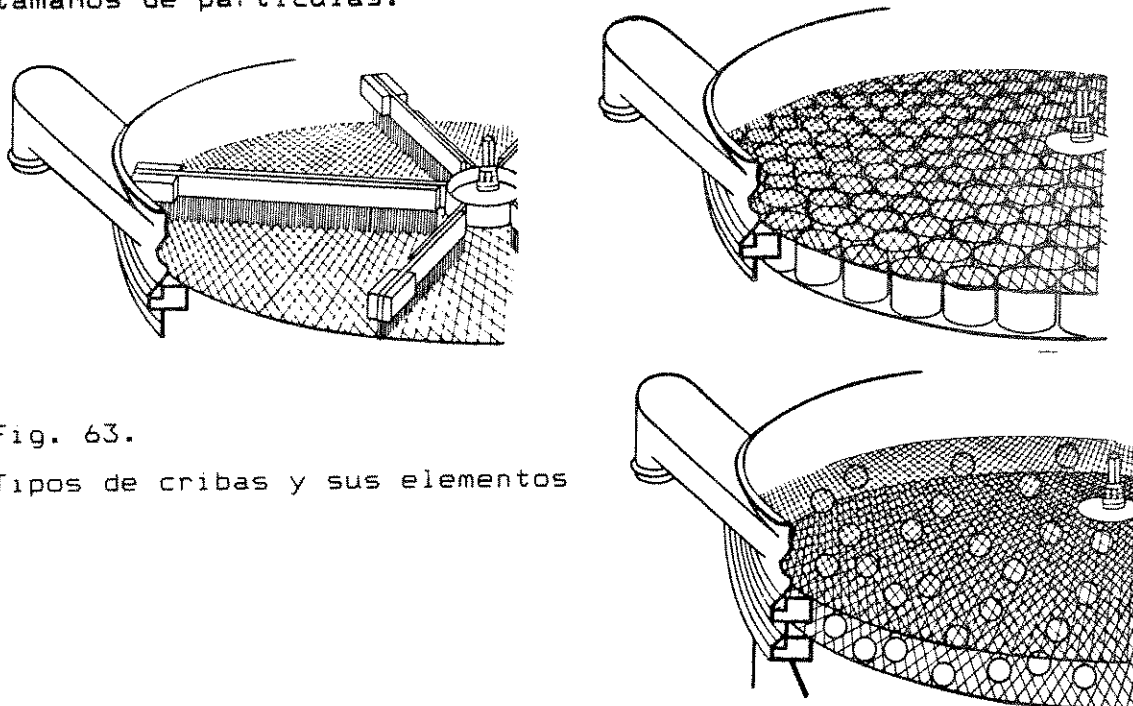


Fig. 63.

Tipos de cribas y sus elementos

### 3.4 MEZCLADO.

El proceso de mezclas para la industria de materiales sólidos es uno de los más difundidos. Generalmente, se lleva a cabo en forma artesanal, sin embargo puede llegar a tecnificarse en gran manera. Aquellas industrias que se dedican a producir alimentos, drogas, vidrio, pinturas y otro tipo de productos son usuarios dependientes de los procesos de mezclado. El mezclado y homogeneización de sólidos, no solamente es muy común en la industria sino también se tiene una larga historia de productos que se han fabricado. Por ejemplo, la manufactura de la pólvora tiene centenares de años. Este proceso ha sido, sin embargo, poco investigado en sus fundamentos. Regularmente los usuarios de este tipo de proceso confían en los conocimientos adquiridos a través de la experiencia, esta ha sido una de las razones, de la escasa investigación. Otra razón es el alto rango de variabilidad en las propiedades de flujo de los sólidos secos los cuales son difíciles de definir en términos cuantitativos. Los resultados obtenidos en un sistema no necesariamente son aplicables en otro similar. Para lograr un mezclado efectivo se debe tener en cuenta algunos criterios, por ejemplo:

#### Grado de mezclado

Un solo criterio de mezclado es difícil de aplicar pues existen diversidad de objetivos para el mezclado. Diversas personas que entran en contacto con el proceso varían en sus apreciaciones del grado de mezclado deseado. Para ser útil y práctico un valor de mezclado la definición de una mezcla satisfactoria debe estar relacionada tan cerca como sea posible a las propiedades especificadas de la mezcla final, que sirve como standard, para poder determinar fácilmente su valor, y ser adaptable a una gran variedad de materiales.

Una definición de este tipo es realmente muy difícil de obtener sin embargo nos puede servir para dictar parámetros para mezclas comunes.

A. La mezcla ideal. Si se toman un número determinado de muestras de un material mezclado y las muestras son idénticas entre si, se puede decir que los componentes en la mezcla estén perfectamente

mezclados. Esta definición esta limitada por diferentes propiedades de los sólidos.

B. Conceptos estadísticos para determinar el grado de mezclado.

1. Frecuencia de la distribución.
2. La media aritmética.
3. La moda.
4. La mediana.
5. La desviación estándar.
6. La varianza.
7. Usos de la desviación estándar.
8. Los límites de confianza.

C. Muestreo. Las muestras que se toman de un material mezclado deben ser representativas de la generalidad.

D. Análisis de muestras. El análisis de muestras se realiza generalmente sobre la información que se puede observar en el material, lo cual puede ser color, conductividad, distribución de tamaño, características de solubilidad, etc.

Mecanismos de mezclado.

1. Movimiento convectivo a granel de grupos de partículas, que es análogo a la turbulencia en los líquidos.
2. Movimiento de difusión y distribución de partículas, que tiende a separarlas entre si, es análogo a la difusión en los líquidos.
3. Movimiento de capas de material en un grupo de relativamente poco movimiento, que es análogo al flujo laminar de los fluidos.

Equipo.

Se presentan a continuación las figuras básicas de las mezcladoras de sólidos.

