

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA**  
**Y METALURGICA**



**Nuevos Avances en Equipos**  
**y Procesos para el**  
**Tratamiento de Minerales**

**Informe de Ingeniería**  
**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO METALURGISTA**

**Wilfredo A. Mantilla Briceño**

**PROMOCION 82-I**

**LIMA - PERU**

**1993**

## I N D I C E

	Pág.
<b><u>CAPITULO I</u>      INTRODUCCION</b>	1
<b><u>CAPITULO II</u>    :    FUNDAMENTOS SIMPLIFICADOS DE                           MAGNETISMO.</b>	
2.1.0    Generalidades	5
2.2.0    Teoría Actual de los Imanes ó Magnetos	6
2.3.0    Definiciones y Terminología	8
2.4.0    Otros aspectos de interés	11
<b><u>CAPITULO III</u> :    NUEVOS AVANCES EN EQUIPOS Y PROCESOS                           DE SEPARACION MAGNETICA</b>	
3.1.0    Generalidades	16
3.2.0    Clasificación	
3.2.1 Separación Magnética de Baja Inten- sidad	17
3.2.2 Separación Magnética de Media y Al- ta Intensidad	21
3.2.3 Separación Magnética de Alto Gra-- diente	25
3.3.0    Procesos y Aplicaciones Típicas	28
<b><u>CAPITULO IV</u>    -    TAMIZADO</b>	
4.1.0    Breve historia del Tamizado	32
4.2.0    Tipos de Tamices	34
4.3.0    Modelos ó Patrones de Movimiento	36
4.4.0    Factores que afectan la Capacidad	38
4.5.0    Eficiencia del Tamizado	41
4.6.0    Análisis de Mallas	44
<b><u>CAPITULO V</u>    -    DETECTOR DE TROZOS METALICOS PARA                           MENAS MAGNETICAS Y/O MINERALIZADAS</b>	
5.1.0    Generalidades	48
5.2.0    Método de Operación	49
5.3.0    Aplicaciones	50
<b><u>CAPITULO VI</u>      USOS Y APLICACIONES INDUSTRIALES</b>	
6.1.0    Concentración Magnética del Tungsteno en Pasto Bueno	51
6.2.0    Implementación de Tamices para EMSAL en su Planta de Huacho	53
6.3.0    Seleccionar un Separador Electromagnético Suspendido para la Cía. de Minas Buenaven- tura.	55

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

58

**ANEXOS**

**BIBLIOGRAFIA**

## C A P I T U L O I

### INTRODUCCION

En toda planta de procesamiento de materiales en bruto y con líneas de flujo de líquidos, siempre habrán pedazos de hierro ó contaminación ferrosa en diversos grados que perjudicarán enormemente ya sea el procesamiento en sí del material como la calidad del producto a elaborar. Estos pedazos de hierro y/o contaminación ferrosa deben ser removidos de las líneas de producción por las siguientes razones:

- 1)Hacer al producto aceptable ó incrementar su calidad
- 2)Proteger al equipo de cualquier daño ó malfuncionamiento
- 3)Para prevenir fuegos y/o explosiones

Usualmente, las personas encargadas del proceso productivo no saben cuantos pedazos de hierro o contaminantes ferrosos fluyen en las líneas de producción. Casi siempre se subestima la

cantidad, pero cuando se realiza un ensayo demostrativo se obtiene como resultado una sorprendente acumulación de material contaminante sobre el imán.

Estos elementos perjudiciales provienen mayormente de:

- 1) Los equipos que llevan los materiales hacia la planta de tratamiento.
- 2) Partes metálicas perdidas de las máquinas y transportadores de la misma planta.
- 3) Pedazos de soldadura, pernos, tuercas y/o herramientas olvidados en diversos puntos de la línea de producción después de la instalación inicial y reparación de los equipos ó caídas accidentalmente en las líneas de flujo del material.
- 4) Partículas finas de acero erosionadas continuamente del equipo de la planta.

Muchas plantas requieren imanes al inicio de las líneas de producción (para limpiar grandes volúmenes de material entrante en la planta o en los puntos de descarga de las tolvas de almacenamiento) para proteger a la maquinaria y, más aún, al final del proceso para remover cualquier metal que haya sido introducido por descuido del personal.

El primer punto de protección magnética puede seleccionarse desde el punto de entrada del material a la planta hasta el punto donde el primer equipo ó maquina del proceso sea vulnerable a sufrir daño por trozos metálicos (usualmente en chancadoras, moledoras, mezcladores, bombas, válvulas, cortadoras, etc.)

