

25.74



**Universidad Nacional Autónoma
de México**

Facultad de Química

**APLICACION INDUSTRIAL
DE EQUIPO MAGNETICO**

**T E S I S
M A N C O M U N A D A**

**Víctor Manuel Romero Reyes
Luis Saborio González**

INGENIERO QUIMICO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN!**

1 9 8 8



**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

RESUMEN

- I.- INTRODUCCION.
- II.- GENERALIDADES.
 - 2.1.- Breve Historia del Magnetismo.
 - 2.2.- Imanes naturales y artificiales.
 - 2.3.- Propiedades magnéticas de las sustancias.
- III.- TEORIA SOBRE MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO.
 - 3.1.- Magnetismo.
 - 3.2.- Leyes del magnetismo.
 - 3.3.- Campo magnético.
 - 3.4.- Teoría molecular del ferromagnetismo.
 - 3.5.- Materiales magnéticos duros, suaves y amagnéticos.
 - 3.6.- Temperatura y leyes de Curie.
 - 3.7.- Propiedades magnéticas del hierro templado.
 - 3.8.- Magnetismo terrestre.
 - 3.9.- Electromagnetismo.
- IV.- APLICACION INDUSTRIAL.
 - 4.1.- Separadores magnéticos de baja capacidad.
 - 4.1.1.- Placas magnéticas.
 - 4.1.2.- Jorobas magnéticas.
 - 4.1.3.- Barras y tubos magnéticos.
 - 4.1.4.- Rejillas magnéticas.
 - 4.2.- Poleas magnéticas permanentes y electro--magnéticas.
 - 4.3.- Tambores magnéticos permanentes y electro magnéticos.
 - 4.4.- Separadores magnéticos suspendidos sobre bandas transportadoras.
 - 4.5.- Trampas y filtros magnéticos, (para líquidos y suspensiones).
 - 4.6.- Concentradores magnéticos.
 - 4.6.1.- Concentrador magnético para laboratorio.
 - 4.6.2.- Concentrador magnético para planta piloto.
 - 4.6.3.- Concentrador magnético en vía húmeda.

- 4.6.4.- Separador magnético de alta intensidad de vía seca.
- 4.6.5.- Tubo Davis.
- 4.6.6.- Separador electrostático.
- 4.7.- Limpiadores magnéticos de refrigerantes.
- 4.8.- Floculadores magnéticos, (para líquidos y suspensiones).
- 4.9.- Otros equipos magnéticos.
- 4.9.1.- Barredoras magnéticas.
- 4.9.2.- Rieles y rodillos magnéticos.
- 4.9.3.- Imanes de levantamiento.
- 4.9.4.- Transportadores de rebaba y viruta ferrosa.
- 4.9.5.- Alimentadores vibratorios.
- 4.9.6.- Vibradores electromagnéticos.

V.- CALCULO Y FABRICACION DEL EQUIPO.

- 5.1.- Separación magnética.- Electroimán suspendido.
- 5.2.- Automatización.- Electroimán circular.
- 5.3.- Manejo de materiales.- Alimentador vibratorio.

VI.- CONCLUSIONES.

VII.- BIBLIOGRAFIA.

- * APENDICE DE DIAGRAMAS DE FLUJO Y FIGURAS.

I.- I N T R O D U C C I O N .

En la estructura de la civilización moderna los imanes y el magnetismo han cobrado una vital importancia. En realidad si se perdiera el conocimiento que de ellos se tiene, la humanidad se vería seriamente trastornada.

Un imán es un cuerpo que tiene la propiedad de atraer el hierro. Los imanes por su origen pueden ser: naturales, como la magnetita o piedra imán y artificiales, como el hierro suave que puede ser imantado temporalmente por contacto con un imán, por inducción (sin contacto) o bien, por la influencia de una corriente eléctrica en cuyo caso es llamado electroimán.

Los imanes a su vez, se clasifican como permanentes o temporales. El hierro o el acero muy duro, puede ser imantado permanentemente, mientras que el hierro dulce o hierro puro sólo puede serlo temporalmente. Los imanes permanentes modernos se hacen a menudo de cobalto y de hierro, otra excelente aleación llamada alnico, contiene aluminio, níquel, cobalto, cobre e hierro.

Dentro de los imanes de tipo temporal, el más importante es el electroimán, cuyo campo es producido por el paso de una corriente eléctrica, creando un campo magnético.

Un electroimán está constituido por un núcleo de hierro dulce o de ferrosilicio, alrededor del cual se encuentra enbobinado el hilo conductor aislado, recorrido por la corriente. La propiedad fundamental del electroimán es adquirir una imanación temporal que aparece en el momento del paso de la corriente, para cesar con mayor o menor rapidez y más o menos completamente, en el instante de su ruptura. En los tiempos en que no se conocía la corriente eléctrica, los imanes eran fabricados por inducción.

En la actualidad existen multitud de dispositivos y aparatos que operan a base de magnetismo, como sucede por ejemplo en: timbres, teléfonos, brújulas, bocinas, interruptores, telégrafo eléctrico, indicadores de nivel, cintas magnetofónicas, motores, relojes, altoparlantes, etc. Sin embargo, la existencia del equipo magnético y electromagnético para ser aplicado en la industria en general, sólo es reconocido en ciertos sectores industriales, donde ya han sido exitosamente usados. Es por ésto, que el presente trabajo tiene por objeto definir la importancia de estos equipos y su aplicación industrial en todas sus ramas.

El uso de los imanes es importante en las siguientes áreas: Automatización, manejo de materiales, separación magnética, recuperación de escoria, protección de maquinaria, purificación de alimentos, concentración magnética y otras.

II.- GENERALIDADES.

2.1.- BREVE HISTORIA DEL MAGNETISMO.

Los primeros fenómenos magnéticos observados estuvieron relacionados sin duda, con los llamados imanes naturales. Existen algunas versiones al respecto de quienes fueron los descubridores de estos imanes o piedras magnéticas, que tienen la propiedad de atraer al hierro, al acero y a algunos otros cuerpos con propiedades magnéticas.

La palabra magnético proviene del Griego magnetikis, que significa atracción y del Latín magnetum, que significa imán. Se dice también que la palabra magnético proviene de Magnesia, nombre de varias ciudades antiguas fundadas por los griegos en Asia Menor.

Los antiguos chinos alrededor del año 121 de nuestra era, usaban ciertos fragmentos de roca a modo de brújulas. En los escritos griegos y hebreos se alude a las piedras-gufa, como fragmentos rocosos que señalan siempre en la misma dirección, cuando se les suspende libremente de una cuerda. Las palabras piedras-gufa implican que pueden hacerle hallar el camino a una persona cuando se extravía, (de donde se deriva la brújula)

Sea cual fuere la verdadera historia del descubrimiento de la piedra imán podemos imaginarnos el asombro y la fascinación que debieron sentir los primeros seres humanos, al observar el curioso fenómeno de que un trozo de hierro fuese atraído

do por un fragmento de roca. Si esas personas hubiesen podido vislumbrar el futuro y ver los maravillosos inventos que resultan del estudio de los imanes, su descubrimiento los habría excitado aún más.

2.2.- IMANES NATURALES Y ARTIFICIALES.

Los fenómenos magnéticos se producen en la vecindad de los imanes, naturales o artificiales, y de las corrientes eléctricas. Se producen tanto en el interior de los cuerpos sometidos a la acción del magnetismo, como en el espacio que los rodea aún cuando el mismo esté vacío.

Estos fenómenos se traducen en la existencia de fuerzas que tienen como efecto:

- a).- Orientar la aguja imantada en la dirección del campo magnético.
- b).- Atraer a los cuerpos ferromagnéticos cuando se les acerca a los imanes.
- c).- Desviar de su trayectoria a las cargas eléctricas en movimiento.

Los fenómenos magnéticos fueron estudiados en un principio en imanes naturales, o sea en piedras compuestas de minerales de hierro que tienen la propiedad de estar imantadas, tales como la magnetita.

La magnetita, a la que también se le llama piedra imán o hierro magnético, es un mineral compuesto por dos óxidos de hierro, --

FeO . Fe_2O_3 , de color opaco negruzco; su peso específico es - - 5.17 a 5.2; dureza 5.5 - 6.5 en la escala de Mohs; cristaliza en el sistema cúbico. Es un óxido salino de hierro con formas intermedias a los demás minerales de la serie: Magnesioferrita (MgFe_2O_4), Franclinita (ZnFe_2O_4), Jacobsita (MnFe_2O_4) y Tregvorita (NiFe_2O_4).

Otro imán muy importante es la tierra, la cual cuenta con dos polos y por lo mismo debe surtir efecto sobre cualquier imán - que haya en su superficie.

Esta serie de minerales guardan una relación entre el grado de atracción y la intensidad requerida para separación, lo que es propio de cada sustancia dependiendo de sus propiedades magnéticas, a lo cual se le denomina susceptibilidad magnética. Esta relación se muestra en la tabla No. 1.

SUSCEPTIBILIDAD MAGNETICA DE MINERALESTABLA No. 1'

INTENSIDAD REQUE
RIDA PARA SEPARA
CION (GAUSS)

GRADO DE
ATRACCION

	Minerales (Fuertemente Magnéticos.)	
500	Hierro.....	100
↑	Magnetita.....	40.19
↓	Franclinita.....	33.49
5000	Lencita.....	17.50
	Siliconita.....	17.42
	Pirorrita.....	15.43
	(Moderadamente Magnéticos)	
5000	Ilmenita.....	11.67
↓	Biotita.....	8.90
10000	Granate.....	6.68
	Wolframita.....	6.68
	(Débilmente Magnéticos)	
10000	Hematita.....	4.64
↑	Columbita.....	4.08
↓	Limonita.....	3.21
18000	Cromiumita.....	3.12
	Pirolusita.....	2.61
	Rodecrosita.....	1.93
	Siderita.....	1.82
	Manganita.....	1.36
	(Muy Débilmente Magnéticos)	
18000	Rutilo.....	.93
↑	Rhodonita.....	.76
↓	Dolomita.....	.57
	Calamina.....	.51
	Tantalita.....	.40
	Cerusita.....	.30
	Monazita.....	.30
	Fergusonita.....	.29
	Zirconita.....	.28
	Cerargirita.....	.28
	Argentita.....	.27
	Pirita.....	.24
	Molibdenita.....	.23
	Bornita.....	.22
23000	Scheelita.....	.15

/

Los imanes artificiales suelen tener la forma de una barra o de una herradura o bien, de una forma específica para ciertos requerimientos, adquiriendo las mismas propiedades de una piedra imán.

2.3.- PROPIEDADES MAGNETICAS DE LAS SUSTANCIAS.

Según el carácter de las propiedades magnéticas, las sustancias se pueden dividir en tres grupos:

- a).- Las Ferromagnéticas.- Son las atraídas fuertemente por el imán. A estas pertenecen el hierro fundido, níquel, cobalto, gadolinio (tierra rara), y algunas aleaciones. La corriente magnética relativa de estas sustancias es de varias centenas hasta varias decenas de miles, por ejemplo: para el cobalto, 150; níquel, 300; hierro hasta 5,000; permalloy, (aleación de hierro níquel), hasta 100,000.
- b).- Las Paramagnéticas.- Son las atraídas débilmente por el imán, a éstas pertenecen el aluminio, magnesio, estaño, platino, manganeso, oxígeno, etc. La corriente magnética relativa de estas sustancias es un poco mayor que la unidad.
- c).- Las Diamagnéticas.- Son las repelidas débilmente por el imán, a éstas pertenecen: el zinc, bismuto, mercurio, plomo, azufre, cobre, cloro, plata, agua y otras. La corriente magnética relativa de estas

substancias es un poco menor que la unidad.

La inducción que queda en un cuerpo ferromagnético cuando la intensidad del campo es nula se llama inducción remanente o magnetismo remanente.

El hierro dulce, aleaciones de hierro con silicio, aleaciones de hierro con níquel, disponen de cierto magnetismo remanente. Estos metales y aleaciones se magnetizan con facilidad y ellos se emplean para fabricar núcleos de electroimanes.

Clases especiales de aceros duros, como al tungsteno, al cromo, al cobalto y al níquel-aluminio poseen el máximo magnetismo residual. Estos aceros se utilizan para fabricar imanes permanentes.

III.- TEORIA SOBRE MAGNETISMO Y ELECTROMAGNETISMO

3.1.- MAGNETISMO.

Esto es probablemente lo más difícil de definir en la teoría magnética. Algunos científicos lo describen como la habilidad de ciertas sustancias para atraer el hierro, o para causar generación de electricidad, cuando un conductor es pasado a través de un campo magnético. También el magnetismo es creado por un flujo de electricidad en un conductor, como en un electroimán o en un motor. Nosotros definiremos el magnetismo como una fuerza externa debida a la electricidad en movimiento, ya sea en un conductor, o en los "spins" axiales incompensados de electrones en ciertos elementos.

3.2.- LEYES DEL MAGNETISMO.

Cuando una barra imantada recta, se introduce dentro de una caja de limaduras de hierro, se observa que las diminutas partículas, se adhieren a los extremos de dicha barra, éstas regiones preferidas de atracción se llaman polos magnéticos. Por convencionalismo, los polos adoptan el nombre del polo magnético de la tierra al cual apuntan. Cuando el polo sur de un imán se lleva cerca del polo sur de la aguja de una brújula, actúa una fuerza de repulsión y la aguja de la brújula gira hacia afuera. Una repulsión similar se produce entre los polos N; en cambio, si se aproximan los polos N y S, surge una atracción fuerte y la aguja de la brújula gira hacia el imán. Este experimento demuestra la primera ley del magnetismo que expresa: "Dos polos

del mismo nombre se repelen y dos polos de nombres opuestos se atraen".

Si se rompe un imán por la mitad, en un intento de separar los polos se encuentran nuevos polos formados en los extremos rotos. Si uno de estos pedazos se rompe otra vez, en cada trozo aparecen de nuevo dos polos de clase opuesta. Tantas veces como se repita este proceso, se obtendrá el mismo resultado: "Un polo magnético de una clase está siempre acompañado por un polo de polaridad contraria". (2a. Ley del Magnetismo).

Tercera Ley del Magnetismo.- Para el estudio de la ley de la fuerza entre polos magnéticos, se usan imanes especialmente diseñados. La necesidad de esto se comprende cuando se recuerda que los polos magnéticos sueltos no pueden aislarse por rotura de un imán en dos. Los imanes especiales consisten en varillas delgadas de acero de unos 45 cms. de largo, con una pequeña bola de acero en cada uno de los extremos. Cuando se magnetizan, los polos N y S se concentran en las bolas de acero.

En la balanza de Hibbert, presentada en la figura No. 1, un imán está equilibrado en una balanza especial y el otro se mantiene sujeto a un soporte con fijación ajustable. Si los dos polos adyacentes cuando se acercan son análogos, la repulsión - desequilibrará al primer imán. El peso que se debe agregar al lado izquierdo para restaurar el equilibrio, es una medida directa de la fuerza de repulsión.

Ejecutando experimentos de una naturaleza similar, Coulomb fué

el primero en encontrar que: "La fuerza que actúa entre dos polos magnéticos es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa".

Después de descubrir esta relación, comparó entre sí las intensidades de polo de distintos imanes y encontró que la fuerza entre dos polos es proporcional al producto de las intensidades de los mismos. Combinando estas dos relaciones, Coulomb propuso como una ley general para los polos magnéticos:

$$F = X \frac{mm'}{d^2}$$

En donde:

F = Fuerza (Newton)

m y m' = Intensidades de los polos (amper-metro)

d = Distancia entre polos (metros)

X = Constante de proporcionalidad = $10^{-7} \frac{\text{Weber}}{\text{Amp-m}}$

3.3.- CAMPO MAGNETICO.

Se define como el espacio en que un polo magnético experimenta la acción de otro polo o ejerce una acción sobre otro polo; en otras palabras, es el campo de las fuerzas debidas a un imán. La existencia de un campo magnético en una región dada del espacio se pone de manifiesto colocando en ella una aguja imantada. El campo magnético de un cuerpo ferromagnético imantado, se crea principalmente con la rotación propia de los electrones alrededor de los ejes, que pasan a través de estos, lo que es

equivalente a ciertas corrientes elementales cerradas.

Algunos grupos de corrientes elementales y sus campos magnéticos están dispuestos irregularmente en un cuerpo no magnetizado. Por eso, en el espacio exterior no se observa campo magnético. Bajo la influencia de un campo magnético exterior las corrientes elementales provocadas por la rotación propia de los electrones se disponen, paralelamente, una a la otra y crean un campo magnético.

La unidad práctica de intensidad del campo magnético es, desde 1932, el "Oersted"; pero todavía se usa a menudo el "Gauss".

Un polo magnético unitario, colocado en un campo magnético en el vacío, tal que su intensidad sea de 1 Oersted, sufrirá una fuerza igual a una dina en la dirección de la intensidad del campo.

Si se esparcen limaduras de hierro sobre un cartón y se coloca un imán por debajo, se ve que las limaduras se orientan siguiendo lo que se llaman líneas de fuerza del campo magnético en ese lugar. La exploración sistemática de un campo magnético se hace por medio del magnetómetro. En un campo magnético uniforme, la intensidad del campo es constante y las líneas de fuerza son paralelas. Una superficie de Area S colocada con las líneas de fuerza de un campo uniforme de intensidad H es atravesada por un flujo Φ de fuerza, definido por $\Phi = S \cdot H$. El nombre de inducción o densidad de flujo magnético se reserva para el vector μ_{11} , donde μ (permeabilidad magnética) es un factor característico del medio. El flujo de inducción magnética se define como-

$\Phi_i = \int B_n dS$, donde B_n es la componente normal de la inducción de cada punto de la superficie S . En el vacío y en unidades electromagnéticas, $\mu=1$, y por lo tanto $B=H$.

En el sistema M.K.S., la permeabilidad μ_0 del vacío es igual a: $\mu_0 = 4 \pi \times 10^7$ Hy/m (Henry/metro).

De lo anterior se deduce que un campo magnético puede representarse, como un campo eléctrico, por líneas llamadas de inducción cuya dirección en cada punto es la del vector inducción magnética. Por convención el número de estas líneas, por unidad de superficie normal a su dirección, se hace igual al valor de la inducción. Por esto, la inducción en un punto puede expresarse en líneas por unidad de superficie. En el sistema MKS, una línea de inducción se denomina Weber y la inducción magnética se expresa entonces en Webers/m².

Hay otro sistema de unidades llamado sistema electromagnético - en el cual se expresan frecuentemente las magnitudes magnéticas. En este sistema, la línea de inducción es llamada Maxwell y la inducción magnética se expresa en Maxwell/cm²; 1 Maxwell por centímetro cuadrado se denomina Gauss. Un Gauss, o un Maxwell/cm², corresponde a una inducción magnética de una diezmilésima de Weber/m²;

$$1 \text{ Wb/m}^2 = 10^4 \text{ Maxwell/cm}^2 = 10^4 \text{ Gauss.}$$

como $1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2$ se deduce que $1 \text{ Wb} = 10^8 \text{ Maxwell}$.

El número total de líneas de inducción que atraviesan una superficie se denomina flujo magnético a través de la superficie y se representa por Φ , expresándose $\Phi = \int B \cos \phi \, dS$ y en el ca-

so especial en que B sea uniforme y normal a la superficie finita $S: \Phi = BS$, en el sistema MKS, el flujo magnético se expresa en Webers. Puesto que la inducción en el punto es igual al flujo por unidad de superficie, se denomina con frecuencia densidad de flujo.

3.4.- TEORIA MOLECULAR DEL FERROMAGNETISMO.