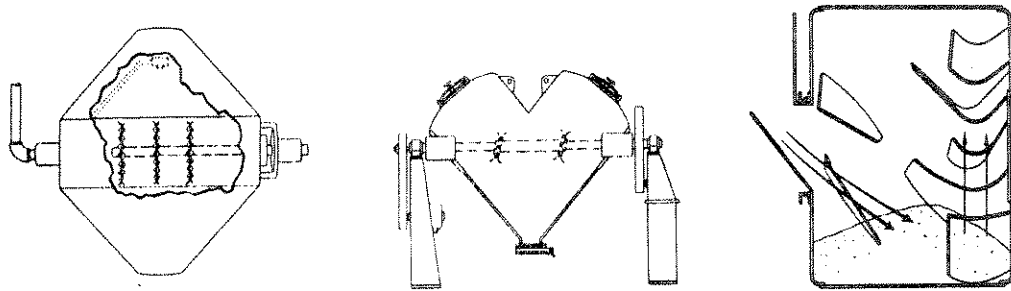
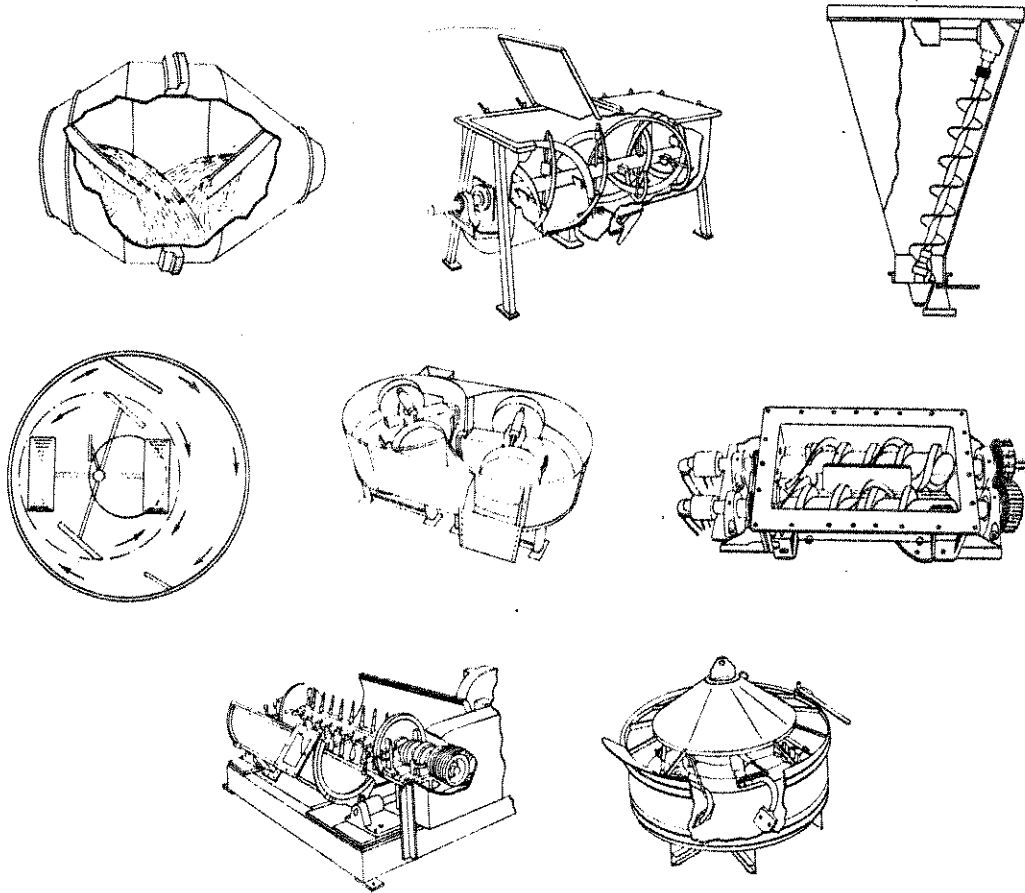


Fig. 64. Tipos de mezcladores

Fig. 64 ( Continuación )



### 3.4.1 MEZCLADORES DE PANTALONES.

Este tipo de mezcladores, que tienen la forma de una letra "V", y son llamados así, tienen un gran uso en la industria para preparar mezclas de volúmenes pequeños y en general de producción intermitente. Proporcionan un excelente método de mezclado, pues por las figuras geométricas que participan en el mezclado, se dan condiciones cinemáticas y dinámicas para que este se lleve a cabo. Al sistema se le pueden hacer arreglos para agregar líquidos a la mezcla, y también para romper aglomerados de sólidos.



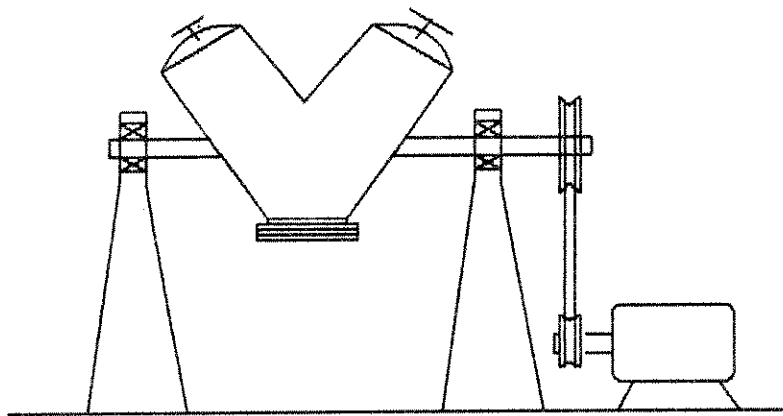


Fig. 65 Mezcladores de pantalones

### 3.4.2 MEZCLADORES DE TORNILLO SIN FIN.

Este tipo de mezclador consiste en uno o mas tornillos helicoidales, montados en forma vertical, dentro de un tanque con fondo cónico. Los sólidos son transportados por el movimiento rotativo de los tornillos, los introduce en un tubo y luego en el tope del tanque son lanzados a las paredes y resbalan despacio hacia el resto del material.

Existen ciertas ventajas de los mezcladores de tornillo en comparación con otros tipos de máquinas de mezclado.

1. Menor costo inicial para la misma capacidad.
2. Menor consumo de energía.
3. Menor espacio de piso.

Sin embargo, a través del uso prolongado, se encuentran las siguientes desventajas.

1. Menor producción por tiempo de mezclado mas prolongado.
2. Producto menos uniforme.
3. Materiales húmedos o masas son mas difíciles de manejar.
4. Se da mucha contaminación de un lote a otro.