El segundo punto de protección debe estar lo más cerca posible al lugar de empaque, cargado o transporte del producto, para asegurar la pureza del mismo.

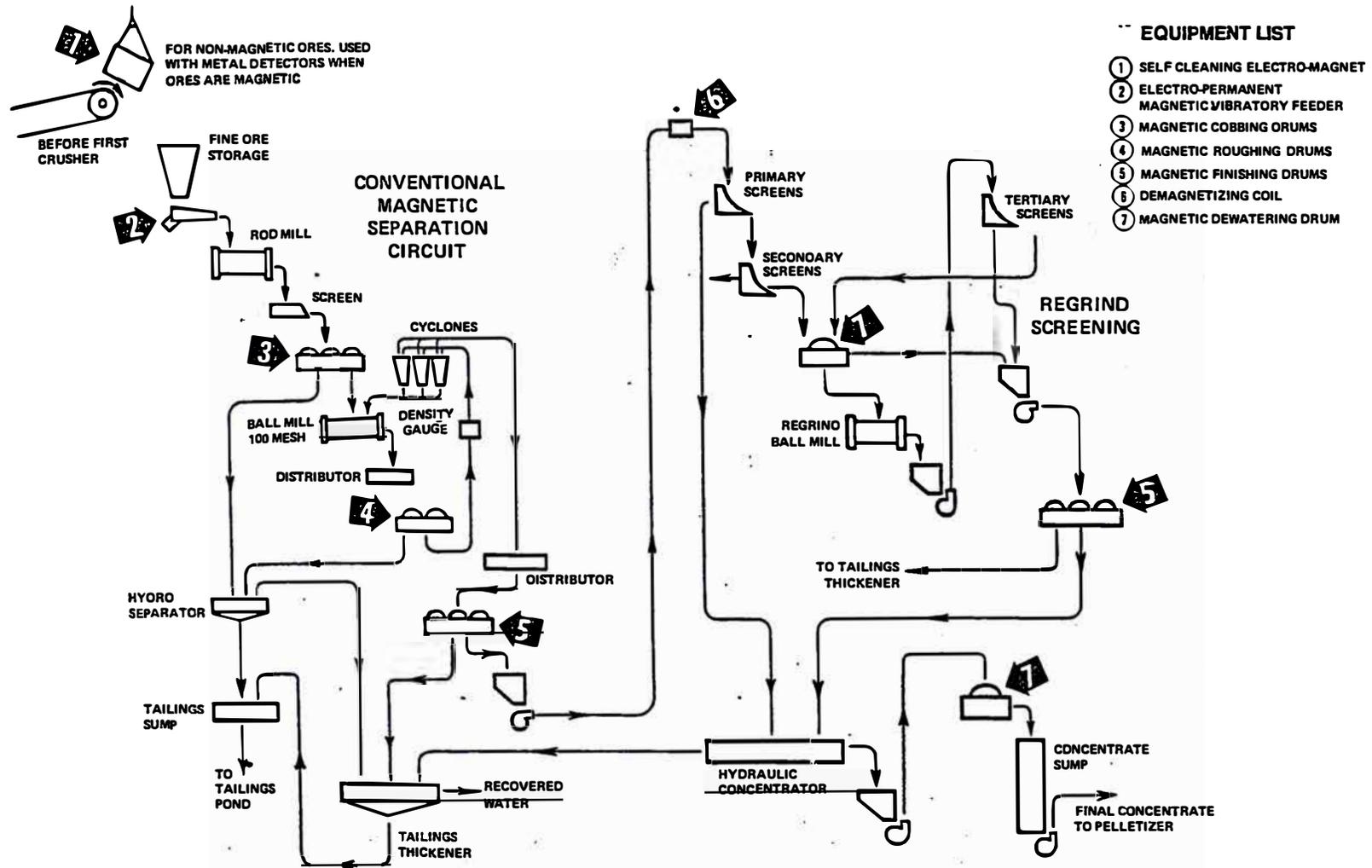
Otra área básica de aplicación es la separación de materiales ferrosos de los no-ferrosos, como por ejemplo:

- 1) Menas magnéticas de las no-magnéticas
- 2) Artículos de bronce de artículos de acero
- 3) Partes férreas del proceso de chancado de piedra
- 4) Magnetita de las fibras de asbesto
- 5) Materiales férreos de líquidos refrigerantes
- 6) Recuperación de material férreo de partes de desecho
- 7) Líneas de procesamiento de alimentos, etc.