La teoría moderna del magnetismo que está ahora firmemente establecida como correcta, dice que un trozo de hierro consiste en innumerables diminutos imanes elementales. Estos pequeños imanes pueden consistir en átomos o moléculas individuales o en grupos de átomos alineados en forma de pequeños cristales elementales de hierro. Como átomos simples, pueden actuar como imanes. Antes de que un trozo de hierro sea magnetizado, estos imanes elementales pueden considerarse como orientados más o menos al azar, a través del metal.

Mientras un trozo de hierro está siendo magnetizado, los imanes elementales giran y se alinean paralelos entre sí y al campo magnetizante. Alineados de este modo, los pequeños polos N y S son adyacentes y anulan entre sí los efectos sobre los objetos externos. En un extremo hay muchos polos N libres, y en el extremo opuesto un igual número de polos S libres.

Cuando se rompe un imán en algún punto, los polos S libres están expuestos en un lado de la rotura y los polos N libres en el otro.

Cuando se magnetiza el hierro dulce por inducción y se quita el

imán permanente, los imanes elementales regresan a sus orientaciones fortuitas originales pero cuando se imanta el acero templado continúan alineados después de que el campo magnetizante se ha retirado.

El concepto físico de la estructura interna de un átomo ferromagnético, muestra el arreglo de electrones necesarios para la creación del magnetismo. Como puede observarse en la figura No. 2, el spin planetario de los electrones en la 3a. capa incompleta junto con las características dimensionales específicas, crea un momento magnético o fuerza.

La relación de D/r debe ser 3 o más para crear ferromagnetismo; esta condición ocurre en hierro, cobalto, níquel y algunas tierras raras.

Los momentos magnéticos en átomos vecinos son mantenidos paralelamente por fuerzas de la mecánica cuántica, las cuales pueden ser parecidas a las fuerzas pertenecientes al sol, la luna, las estrellas y la tierra en sus posiciones relativas. Los átomos que poseen estas características magnéticas están agrupados dentro de regiones llamadas "Dominios".

Un dominio es el más pequeño imán permanente conocido. 6000 dominios ocuparían un área comparable en tamaño, a la cabeza de un pequeño alfiler. Un dominio está compuesto de un cuatrillón - - (10^{24}) de átomos.

En los materiales ferromagnéticos no magnetizados los dominios son casualmente orientados y neutralizados unos a otros, sin --

embargo, las fuerzas magnéticas están presentes.

En los circuitos magnéticos de distintas máquinas eléctricas como transformadores, instrumentos y aparatos electrotécnicos, radio-técnicos y de otras ramas de la técnica se encuentran diversos materiales magnéticos y no magnéticos. Las propiedades de un material magnético se caracterizan por las magnitudes de la intensidad del campo magnético, flujo magnético, inducción magnética y permeabilidad magnética.

La dependencia entre la inducción magnética y la intensidad de campo magnético, expresada gráficamente, forma una curva que se llama Lazo de Histéresis. Aplicando esta curva se pueden obtener varios datos que caracterizan las propiedades magnéticas de un material.

El campo magnético variable provoca el surgimiento de corrientes parásitas en los materiales magnéticos. Estas corrientes calientan los núcleos (conductores magnéticos), lo que conduce a la pérdida de cierta potencia. Los materiales magnéticos se dividen en dos grupos: magnéticos duros y magnéticos dulces.

3.5.- MATERIALES MAGNETICOS DUROS, SUAVES Y AMAGNETICOS.

Los materiales magnéticos duros se emplean para fabricar imanes permanentes. Estos materiales deben satisfacer los siguientes requisitos:

- a). Disponer de gran inducción remanente;
- b). Tener máxima energía magnética;

c). Poseer propiedades magnéticas estables.

El material más barato para los imanes permanentes es el acero al carbono, con contenido de 0.4 - 1.7% de carbono. Los imanes fabricados de acero al carbono no presentan propiedades magnéticas altas, y las pierden rápidamente al experimentar calentamiento, golpes y sacudidas.

Los aceros aleados disponen de mejores propiedades magnéticas y se emplean para fabricar imanes permanentes, más a menudo que el acero al carbono. Tales son los aceros al cromo, al tungsteno, al cobalto y al cobalto-molibdeno.

Para fabricar imanes permanentes, en la técnica han sido creadas aleaciones a base de hierro-níquel-aluminio, estas aleaciones se distinguen por su alta dureza y fragilidad, por lo cual pueden tratarse solamente con pulido. Las aleaciones disponen de propiedades magnéticas muy altas y de gran energía magnética en la unidad de volumen; en la tabla No. 2 se citan los datos sobre la composición de algunos materiales magnéticos duros para fabricar imanes permanentes.

PROPIEDADES MAGNETICAS Y COMPOSICION DE ALGUNOS MATERIALES -

MAGNETICOS DUROS

TABLA No. 2

MATERIALES MAGNETICOS DUROS	ELEMENTOS	COMPOSICION %	PESO RELATIVO DE ENERGIA MAG.
Acero al carbono	C, Fe	0.45, 99.55	26.7
Acero al cromo	Cr, C, Fe	3, 1, 96	17.2
Acero al wolframio	Wo, C, Fe	5, 1, 94	15.8
Acero al cobalto	Co, Cr, Wo, Fe	5-30, 5-8 1.5-5 Resto Fe	5.1 - 12.6
Acero al cobalto molibdeno	Mb, Co, Fe	15, 11, 74	3.8
Alni	Al, Ni, Cu, Fe	12.5, 25.5, 14.5 47.5	3.6
Alnisi	Al, Ni, Si, Fe	14, 34, 1, 51	3.4
Alnico	Al, Ni, Co, Cu Fe	10, 17, 12, 6 55	3.1
Mágnico	Co, Si, Ni, Cu Fe	24, 13, 8, 3, 52	1.0

MATERIALES MAGNETICOS SUAVES O DULCES.- Los materiales magnéticos dulces deben responder a los siguientes requerimientos:

- a).- Disponer de gran permeabilidad magnética relativa (M), que permita obtener una alta inducción magnética (B), con número mínimo posible de amperes-espiras.
- b).- Tener pérdidas mínimas posibles por histéresis y corrientes parásitas.

- c).- Poseer propiedades magnéticas estables. Los materiales magnéticos dulces se utilizan en calidad de conductores magnéticos de las máquinas eléctricas, núcleos de los transformadores, electroimanes, instrumentos eléctricos de medición y otros.

Algunos ejemplos de materiales magnéticos dulces son los siguientes:

Hierro electrolítico, que se obtiene mediante la electrólisis del sulfato o cloruro de hierro con fusión ulterior en el vacío de los productos de la electrólisis. El hierro electrolítico en polvo se emplea para fabricar piezas magnéticas a semejanza de la producción de objetos de cerámica o de materiales plásticos.

Hierro al carbono, el cual se obtiene en forma de polvo como resultado de la desintegración térmica del $\text{Fe}(\text{CO})_2$ a la temperatura de 1200°C . El polvo de hierro al carbono se aglutina y se emplea para fabricar las mismas piezas que se hacen de hierro electrolítico. El hierro al carbono se distingue por su alta pureza y plasticidad; se emplea en la industria eléctrica de vacío, así como en la fabricación de instrumentos y aparatos de laboratorio.

Estos dos tipos de hierro puro especial no contienen más de 0.5% de impurezas.

El acero electrotécnico laminado, es el material más empleado en la construcción de máquinas eléctricas y transformadores.

Se funde con Si para elevar sus propiedades magnéticas y reducir las pérdidas por histéresis. Además, como resultado de la introducción de Si en el acero aumenta su resistencia específica lo que conduce a la reducción de las pérdidas en corrientes parásitas. El acero electrotécnico, laminado en frío con recocido posterior en atmósfera de hidrógeno dispone en particular de altas propiedades magnéticas. Esto se explica porque los cristales del metal se sitúan paralelamente a la dirección del laminado.

El alsifer, es una aleación de Al, Si y Fe la composición aproximada es 5.6% Al, 9.5% Si y el resto hierro. El alsifer es una aleación dura y frágil, por eso se somete al tratamiento con dificultad. Las ventajas del alsifer son su alta permeabilidad magnética en campos magnéticos débiles, la gran resistividad y la ausencia de metales raros en su composición. Se le utiliza para fabricar núcleos que funcionan en instalaciones de alta frecuencia.

Algunos otros materiales magnéticos dulces están clasificados en la tabla número 3.

PROPIEDADES TÍPICAS DE MATERIALES MAGNÉTICOS DULCES

TABLA No. 3

Materiales MAGNETICAMENTE Suaves.	ELEMENTOS	Composición (Partes por 100)	Satura- ción In trínseca $B_{m\acute{a}x}$.	Densi- dad Re sidual B_r	Fuer- za -- Coer- citi- va. H_c	Permea- bilidad máx. m	Permea- bilidad Inicial i
Fierro Magnético (Purificado en H)	Fe	99,98	21.5	13.6	0.05	275.	25.
Permalloy # 78.5	Ni, Fe, Mn	78.5, 20.9, 0.6	10.7	6.0	0.05	105.	9.
Hipernik	Fe, Ni	50, 50	15.0	7.5	0.06	90.	6.
Mumetal	Ni, Fe, Cu, Mn	74, 20, 5, 1,	8.5	6.0	0.05	80.	7.
Mo. Permalloy # 4-79	Ni, Fe, Mo, Mn	79, 16.4, 4, 0.6.	8.5	5.0	0.05	72.	22.
Acero de Alto Silicio	Fe, Si	95.5, 4.5	19.0	5.0*	0.5*	8.3	0.75
Acero de Bajo Silicio	Fe, Si	99.1	21.0	8.5*	8.5*	5.2	0.35
Permendur	Fe, Co,	50, 50	24.5	14.0	2.0	5.0	0.80
Perminvar # 7-70	Ni, Fe, Co, Mn	70, 22.4, 7, 0.6	12.5	2.4	0.6	4.0	0.85
Perminvar # 45-25	Ni, Fe, Co, Mn	45, 29.4, 25, 0.6	15.5	3.3	1.4	1.8	0.36
Copernic	Fe, Ni	50, 50	15.0	---	---	1.0	0.17
Fierro Fundido	Fe, C	-----	20.0	---	5.0*	1.0	0.17
Fierro Fundido "recocido"	Fe	-----	16.0	5.5	11.0*	0.3	0.12

NOTA: Las densidades están en Kilogausses.
 Las Fuerzas Mag. en Oersteds.
 Las permeabilidades en Kilogausses/Oersted.

* B_r y H_c tomados con $B_{m\acute{a}x} = 10$ Kilogausses en vez de la saturación.

Los dieléctricos magnéticos, son materiales magnéticos dulces, pulverizados, que se aíslan uno de otro mediante breas u otros aglutinantes. En calidad de polvo de un material magnético se emplea el hierro electrolítico, hierro al carbón, permalloy, alifer, magnetita. Los aglutinantes aislantes son: goma, laca, breas fenólicas de formaldehído, poliestirol, vidrio líquido y otros. El polvo de un material magnético se mezcla minuciosamente con un aglutinante aislante y de la masa obtenida se prensan núcleos de transformadores, piezas de radio, aparatos y otros. La estructura granulada de los materiales magnetodieléctricos reporta pérdidas insignificantes por corrientes parásitas durante el funcionamiento de éstos en campos magnéticos de corrientes de alta frecuencia.

MATERIALES AMAGNETICOS.- En muchos instrumentos y aparatos utilizados en la electrotecnica son necesarios materiales que no tengan propiedades magnéticas, para ese fin son útiles los materiales plásticos o metales no ferrosos (aluminio, latón, bronce). Pero dichos materiales poseen pequeña resistencia mecánica y algunos son deficitarios, por lo tanto, se sustituyen por acero amagnético y hierro fundido amagnético.

La composición aproximada del acero amagnético es: 0.25%-0.35% de carbón, 22-25% de níquel, 2-3% de cromo, el resto hierro, El acero amagnético, se emplea para ensamblar y fijar los transformadores, choques, bobinas de inducción, etc.

La composición aproximada del hierro fundido amagnético es de: -

2.6-3% de carbón, 2.5% de silicio, 5.6% de manganeso, 9-12% de níquel, el resto hierro. El hierro fundido amagnético se utiliza para fabricar tapas, fundas, casquillos, interruptores de aceite, conectores de cables, fundas de transformadores de soldadura.

3.6.- TEMPERATURA Y LEYES DE CURIE.

La permeabilidad de las sustancias ferromagnéticas, disminuye al aumentar la temperatura, y la permeabilidad relativa desciende prácticamente a la unidad, a una temperatura (diferente a cada sustancia), llamada temperatura de Curie. Por encima de la temperatura de Curie, el hierro es paramagnético, pero no ferromagnético. En la figura número 3 se ha representado la variación de la permeabilidad magnética con la temperatura de una muestra de fierro. H se mantiene constante e igual a 800,000 --

Amp-Vuelta.
m

La temperatura de Curie, para esta muestra es de 760°C aproximadamente.

Leyes de Curie.- "Las propiedades magnéticas de los cuerpos diamagnéticos son independientes de los cambios de estado físico".- (1a. Ley de Curie).

"Para los cuerpos paramagnéticos se tiene en la mayoría de los casos, la relación $\frac{1}{X} = \frac{T}{C}$ x constante". (2a. Ley de Curie), donde X es la susceptibilidad por unidad de masa, T la temperatura absoluta y C la constante de Curie.

3.7.- PROPIEDADES MAGNETICAS DEL HIERRO TEMPLADO.

A causa de la relación complicada entre la densidad del flujo B y la excitación magnética H en una sustancia ferromagnética, no es posible expresar B mediante una función analítica de H . En lugar de esto, se da la relación entre ambas magnitudes mediante una tabla, o bien se representa B por una gráfica en función de H . La curva se denomina curva de imantación de la sustancia. En la figura 4 se ha representado la curva de imantación de una muestra de hierro templado. La permeabilidad μ igual a la razón de B a H , puede obtenerse en cualquier punto de la curva, dividiendo la densidad de flujo B en dicho punto, por la correspondiente excitación magnética H .

En la tabla número 4 se incluye un amplio intervalo de valores para la misma muestra e incluye también valores de la permeabilidad relativa K_m de la imantación y de la susceptibilidad X .

De la tabla número 4 se deduce que cuando H es pequeña, todo el flujo es debido prácticamente a la imantación (o sea, a las corrientes superficiales equivalentes). Para los valores de H superiores a 1000 Amp-Vueltas, hay un aumento muy pequeño de imantación, y la susceptibilidad disminuye notablemente. En esta región se dice que el hierro se convierte en saturado. El ambiente posterior de B es debido casi exclusivamente al aumento de la corriente magnetizante.

PROPIEDADES MAGNETICAS DEL HIERRO TEMPLADO

TABLA No. 4

EXCITACION MAGNETICA	DENSIDAD DE FLUJO	PERMEABILIDAD	IMANTACION	PERMEABILIDAD RELATIVA	SUSCEPTIBILIDAD MAGNETICA
$\frac{H}{\Lambda}$ -vueltas m	$\frac{B}{wb}$ m ²	$\mu = \frac{B}{H}$ henrios m	$\mathcal{J} = \frac{B}{wb} - \mu_0 H$ m ²	$K_m = \mu / \mu_0$	$X = \frac{\mu - \mu_0}{m}$
0	0	3100×10^{-7}	0	250	3100×10^{-7}
10	0,0042	4200	0,0042	330	4200
20	0,010	5000	0,010	400	5000
40	0,028	7000	0,028	560	7000
50	0,043	8600	0,043	680	8600
60	0,095	16000	0,095	1270	16000
80	0,45	56000	0,45	4500	56000
100	0,67	67000	0,67	5300	67000
150	1,01	67500	1,01	5350	67500
200	1,18	59000	1,18	4700	59000
500	1,44	28800	1,44	2300	28800
1000	1,58	15800	1,58	1250	15800
10000	1,72	1720	1,71	137	1710
100000	2,26	226	2,13	18	213
800000	3,15	39	2,15	3.1	26

3.8.- MAGNETISMO TERRESTRE.

En un lugar determinado de la superficie terrestre, el campo magnético es uniforme, de manera que su efecto sobre los polos magnéticos se reduce a una cupla. El meridiano magnético de un lugar es el plano paralelo a la intensidad del campo, y que pasa por la vertical del lugar. La declinación magnética, es el ángulo que forman el meridiano magnético y el meridiano geográfico. - La inclinación magnética es el ángulo que forman la intensidad de campo en un lugar y su proyección con el plano horizontal. - En los polos magnéticos, la declinación y la inclinación magnéticas son de 90° ; en el ecuador magnético, son nulas. En París, - por ejemplo, la declinación es de 7° y la inclinación de 4° ; mientras que en Buenos Aires es próxima a 14° y la inclinación es de 30° .

El campo magnético terrestre sufre pequeñas variaciones; se distinguen las accidentales y las periódicas, entre estas últimas - la diurna. El magnetismo terrestre puede explicarse por la presencia de metales ferromagnéticos, en el núcleo de la tierra, y a las corrientes eléctricas que la rodean. Los astro-físicos -- han podido probar la existencia de campos magnéticos de intensidad variable en las estrellas. Estos campos, superpuestos al -- campo magnético terrestre, producirían las perturbaciones que se registran a veces con las brújulas y con los aparatos de radio. - Además, tales campos magnéticos, de variar con suficiente rapidez, producirían campos eléctricos suficientes para acelerar las partículas eléctricamente cargadas que forman parte de los rayos

cósmicos.

3.9.- ELECTROMAGNETISMO.

Oersted descubrió que una corriente eléctrica está rodeada de un campo magnético.

Ampere investigó en detalle los fenómenos electromagnéticos y propuso la hipótesis de que el magnetismo es en última instancia, un efecto de la electricidad.

Estudios más completos y profundos acerca de las relaciones entre el magnetismo y la electricidad fueron llevados a cabo por Faraday. Las características más sobresalientes de los fenómenos electromagnéticos son las siguientes:

- a).- Una corriente eléctrica rectilínea está rodeada de líneas de fuerza magnéticas que son circunferencias yacentes sobre planos perpendiculares a la corriente.
- b).- La intensidad del campo en cada punto es proporcional a la intensidad de la corriente o inversamente proporcional a la distancia al conductor (Ley de Biot-Savart):

$$H = 2 i/r.$$

i = Intensidad en abamperios.

r = La distancia.

1 Abamperio = 10 amperios absolutos.

William Sturgeon llenó el centro de una bobina de alambre con hierro dulce y así consiguió un imán poderoso llamado "electro-imán" por ejemplo: con el núcleo de hierro en el solenoide, una

varilla próxima de hierro dulce magnetizada por inducción, atraerá limaduras de hierro mucho más fuertemente que cuando se quita el núcleo de hierro.

Faraday descubrió que, así como una corriente eléctrica genera un campo magnético, un flujo magnético variable en el tiempo genera a su vez un campo eléctrico. Una de las maneras en que puede obtenerse un flujo magnético variable en el tiempo es moviendo un conductor en la vecindad de un imán; si el conductor es cerrado, por él circulará una corriente eléctrica que se llama inducida.

Ley de la Inducción Electromagnética.- Faraday, expresa en esta ley, que toda variación temporal del flujo magnético de inducción produce una fuerza electro-motriz:

$$\text{Fuerza Electromotriz} = \frac{d\Phi_i}{dt} = - \int E ds$$

Donde la integral curvilínea (tomada a lo largo del conductor cerrado), indica el trabajo efectuado por el campo eléctrico inducido.

La íntima vinculación de los campos eléctrico y magnético se emplea en los generadores de corriente eléctrica y en los motores eléctricos. En los primeros, el movimiento mecánico de un bobinado en el campo magnético induce una corriente en aquél; en los motores, en cambio se produce movimiento mecánico por la acción conjunta de la corriente eléctrica y del campo magnético, o sea que un motor eléctrico es un aparato por medio del cual la energía eléctrica en forma de corriente de electrones se trans-

forma en energía mecánica.