Una de las razones para un producto menos uniforme son las trayectorias desiguales que siguen las partículas en la salida del tornillo. Las partículas más pesadas son tiradas más lejos por el tornillo que las partículas mas livianas. De cualquier

manera se pueden instalar deflectores para disminuir esta segregación.

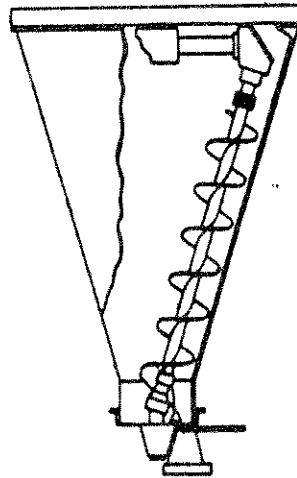


Fig. 66  
Mezcladores de tornillo

### 3.4.3 MEZCLADORES DE LISTÓN.

Mezcladores de listón han sido usadas por varios años en diferentes aplicaciones. Este tipo de equipo consta de dos listones de metal en forma de espiral girando dentro de un tanque de metal con fondo redondo y paredes verticales. Según sea el arreglo de los listones, el listón de afuera mueve los sólidos en forma axial, en una dirección mientras el listón interior mueve los sólidos en dirección contraria. De todos modos el mezclado axial es mas lento que el mezclado radial.

Para minimizar que los sólidos se queden parados en las paredes de la mezcladora, los listones o paletas exteriores deben pasar muy cerca de la pared para mantenerla continuamente limpia. Alguna partición en las partículas puede ocurrir por las grandes fuerzas que actúan sobre ellas por en medio de los listones y cerca de las paredes adyacentes. Los mezcladores de listón son efectivos para materiales sueltos de fácil fluidez y pueden ser adaptados para introducir líquidos a la mezcla por medio de rociadores.

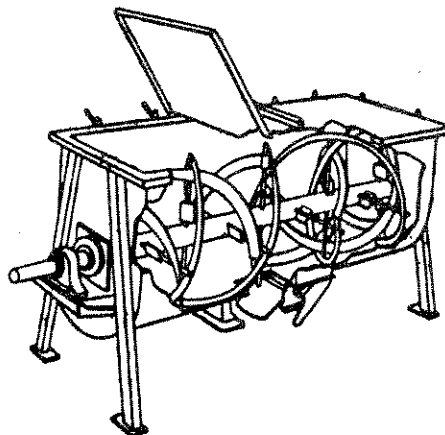


Fig. 67  
Mezcladores de listón

### 3.5 GRANULACIÓN DE SÓLIDOS.

Al utilizar sólidos en un proceso, generalmente se necesita uniformidad de tamaño en el grano, así en la mayoría de casos se reduce el tamaño, más sin embargo, en ocasiones es necesario lo contrario, aumentar el tamaño de la partícula. Para el efecto se utilizan una serie de máquinas que dan forma a los sólidos de manera que aumentan el tamaño de la partícula.

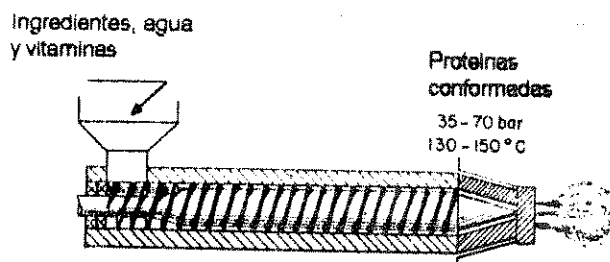
Cada partícula de sólido debe tener características determinadas, tanto en su consistencia, como en su composición. De la consistencia dependen propiedades tales como su flotabilidad, su solubilidad y su comodidad en la utilización. De su composición depende la función para la cual ha sido creada la fórmula de la sustancia y la composición, esta directamente relacionada con la calidad del mezclado. Puesto que es posible utilizar vapor para la elaboración de las píldoras, estas salen cocidas por lo que son sumamente higiénicas. Este proceso se lleva a cabo en dos maneras:

#### 3.5.1 EXTRUSORAS.

Este proceso consiste en hacer pasar por un dado con la forma de un perfil dado, el sólido que se desea granular, por medio de un tornillo sin fin, especialmente diseñado para gran presión. En la cámara de compresión o cañón se alcanzan altas temperaturas. Sin embargo, si se desea mayor esterilización es posible calentar el comprimido, con vapor o resistencias eléctricas. Una hélice en contacto con el frente del dado corta

los gránulos a la medida dependiendo de la velocidad de la misma.

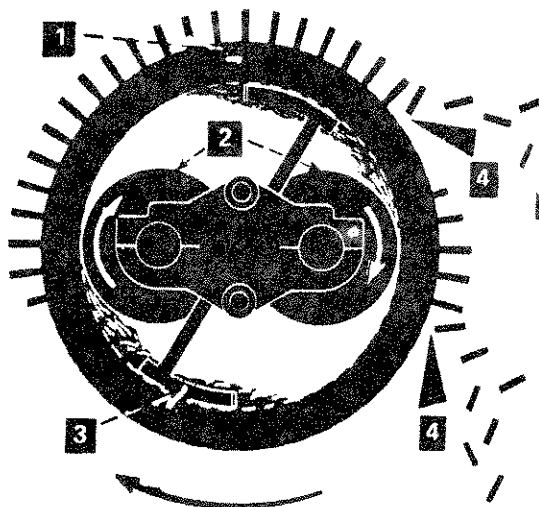
Fig. 68.  
Extrusoras



### 3.5.2 PREBIÓN CIRCULAR.

Este tipo de maquinaria actúa de manera similar a la extrusora pero su funcionamiento es distinto. En esta máquina gira un dado circular, en forma de anillo, que cuenta con agujeros en dirección radial en su exterior, por los que pasa el material que es forzado por dos ruedas que giran dentro del dado o anillo. Cuchillas instaladas en ciertos puntos cortan el tamaño del gránulo. Las ruedas interiores, que fuerzan el material hacia afuera del dado, necesitan una fuerza friccionante para girar por lo que un desajuste llevara a un funcionamiento errático del equipo.