Para lograr una mejor apreciación de las aplicaciones de los equipos magnéticos, a continuación presentamos una serie de diagramas esquemáticos de diversas líneas de procesamiento en los cuales se indican los puntos donde es necesaria la implementación de los diferentes equipos de protección.

La apropiada aplicación de los imanes puede, casi sin excepción, resultar en productos mejorados, costos de producción reducidos, incremento de la producción, incremento de la seguridad, prevención de la contaminación, menor pérdida de tiempo, purificación del producto y recuperación de los minerales valiosos, así como la prevención de daños a maquinaria valiosa.

Debido al conocimiento de los múltiples beneficios disponibles de las perpetuas fuerzas del magnetismo, el ingenio de muchas personas ha sido estimulado y nuevas aplicaciones y usos están

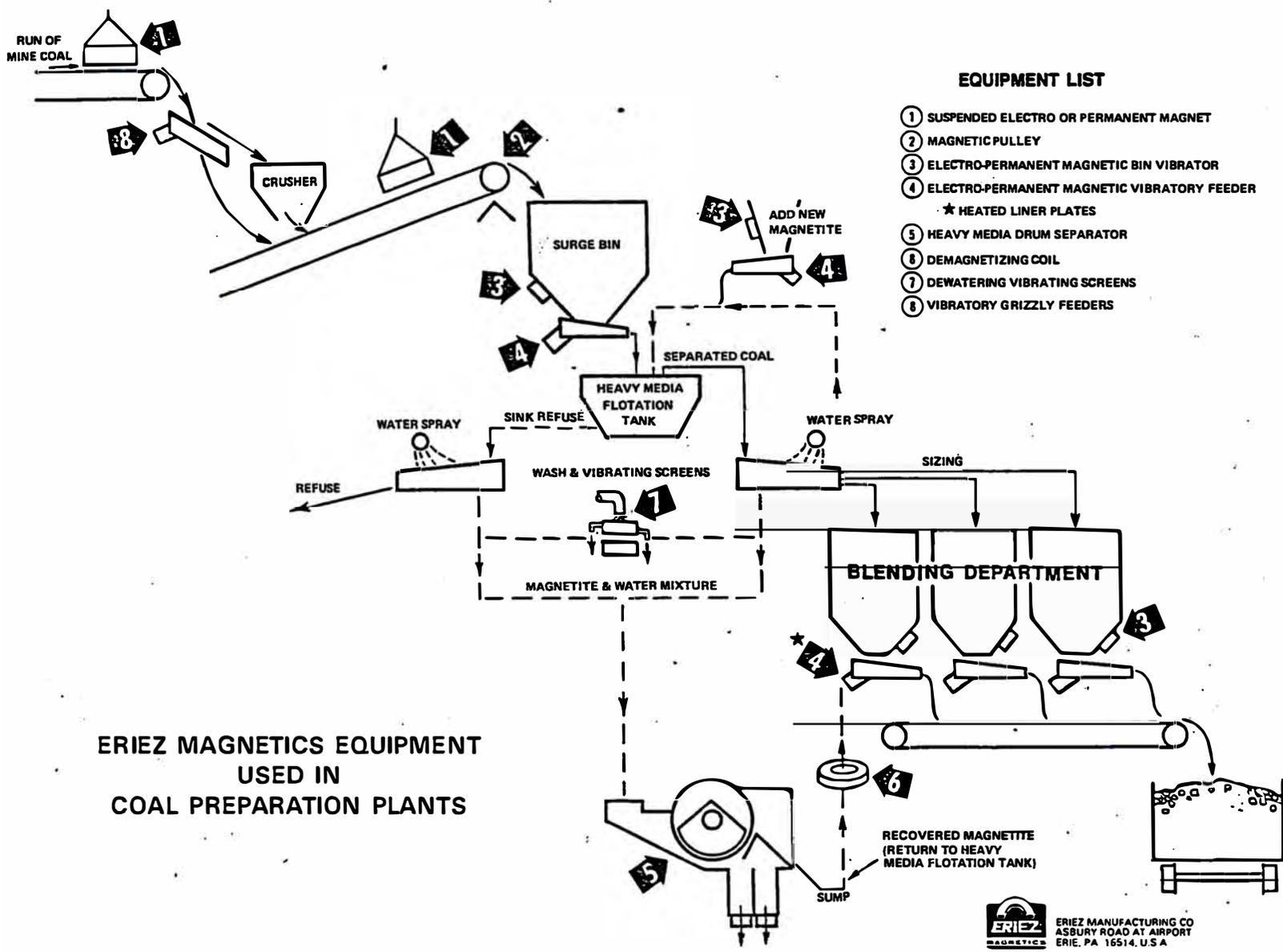


ERIEZ MAGNETICS EQUIPMENT  
USED IN  
ORE GRINDING AND CONCENTRATING



ERIEZ MANUFACTURING CO  
ASBURY ROAD AT AIRPORT  
ERIE, PA 16514, U.S.A.