IV.- APLICACION INDUSTRIAL

Para una mejor comprensión de las múltiples aplicaciones del magnetismo permanente y electromagnético en la industria, se divide este capítulo en tres áreas:

- A) Separación Magnética
- B) Automatización Industrial
- C) Manejo de Materiales.

A) SEPARACION MAGNETICA.- Esta es sin duda el área más importante de las mencionadas anteriormente.

En efecto, es de mucha importancia separar la contaminación ferrosa existente en todas las líneas que manejan materiales a granel y fluidos, la cual se presenta en diferentes grados. Este fierro grande o fino debe ser separado por cualquiera de estas tres razones:

- 1.- Protección del equipo
- 2.- Pureza máximo del producto
- 3.- Prevención de incendios o explosiones

Generalmente un ingeniero de proceso no sabe cuánto fierro se presenta en las líneas a lo largo del proceso, y casi siempre se subestima la cantidad. En muchos casos, cuando se muestran escépticos, se les debe demostrar poniendo una placa magnética o tubo magnético, en alguna parte del proceso, para que puedan observar la sorprendente cantidad de

fierro existente. Esta contaminación puede ser:

- a) Clavos, tornillos, tuercas, grapas y otros metales provenientes de camiones o recipientes que transportan los materiales a la planta.
- b) Partes metálicas que se desprenden de las mismas máquinas de proceso o transportadores.
- c) Varillas de soldar, pernos, tuercas, tapas de botellas, herramientas, ángulos de hierro y otros metales dejados en líneas después de la instalación inicial, y reparaciones.
- d) Astillas ferrosas, partículas finas o acero corroído de los equipos de proceso, tuberías o pérdidas por abrasión.
- e) Recirculación de chatarra de automóvil y basura municipal.

Muchas plantas requieren de los separadores magnéticos al inicio de las líneas de proceso (para limpiar grandes volúmenes de materiales básicos que van hacia la planta o en la descarga de depósitos de abastecimientos) para proteger maquinaria y, adicionalmente, al final del proceso, para separar cualquier metal que haya entrado por descuido de los trabajadores.

En el primer caso la separación magnética puede ser colocada en cualquier lugar: desde el punto de entrada de material a la planta, hasta el punto donde el primer equipo del proceso sea vulnerable a trozos de fierro grandes (generalmente puede ser un triturador, pulverizador, molino, mezclador, bomba, válvula, cer

tador, etc., en los cuales existe poca tolerancia).

La separación magnética en el punto No. 2, (para la máxima-pureza del producto), debe estar lo más cercana posible al empa-cado, ensacado, envasado o embarque.

La separación magnética es muy importante para la preven-ción de incendios o explosiones causadas por el contacto fuerte-entre dos metales, lo cual puede ocurrir en molinos, pulverizado-res, bombas, quobradoras, ductos, válvulas, etc.

Un factor importante en la separación magnética es la sepa-ración de materiales ferrosos, de los no ferrosos, como por ejem-plo:

- a) Separación de minerales magnéticos de los no magnéticos
- b) Separación de rebaba de bronce de rebaba de acero.
- c) Separación de partes metálicas de piedras a granel.
- d) Separación de piezas soldadas de materiales no magnéticos
- e) Separación de magnetita de fibras de asbesto.
- f) Separación de materiales ferrosos de líquidos refrige-rantes.
- g) Recuperación ferrosa de basura municipal.
- h) Separación de líneas de proceso en la industria alimentaria.

DATOS DE INGENIERIA ESENCIALES PARA UNA MEJOR SEPARACION MAGNETICA

Para llevar a cabo una mejor selección del equipo magnético para una buena separación, debemos conocer las siguientes carac-

terísticas:

- 1.- Cantidad máxima de material para ser limpiado en una hora o en un determinado período.
- 2.- Profundidad o cama máxima de material.
- 3.- Velocidad del material en diversos puntos de la instalación.
- 4.- Consistencia del material a ser limpiado.
- 5.- Tamaño y cantidad de contaminación ferrosa que deberá ser separada.
- 6.- Capacidades y limitaciones de los separadores magnéticos.
- 7.- Tamaño y características del canal o transportador.
- 8.- Propiedades específicas del material y requerimientos propios del proceso, en el punto donde se lleve a cabo la separación.
- 9.- Espacio requerible y disponible.

Se deberá decidir también si se requiere de una separación automática y equipo de autolimpieza, lo que involucra mayores costos y espacios más amplios. Asimismo se deberán buscar los puntos del proceso, donde el material esté menos compactado, vaya a bajas velocidades y en los cuales el separador pueda ser fácilmente observado y limpiado, en caso de no contar con un equipo de autolimpieza.

La facilidad o dificultad de la separación del hierro contaminante dependerá del tamaño y forma de éste, por lo que, las

piezas más difíciles son las varillas, bolas de rodamientos, perdigones; y las que presentan menor dificultad son placas planas, tapas de botellas, tuercas, tornillos y clavos.

Existe una gran variedad de separadores magnéticos para múltiples aplicaciones de acuerdo a las necesidades y características del proceso. Los más conocidos son los siguientes:

- a) Placas, rejillas, jorobas (Humps), tubos y barras magnéticas.
- b) Poleas magnéticas, permanentes y electromagnéticas.
- c) Tambores magnéticos permanentes y electromagnéticos.
- d) Separadores magnéticos suspendidos sobre bandas transportadoras (permanentes y electromagnéticos).
- e) Trampas y filtros magnéticos (para líquidos y suspensiones).
- f) Concentradores magnéticos de alta intensidad en vía húmeda y vía seca.
- g) Limpiadores magnéticos de refrigerantes y aceite.
- h) Floculadores magnéticos (para líquidos y suspensiones).
- i) Barredoras y recogedoras magnéticas (permanentes y electromagnéticas).

A continuación describiremos cada uno de los equipos enunciados, sus aplicaciones y el mercado correspondiente:

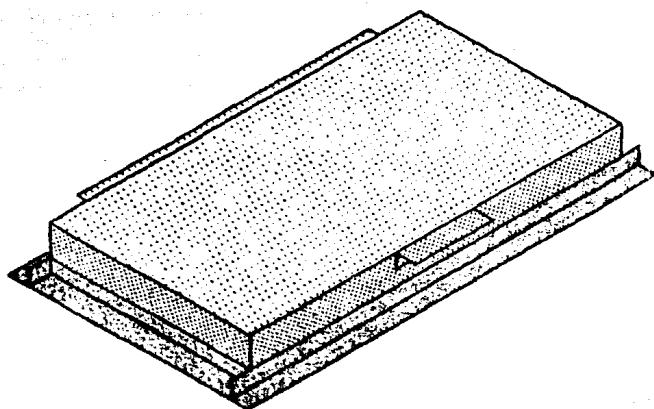
4.1.- SEPARADORES MAGNETICOS DE BAJA INTENSIDAD.

4.1.1.- PLACAS MAGNETICAS.- Las placas magnéticas, son separa-

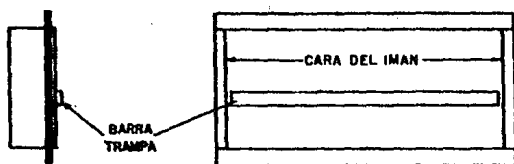
dores magnéticos que han demostrado a través del tiempo ser una protección eficaz y económica contra la contaminación ferrosa en diferentes líneas de proceso. Estos imanes son colocados en canales y ductos, a la entrada de los molinos o equipos de alimentación así como también, suspendidas sobre cribas o tamices no magnéticos, transportadores, bandas y otros, para captar y recoger la contaminación de hierro del material con lo que protege a la maquinaria de costosas reparaciones y paros; al eliminar las chispas provocadas por el contacto entre los metales se elimina la causa de incendios y explosiones; también se evitan la contaminación del producto y su pureza final.

Este tipo de placas generalmente son construidas con bisagras en los extremos para facilitar la limpieza del hierro atrapado. Para aplicaciones difíciles donde la contaminación es débilmente magnética se pueden utilizar dos o más imanes en serie, para garantizar una mayor protección.

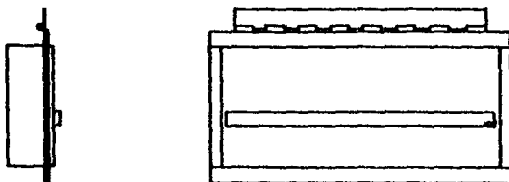
Estas unidades se pueden construir para aplicaciones sanitarias, en la industria alimentaria, farmacéutica, química, plástica, papelería, textil, azucarera, jabonera y otras.



VISTA SUPERIOR



PLACA FIJA CON BARRA TRAMPA



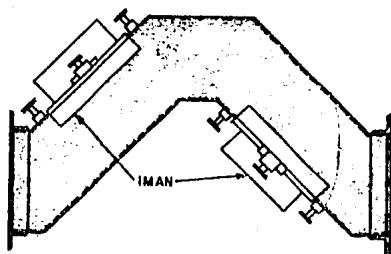
PLACA ABISAGRADA CON BARRA TRAMPA

PLACAS MAGNETICAS

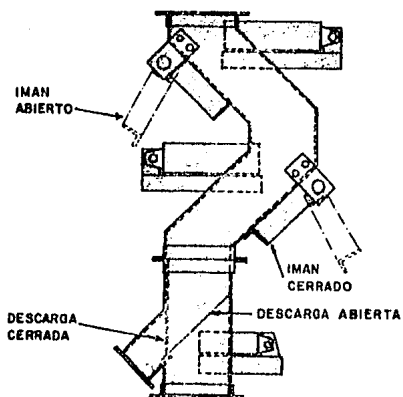
4.1.2.- JOROBAS MAGNÉTICAS (HUMPS).- Las jorobas magnéticas, son separadores diseñados para dar máxima protección magnética y una limpieza eficiente de materiales magnéticos. El diseño tipo joroba, permite a este separador tener ventaja de la diferencia en inercia, entre el material magnetizable y el material que está siendo limpiado. El fierro, por su peso tiende a viajar más tiempo en línea recta que el material más ligero, por lo que se dirigen directamente a la cara del imán.

En estos separadores el material cambia de dirección reduciendo la velocidad y creando una acción turbulenta, lo que permite a los imanes atrapar el fierro existente.

Las jorobas magnéticas, que constan de dos placas magnéticas en un armazón, se instalan generalmente en ductos verticales, pero pueden utilizarse en ductos horizontales (transportes neumáticos), para la separación ferrosa de fibras, hilos, astillas y rebabas de madera, carbón pulverizado, productos químicos, arcilla, granos y productos alimenticios, arena y muchos otros materiales.



TIPO HORIZONTAL



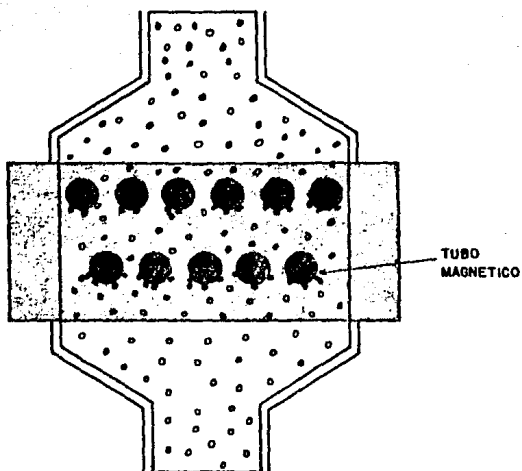
TIPO VERTICAL

JROBAS MAGNETICAS

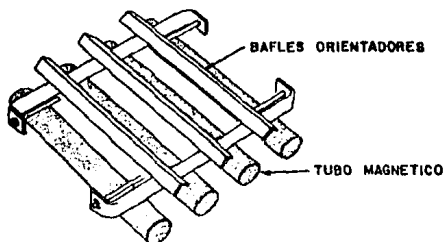
4.1.3.- BARRAS Y TUBOS MAGNETICOS.- Las barras y tubos magnéticos son de construcción delgada (1" de diámetro) y están unidos en los extremos con una resina epóxica. La instalación es rápida y simple.

En las barras existen soportes igualmente espaciados, según su longitud y son proporcionados para removerlos fácilmente y así permitir ajustes al momento del montaje.

Los tubos en cambio, vienen roscados en los extremos, para facilitar aún más la instalación. Estos separadores de imán permanente, se utilizan para la separación magnética de hierro fino y pequeñas partículas de granos, polvos, fibras, en ciertos líquidos, plásticos, hule, velos de algodón, productos alimenticios y otros.



INSTALACION DENTRO DE TOLVAS Y CHUTES



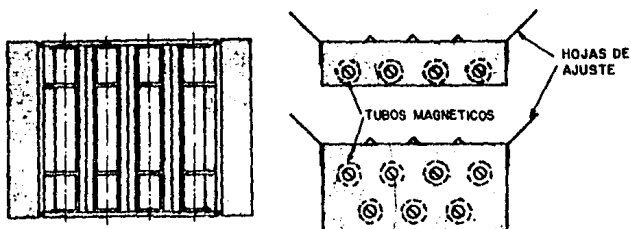
**PARA INSTALACION EN CUALQUIER FORMA DE TOLVA
BARRAS Y TUBOS MAGNETICOS**

4.1.4.- REJILLAS MAGNETICAS.- Existen también otro tipo de separadores a lo que se les denomina Rejillas Magnéticas. Estas son diseñadas para instalaciones simples en tolvas de forma regular o irregular, en aberturas o alimentaciones al piso, ductos, canales cerrados, tambores y otras instalaciones similares. Se fabrican diferentes tipos de rejillas según el tipo de aplicación; las hay de fabricación sanitaria y de autolimpieza; tipo alón y de cajón, con uno ó dos bancos de elementos magnéticos; rejillas en armazón para ductos, con adaptadores según el diámetro del ducto, llevan una puerta central en el armazón que facilita la limpieza de los elementos magnéticos. Estas rejillas son para partículas ferrosas y para contaminación fina, siendo de 2 y 4 bancos respectivamente. Los tubos magnéticos son de 1" de diámetro y con separación de 1" y 1/2" (para fierro fino) entre tubo y tubo, llevando una posición intercalada entre los bancos superiores e inferiores. Cuando existe el problema de atascamiento en la rejilla se le puede instalar en el armazón un vibrador, para hacer fluir el material con mayor facilidad.

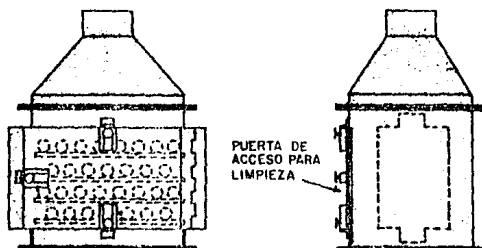
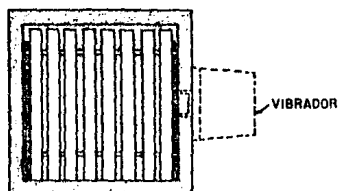
Existen además las Rejillas Rotatorias, con o sin motor, para ser colocadas en ductos verticales; las rejillas para tambor o barriles y las rejillas circulares o rectangulares de acuerdo a la forma de la tolva. A excep

ción de las rotatorias, todas las rejillas pueden ir provistas de unos deflectores de acero inoxidable que obligan al flujo ir hacia el elemento magnético y evitan, altas velocidades, antes de depositarse en los tubos magnéticos.

Las rejillas magnéticas, se utilizan en la industria farmacéutica, alimentaria, plástica, vidriera, química, textil, jabonera, disquera y otras.



TIPO BANCO SENCILLO Y DOBLE CON HOJAS DE AJUSTE



REJILLAS CON GABINETE

REJILLAS MAGNETICAS

4.2.- POLEAS MAGNETICAS PERMANENTES Y ELECTROMAGNETICAS.

Las poleas magnéticas permiten la separación automática del hierro no deseado, de materiales transportados sobre bandas, evitando daños a la maquinaria y la posible contaminación de productos alimenticios, químicos, mineros, cerámicos, celulósicos.

Estas poleas, sustituyen a las poleas de mando de los transportadores de banda y atrapan el hierro contaminante del material no magnético que viene sobre la banda; el hierro al ser atraído, se mantiene pegado a la banda hasta alcanzar la parte inferior y quedar fuera del campo magnético para ser separado. El material no magnético es descargado sobre la polea en una trayectoria normal.

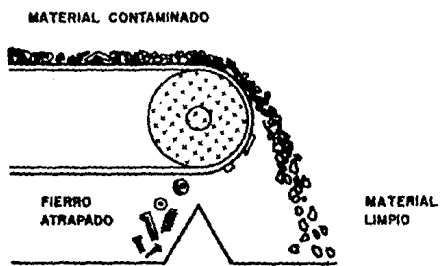
Es usual que en estas aplicaciones se instalen separadores ajustables que permitan una mejor separación en la descarga. Este tipo de poleas magnéticas permanentes pueden ser fabricadas con elementos magnéticos de aluminio para aplicaciones en altas temperaturas.

Existen también las poleas electromagnéticas, las que son usadas para atrapar hierro que sería difícil de separar a altas velocidades y camas profundas de material. Otras aplicaciones incluyen la concentración de materia

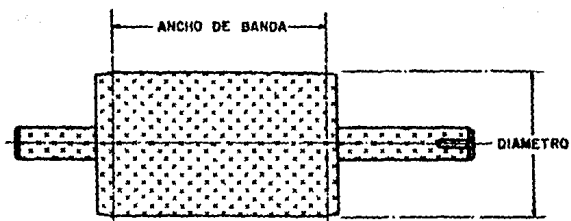
les magnéticos, la purificación de materiales no magnéticos y otras en donde una gran fuerza es requerida según el tamaño de la pieza.

Estos equipos son aplicables en la industria minera, papelera, fundición, cerámica, cementera, alimentaria, química, vidriera, recuperación de basura y azucarera principalmente.

**/*



REMOCION DE FIERRO



POLEAS MAGNETICAS

4.3.- TAMBORES MAGNETICOS PERMANENTES Y ELECTROMAGNETICOS.-

Con los separadores tipo tambor, se obtiene una mayor eficiencia en la separación magnética, y para muchas aplicaciones son capaces de dar muchos años de servicio con un mantenimiento prácticamente nulo. Son ideales en aplicaciones de grandes flujos y materiales altamente abrasivos, tales como carbón, minerales, azúcar de caña, etc.

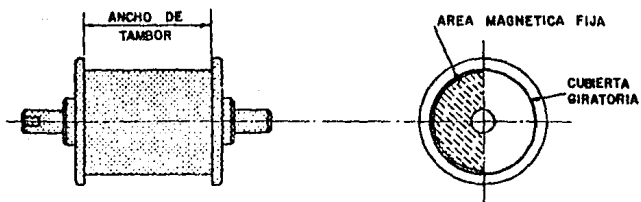
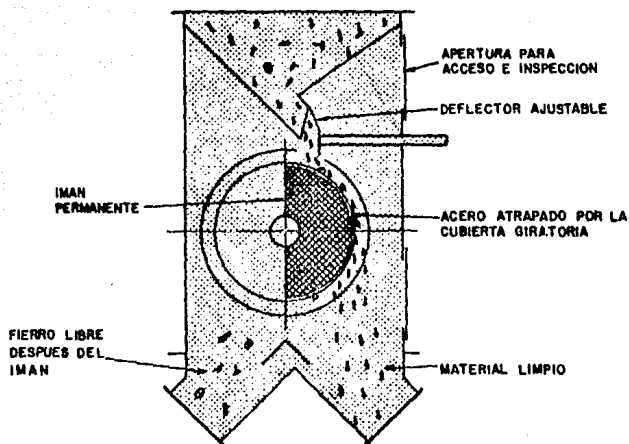
Su construcción facilita el recambio de rodamientos sin necesidad de desensamblar completamente los tambores; tienen paneles de inspección al frente y atrás de los armazones, e incluso permiten retirar el tambor del armazón, sin quitar este de la línea donde está instalado.