Fig. 69.  
Perdigonera de presión  
circular



CAPITULO IV  
SEGURIDAD EN MANEJO DE SÓLIDOS

## INTRODUCCIÓN

Debido a que el manejo de sólidos se lleva a cabo con una gran cantidad de equipos mecánicos móviles, controlados a distancia; una persona ajena al funcionamiento de este tipo de máquinas corre el riesgo de exponer sus miembros a piezas que en un momento dado pueden ponerse en movimiento con gran potencia. Además, los mismos equipos pueden dañarse al sufrir algún desperfecto y aunque esto es secundario también se han tomado algunas precauciones para ello. El objeto de este capítulo es dar a conocer algunos lineamientos que deben ser atendidos para la construcción y manejo de este tipo de equipos y que son muchas veces repetitivos para otros campos de la ingeniería.

### 4.1 ROTULACIÓN.

La utilización de rótulos de precaución y atención a los detalles de seguridad que deben cumplirse al hacer una inspección dentro de equipos móviles aún no es de extenso uso en Guatemala. Sencillos rótulos puestos en lugares estratégicos pueden evitar una gran cantidad de accidentes graves, estos rótulos deben dar una idea gráfica del accidente que puede ocurrir si al ponerse en funcionamiento la máquina alguien ha dejado dentro de sus partes móviles, manos, pies o alguna herramienta.

### 4.2 DISPOSITIVOS MECÁNICOS.

Actualmente, no es posible una verdadera producción a granel sin una gran cantidad de equipos mecánicos que manejen grandes cantidades de materiales. Entre esa variedad de equipos podemos mencionar:

- a) Carretas de mano o para empujar, carretones de dos o cuatro ruedas, deslizadores, montacargas manuales con palancas, etc.
- b) Camiones de volteo, carretones jalados mecánicamente, tractores, para mover materiales lateralmente.
- c) Camiones de palangana elevable, vehículos con gradas, montacargas, etc., para estibar y mover materiales.
- d) Grúas, polipastos, ganchos, elevadores y otros mecanismos de

elevación para levantar, bajar y transportar materiales dentro de límites fijos.

e) Transportadores mecánicos, transportadores por gravedad, resbaladero o canales.

f) Palas mecánicas, dragas y otro tipo de mecanismos de cavar y cargar.

g) Bombas.

A continuación mencionaremos una lista de operaciones o manejo de equipos que pueden resultar peligrosos sin las debidas medidas de seguridad.

Tabla No. 5

Operaciones que pueden generar accidentes

Operación	Peligros o Lesiones	Medidas Preventivas
Moviendo Carretones o camiones	Ser atropellado por un carro o camión.	Márgenes apropiados entre accesos y corredores y estructuras fijas; señales de atención a peligros y pasos de tránsito, iluminación y normas de tránsito.
Descarga de Carretones y Camiones.	Dobladuras, pinchazos o aplastamiento de manos o pies, golpes, halones, caídas, lesiones a la salud por inhalación de polvos, humos o químicos.	Herramientas y equipo apropiado; cuidadoso entrenamiento y supervisión del personal en métodos seguros de trabajo; equipo de protección personal; iluminación adecuada.

<p>Vaciando o limpiando carros tanques.</p>	<p>Asfixia o envenenamiento al entrar en los tanques; quemaduras de ácidos, caídas de los carros; explosión de gases inflamables; descargas eléctricas de las extensiones.</p>	<p>Análisis del aire dentro de los tanques; vaporización de los tanques, lavado a presión desde afuera o ventilación, uso de máscaras de aire, utilización de alarma salvavidas y vigilante en la entrada al tanque; entrenamiento, supervisión, escaleras, plataformas, herramientas apropiadas, extensiones eléctricas de seguridad, ropa de protección.</p>
<p>Apertura de pacas cajas o barriles de materiales.</p>	<p>Cortaduras y raspaduras de bordes filosos; estirones al levantar; heridas con herramientas.</p>	<p>Espacio de trabajo adecuado, herramientas apropiadas; entrenamiento; supervisión; orden y mantenimiento; protección de manos pies y espalda, iluminación.</p>



<p>Apilamiento y estibado de materiales.</p>	<p>Golpes por materiales que caen; estirones, caídas; aplastones de pies, heridas en los dedos.</p>	<p>Equipo para ayudar al apilamiento; desarrollo de métodos de acomodar materiales a las condiciones; entrenamiento en maneras apropiadas de levantar y apilar materiales; espacio adecuado de almacenaje, orden e iluminación.</p>
<p>Flujo de materiales y artículos a través del proceso.</p>	<p>Ser golpeado por un carretón, manos atrapadas debajo o entre artículos; empaques que caen en los pies, caídas sobre material suelto, estirones, ser atrapado por maquinaria de transporte motorizado en movimiento</p>	<p>Tráfico planeado y con rutas, pasillos definidos, entrenamiento y concientización de operadores de equipo motorizado, vehículos de tracción humana adecuados; adecuado espacio para cargar máquinas y vehículos, orden y aseo, guardas completas en todas las partes móviles; buen mantenimiento de equipo y pisos.</p>
<p>Preparación del embarque</p>	<p>Halcones, heridas por herramientas, caídas.</p>	<p>Orden, entrenamiento, equipo apropiado; espacio adecuado; supervisión.</p>

Manejo de ácidos, sodas cáusticas, sustancias peligrosas y volátiles.	Quemaduras, dermatosis, lesiones en los ojos, inhalación de humos tóxicos.	Equipo especial para manejar este tipo de sustancias; equipo de protección personal; personal entrenado especialmente; examinar individuos susceptibles.
Manejo de existencia o artículos en máquinas o procesos.	Abrasiones, cortadas, moretones y rasguños de manos y brazos; astillas en manos y brazos; heridas de pies; dermatosis ( particularmente en plantas químicas), lesiones en los ojos por partículas volando; quemaduras (soldando o forjando).	Guantes, protectores de cuero para manos y brazos; gabachas, zapatos punta de acero, lentes de seguridad, reducir manejo por mejoras en distribución en planta, sustituir sustancias tóxicas, métodos especiales de manejo para condiciones específicas.