El principio de operación es el siguiente: Cuando el material llega al tambor, el campo magnético permanente, atrae y mantiene las partículas ferrosas pegadas, a la cubierta del tambor. Como la cubierta lleva el material a través del campo magnético estático, el material cae libremente de la cubierta, mientras que las partículas ferrosas son firmemente mantenidas, hasta que son llevadas más allá de un deflector y fuera del campo magnético.

Este tipo de tambores magnéticos (en vía seca) se aplican con regularidad en la industria alimentaria, quími-

ca, minera, metalúrgica, fundición, cementera, farmacéu-
tica, plantas municipales de basura.

Los separadores magnéticos de tambor (vía húmeda), si
ven para la recuperación de magnetita y ferrosilicio y
la concentración de minerales, de suspensiones de lava-
do. Existen dos tipos de tanques en estos tambores. -
Se usa el estilo de flujo paralelo cuando se requiere -
un concentrado magnético completamente limpio. En este
caso el tambor gira en el sentido de la alimentación-
produciendo el concentrado magnético en el lado contra
rio, después de la salida del líquido limpio de materia-
les magnéticos en un 99.0%. Se utiliza el tanque en es
tilo contracorriente con el concentrado magnético en el
mismo lado del de la alimentación cuando no se requiere
un concentrado magnético muy limpio. En aplicaciones
donde se requiere una máxima recuperación magnética se
puede utilizar un separador de doble paso, donde se uti
lice el tambor de flujo paralelo como primer paso y co
mo segundo paso el de contracorriente.



TAMBORES MAGNETICOS

4.4.- SEPARADORES MAGNETICOS SUSPENDIDOS SOBRE BANDAS TRANSPORTADORAS.

Estos separadores suspendidos sobre bandas transportadoras tienen una gran importancia en la protección de equipo industrial en determinados procesos y en la pureza final de un producto. Existen dos tipos de separadores suspendidos, a saber Permanentes y Electroimanes, los cuales pueden ser fabricados a prueba de explosión y enfriados por aceite o por aire.

Los separadores magnéticos permanentes son contruidos a base de potentes imanes de cerámica, suministrando una intensidad de campo ininterrumpida, sin costos de operación eléctrica y de reparación. Pueden ser fabricados de limpieza manual, llevando una charola mecánica de acero inoxidable en la parte inferior, del separador, de modo tal que al deslizarla haga caer las piezas ferrosas atrapadas. También se fabrican en el estilo autolimpieza, de modo que llevan una banda alrededor de la caja del separador movida por un motor, lo que hace que al mismo tiempo que el fierro sea atrapado, sea expulsado hacia un costado de la banda transportadora de material.

Los electroimanes suspendidos, son usados cuando la profundidad de la cama es muy grande y cuando la aplicación es difícil para un separador permanente, debido al

espacio requerido y al espacio disponible y a las características propias del material y transportador.

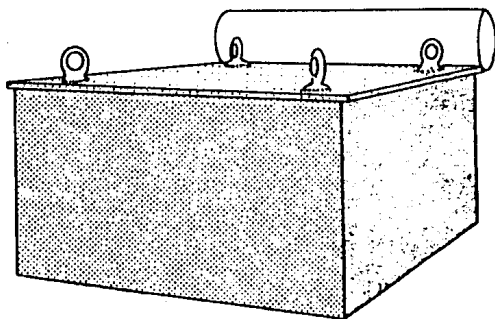
Estos electroimanes pueden ser colocados en posición transversal sobre la banda, o suspendidos sobre la polea de cabeza del transportador, teniendo en este caso que colocar una polea de material no magnético, para evitar la inducción magnética. Esta forma de suspensión es debido a la velocidad de la banda transportadora que cuando es arriba de 350 pie/min. debe suspenderse sobre la polea, porque en este caso el material al ser descargado describe una curva ideal, abriendo la cámara y permitiendo así al electroimán atrapar el fierro con mayor facilidad.

Al igual que en los separadores permanentes, los electroimanes pueden ser de limpieza manual o de autolimpieza. El calor y la humedad, los más grandes enemigos de los electroimanes, son en algunos casos controlados por el uso de tanques de expansión, que aseguran que las bobinas estén siempre completamente cubiertas con aceite refrigerante. Estas unidades tienen un espacio dentro del cuerpo del imán, donde la condensación se lleva a cabo cuando la humedad del aire se filtra a través de la válvula de alivio de presión al enfriarse el imán,

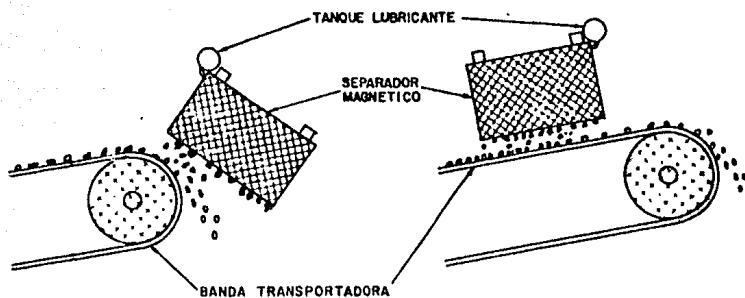
entonces el tanque de expansión atrapa a esta humedad y la mantiene fuera del embobinado del imán.

Los separadores magnéticos suspendidos encuentran aplicación en diferentes industrias como en la cementera, papelera, fundición, azucarera, minera, cerámica, vidriera, automotriz, etc.

/



TIPO LIMPIEZA MANUAL



SEPARADORES MAGNETICOS SUSPENDIDOS

4.5.- TRAMPAS Y FILTROS MAGNETICOS (PARA LIQUIDOS Y SUSPENSIONES).

Las trampas magnéticas, son separadores de imán-permanente, ideales para trabajar en tuberías que llevan líquidos y suspensiones.

Si el fluido debe ser manejado a alta temperatura se utilizan elementos magnéticos de álnico en lugar de los cerámicos, asegurando así la pureza del producto al separar las partículas finas de contaminación ferrosa existente en el proceso. Este tipo de trampas reducen el mantenimiento a filtros, mezcladores, bombas, refinadores y otras maquinarias de proceso al eliminar obstrucciones y paros de producción.

Existen diferentes tipos de trampas magnéticas, dependiendo de la aplicación y de las propiedades del material y del proceso, pero en general podemos describir que el elemento magnético consistente de un grupo de tubos magnéticos es así arreglado para permitir que al entrar el flujo al cuerpo de la trampa, choque contra los tubos y se filtre a través del campo magnético; además estas trampas pueden llevar el cuerpo fabricado tipo-"pocket", para también atrapar partículas no magnéticas como piedras u otros objetos pesados. Los tubos magnéticos de las trampas, pueden ir cubiertos por mallas finas que ayudarán a atrapar y retener las partículas más finas. Este tipo de trampas encuentran su aplicación-

en la industria farmacéutica, papelera, jabonera, química, pinturas, cerámica.

Los filtros magnéticos, pueden ser permanentes o electromagnéticos y son específicamente diseñados para remover partículas de contaminación ferrosa muy fina de líquidos o suspensiones que fluyen a través de una tubería o por batcheo (lotes), tales como tintas, pinturas, aceites, esmaltes, barnices, soluciones químicas.

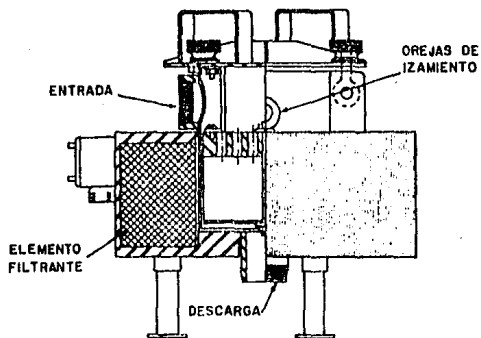
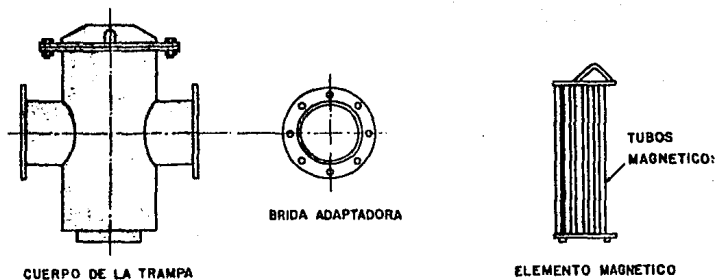
4.6.- CONCENTRADORES MAGNETICOS.

Existen gran número de concentradores magnéticos de alta intensidad para manejar materiales húmedos y secos.

Varias compañías a través del mundo, entre las que se pueden contar firmas como Sala, Jones, Dings, Eriez, -- Magnetoool, Ohio fabrican este tipo de separadores.

A continuación se describen los tipos existentes.

- 4.6.1.- CONCENTRADOR MAGNETICO PARA LABORATORIO.- Dentro de los concentradores en vía húmeda existen los separadores de alta intensidad (HIW High Intensity Wet) para laboratorio que consisten de dos bobinas electromagnéticas con una caja de acero inoxidable que contiene un elemento convergente de flujo localizado entre los polos magnéticos.



TRAMPAS Y FILTROS MAGNETICOS

Esta caja con válvulas de entrada y salida lleva un embudo para operaciones de alimentación manual. Se usan unas mallas con bordes muy agudos, a los cuales la alimentación está expuesta. Cada borde es altamente inducido durante la operación y suministra la suficiente intensidad para separar las partículas débilmente magnéticas. Como estas mallas están colocadas verticalmente, forman una corriente acanalada, la cual asegura una descarga limpia de material no magnético. Este separador tiene una capacidad aproximada de 4 G.P.M. de alimentación de pulpa, con aproximadamente 20% en sólidos con partículas a -30 mallas, y fue diseñado para materiales de prueba y predecir datos de operación y funcionamiento para modelos más grandes, considerando la intensidad magnética, elementos convergentes de flujo, velocidad de alimentación, porcentaje de sólidos, tiempos y otros. Este concentrador desarrolla alrededor de 9,000 gauss en la línea de centros de gap vacío y alcanza hasta - - aproximadamente 20,000 gauss en los bordes de los elementos.

Las pruebas se corren vaciando o bombeando, una muestra de pulpa dentro del separador con el imán energizado. - Las partículas magnéticas se recogen en los elementos magnéticos durante la operación y las partículas no magnéticas son llevadas a través de la zona magnética por

fuerzas de arrastre. Las partículas magnéticas son lavadas por alimentación de agua a través de la caja cuando el imán está apagado. El tiempo de la alimentación y los ciclos de lavado pueden ser fácilmente tomados y los productos pesados y examinados para los cálculos correspondientes de la eficiencia de separación.

Este separador es un concentrador magnético de los más avanzados y seleccionados en la concentración y separación de materiales débilmente magnéticos. Se utiliza con frecuencia en la separación de materiales paramagnéticos tales como:

- a) Hematita y goetita en el aprovechamiento de minerales de hierro.
- b) Oxidos de hierro y ferrosilicatos de cuarzo y arcillas usados para la fabricación de vidrio, esmalte y cerámica.
- c) Ilmenita, wolframita, columbita, durante la concentración de ganga.
- d) Ferroóxidos y óxidos de ferrotitanio, casiterita, zirconio y concentrados de rutilo.

4.6.2.- CONCENTRADOR MAGNETICO PARA PLANTA PILOTO.- Otro separador de gran importancia para la concentración de minerales magnéticos en húmoro fué diseñado para laboratorios y plantas pilotos de baja capacidad.

La unidad básica consiste de un electroimán estacionario montado sobre una flecha con una cubierta externa de acero inoxidable, cubriendo completamente el elemento magnético. El tambor y el ensamble de la cubierta giran sobre los rodamientos alrededor de la flecha fija y el imán. El ensamble del tambor entero es soportado en un tanque de acero inoxidable conteniendo el nivel de agua y el control de descarga. Un lado de este tanque es transparente, para que la separación y el nivel del agua puedan ser observados.

Este modelo tiene una capacidad de hasta 8 G.P.M. y puede ser usado en operaciones de flujo paralelo y contracorriente. Es capaz de simular cualquier tipo de operación en el beneficio de minerales y trasladar los resultados a equipo industrial. Como se usa un elemento electromagnético, la intensidad de campo puede ser regulada para determinar la condición óptima de separación por ajuste del voltaje de entrada y la separación existente entre el tambor y el tanque.

La operación a flujo paralelo es más efectiva para la producción de un concentrado magnético, limpio y es ampliamente usado en sistemas de concentración de minerales. La operación con el tambor a contracorriente es deseable cuando las pérdidas magnéticas son mínimas y no se requiere un concentrado magnético tan limpio.

4.6.3.- CONCENTRADOR MAGNETICO EN VIA HUMEDA. Para trabajar en laboratorios y plantas piloto, se diseñó el separador magnético en húmedo, siendo una de sus ventajas la facilidad con que se controlan en el las variables que intervienen en el proceso. Todas las variables, incluyendo la fuerza del campo magnético, densidad de alimentación, velocidad de alimentación y del anillo separador del producto y el rocío del lavado se ajustan independientemente. Los tres elementos principales de este separador son una gran bobina, que genera un campo electromagnético de alta intensidad; el disco anular conteniendo los elementos de flujo convergentes y la charola de descarga debajo del disco anular para recoger los materiales separados. Su capacidad varía de acuerdo a los tipos de alimentación y a las necesidades de separación, con un rango de 500 a 1,500-lb/hr. para muchos materiales.

Con este modelo, se pueden analizar grandes o pequeñas muestras para determinar las ventajas y desventajas de varios factores tales como la intensidad magnética, los elementos de flujo convergentes, velocidad de alimentación, porcentaje de sólidos en la alimentación y otras variables.

La alimentación conteniendo los materiales magnéticos y no magnéticos, es introducida dentro del disco en movi

miento y el elemento magnetizado atrae y mantiene partículas ferromagnéticas, permitiendo pasar a las fracciones no magnéticas a través de la zona magnetizada. Cuando están fuera del campo magnético del separador, los materiales magnéticos son liberados. Los elementos pasan a través de una etapa de lavado, donde las partículas magnéticas son enviadas dentro de un compartimiento en la charola de descarga. Los separadores ajustables mantienen las fracciones magnéticas separadas de las no magnéticas.

Este equipo puede ser fabricado también con imán permanente, para aplicaciones en las cuales no se requieren los campos de alta intensidad generados por las bobinas electromagnéticas. Estas unidades tienen la ventaja adicional de ser más baratas y con un costo de operación menor que las electromagnéticas. Con la excepción de la sustitución de los poderosos imanes permanentes en vez de la bobina electromagnética, el modelo permanente es construido y operado de la misma manera que los modelos electromagnéticos. La fuerza del campo magnético se ajusta controlando la ubicación de los imanes.

Los separadores de este tipo pueden tener una variante, conteniendo una matriz múltiple, lo cual permite intercambiar una amplia variedad de matrices para produ

cir alta intensidad, y campos magnéticos de alto gradiente. En este modelo una variable muy importante es precisamente el tipo de matriz, contenida dentro del disco o carrusel en movimiento. El disco es hecho de acero inoxidable maquinado para suministrar alrededor de 36 compartimientos rectangulares con cubiertas individuales. Las matrices pueden ser quitadas rápidamente removidas para inspección, limpieza o cambio, sin dañar el anillo. El sistema de mando variable es localizado bajo el disco lo que permite visibilidad completa del área de separación. La bobina electromagnética enfriada por aceite contiene un tanque de expansión y una válvula de alivio de presión y está completamente cerrada para protegerla de la humedad, polvo, productos químicos y otros elementos que puedan deteriorarla.

Entre las variables a considerar se cuentan las siguientes:

- a) Densidad de la suspensión,
- b) Velocidad y gasto de alimentación.
- c) Tamaño y susceptibilidad magnética de los sólidos.
- d) Volúmen total de sólidos a separar.
- e) Pureza requerida de producto magnético y no magnético.
- f) Costo y disponibilidad de energía.
- g) Configuración del campo magnético e intensidad.

- h) Velocidad del disco anular.
- i) Montaje del separador.
- j) Tipo de matriz (rejillas metálicas expandidas, bolas de acero, placas acanaladas o ranuradas, acero inoxidable magnético serie 400 o combinaciones de materiales, tales como el filtro tipo "Sandwich" de acero inoxidable magnético y metal expandido.
- k) Presión y volúmen de agua de lavado.

Estos separadores se aplican generalmente en la separación de materiales paramagnéticos al igual que el Concentrador Magnético para laboratorio.

4.6.4.- SEPARADOR MAGNETICO DE ALTA INTENSIDAD EN VIA SECA.- -
Diseñado especialmente para la concentración en vía seca, este equipo, tiene circuitos magnéticos capaces de separar muchos materiales que sería imposibles de procesar en cualquier otro tipo de separador magnético.

En el se combinan la alta intensidad de campo, y la fuerza de gravedad con una alimentación cuidadosamente controlada para obtener lo más avanzado en Separación-Concentración de materiales. Estos equipos son ideales para la concentración de minerales y óxidos débilmente magnéticos de alimentaciones no magnéticas.

El diseño de las bobinas permite una operación continua

de 24 Hrs. por dfa, sin sobrecalentamiento. Las variaciones en las propiedades y tamaño de los materiales que pueden ser separados, hacen difícil expresar las capacidades en términos de peso, pero una regla práctica para propósitos de estimación de capacidades es 1 pie³-por 1" de ancho de rodillo. Las capacidades actuales, sin embargo, pueden variar mucho más, tomando en consideración el tamaño, la densidad, la cantidad de fracciones magnéticas a ser removidas del material a procesar. Los materiales deben estar secos, fluir libremente y para mejores resultados deben estar dentro del rango de -8 a + 150 mallas.

Este separador, consiste de una serie de rodillos formados de discos magnéticos y no magnéticos colocados alternadamente. Las laminaciones magnéticas son de acero con una gran permeabilidad y de la más alta calidad magnética. Las laminaciones no magnéticas son templadas de tal modo que los dos materiales se desgastarán uniformemente. Estos rodillos se energizan por inducción desde un potente electroimán estacionario. Los polos del imán están en proximidad a los rodillos y el flujo magnético converge sobre los bordes agudos de las laminaciones magnéticas, produciendo cientos de campos magnéticos de gran fuerza sobre la superficie de los rodillos. El material a procesar es alimentado, cuidadosa-

mente por un alimentador electromagnético al primer rodillo. Como el rodillo está girando, el material pasa a través de una angosta abertura entre el polo del imán y el rodillo, y las partículas no magnéticas son descargadas del rodillo en su trayectoria natural. Las partículas magnéticas son atraídas al rodillo, y son desviadas de su trayectoria natural y descargadas a un canal-separador. Las partículas no magnéticas del primer rodillo, pasan al rodillo inferior por gravedad donde el proceso es repetido.

Un divisor ajustable es montado bajo cada rodillo para regular la cantidad de material separado.

Es una regla práctica el tener cada rodillo sucesivo con mayor fuerza magnética que el rodillo que lo precede. Esto se lleva a cabo ajustando los polos, por lo que la abertura entre el polo y el rodillo será cada vez más pequeña para cada paso de separación.

Para aplicaciones más refinadas es deseable que los materiales a ser separados se clasifiquen de acuerdo al tamaño antes de ser alimentados al Separador

La arena sílica usada en la fabricación de vidrio debe tener un bajo contenido de hierro. Muchos depósitos de arena sílica, inapropiados para uso comercial por el exceso de contaminación de óxido de hierro, han podido-

ser aprovechados comercialmente utilizando un separador de rodillos inducidos.