#### 4.3 DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS.

Los equipos eléctricos e hidráulicas son, por lo general, la forma de distribución de potencia mas común en las industrias que manejan sólidos. Los motores eléctricos en especial son ampliamente difundidos en aplicaciones que requieran largos períodos de operación sin demasiados procesos de arranque y paro seguidos. Las fuentes de poder hidráulicas tambien tienen una amplia utilización en la industria, pero para aplicaciones de mayor par motor y con cambios de dirección de rotación y arranques y paros continuos. Los dispositivos descritos en este inciso se aplican

para motores de tipo eléctrico, sin embargo, la función que cumple el dispositivo se puede lograr en un dispositivo hidráulico con otro tipo de accesorios.

- Interruptores de seguridad en los motores y los registros de las máquinas que sean operadas a distancia. Cuando las industrias son de cierto tamaño, los transportadores y muchas de sus máquinas pesadas son operadas desde un centro de control central e incluso se instalan autómatas para un funcionamiento más automático. Este aspecto de operación crea la dificultad de no poder observar cualquier acción fuera de norma que se pueda dar en las inmediaciones de los equipos.

En los transportadores, por su longitud estos interruptores deben instalarse en: la plataforma de instalación del motor y en cada uno de los registros de las tapaderas de la cajuela del transportador, cuando el mismo no está abierto. Esta aplicación es idéntica a los elevadores. Estos interruptores de seguridad abren el circuito de mando del contactor y por ello detienen el motor.

- Detectores de movimiento en los ejes no motrices de elevadores y transportadores. Existe la posibilidad de que los equipos de transporte estén expuestos a sobrealimentaciones por muy diversas causas y generalmente el método de tracción para estos equipos consiste en fajas flexibles.

Cuando sucede un atascamiento en algún equipo, las fajas se deslizan sobre las poleas y si las mismas no se rompen se sobrecalienta el motor por exceso de amperaje, lo cual puede llevar a un corto circuito, pues es un sobrecalentamiento muy rápido para las protecciones de los motores. Por otro lado puede llegar a romperse o arrancarse alguna parte del equipo con consecuencias graves si este está elevado.

- Detectores de nivel para sólidos. Este tipo de dispositivos protegen en forma significativa los equipos, aceleran la producción y lo más importante, evitan accidentes. Estos detectores actúan, por medio de una hélice movida por un motor de muy baja

potencia y cuando el nivel de sólidos dentro del tanque llega al detector atasca la hélice que despega un contacto que abre el circuito del transportador que llena el tanque evitando así su rebalse.

Muchas veces estos dispositivos se instalan como medidor de vacío, dando la indicación de arranque a alguna máquina alimentadora y uno similar en el borde superior que detiene la máquina cuando se llena el tanque. Esta acción evita sobrecarga a los equipos que derivan en daños y accidentes. La posición de la instalación de los detectores de nivel debe estar muy bien estudiada, para asegurar completamente que la masa de sólido llegara a la posición de la hélice, sucede que por la forma de alguna compuerta o tubo de caída se forma un volcán cuyas laderas no llegan a cubrir el detector.

- Detectores de nivel de líquidos, son dispositivos de uso generalizado en aplicaciones de bombas, son de dos tipos de flotador o de electrodos (para agua). Su función es básicamente la misma que la de los detectores de nivel de sólidos, sin embargo cuando se manejan grasas o líquidos muy viscosos pueden trabarse o atascarse por lo que necesitan un mantenimiento mas continuo que los detectores que trabajan con agua y por lo tanto su confiabilidad es menor.

- Detectores de flujo en caídas y resbaladero. Este tipo de detectores dan información acerca de formación de cavernas o puentes en masas sólidas que se dan por diversas causas. Cuando un sólido fluye, ya sea impulsado por la fuerza mecánica de un transportador de paletas o por la fuerza de la gravedad el fluido de sólido tiene la fuerza suficiente para doblegar el resorte de un interruptor de fin de carrera al cual se le adapta una pieza en forma de bandera que hace resistencia al flujo pero que se deja vencer, operando el interruptor y por lo tanto dando la señal.

- Secuencias de flujo. Es el procedimiento normal de instalación de equipos de transporte en secuencia. Dado que un equipo entrega el material al otro, existen una infinidad de causas por las cuales se da una sobrecarga. Para prevenir accidentes los equipos

deben recibir un 5% menos de su capacidad para poder manejar situaciones de sobrealimentación.

Además deben estar conectados eléctricamente, por medio de los contactos auxiliares de los mismos, de modo que cuando en la secuencia de transportadores se pare uno, todos los demás que están atrás de él deben detenerse a su vez.

#### 4.4 PRECAUCIONES.

Las principales precauciones que se deben tener cuando se trabaja con equipo de manejo de sólidos, debe ser la consciencia de que estamos en presencia de equipo móvil manejado a distancia y que cualquier interrupción de su movimiento ocasionara un accidente.

Para cualquier revisión o acercamiento al espacio de movimiento de los equipos debemos entender el proceso que se está llevando a cabo y entender la forma como el material está fluyendo. Los puntos de revisión como registros y ventanas deben estar siempre cerrados con elementos que solo personal autorizado pueda abrir. A continuación presento algunas experiencias personales en cuanto a precauciones a tomar en una planta de manejo de sólidos.

- Desconexión del interruptor de seguridad para efectuar cualquier revisión u operación que implique el introducir miembros o cualquier herramienta en el área de movimiento de los equipos.
- Jamás introducir miembros del cuerpo humano o herramientas en equipos que se encuentren atorados o atascados. Poner especial atención cuando un elevador de guacales se atora queda una significativa cantidad de material trabado en sus recipientes por lo que al eliminar el motivo de su atascamiento el material induce un fuerte movimiento debido al peso del material sobre una sola pata del elevador.
- Rotulación visible y difícilmente removible de los trabajos que se van a realizar, en los centros de control de modo que nadie pueda operar los equipos sin dejar de ver los avisos sobre mantenimientos que se estén llevando a cabo.
- Cuando se estén llevando a cabo trabajos en los que una persona se tenga que introducir dentro de algún equipo, ya sea un silo,

un tanque o algún tipo de mezclador o molino (en especial), es absolutamente necesario que otra persona observe sus movimientos desde afuera y los trabajos se hagan en turnos. Existen una gran cantidad de peligros derivados de introducirse en lugares cerrados donde se manejen sólidos en movimiento tales como: intoxicación por inhalación de químicos que se estén aplicando a los materiales, succión por el movimiento del sólido dentro de un silo, fracturas por accidentes de resbalones o movimiento de piezas mecánicas dentro de equipos de proceso etc. La observación de una persona sobre otra siempre evitará que sucedan accidentes y limitará los daños que ocasionen los que ocurran.