Muchos minerales incluyendo cromita, wolframita, titanio, rutilo, manganeso y otros son concentrados en separadores de rodillos múltiples. El rodillo superior separa el hierro y los óxidos de hierro contaminantes. Los siguientes rodillos separan los productos concentrados; la ganga no magnética pasa a través de la máquina por gravedad.

En aplicaciones específicas, partículas nocivas contenidas en la sal y otros productos alimenticios pueden ser removidas por estos separadores. Los óxidos de hierro que causan manchas en productos cerámicos son fácilmente separados.

Otras separaciones típicas, incluyen la reducción de óxido de fierro, en sienita, dolomita, bórax, y materiales similares; la separación de ilmenita, monazita y granate de la arena de playa; separación de cromita y pirita de concentrados de diamante y otros.

Este tipo de separadores magnéticos de rodillo inducido es utilizado frecuentemente en la industria minera, por tal motivo, se describe a continuación el proceso de beneficio de minerales oxidados de plata y plomo por concentración magnética, en una mina ubicada en el Estado-

de Coahuila.

El proceso consiste básicamente en preparar el mineral, para que reúna las especificaciones requeridas para ser procesado en los separadores magnéticos, estas especificaciones son:

Molienda	-20 Mallas
Humedad	1.0%

Para la preparación del mineral se cuenta con una sección de trituración y secado, a la cual se alimenta mineral a -6" y 5% de humedad.

Una vez que el mineral está dentro de las especificaciones anteriores, se pasa a la sección de separación magnética donde es tratado tomando en cuenta sus leyes de plata, plomo y fierro. Lo anterior se logra mediante la utilización apropiada de las constantes de operación de los separadores, las cuales son: Velocidad de rodillos, cantidad de mineral alimentado y densidad de flujo.

Las reservas con las que se cuenta actualmente son de 547,938 toneladas de mineral con las siguientes leyes - totales:

Ag	-	739 Gr/Ton.
Pb	-	16.9%
Fe	-	41.2%

/

Debido al proceso de oxidación de los elementos presentes en el cuerpo de mineral económico y considerando la movilidad de estos, se pueden distinguir tres zonas verticales de concentración de valores de acuerdo a sus orígenes de formación.

1a.- Zona. Esta zona está comprendida entre la parte superior y media del cuerpo, encontrándose que los valores de plomo son más altos que los de plata.

2a.- Zona. Esta se encuentra precisamente en la parte media del cuerpo, aumentando los valores de plata y disminuyendo en la misma proporción los valores de plomo, considerando esta zona como de transición.

3a.- Zona. Esta comprende la parte media e inferior del cuerpo, donde los valores tanto para el plomo como para la plata decrecen, pero los de plomo en mayor proporción.

El cuerpo en general, está rodeado por material que presenta valores bajos de plata y plomo con valores altos de fierro, principalmente en forma de hematita.

Los minerales más importantes que se encuentran presentes son:

Minerales de plata: Cerargirita, proustita, pirargiri-

ta, argentojarosita.

Minerales de plomo: Cerusita, anglesita, minio.

Minerales de fierro: Hematita, magnetita, gohetita.

Debido al alto contenido de fierro en el mineral se vió la necesidad de tratarlo por algún medio de concentración física, para que su extracción resultara económica y el producto resultante reuniera las especificaciones para su fundición.

Los tipos de experimentaciones metalúrgicas que se efectuaron para determinar cual proceso se adaptaba al mineral fueron: Concentración magnética en seco y húmedo, -flotación a diferentes grados de molienda, mesas de concentración, separación neumática y pulsadores, obteniéndose los mejores resultados en concentración magnética en seco y flotación.

La diferencia entre los resultados obtenidos en los dos procesos anteriores resultó mínima, resultando por lo tanto ser más económico el proceso de separación magnética debido a la escasez de agua en la región.

Con el fin de simplificar la descripción de las operaciones unitarias de que se compone el proceso, se enuncian las siguientes secciones:

- a) Trituración y secado.
- b) Colección de polvos de trituración y secado.

- c) Molienda y clasificación.
- d) Colección de polvos de molienda y clasificación.
- e) Separación magnética.
- f) Colección de polvos de separación magnética.

La sección de separación magnética consta de seis separadores de rodillos de una capacidad de 3-5 Ton/Hr. cada uno. El mineral seco y a un tamaño de -20 mallas - producido en las secciones anteriores, se alimenta a -- los separadores por medio de alimentadores vibratorios. El producto no magnético (concentrado) producido, se almacena en un silo de 600 Tons. de capacidad para su - - embarque a la fundición y el producto magnético (colas) descarga a otra tolva de 600 Tons. de capacidad, de la cual pasa al sitio donde se almacenan. Las variables - que influyen en la eficiencia, del proceso de separa - ción magnética en seco descrito, son las siguientes:

- a) Humedad.
- b) Tamaño del material alimentado.
- c) Velocidad de los rodillos.
- d) Capacidad de alimentación (Ton/Hr).
- e) Intensidad del campo magnético.

Entre los principios bajo los cuales operan los separadores magnéticos en seco, se cuenta primeramente el hecho de que para producir un campo magnético de alta intensidad, capaz de separar minerales débilmente magnéti

cos como la hematita de este caso, es necesario que la abertura del entrehierro o distancia que hay entre el rodillo y el núcleo, sea mínima. En este caso, es de 2 mm, por lo tanto, el mineral deberá estar molido a un tamaño ligeramente menor. El principio fundamental para la operación de este tipo de separadores, es la respuesta de las partículas minerales de diferente permeabilidad magnética al ser sometidos a un campo magnético; este efecto se ve afectado prácticamente por el peso específico, tamaño de la partícula, pureza del mineral y por las propiedades mecánicas del separador.

Los rodillos están constituidos de una serie de discos circulares laminados de tal forma que alternadamente -- presentan diferente diámetro, resultando una superficie dentada a lo largo del rodillo, produciéndose por lo -- tanto campos magnéticos locales de mayor y menor intensidad, permitiendo así una mejor separación del producto magnético del no magnético.

La alimentación a cada uno de los separadores magnéticos, se efectúa, por medio de dos tolvas, cada tolva alimenta por medio de un alimentador vibratorio a dos rodillos. Las partículas de mineral caen por gravedad a la parte superior del rodillo, zona en la que se manifiesta la mayor intensidad magnética, y en donde las partículas de alta permeabilidad magnética son atraídas al-

rodillo. Las partículas de mineral no magnético siguen una trayectoria normal, alejándose del rodillo debido a la fuerza centrífuga impartida por el mismo.

A la altura de la parte superior del rodillo y en el núcleo o polo se encuentra una franja no magnética que provoca que el campo magnético disminuya con el fin de liberar las partículas de mineral no magnético atrapadas en la capa de producto magnético, es decir, evita el arrastre mecánico de las partículas no magnéticas.

Por lo general, este tipo de separadores viene equipado con dispositivos limpiadores que se colocan en la parte inferior del rodillo, su finalidad es limpiar y no dejar acumularse el producto magnético en los rodillos ya que de lo contrario perdería el efecto de la convergencia de las líneas de fuerza magnética sobre los puntos de los discos y con ello se vería disminuida la capacidad de separación. También cuentan con hojas de material antimagnético que se encuentran colocadas frente al rodillo, y cuya finalidad es coleccionar y evitar que el producto magnético contamine al no magnético y viceversa.

Los resultados de las pruebas metalúrgicas, sugieren que alimentando el mineral con una humedad de hasta 1.0%, una molienda entre el rango de -10 a -20 mallas, una alimentación de 3 a 5 Ton/Hr., y una densidad de

flujo de 10 Kilogauss es suficiente para obtener buenos resultados metalúrgicos. Ahora para este caso específico del mineral con que se efectuaron las pruebas, la velocidad óptima de los rodillos fué de 250 RPM. Pero, suponiendo que la ley del mineral varíe, ya sea que subiera o bajara en plata, plomo y fierro, las constantes anteriores permanecerían iguales regulando entonces la eficiencia de separación solamente con la velocidad de los rodillos. Como se observa, la operación de la planta para lograr buenos resultados metalúrgicos es sencilla una vez que se conocen los parámetros de operación y la influencia de cada uno de ellos sobre el proceso.

Considerando lo anterior, los puntos que han causado problemas a la operación, son la presencia de caliza y el insoluble, en el mineral de mina, que como productos no magnéticos son dirigidos hacia el producto no magnético disminuyendo las leyes del mismo, sin afectar la recuperación. Este problema se ha resuelto por medio de un sistema de cribado que disminuye considerablemente la cantidad de caliza en el mineral alimentado. Otro de los problemas ha sido la gran cantidad de finos que ocasionalmente se presentan en el mineral de mina, el cual contiene hasta un 35% a -200 mallas y el 40% del total de los valores de plata y plomo, influyen de lo anterior en una baja ley y baja recuperación en el concentrado debido a que las partículas finas de los mine-

rales de plata y plomo no alcanzan a ser separadas de la corriente de material magnético por la fuerza centrífuga impartida por el rodillo.

4.6.5.- TUBO DAVIS.- Para determinar las características de separación magnética de minerales con partículas ferrosas y para revisar la calidad del concentrado de la planta y de las colas, se utiliza a menudo el llamado tubo Davis.

El tubo Davis es una unidad de laboratorio indispensable para determinar las fracciones ferromagnéticas y no magnéticas de pequeñas muestras de mineral de hierro magnético pulverizado, magnetita, pirita, etc., Es útil en la determinación de el tamaño de liberación, índice de selectividad, grado y recuperación de compuestos ferromagnéticos. En plantas en operación, sirve como un dispositivo de control para determinar la calidad de las colas y del concentrado. La intensidad de campo de 4000 Gauss en el centro de la abertura (gap) del tubo Davis garantiza un funcionamiento superior y resultados consistentes y confiables. La velocidad variable de oscilación desde 1 a 90 ciclos y el ángulo ajustable de operación desde horizontal hasta 45° de inclinación, suministran gran flexibilidad para establecer funcionamiento adecuado a las necesidades y procedimientos del laboratorio.- La rotación del tubo de 120° y el juego del tubo de 2" -

son fijos. Cuando el imán es energizado, una muestra seca y molida de mineral es introducida al tubo lleno de agua. El tubo oscila mientras que un flujo suave de agua pasa a través del tubo lavando las partículas no magnéticas.

Las magnéticas, son captadas y mantenidas en el tubo, entre los polos magnéticos. Después, se quita el tubo del separador y las partículas magnéticas son lavadas, recogidas, secadas y analizadas.

4.6.6.- SEPARADOR ELECTROSTATICO.- El separador electrostático, es una unidad de laboratorio compacta que utiliza los efectos de alta tensión y cargas electrostáticas para la separación de materiales conductores y no conductores.

Se utiliza generalmente para la separación de:

- a).- Minerales esencialmente no magnéticos desde la anorthita hasta el zircón.
- b).- Metales de plásticos, como en la recuperación de alambre aislado.
- c).- Contaminantes de granos y alimentos procesados.

El separador de laboratorio electrostático y alta tensión, ha sido diseñado para obtener máxima versatilidad en arreglo y control. Los procedimientos de las pruebas se pueden repetir con exactitud para analizar la

eficiencia de separación de acuerdo a la velocidad de tambor, velocidad de alimentación, voltajes, distancia e inclinación de los electrodos y alambres.

Las características de este separador son:

- a).- Velocidad de alimentación exactos y ajustables.
- b).- Velocidades del tambor variables.
- c).- Tres electrodos en la cubierta del tambor.
- d).- Dos tipos de electrodos.
 - 1).- Tipo tablón (para tubo seco y cable).
 - 2).- Tipo arco (para tubo húmedo con puntas de agujas).
- e).- Posición del electrodo variable.
- f).- Operaciones repetidas para comparaciones de pruebas.
- g).- Voltaje (C.D.) variable de 0-50,000 Volts.
- h).- Voltaje (C.A.) variable de 0-30,000 Volts.
- i).- Fijadores de seguridad.

El separador electrostático maneja productos con rango desde 8-250 mallas. Las partículas más grandes pueden ser probadas con alguna modificación al equipo. El diseño físico de la máquina es tal que cualquier dato obtenido puede ser directamente proyectado a la planta en operación.

El separador electrostático es una unidad compacta montada sobre una estructura con la posición definitiva de

los electrodos. El flujo del material desde la tolva - de recepción, puede ser regulado por una compuerta ajustable. El alimentador vibratorio colocado bajo la tolva es ajustable y dosifica al tambor. La velocidad de alimentación es precisamente controlada por un simple - autotransformador de corriente alterna.

La velocidad de rotación del tambor es variable a través de un motor SCR-115V. El electrodo de C.A. ajustable - es opcional y puede ser montado a 220° alrededor de la - superficie del tambor para descargar cualquier carga remanente sobre las partículas aún atraídas a la cubierta del tambor en ese punto. Un cepillo es montado a 270° alrededor de la superficie del tambor para remover cualquier partícula que pudiera permanecer en ella.

Hasta tres electrodos de corriente directa pueden ser - usados, asegurando un efecto máximo de separación, sobre una amplia área de la superficie del tambor. La posición de los electrodos, angular y distancia, pueden - ser repetidamente seleccionados o ajustados, tomando como referencia las coordenadas polares del panel. Dos - separadores o divisores completamente ajustables, recolectan tres fracciones de la alimentación. La primera - fracción es el material más conductor, la central es el material medianamente conductor y la última fracción es el material no conductor.

Este tipo de separadores es usado esencialmente en la industria minera, plástica, eléctrica y alimentaria.

4.7.- LIMPIADORES MAGNETICOS DE REFRIGERANTES.

Estos separadores magnéticos, son de tambor permanente con un diseño especial en la caja de alimentación, construida en acero inoxidable en la zona magnética, con un nivel de sobre-flujo para evitar la inundación; consta de un rodillo que aprieta a todo lo largo de la superficie del tambor, para exprimir el exceso del fluido de las partículas metálicas atrapadas, minimizando el sobrante de refrigerante. Contiene raspadores de teflón para separar las partículas magnéticas más finas.

El tambor magnético bajo el cual fluye el refrigerante gira lenta e intermitentemente. Los materiales magnéticamente atraídos forman una masa de partículas finas entre el rodillo magnético y una placa deflectora de acero; ésta acumulación sirve como un medio filtrante, para atrapar partículas finas no magnéticas provenientes de la molienda y otros contaminantes. La masa de los materiales magnéticamente atrapados se acumula y bloquea el pasaje entre el rodillo magnético y la placa deflectora, causando que el refrigerante se mantenga dentro de la tolva. Esto cierra un interruptor de flotación activado y el rodillo magnético es abierto entonces automáticamente unos 5° el cual mueve el filtro y permite al re-

refrigerante una vez más fluir a través del campo magnético. La cantidad de movimiento es indicada por el rodillo y controlada por las condiciones de flujo y alimentación, así el limpiador de refrigerante opera a su máxima eficiencia bajo condiciones variables.

Los limpiadores de refrigerante están diseñados para usarse en molinos pulverizadores, máquinas de afilamiento, esmeriladoras, máquinas herramienta, brocas, rectificadoras, máquinas de recuperación de aceite y otras donde sea necesario limpiar el refrigerante. Por lo anterior este tipo de equipo es utilizado en la industria mecánica, eléctrica, de maquinaria y herramienta y otras donde la recuperación de aceite y refrigerante sea necesaria.

4.8.- FLOCULADORES MAGNETICOS (PARA LIQUIDOS Y SUSPENSIONES).

Estos separadores son unidades de imán permanente utilizadas para acelerar la sedimentación de sólidos magnéticos de suspensiones y líquidos a fin de facilitar la recuperación y separación de partículas magnéticas finas. Estas unidades son usadas ampliamente en la industria minera, carbonífera, del hierro y del acero. La floculación ocurre cuando una suspensión o líquido que contiene partículas magnéticas, pasa a través del campo magnético del floculador. Las partículas magnéticas finas son atraídas y magnetizadas unas a otras formando -

grandes partículas o floculos. Estas partículas se ven menos afectadas por la turbulencia del flujo y adquieren el suficiente volumen para sedimentarse de la suspensión, a una velocidad mayor que el de las partículas individuales no floculadas.

La floculación es el proceso de coagulación o unión de partículas finamente divididas. Es usado comúnmente en la separación de sólidos finos, de líquidos. Las fuerzas disponibles para flocular las partículas, incluyen el magnetismo, fuerzas iónicas de atracción y fuerzas entrópicas secundarias.

Generalmente cuando los sólidos están suspendidos en líquidos, una doble capa de iones existe en la superficie de las partículas sólidas. Las fuerzas electrostáticas naturales de esta doble capa son tales que las partículas sólidas iguales son repelidas unas a otras, debido a las cargas iguales de la superficie llamadas potencial-zeta. La probabilidad de una mayor adhesión en las partículas puede ser a través de una combinación de cuatro posibles mecanismos:

El primer tipo de floculación es debido a floculantes químicos llamados electrolitos, que actúan por la neutralización de la fuerza repulsiva de la inter-partícula.

El segundo tipo de floculación es debido a floculantes-

químicos llamados coagulantes, consistente en reactivos que causan la precipitación de flóculos voluminosos de hidróxidos metálicos, dentro de un rango definido de hidróxidos metálicos.

El tercer tipo, es debido a floclulantes químicos (poliacríamida), llamados polielectrolitos, consistente en polímeros orgánicos naturales o sintéticos de cadena larga y alto peso molecular.

El cuarto tipo de floclulación es debido al proceso físico de magnetismo y se aplica en partículas ferromagnéticas finas.

Los flocluladores magnéticos se construyen de un número predeterminado de imanes permanentes ensamblados en un armazón de acero inoxidable, el cual es soldado a una barra de acero. Dos de estas unidades son usadas para hacer un ensamble y son idénticas excepto que tienen carga opuesta.

Los flocluladores magnéticos deben ser colocados en líneas verticales, instalados cerca de la entrada a la alimentación de la pila o estanque de sedimentación. La sección de la tubería en el floclulador, debe ser de material no magnético, de otra manera las líneas magnéticas se desvían y de este modo se reduce el campo dentro de la tubería, por la inducción generada.

Los flocluladores permanentes estandar tienen una intensidad de campo en el centro del gap de 600 a 1000 Gauss.

La magnetización de las partículas ferrosas, se lleva a cabo cuando el efluente pasa a través del campo generado por imán. El bajo gradiente del campo magnético - ejerce solamente una ligera atracción de las partículas al imán, para permitir un flujo libre.

Es importante analizar las condiciones de operación y las características del material en cada aplicación, antes de seleccionar un floculador magnético. Las velocidades de sedimentación y clarificación se registran cada minuto. Cuando los sólidos se han sedimentado, el líquido es desalojado y el contenido de sólidos en partes por millón se determina en un analizador de aguas - previamente calibrado.

Para la mejor selección de los floculadores magnéticos se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- a).- Propiedades de la pulpa o suspensión a ser tratada.
- b).- Tamaño del material magnético.
- c).- Porcentaje de sólidos magnéticos en la pulpa.
- d).- Densidad y temperatura de la pulpa.
- e).- Litros por minuto del material a tratarse.
- f).- Diámetro y material de la tubería.
- g).- PH de la pulpa.

Los floculadores magnéticos son apropiados para utilizarse en altos hornos, depuradores en la industria del hierro y del acero, en la industria carbonífera, minera

y en lugares en donde se requiera de la recuperación de agua (libre de partículas magnéticas), una mayor velocidad de sedimentación y reducir al máximo la contaminación ferrosa en plantas de BOF.

4.9.- OTROS EQUIPOS MAGNETICOS.

- 4.9.1.- BARREDORAS MAGNETICAS.- Estas barredoras, son separadores magnéticos prácticos, rápidos y eficientes. Ya sean permanentes o electromagnéticas limpian grandes áreas de peligrosas piezas de fierro. Levantan del piso contaminantes como clavos, alambres, varillas, tuercas, -- tornillos, grapas y toda clase de fierro contaminante y para descargarlo simplemente se apaga en el caso de las electromagnéticas y en las permanentes, un armazón no magnético sirve como desmontador o removedor para el -- imán, simplemente moviendo un nivelador que levanta al imán y que permite al fierro atrapado ser descargado a tierra. Estas barredoras pueden ser tipo remolque, con llantas y generador de corriente directa o bien tomando la corriente de una grúa del tipo suspendido o del tipo manual. Estas barredoras pueden funcionar al máximo de su capacidad aún trabajando a velocidades de 16 km/hr.

Las barredoras magnéticas son utilizadas normalmente en carreteras, caminos, aeropuertos, zonas de descarga, estaciones, calles de la ciudad, almacenes, talleres mecánicos, eléctricos y de mantenimiento, parques y patios.

B) AUTOMATIZACION INDUSTRIAL.- En las últimas dos décadas ha habido avances significativos en la transportación, retención, elevación, levantamientos y control de piezas ferromagnéticas, utilizando las fuerzas del magnetismo. Consecuentemente, existen nuevos desarrollos en imanes y electroimanes que permiten conocer nuevos horizontes, en equipo magnético de diseño especial para aplicaciones poco comunes. En algunos casos, el uso de nuevo equipo magnético, aún con sus limitaciones intrínsecas, han proporcionado soluciones a problemas que no pudieron ser económicamente justificables, por el uso del equipo magnético antiguo.

El incremento en el uso de los imanes es consistente, con el aumento de la automatización en general y han resultado de gran importancia para la reducción en los costos de manufactura, así como en la eliminación de muchos problemas de mantenimiento. Los ingenieros de diseño y planeación saben de los beneficios derivados del uso de la fuerza de los imanes permanentes, y su creatividad se ha incrementado con nuevos inventos e ideas.

La aplicación del manejo magnético es muy amplio, tan grande, como los objetos ferromagnéticos a ser manejados. Los magnetos son usados para transportar, controlar, mantener, acelerar, elevar, bajar, orientar, girar y separar esos objetos ferromagnéticos. Sus usos son limitados solamente por la imaginación e ingenio de los ingenieros de diseño.

4.9.2.- RIELES Y RODILLOS MAGNETICOS.- En las plantas donde partes y materiales magnéticos requieran ser transferidos a altas velocidades, desde una área, nivel, o proceso a otro, el uso de transportadores o rodillos magnéticos reduce considerablemente el espacio requerido para el manejo de dichos materiales.

Estos rodillos magnéticos pueden ser permanentes o electromagnéticos, siendo los permanentes los utilizados con mayor frecuencia.

Los rieles magnéticos, son esenciales en la fabricación de elevadores, transportadores, paletizadoras y otros equipos de manejo de latas, botes, tapas y partes ferromagnéticas.

Estos dispositivos magnéticos, primordiales en la fabricación de otros equipos o utilizados individualmente, según el tipo de aplicación, se utilizan ampliamente en el manejo de tapas, láminas, latas vacías o llenas, todo esto en la industria alimentaria, cervecera, acerera, farmacéutica, de aerosol, lechera y otras.

4.9.3.- IMANES DE LEVANTAMIENTO.- Dentro de los equipos de automatización son esenciales los imanes de levantamiento, los cuales pueden ser electroimanes o permanentes; estos últimos tienen un aditamento especial para abrir (levantar) y cerrar (suelta) el campo magnético; en tanto que los electroimanes como operan en C.D., necesitan

de un rectificador, un controlador de descarga, un interruptor, y así como el carrete y el cable, en el caso de los electroimanes circulares.

Estos equipos de levantamiento, los hay de diferentes formas y tamaños, dependiendo del tipo de trabajo a realizar y de la forma de las piezas a levantar. Existen imanes que pueden levantar desde unos cuantos kilogramos hasta 30 toneladas o más, aún incluyendo factores de seguridad.

Distintos tipos de imanes de levantamiento pueden usarse para transportar láminas de acero, vigas, tubos, bloques, placas, chatarra, piezas redondas, ángulos, bolas de acero, bultos o fardos de acero, placas de chatarra, y otras piezas, en la industria acerera, siderúrgica, fundidora, automotriz, manufacturera, chatarrera, eléctrica y mecánica.

4.9.4.- TRANSPORTADORES DE REBABA Y VIRUTA FERROSA.- Existe una gran variedad de transportadores magnéticos, destacando entre ellos los transportadores de rebaba (Chip Conveyors). Son imanes permanentes en movimiento, dentro de un armazón a prueba de líquidos, que atraen, mantienen y transportan rebaba, virutas, escorias y pequeñas partes ferrosas.

La construcción de estos transportadores es para uso pesado, con paneles en los lados, la banda transportadora

es de acero, la placa sobre la que se transportan los materiales es de acero inoxidable no magnético. Las áreas de desgaste crítico sobre la banda, están construidas de material resistente al desgaste.

Los imanes internos están completamente encapsulados en acero inoxidable no magnético, y ensamblados a una cadena de doble paso con rodillos extra-grandes movida por un motor acoplado directamente. La lubricación para todos los rodamientos y partes en movimiento se suministra continuamente. Los imanes se instalan a todo lo ancho del transportador y pueden ser localizados sobre varios centros, dependiendo del volumen y tamaño del material a ser manejado. La potencia del motor generalmente varía entre 1/3 y 10 H.P., y se determina por el tamaño del transportador, el peso y la cantidad de material que deba ser manejado.

Estos transportadores se instalan por regla general, en la descarga de tornos, máquinas-herramienta, tanques de templeado, rectificadores, esmeriladoras. Se utilizan con frecuencia en la industria eléctrica, mecánica, automotriz, ciclista, manufacturera, acerera y otras.

Existen otros tipos de transportadores magnéticos de banda, como los elevadores de botes, latas, tapas, piezas de acero, charolas de pan vacías o llenas, los cuales pueden ser horizontales, inclinados o completamente

verticales, para elevar piezas de un piso a otro con rapidez y gran seguridad, dependiendo todo esto del tipo de aplicación a que vayan a ser destinados.

C) MANEJO DE MATERIALES.

4.9.5.- ALIMENTADORES VIBRATORIOS.- En esta última área, importante para el movimiento y dosificación de materiales a granel, destaca el uso de los alimentadores vibratorios o dosificadores electromagnéticos, que pueden prácticamente alimentar cualquier material desde pequeñas partículas hasta grandes rocas.

Antiguamente los alimentadores vibratorios electromagnéticos, tenían en el mando un ineficiente sistema de atracción-liberación, donde una masa montada sobre muelles o resortes era atraída por un electroimán de C.D., y regresado a su posición original solamente por los muelles. El nuevo método incorpora un imán permanente de férnico y es operado directamente de una línea de C.-A., sin necesidad de rectificador.

En este método, la masa montada sobre los muelles es alternadamente atraída y repelida por un electroimán de C.A., asistido por los muelles.

Los polos del imán permanente (armadura), están incrustados en los gaps (espacios) de un electroimán (bobina). La polaridad del electroimán alterna con la frecuencia de la línea como se muestra en la figura número 5.

En la figura No. 5 se observa que los polos del imán permanente están siendo atraídos hacia los polos diferentes del electroimán. Ellos son repelidos en la misma dirección, por los polos iguales del electroimán.

De esto resultan cuatro fuerzas acumulantes para manejar la armadura en la misma dirección. También resulta un acercamiento del circuito magnético a través del electroimán suministrando un efecto magnetizante sobre el imán permanente a cada lado del polo magnético. La fuerza desmagnetizante es mucho menor que la fuerza de atracción, y las líneas de flujo magnético son entonces en mayor grado atraídas que repelidas. Esto siempre tiende a colocar el imán permanente en un circuito magnetizante, sin tomar en cuenta donde la C.A. esté en la onda magnética. Como la polaridad del electroimán cambia, todas las fuerzas cambian también de dirección y el imán permanente es enviado hacia la dirección opuesta.

A estos mandos electromagnéticos se les acoplan las charolas de dosificación, con lo que se obtienen los alimentadores vibratorios, que de acuerdo al tamaño pueden manejar desde unos cuantos kilogramos hasta 600 Ton/Hr. o más.

La bobina y el imán, se encapsulan en resina epóxica eliminando así el movimiento de la bobina y así aumentando la vida útil del equipo.

La cantidad de material manejado puede ser exactamente controlado con este tipo de equipo mediante el uso de transformadores variables que al regular el voltaje de 0 a 100% en forma continua, aumentan o disminuyen el desplazamiento entre bobina y armadura.

Las charolas del alimentador vibratorio, de acuerdo al tipo de aplicación deseada y al material a manejar, pueden ser rectangulares, tubulares, con tamiz, tipo - - - grizzly, con cubierta, con placas de desgaste para materiales abrasivos o calientes, etc. Para evitar derrames de material, se instalan faldones en las tolvas.

Estas charolas de alimentación, cualesquiera que sea su forma pueden ir acompañadas de varios mandos electromagnéticos, para alcanzar una mayor longitud o ancho, incrementando, al mismo tiempo la capacidad, obteniéndose así, transportadores de alta eficiencia y exactitud.

Los alimentadores vibratorios electromagnéticos se utilizan con frecuencia, para dosificar arena de fundición, caliza, sal, azúcar, arroz, cemento, minerales, materiales plásticos, vidrio, astillas o viruta de madera, tabletas medicinales, dulces, piezas metálicas, fibras de nylon, poliéster, carbón, tabaco, café y una serie de materiales, que harfa la lista interminable.

4.9.6.- VIBRADORES ELECTROMAGNETICOS.- Otro equipo de gran -

importancia en el manejo de materiales es el vibrador - electromagnético, que funciona bajo el mismo principio de los alimentadores vibratorios, es decir, con los polos de un imán permanente incrustados en los polos de un electroimán de corriente alterna.

Estos equipos tienen el mismo sistema de regulación y control que los alimentadores, o sea por medio de transformadores variables.

Los vibradores son instalados en las paredes de las tolvas y ductos, para ayudar a que el material baje y fluya con mayor facilidad, rompiendo puentes y arcos que se forman en los materiales almacenados.

Industrias como la alimentaria, química, papelera, vidriera, cementera, minera utilizan los vibradores electromagnéticos para evitar los problemas antes mencionados.

V.- CALCULO Y FABRICACION DEL EQUIPO.

En el capítulo anterior, se dividió la aplicación industrial en tres áreas de gran importancia, por lo que en el presente bastará con solo describir la forma de seleccionar y fabricar un equipo magnético, para cada una de las áreas mencionadas, de acuerdo con su importancia en el mercado correspondiente.

5.1.- SEPARACION MAGNETICA.- Electroimán suspendido.

En la industria es imprescindible el uso de los electroimanes suspendidos para separar la contaminación ferrosa existente en bandas transportadoras, es por eso que hemos seleccionado a este equipo para el cálculo correspondiente.

Los diferentes factores que intervienen en la selección de un electroimán suspendido son los siguientes:

- a).- Altura de la cama de material. (pulgadas).
- b).- Ancho de banda. (pulgadas)
- c).- Tamaño del fierro a separar (máximo y mínimo) (pulgadas).
- d).- Tamaño del material (máximo y mínimo) (pulgadas).
- e).- Velocidad de la banda (pies/min.)
- f).- Capacidad de la banda. (ton/h)
- g).- Inclinação de los rodillos.
- h).- Inclinação de la banda.
- i).- Densidad del materia. (lb/pie³)
- j).- Temperatura ambiente (°C).
- k).- Altitud sobre nivel del mar. (m)

- l).- Diámetro y material de la polea de cabeza (pulgadas) -
- m).- Corriente disponible. (volt)

Algunas de las compañías fabricantes, han creado una regla de cálculo, por medio de la cual se puede determinar el tamaño y la altura de suspensión de un separador magnético permanente o - electroimán, tomando siempre en consideración los parámetros antes descritos. Para efectos del ejemplo del cálculo, usaremos - una de ellas considerando los siguientes datos:

- a).- Material - Arena de fundición.
- b).- Densidad - 100 lb/pie³.
- c).- Tamaño - 1/4 pul.
- d).- Tamaño del Fe a separar - + 1/4 pul.
- e).- Ancho de la banda - 30 pul.
- f).- Capacidad de la banda - 600 ton/h.
- g).- Velocidad de la banda - 200 pie/min.
- h).- Inclinación de la banda - Horizontal.
- i).- Inclinación de los rodillos - 20°.
- j).- Temperatura ambiente - 30°
- k).- Diámetro de la Polea de Cabeza - 24 pul.
- l).- Altura sobre nivel del mar - 1,800 m.
- m).- Corriente disponible - 440 volts.

Como los datos anteriores y la regla mencionada, se calcula la altura de la cama de material y la altura de suspensión sobre la banda transportadora, como se indica en las figuras No. 6 y 7

De acuerdo a lo anterior se tiene:

Cama Calculada = 8 pul.

Altura de Suspensión = 11 pul.

Como se desea un electroimán de auto-limpieza (Self Cleaning) a la cama calculada se le deben sumar 3", por lo que la altura de suspensión es de 11" y como la velocidad de la banda es menor de 350 pie/min. se debe colocar en posición II, (transversal con respecto a la banda transportadora), de modo tal que, observando la figura en donde aparece la columna de fierro a separar de 1/4" hacia arriba y comparando el ancho de la banda (30 pul.) con la altura de suspensión, debajo de la posición II, se concluye que el electroimán seleccionado es el 745.

Si el fierro a separar es de 1" hacia arriba, se puede observar que en la columna inferior, en línea con una banda de 30" de ancho, el electroimán disminuye al 740, siendo ésto la consecuencia lógica de que mientras más pequeño sea el fierro a atrapar, se necesita un separador de mayor tamaño y por ende, una intensidad magnética más fuerte.

De la misma manera, si se quiere seleccionar un separador permanente, se debe observar la parte inferior, en donde para fierros de 1" hacia arriba se obtiene un modelo 650.

Para el ejemplo descrito, se dan a continuación los pasos a seguir para la fabricación de un electroimán de autolimpieza, modelo SE-745 que, como se observa en la regla de cálculo, es capaz de separar partículas ferrosas con tamaño de 1/4" hacia arriba, desde una cama de 8", a una suspensión de 11" sobre la banda:

- 1).- Configuración de la caja de electroimán que incluye:
 - a).- Núcleo.
 - b).- Tanque de expansión (de aceite).
 - c).- Canales y poleas para el sistema de autolimpieza.
- 2).- Embobinado (por partes).
- 3).- Soldado del embobinado a la caja.
- 4).- Unión por soldadura de la tapa inferior para cierre de caja.
- 5).- Llenado de aceite.
- 6).- Ensamble del sistema de auto-limpieza que incluye:
 - a).- Poleas.
 - b).- Motor reductor.
 - c).- Banda de hule.
- 7).- Pruebas preliminares.
- 8).- Acabado y pintura.
- 9).- Pruebas finales.

Estos electroimanes trabajan con corriente directa por lo que normalmente van acompañados de un rectificador que convierte la corriente alterna a directa.

5.2.- AUTOMATIZACION.- Electroimán circular.

Dentro de los equipos de automatización, los electroimanes circulares para levantamiento de chatarra juegan un papel muy importante.

No existe un método específico para el cálculo de estos electroimanes, por lo que, para poder seleccionarlos, se

recurre a una tabla de medidas y capacidades dada por la experiencia donde a mayor diámetro, existe mayor masa y por ende mayor capacidad.

Las capacidades de estos electroimanes varían en forma sorprendente de acuerdo al tipo de chatarra a levantar. Por ejemplo, en un electroimán de mediana capacidad, de 45" de diámetro, sucede lo siguiente:

La capacidad máxima la desarrolla al levantar 15 tons. en placa, sin embargo, la chatarra es clasificada en placas-punzantes de mayor o menor calibre y dimensión, disminuyendo la capacidad hasta 700 Kgs. y reduciéndose aún más cuando maneja partículas pequeñas de fierro fundido donde alcanza una capacidad de 400 Kgs.

Para la fabricación de un electroimán circular se debe llevar a cabo la secuencia que se describe a continuación:

- 1.- Formación de la carcasa (fundida o placa laminada).
- 2.- Embobinado (sandwich).
- 3.- Ensamble del embobinado a la carcasa.
- 4.- Soldadura de la tapa inferior para el cierre.
- 5.- Llenado de resina (En operación para purgar).
- 6.- Pruebas preliminares.
- 7.- Acabado y pintura.
- 8.- Pruebas finales.

Los electroimanes circulares trabajan con C.D., por lo que-

usan también un rectificador, y llevan otros accesorios - como el controlador de descarga, el carrete para el cable y el interruptor de descarga.

5.3.- MANEJO DE MATERIALES.- Alimentador vibratorio.

En el área de manejo de materiales, son básicos los alimentadores vibratorios electromagnéticos. Para poder seleccionar un alimentador vibratorio, se cuenta con una regla de cálculo para lo cual se necesita de los siguientes datos:

- a).- Capacidad a manejar. (ton/h)
- b).- Material.
- c).- Densidad del material. (lb/pie³)
- d).- Velocidad de flujo del material. (pie/min)
- e).- Porcentaje de humedad.
- f).- Tamaño del material. (pul.)
- g).- Temperatura del producto (°C)

Para efectos del cálculo de un alimentador se considera el siguiente ejemplo:

Se requiere manejar 400 ton/h. de caliza en terrones máximos de 1", con densidad de 90 lb/pie³ con un porcentaje de humedad del 3% y temperatura del producto de 25°C y considerando que la velocidad de desplazamiento del material para las características anteriores es de 35 pie/min., se tiene entonces que un alimentador vibratorio modelo 105 B con charola de 48" de ancho y 54" de largo da la capacidad deseada, ya que este modelo maneja-

hasta 550 ton/h., formando así una cama de material de 14-1/2" - sobre la charola del alimentador, lo que indica que se deben utilizar faldones en la tolva, a todo lo largo del alimentador para evitar el derrame del material. El cálculo del alimentador vibratorio por medio de la regla, se representa en la figura No. 8

En la figura se observa que colocando la densidad del material (90 lb/pie³), encima de la velocidad de flujo del mismo - (35 pie/min), y la capacidad a manejar (400 ton/h) abajo del indicativo, y tomando en cuenta el ancho de la charola (48") del alimentador, encontramos que la cama efectivamente es de 14.5", - y como la altura de la propia charola es de 7", es imprescindible el uso de los skirtboards (Faldones), que se colocan en la descarga de la tolva que dosifica al alimentador, a todo lo largo de la charola, evitando el contacto con las paredes de ésta.

La fabricación de los alimentadores se realiza de la siguiente manera:

- 1.- Fundición y maquinado del mando electromagnético.
- 2.- Ensamble de la bobina y armadura al mando.
- 3.- Trazo y corte de la charola.
- 4.- Ensamble y soldado de la charola.
- 5.- Armado del cuerpo.
- 6.- Ensamble de la charola al cuerpo.
- 7.- Pruebas preliminares.
- 8.- Acabado y pintura.
- 9.- Pruebas finales.

Los alimentadores vibratorios, constan de una caja de con--

trol que regula la cantidad de alimentación por medio del voltaje de entrada, con un autotransformador variable, de 0 a 100% de su capacidad.

VI.- CONCLUSIONES

El estudio del magnetismo ha permitido la creación y el desarrollo incesante del equipo magnético. Por lo que, si se tiene un conocimiento amplio y claro de ello, se puede seleccionar el equipo adecuado al presentarse la necesidad en un de terminado proceso, de purificar el producto o material manejado, de prevenir incendios, explosiones o accidentes y de protección al equipo y maquinaria del proceso y automatización - del mismo.

El uso del equipo magnético permanente y electromagnético implica, economizar grandes cantidades de dinero en cualesquiera de los casos anteriores ya que, de no usarse, existirían gastos imprevistos por la reparación de la maquinaria -- averiada y, por ende, pérdida de tiempo y paros en producción.