## CONCLUSIONES

- 1.- Para cada aplicación de equipo de manejo de sólidos, es necesario conocer las diferentes opciones con las que cuenta el Ingeniero Mecánico.
- 2.- Las variables económicas, de sanidad, de condiciones físicas y de presentación inciden en el tipo de equipos que se deben utilizar en las diferentes aplicaciones de manejo de sólidos.
- 3.- El conocimiento de la maquinaria necesaria para el manejo de sólidos proporciona un campo de especialización importante para estudiantes y profesionales de la ingeniería.
- 4.- El estudio de técnicas y equipos de manejo de sólidos proporciona un campo de investigación y desarrollo de nuevos proyectos para estudiantes de ingeniería.
- 5.- La industria química, alimenticia, la actividad agrícola y, recientemente en Guatemala, la generación energética utilizan equipos de manejo de sólidos como parte primordial de sus procesos.
- 6.- Los equipos y técnicas fundamentales de manejo de sólidos tienen muchos años de existencia, sin embargo se van actualizando con nuevos componentes, en especial electrónicos, que van haciendo su funcionamiento mas seguro y mas confiable.
- 7.- La correcta aplicación de técnicas de manejo de sólidos tiene una incidencia directa en el aumento de la capacidad de producción de una gran cantidad de industrias.

- 8.- Un curso de manejo de sólidos en la Escuela de Ingeniería Mecánica ampliaría grandemente la visión de los estudiantes sobre la carrera.
- 9.- Industrias que actualmente son rentables pueden incrementar su producción y bajar sus costos aplicando técnicas correctas de manejo de sólidos.
- 10.- Los equipos y maquinaria de manejo de sólidos son equipos móviles de gran par motor que se controlan a distancia, esto implica que se deben utilizar guardas y rótulos de seguridad que deban ser entendidos por todo el personal que trabaja alrededor de ellos, para evitar accidentes.



## RECOMENDACIONES

- 1.- Que se considere la implementación de cursos técnicos basados en la aplicación de la ingeniería mecánica en campos específicos de la actividad industrial de Guatemala.
- 2.- Desarrollar proyectos de investigación conjunta entre empresas que dependen del manejo de sólidos para su actividad comercial o social y los estudiantes de Ingeniería Mecánica, con la participación de instituciones de investigación o capacitación.
- 3.- Crear un programa de capacitación en materia de seguridad para los estudiantes de ingeniería mecánica, haciendo énfasis en el cuidado que se debe tener al manejar equipos móviles accionados a distancia.
- 4.- Incrementar la relación de la Escuela de Ingeniería Mecánica con industrias que dependan de procesos técnicos tales como manejo de sólidos, bombeo de líquidos, transporte y almacenaje de gases y fundición de metales.
- 5.- Que se apliquen técnicas correctas y seguras de manejo de sólidos en las industrias que actualmente tienen procesos que se llevan a cabo en forma rudimentaria.
- 6.- Que en las empresas que llevan a cabo procesos manejando sólidos se implemente un programa de análisis de seguridad en estaciones de control, investigando los posibles accidentes que se pueden dar en registros, compuertas, tapaderas, ejes y poleas en movimiento, zonas de carga y descarga, en base al cual se capacite continuamente a su personal en la forma de evitar accidentes.

## REFERENCIAS

- 1.- Kenneth McNaughton and The Staff of Chemical Engineering. **Solids Handling.** (EE.UU. Nueva York; Editorial McGraw-Hill Publications Co, 1981.) pp 10-178.
- 2.- UMA Engineering Ltd. **Screw and bucket conveyors.** Handling agricultural materials. (Canadá; Minister of Supply and Services Canadá 1990.) p 23.
- 3.- Henry Wallace Anderson Cordero. **Diseño de un panel para control de motores en una industria pulverizadora de piedra utilizando arrancadores en estado sólido.** ( Tesis, Ingeniero Eléctrico. Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala, 1994. p 3.
- 4.- UMA Engineering Ltd **Size reduction and mixing** Handling agricultural materials.(Canadá; Minister of Supply and Services Canadá 1990.) p 3.
- 5.- Robert H. Perry y Cecil H. Chilton. **Manual del Ingeniero Químico, Quinta Edición.** (Colombia; Editorial McGraw-Hill Latinoamericana. 1973.) pp 8-12.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Anderson Cordero, Henry Wallace. **Diseño de un panel para control de motores en una industria pulverizadora de piedra utilizando arrancadores en estado sólido.** Tesis, Ingeniero Eléctrico. Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala, 1994. 67 pp.
  
- 2.- Bhatia, Mannesh V. y Paul N. Cheremisinoff. **Solids Separation and Mixing.** EE.UU. : Thenomic Publishing Company Inc. 1979. 303 pp.
  
- 3.- Gray, W.S.; Revisado por G.P. Manning. **Concrete Water Towers, Bunkers, Silos and Other elevated Structures.** Concrete Series. Concrete Publications Limited, Londres. 1964 304 pp.
  
- 4.- **Handling Agricultural Materials. Screw and bucket conveyors.**  
" Prepared by UMA Engineering Ltd " Minister of Supply and Services Canadá 1990. 35 pp.
  
- 5.- **Handling agricultural materials. Size reduction and Mixing.**  
" Prepared by UMA Engineering Ltd " Minister of Supply and Services, Canadá. 1990 45 pp.
  
- 6.- Jenike, Andrew W. **Storage and Flow of Solids.** Utah Engineering Experiment Station, EE.UU. 1983 197 pp.

- 7.- McNaughton, Kenneth and The Staff of Chemical Engineering, **Solids Handling**. Nueva York; Editorial McGraw-Hill Publications Co. 1981. 263 pp.
  
- 8.- Norma 61B.; Ansi/NFPA 61B.; American National Standard.; **Grain Elevators and Bulk Handling Facilities**. EE.UU. 1980 57 pp.
  
- 9.- Norma 61C-2.; Ansi/NfPA 61C-2.; American National Standard.; **Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions in Feed Mills**. National Fire Protection Association Inc.EE.UU. 1980. 24 pp.
  