El equipo magnético necesita de muy poco mantenimiento - y en algunos casos definitivamente es nulo.

Los equipos magnéticos permanentes, hechos a base de elementos magnéticos de níquel o ferrita de bario, puede considerarse que no pierden su fuerza magnética, ya que sólo sufren - una disminución de 1% cada cien años, a menos que sean expuestos a temperaturas muy altas o a temperaturas abajo de 0°C. - En las unidades electromagnéticas en cambio, la intensidad magnética va en relación al voltaje aplicado en determinado momento.

Se puede concluir que el equipo magnético presta un servicio muy importante en la separación magnética, en el manejo de materiales y en la automatización, así como algunos otros beneficios que de su aplicación en estos casos, se derivan.

VII.- B I B L I O G R A F I A

- 1.- Electricidad y Magnetismo
Francis W. Sears
Sexta Edición - 1978
Editorial Aguilar.
- 2.- Física Moderna
Harvey E. White
Cuarta Edición - 1962
Editorial Montainer y Simon, S. A.
- 3.- Permanent Magnet Handbook
A.F. Israelson
Edición 1968
Editorial Oliver Building, PA., U.S.A.
- 4.- Ferromagnetism
J. Bozorth
Edición 1970
Editorial D. Van Nostrand Co., N.Y., U.S.A.
- 5.- Eriez Magnetics Handbook and Catalogue
Eriez Headquarters, Erie, PA., U.S.A.
1973
- 6.- Fundamentos de Electrotecnia
M. Kustenov
Edición 1969
Editorial Paz
- 7.- Memoria de la XI Convención de la AIMMG
José E. Gaytán
Edición 1975
- 8.- Manual de Mineralogía y Petrografía
James D. Dana
Décima Segunda Edición
Editorial Press of Braunworth and Co., Brooklyn, N.Y.
U.S.A.
- 9.- Enciclopedia Quillet
W. M. Jackson
Edición 1976
Editorial Argentina

BALANZA MAGNETICA DE HIBBERT

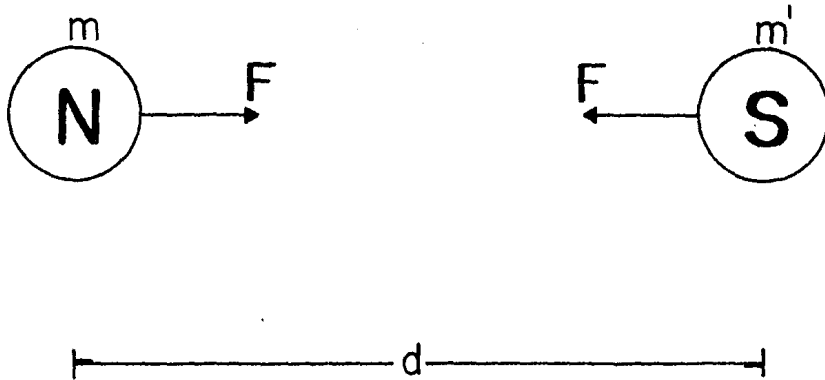


fig. no.1

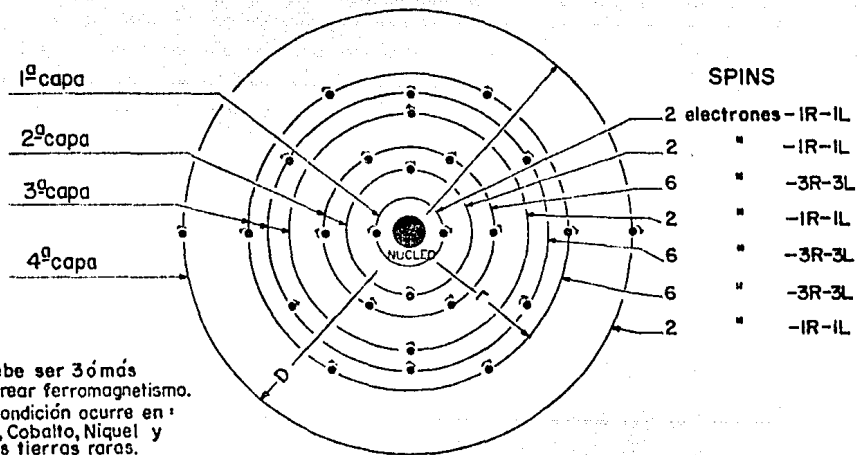
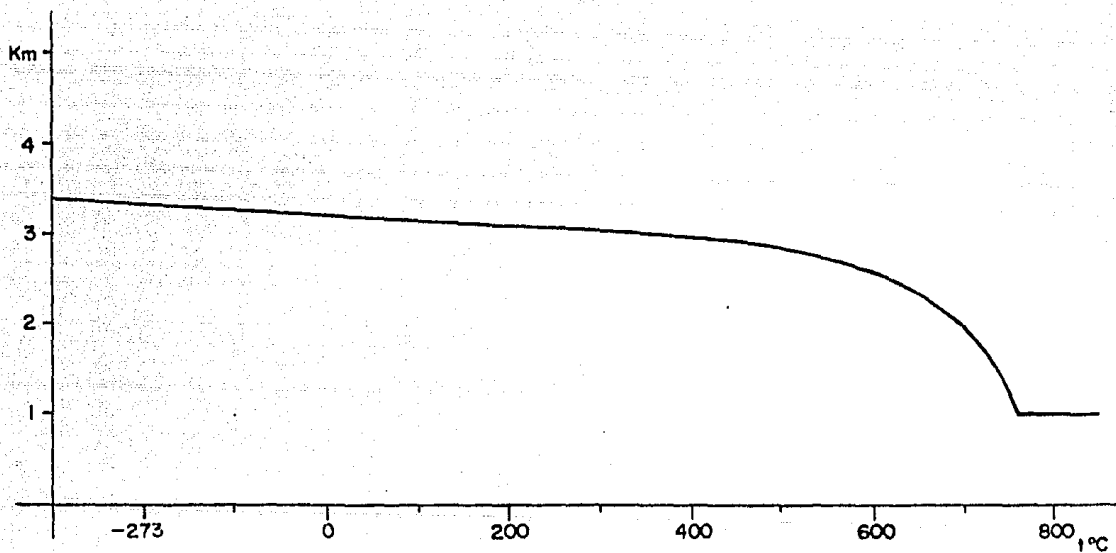


fig. no.2



PERMEABILIDAD RELATIVA DE UNA MUESTRA DE HIERRO SOMETIDA A UNA EXCITACION MAGNETICA CONSTANTE DE 800 000 A-VUELTAS/m. LA TEMPERATURA DE CURIE ES 760°C, APROXIMADAMENTE.

GRAFICA No. 3

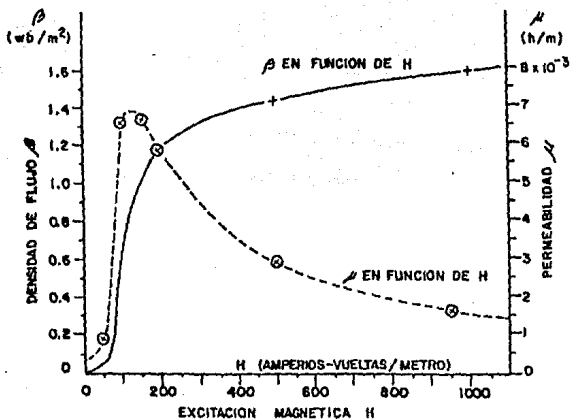


FIG. No. 4.- CURVAS DE IMANTACION Y DE PERMEABILIDAD DEL HIERRO TEMPLADO.

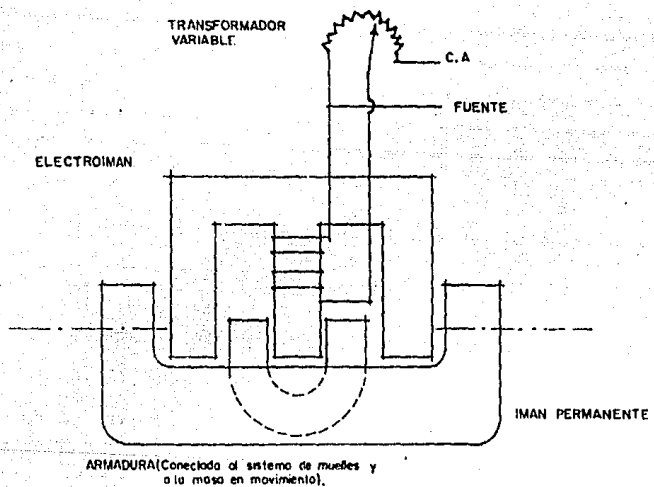


FIG. N° 5. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN VIBRADOR O ALIMENTADOR ELECTROMAGNETICO.

REGLA DE CALCULO PARA IMANES (PERMANENTES Y ELECTROIMANES) SUSPENDIDOS.

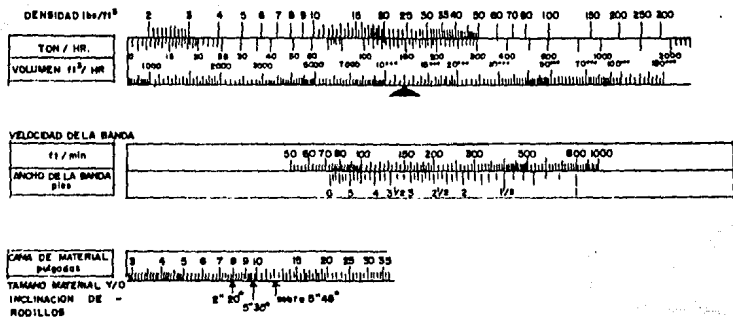


FIG. N° 6 - REGLA DE CALCULO.

REGLA DE CALCULO PARA IMANES SUSPENDIDOS

ALTURA DE SUSPENSION
POSICION
I O II

MODELO	ANCHO DE LA BANDA	
	O	II
FIERRO PEQUEÑO	740	18"
	740	20"
	740	20"
	740	20"
	740	20"
	740	20"
FIERRO GRANDE	780	18"
	780	20"
	780	20"
	780	20"
	780	20"
	780	20"
	780	20"
	780	20"
	780	20"
	780	20"

ELECTROIMANES
SUSPENDIDOS (SERIE 700)

FIERRO PEQUEÑO	11/4"
FIERRO GRANDE	

IMANES PERMANENTES
SUSPENDIDOS (SERIE 600)

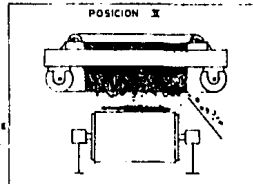
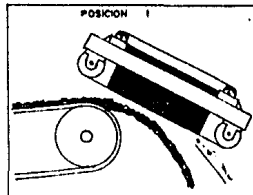
INSTRUCCIONES:

DETERMINAR LA CAMA DE MATERIAL SOBRE LA BANDA TRANSPORTADORA.

PARA LA ALTURA DE SUSPENSION --- ABRASAR 5" A LA ALTURA DE LA CAMA, SI EL IMAN ES DE LIMPIEZA MANUAL Y 3" SI ES DE AUTO-LIMPIEZA.

PARA LA SELECCION DE LOS ELECTROIMANES, SE COLOCA LA ALTURA DE SUSPENSION BAJO LA POSICION (I O II), SE SELECCIONA EL TAMAÑO DEL FIERRO Y SE LEE EL MODELO DEL IMAN EN LA COLUMNA OPUESTA A LA DEL ANCHO DE LA BANDA.

PARA LA SELECCION DEL IMAN PERMANENTE SE SIGUEN LOS MISMOS PASOS Y SE LEE EL MODELO DEL IMAN EN LA COLUMNA OPUESTA AL TAMAÑO DEL FIERRO.



FACTORES A CONSIDERAR EN LA SELECCION DE UN IMAN SUSPENDIDO.

- 1.- ALTURA DE LA CAMA.
- 2.- ANCHO DE LA BANDA.
- 3.- POSICION DE SUSPENSION.
- 4.- TAMAÑO DEL FIERRO (MINIMO Y MAXIMO)
- 5.- TAMAÑO DEL MATERIAL (MINIMO Y MAXIMO)
- 6.- VELOCIDAD DE LA BANDA
- 7.- INCLINACION DE LA BANDA
- 8.- INCLINACION DE LA CAMA
- 9.- CAPACIDAD (TON / HR)
- 10.- DENSIDAD DEL MATERIAL
- 11.- TEMPERATURA AMBIENTE
- 12.- ALTURA
- 13.- MATERIAL DE LA POLEA DE CABESA
- 14.- DIAMETRO DE LA POLEA DE CABESA
- 15.- COMENTE DISPONIBLE (C.A. / C.O.)

FIG. N° 7 - REGLA DE CALCULO.

REGLA DE CALCULO PARA ALIMENTADORES VIBRATORIOS

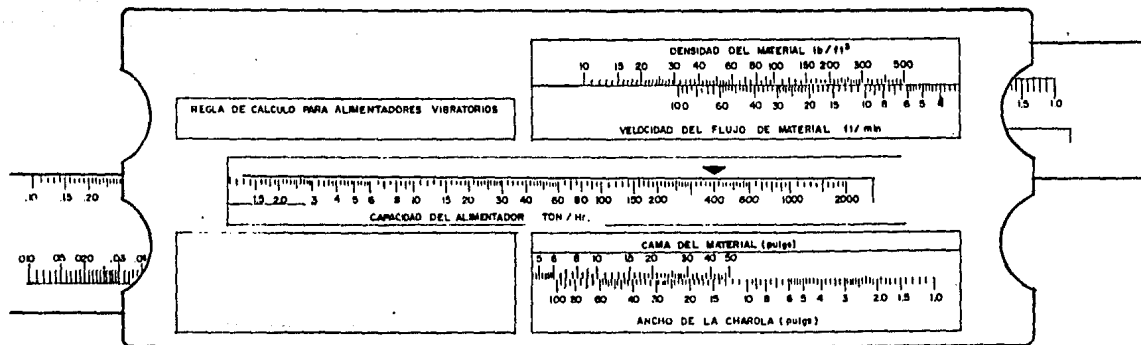
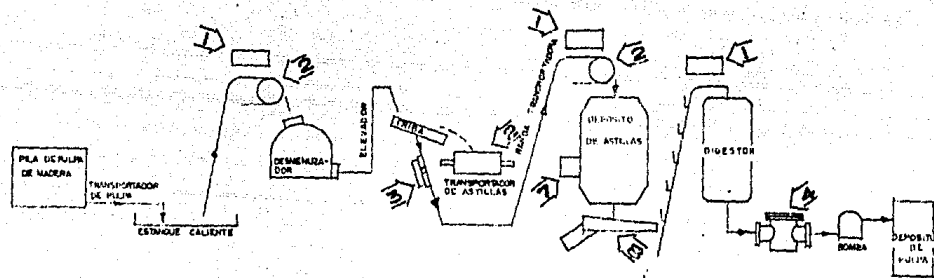
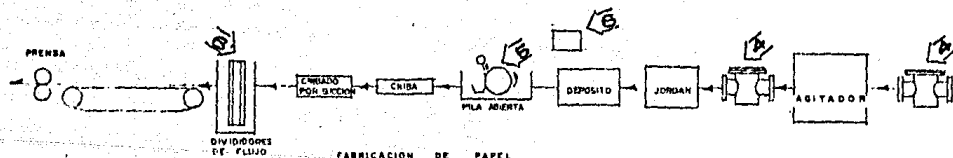


FIG. N.º- 8-REGLA DE CALCULO.



FABRICACION DE PULPA

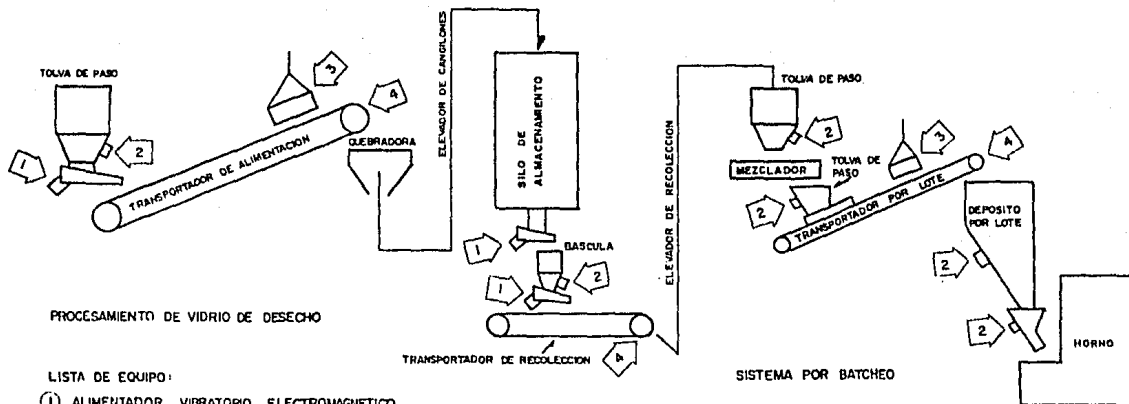


FABRICACION DE PAPEL

LISTA DE EQUIPO

- 1 SEPARADOR MAGNETICO SUSPENDIDO
- 2 PILETA MAGNETICA
- 3 PILETA MAGNETICA
- 4 TRAMPA MAGNETICA 1800 X 2470
- 5 TRAMPA MAGNETICA PERMANENTE PARA SUIVIR
- 6 LEVANTE A MAGNETICA
- 7 ZERRADOR DE MAGNETICO
- 8 ALIMENTADOR VIBRATORIO ELECTROMAGNETICO
- 9 LEVANTE A 1200 X 1100, SE ALTA VELOCIDAD PULPER
- 10 LEVANTE PARA TORNILLO DEL PAPEL

EQUIPO MAGNETICO USADO EN LA
MANUFACTURA DE PAPEL



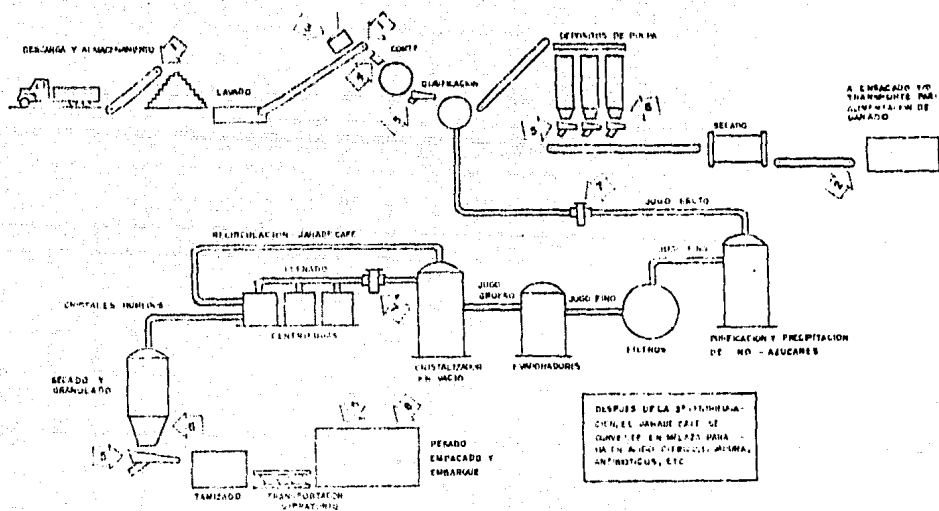
PROCESAMIENTO DE VIDRIO DE DESECHO

LISTA DE EQUIPO:

- ① ALIMENTADOR VIBRATORIO ELECTROMAGNETICO
- ② VIBRADOR ELECTROMAGNETICO
- ③ ELECTROMAN SUSPENDIDO
- ④ POLEA MAGNETICA

OTROS: PLACAS MAGNETICAS, REJILLAS MAGNETICAS, -
TAMBORES MAGNETICOS, SEPARADORES MAGNETICOS DE ALTA INTENSIDAD (IMR).

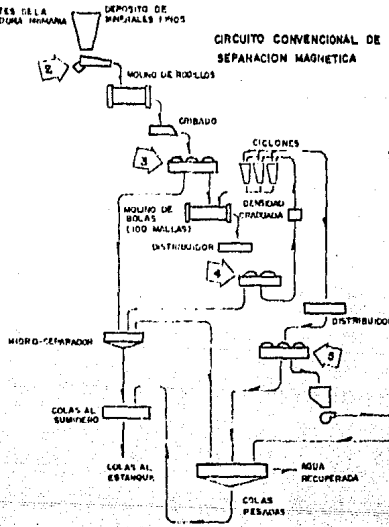
EQUIPO MAGNETICO UTILIZADO
EN LA FABRICACION DE VIDRIO



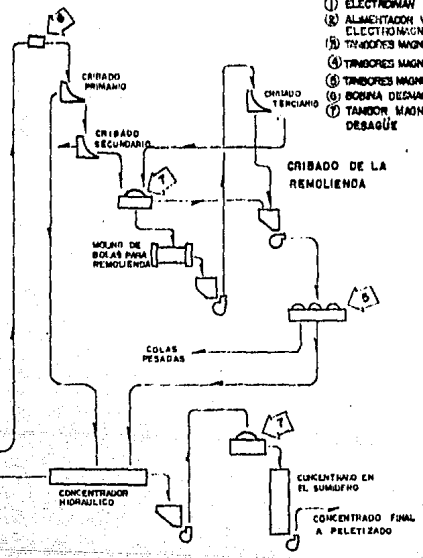
LISTA DE EQUIPO:

- (1) POLEA MAGNETICA PERMANENTE
- (2) POLEA MAGNETICA
- (3) ELECTROIMAN SUSPENDIDO
- (4) PLACA MAGNETICA
- (5) ALIMENTADOR VIBRATORIO ELECTROMAGNETICO
- (6) VIBRADOR ELECTROMAGNETICO
- (7) TRAMPA MAGNETICA TIPO TAZON
- (8) REJILLAS MAGNETICAS EN ARMADON

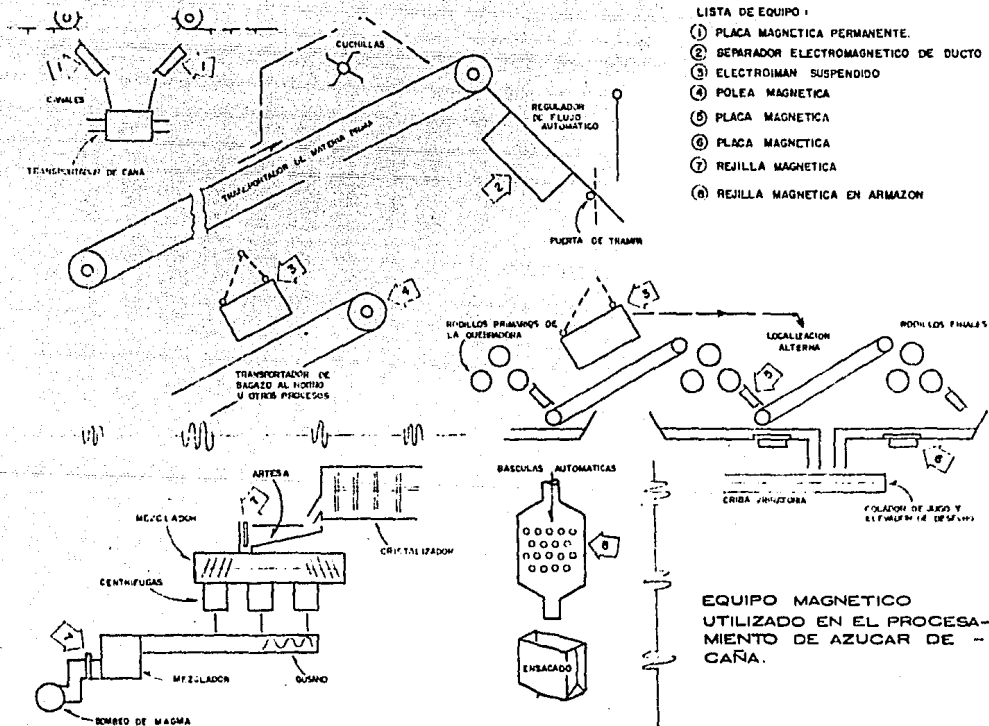
EQUIPO MAGNETICO UTILIZADO EN EL PROCESAMIENTO DE AZUCAR DE REMOLACHA

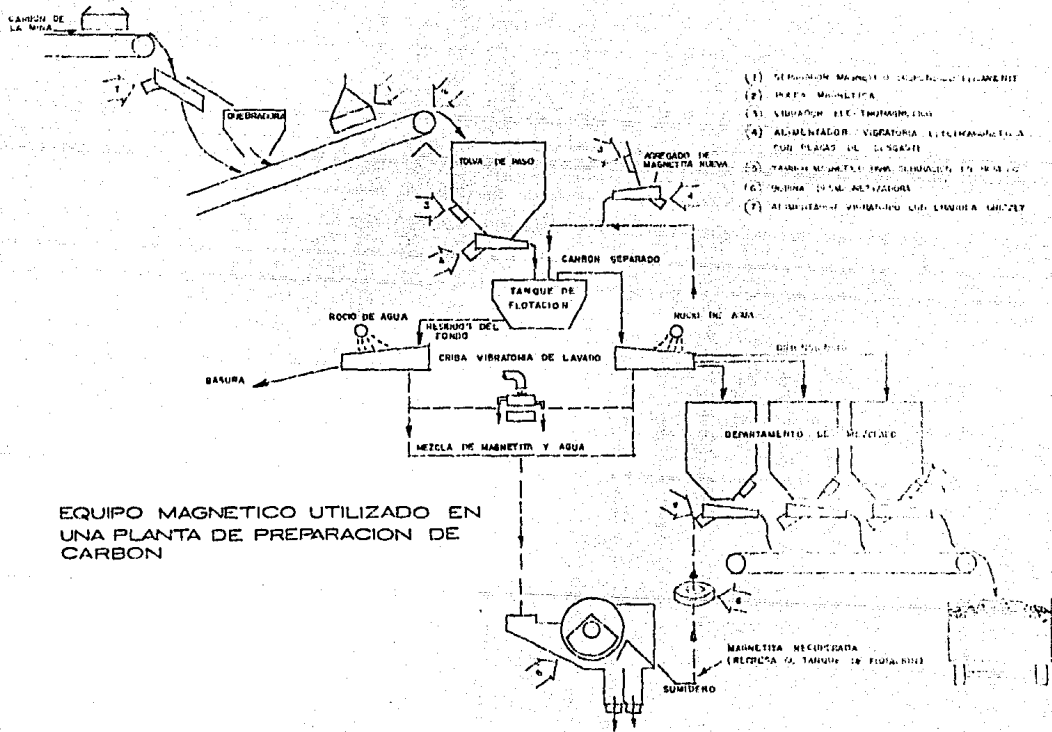


- LISTA DE EQUIPO:
- ① ELECTROMAN DE AUTOLIMPIEZA
 - ② ALIMENTADOR VIBRATORIO — ELECTROMAGNETICO
 - ③ TIMBONES MAGNETICOS EN TRILZADO
 - ④ TIMBONES MAGNETICOS EN ACABADO
 - ⑤ TIMBONES MAGNETICOS EN ACABADO
 - ⑥ BOBINA DESMAGNETIZADORA
 - ⑦ TAMBORES MAGNETICO PARA — DESAGÜE

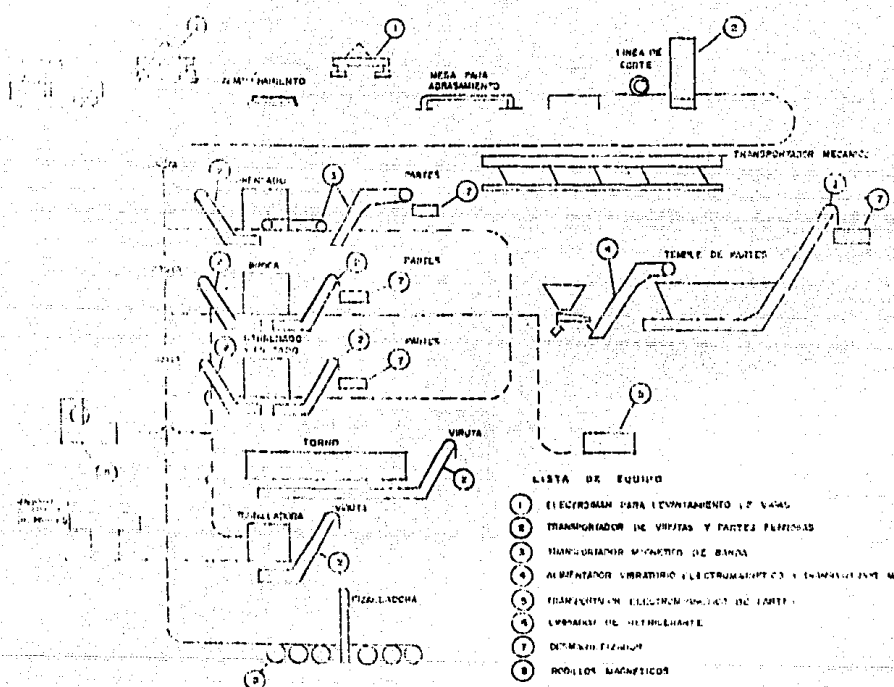


EQUIPO MAGNETICO UTILIZADO EN LA MOLIENDA Y CONCENTRACION DE MINERALES

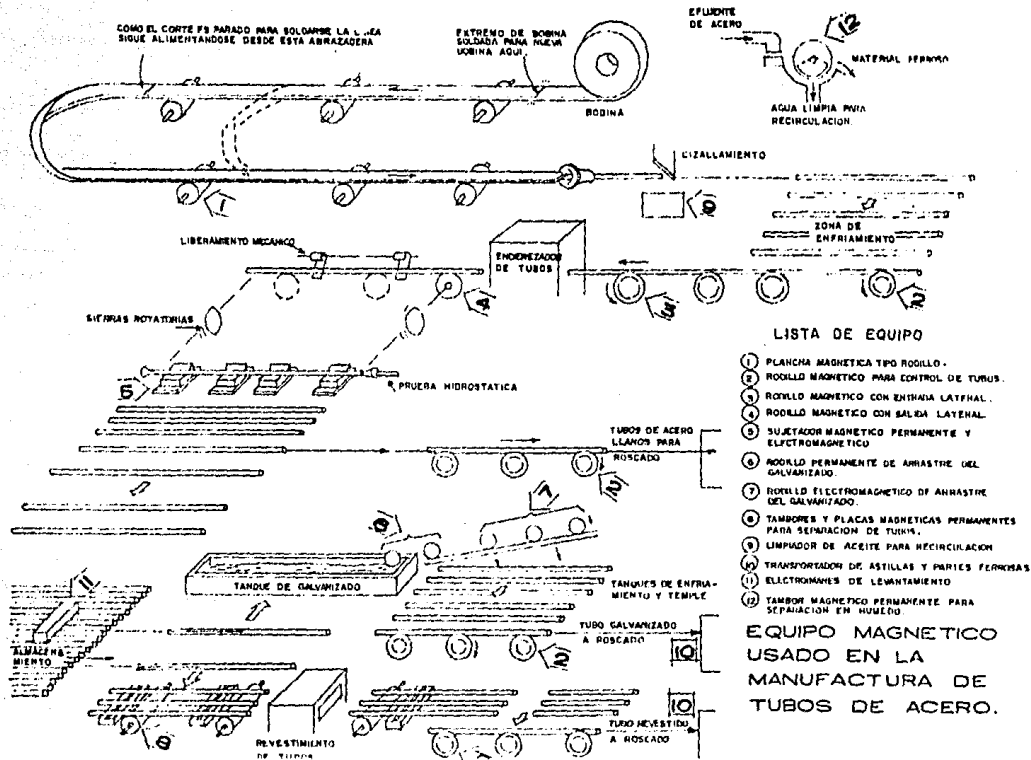




EQUIPO MAGNETICO UTILIZADO EN UNA PLANTA DE PREPARACION DE CARBON



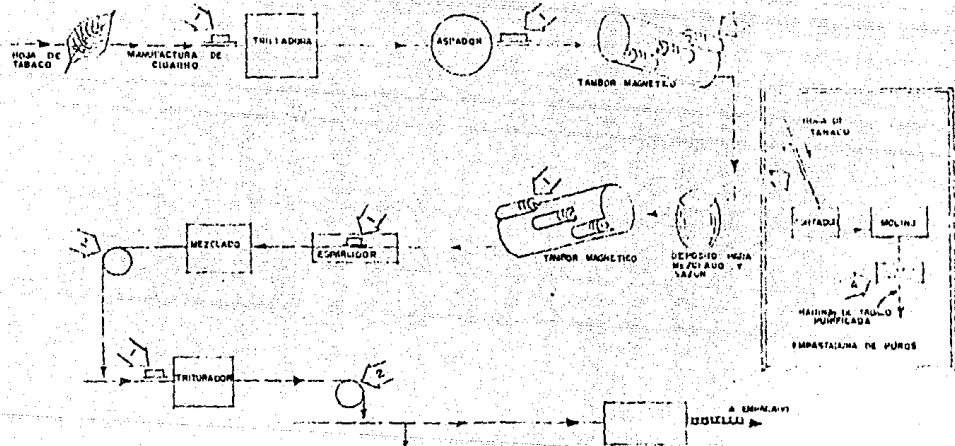
EQUIPO MAGNETICO UTILIZADO EN LA MANUFACTURA DE METALES



LISTA DE EQUIPO

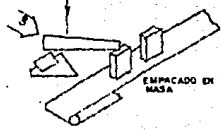
- ① PLANCHA MAGNETICA TIPO RODILLO.
- ② RODILLO MAGNETICO PARA CONTROL DE TUBOS.
- ③ RODILLO MAGNETICO CON ENTRADA LATERAL.
- ④ RODILLO MAGNETICO CON SALIDA LATERAL.
- ⑤ SUJETADOR MAGNETICO PERMANENTE Y ELECTROMAGNETICO
- ⑥ RODILLO PERMANENTE DE ANHASTRE DEL GALVANIZADO.
- ⑦ RODILLO ELECTROMAGNETICO DE ANHASTRE DEL GALVANIZADO.
- ⑧ TAMBORES Y PLACAS MAGNETICAS PERMANENTES PARA SEPARACION DE TUBOS.
- ⑨ LIMPIADOR DE ACEITE PARA RECIRCULACION
- ⑩ TRANSPORTADOR DE ASTILLAS Y PARTES FERROSAS
- ⑪ ELECTROMANES DE LEVANTAMIENTO
- ⑫ TAMBOR MAGNETICO PERMANENTE PARA SEPARACION EN HUMEDO

EQUIPO MAGNETICO
USADO EN LA
MANUFACTURA DE
TUBOS DE ACERO.

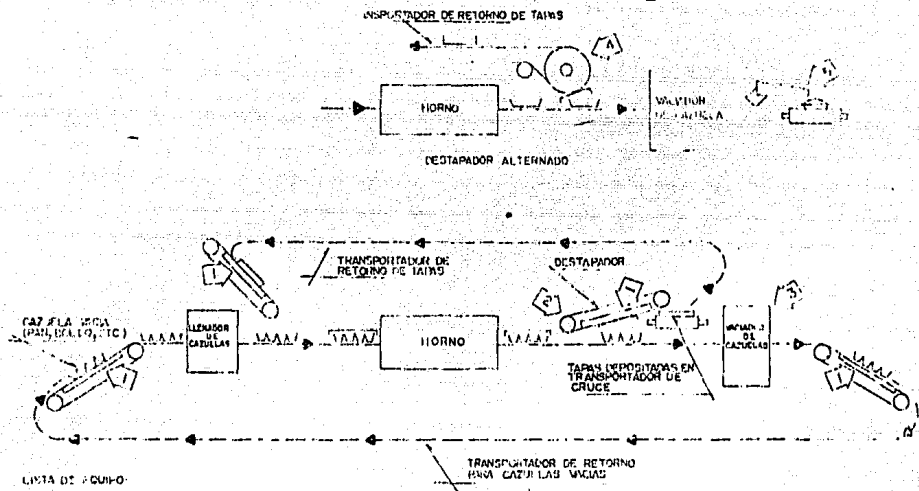


LISTA DE EQUIPO:

- 1.- PLACA MAGNETICA PERMANENTE
- 2.- POLEA MAGNETICA PERMANENTE
- 3.- ALIMENTADOR VIBRATORIO ELECTROMAGNETICO
- 4.- REJILLA MAGNETICA PERMANENTE



EQUIPO MAGNETICO USADO EN LA INDUSTRIA DEL TABACO



LISTA DE PIEZAS:

1. PIEZAS MAGNETICAS PERMANENTES
2. RODILLOS MAGNETICOS PERMANENTES
3. RODILLOS MAGNETICOS PERMANENTES O ELECTROMAGNETICOS
4. POLVA MAGNETICA PERMANENTE
5. ALIMENTADOR VIBRATORIO PARA ACABADO

OTROS:

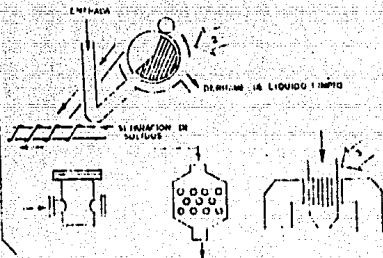
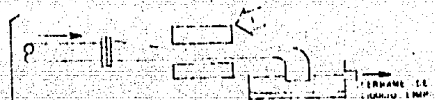
LEVADORES MAGNETICOS, ALIMENTADOR VIBRATORIO PARA MEZCLAJA, SEPARADORES ESPECIALES PARA CAZUELA DE BOLLIS, PLACAS Y REJILLAS MAGNETICAS.

EQUIPO MAGNETICO UTILIZADO EN LA INDUSTRIA HORNEADORA.

LISTA DE EQUIPOS

- 1 FLOCULADOR MAGNETICO
- 2 TAMIZON PARA RECUPERACION DE REFRIGERANTE
- 3 FRAMINS, MUEJLAS, PLACAS Y OTROS
- 4 TAMBOR PARA CHATAARRA
- 5 TRANSPORTADON TIPO PULEA
- 6 SEPARACION MAGNETICO DE AUTO-LIMPIEZA

REFRIGERANTES, SUSPENSIONES
Y AGUA DE
MINERALES PROCESADOS



PRECIPITACION
- E. GURTI

LINEA VIBRATORIA
PARA LIQUIDOS

EQUIPO MAGNETICO
USADO EN EL CONTROL DE
PROCESOS AMBIENTALES

RESIDUA MUNICIPAL

AUTO-MALERADA

Y OTRA CHATAARRA

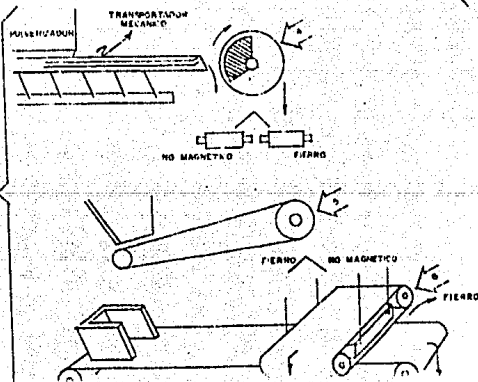


DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA FLOCULACION MAGNETICA.