- 10.- Perry, Robert H. y Cecil H. Chilton. **Manual del Ingeniero Químico**, Quinta Edición. Colombia: Editorial McGraw-Hill Latinoamericana. 1973. 2252 pp.
  
- 11.- U.S. Department of Labor. **Safety Subjects Bulletin No. 67** Revised. EE.UU. 1956. 280 pp.

ANEXO

TABLA A

Capacidad de la criba

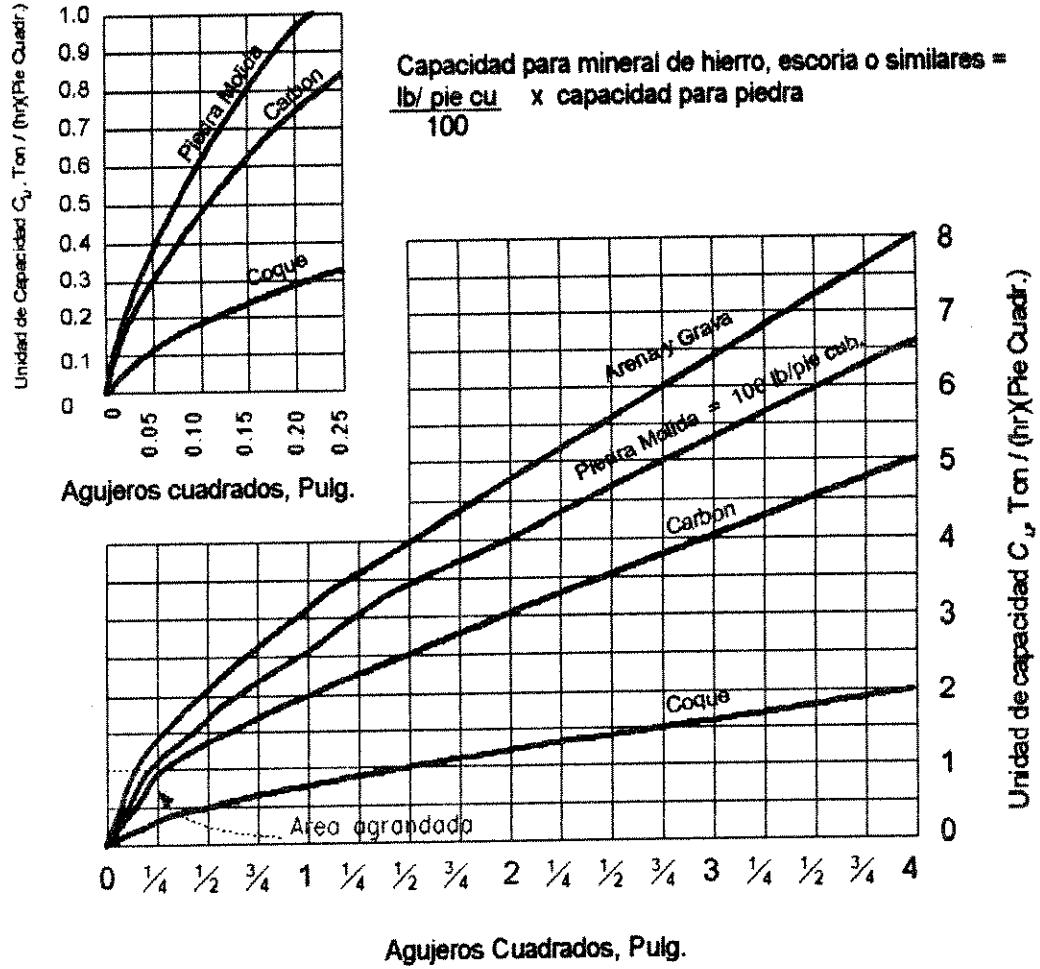


TABLA B      TABLA C

Tabla B: Finos, gruesos y factores de eficiencia			
%	Finos $F_1$	Gruesos, $F_0$	Eficiencia, $F_e$
0	0.44		
10	0.55	1.05	
20	0.70	1.01	
30	0.80	0.98	
40	1.00	0.95	
50	1.20	0.90	
60	1.40	0.86	
70	1.80	0.80	
80	2.20	0.70	1.75
85	2.50	0.64	1.50
90	3.00	0.55	1.25
95	3.75	0.40	1.00

Tabla C: Factor de cubierta	
Cubiertas	Factor de cubierta, $F_c$
Superior	1.00
2da	0.90
3ra	0.75

TABLA D

Tabla D : Factores para criba mojada			
Apertura Agujero (mm)	Humedad Limitante, * %	$F_w$	$F_{mo}$ **
0.8 o menos	0	1.25	1.10
1.5	1	3.00	2.00
3.2	1	3.50	2.50
5.0	2	3.50	2.50
8.0	4	3.00	2.00
9.5	4	2.50	1.50
12.5	6	1.75	1.30
20.0	6	1.35	1.20
25	6	1.25	1.10
De 38 a 50	Sin límite	1.25	1.10
encima de 50	Sin límite	1.00	1.00

\* Cuando el cribado es seco. Si la humedad excede este límite se deben considerar agujeros especiales en la construcción.

\*\* Use        cuando no se tengan datos de la cantidad de agua en rocío que se esta agregando.



TABLA E

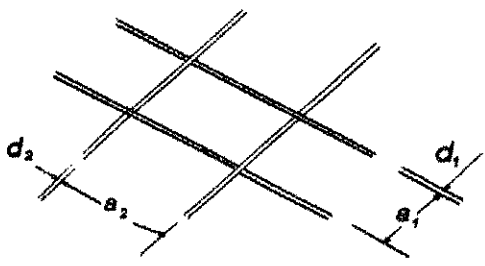
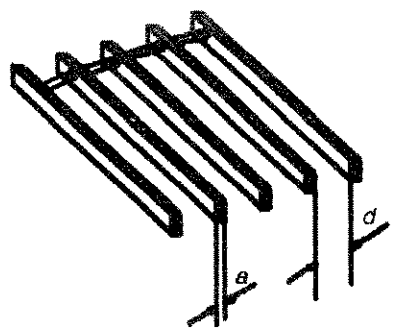
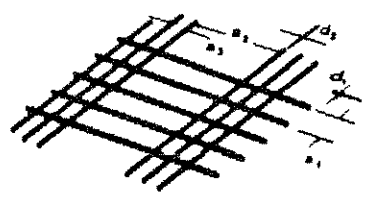
Tabla E : Factor de área abierta	
Apertura	Fórmula
<p>Apertura rectangular</p> 	$F_{\infty} = \frac{a_1 a_2}{(a_1 + d_1)(a_2 + d_2)} \times 100$ <p><math>F_{\infty}</math> es área abierta, %; <math>d</math> es el diametro del alambre, o el ancho horizontal de la barra ( para laminas ); <math>a</math> es la luz de la abertura</p>
<p>Aberturas cuadradas Especificadas por tamaño de apertura</p>	$F_{\infty} = 100 \left( \frac{a}{a + d} \right)^2$ <p><math>a_1 = a_2 = a</math> <math>d_1 = d_2 = d</math></p>
<p>Aberturas cuadradas Especificadas en mesh, <math>m</math></p>	$F_{\infty} = 100 a^2 m^2$ <p><math>m = \frac{1}{a - d}</math></p>
<p>Cubiertas de barras paralelas</p> 	$F_{\infty} = \frac{100 a}{(a + d)}$
<p>Disposiciones Especiales</p> 	<p>Asumiendo <math>a_3 = a_1</math></p> $F_{\infty} = 100 \left[ \frac{a_1 (2a_2 + a_1)}{(a_2 + 2a_1 + 3d_2)(a_1 + d_1)} \right]$

TABLA F

Tabla F : Factor de abertura de ranura		
Criba	Relación largo/ancho *	Abertura ranurada Factor, $F_s$
Aberturas cuadradas o ligeramente rectangulares	Menos de 2	1.0
Aberturas rectangulares	Igual o más de 2, pero menos de 4	1.1
Aberturas ranuradas	Igual o mayor de 4, pero menos de 25	1.2
Cubierta de franjas paralelas	Igual o mayor de 25	1.4

\* Vea Tabla E para  $a_2/a_1$ .

**TABLA 6**

Tabla G: Índices de trabajo promedio E, para varios materiales							
Material	No. de ensayos	Densidad Relativa	Índice de Trabajo *	Material	No. de ensayos	Densidad Relativa	Índice de Trabajo *
Todos los materiales ensayados	2088	-	13.81	Taconita	66	3.52	14.87
Andesita	6	2.84	22.13	Kianita	4	3.23	18.87
Banta	11	4.28	6.24	Mineral de plomo	22	3.44	11.40
Bazalto	10	2.89	20.41	Mineral de plomo y zinc	27	3.37	11.36
Bauxita	11	2.38	9.46	Piedra caliza	119	2.69	11.81
Escoria de cemento	60	3.09	13.49	Piedra caliza para cemento	62	2.68	10.18
Materia prima de cemento	87	2.87	10.57	Mineral de manganeso	16	3.74	12.48
Mineral de cromo	4	4.06	9.60	Magnesita totalmente calcinada	1	6.22	16.80
Arcilla	9	2.23	7.10	Mica	2	2.89	134.60
Arcilla calcinada	7	2.32	1.43	Molibdeno	8	2.70	12.97
Carbón mineral	10	1.63	11.37	Mineral de níquel	11	3.32	11.88
Coque	12	1.51	20.70	Esquistos de petróleo	9	1.78	18.10
Coque, petróleo fluido	2	1.63	38.60	Fertilizante de fosfato	3	2.65	13.03
Coque, petróleo	2	1.78	73.80	Roca de fosfato	27	2.66	10.13
Mineral de cobre	308	3.02	13.13	Mineral de potasa	8	2.37	8.88
Coral	5	2.70	10.16	Sel de potasa	3	2.18	8.23
Diorita	6	2.78	19.40	Piedra Pómez	4	1.98	11.93
Dolomita	18	2.82	11.31	Mineral de pinta	4	3.48	8.90
Esmenil	4	3.48	58.18	Mineral de pirrotita	3	4.04	9.57
Feldespatos	8	2.59	11.67	Cuarzita	16	2.71	12.18
Ferrocromo	18	6.75	8.87	Cuarzo	17	2.64	12.77
Ferromanganeso	10	5.91	7.77	Mineral de rutilo	6	2.84	12.12
Ferrosilicio	15	4.91	13.83	Arenisca	8	2.68	11.53
Pedernal	5	2.65	26.16	Esquistos	13	2.58	16.40
Espato fluor	8	2.98	9.76	Silice	7	2.71	13.53
Gabro	4	2.83	18.45	Arena silicea	17	2.65	16.48
Galena	7	5.39	10.19	Carburo de silicio	7	2.73	28.17
Granate	3	3.30	12.37	Mineral de plata	6	2.72	17.30
Vidrio	5	2.58	3.08	Concreciones	9	3.00	8.77
Gneis	3	2.71	20.13	Escoria	12	2.93	15.78
Mineral de oro	209	2.86	14.83	Escoria, altos hornos de hierro	6	2.39	12.16
Granito	74	2.68	14.39	Pizarra	5	2.48	13.83
Grafito	6	1.75	45.03	Silicato de sodio	3	2.10	13.00
Grava	42	2.70	25.17	Mineral de espodumeno	7	2.75	13.70
Roca de yeso	5	2.69	8.16	Sienita	3	2.73	14.90
Ilmenita	7	4.27	13.11	Loesa	3	2.59	15.53
Mineral de hierro	8	3.96	15.44	Mineral de estaño	9	3.94	10.81
Hematita	79	3.78	12.68	Mineral de titanio	16	4.23	11.88
Hematita especular	74	3.29	15.40	Roca basáltica	49	2.86	21.10
Oolítica	6	3.32	11.33	Mineral de uranio	20	2.70	17.93
Limanita	2	2.53	8.45	Mineral de zinc	10	3.68	12.42
Magnetita	83	3.88	10.21				

□ Allis-Chalmers Mfg. Co.

\*Debe tenerse sumo cuidado al aplicar los valores de los índices de trabajo promedio aquí indicados en instalaciones específicas, ya que las variaciones individuales entre los materiales de cualquier clasificación pueden ser muy marcadas