183-1M-SP PRINTED IN U.S.A.

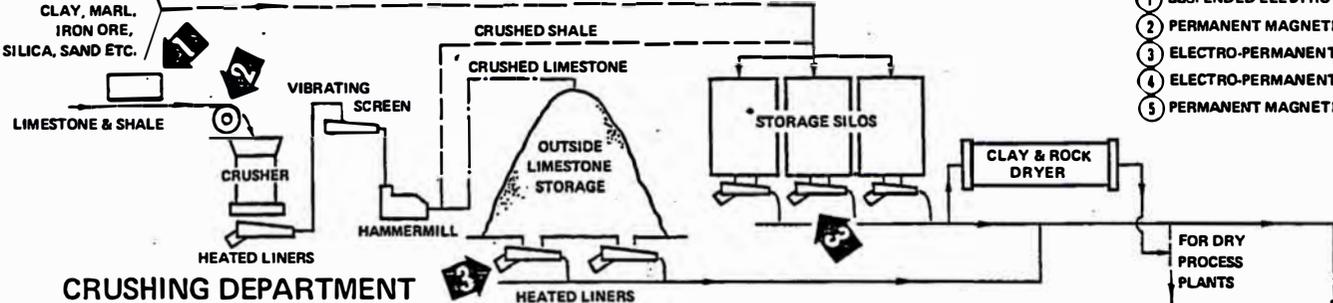


**EQUIPMENT LIST**

- ① SUSPENDE ELECTRO OR PERMANENT MAGNET
- ② MAGNETIC PULLEY
- ③ ELECTRO-PERMANENT MAGNETIC BIN VIBRATOR
- ④ ELECTRO-PERMANENT MAGNETIC VIBRATORY FEEDER
- ★ HEATED LINER PLATES
- ⑤ HEAVY MEDIA DRUM SEPARATOR
- ⑥ DEMAGNETIZING COIL
- ⑦ DEWATERING VIBRATING SCREENS
- ⑧ VIBRATORY GRIZZLY FEEDERS

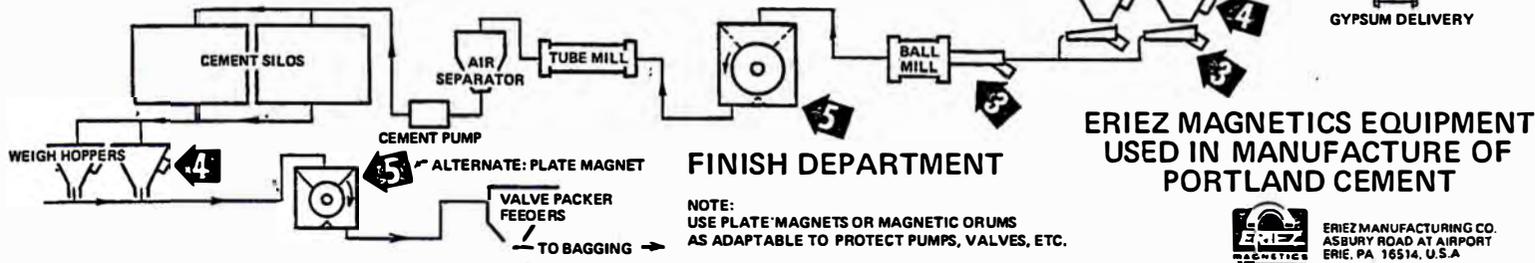
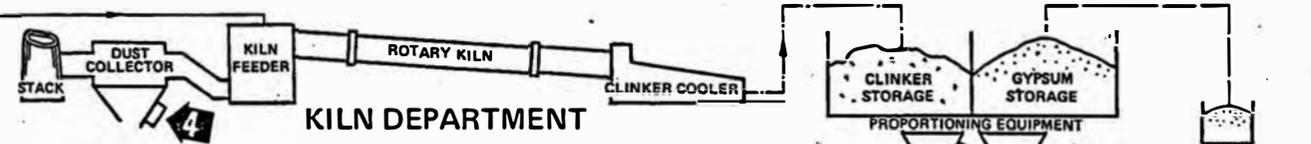
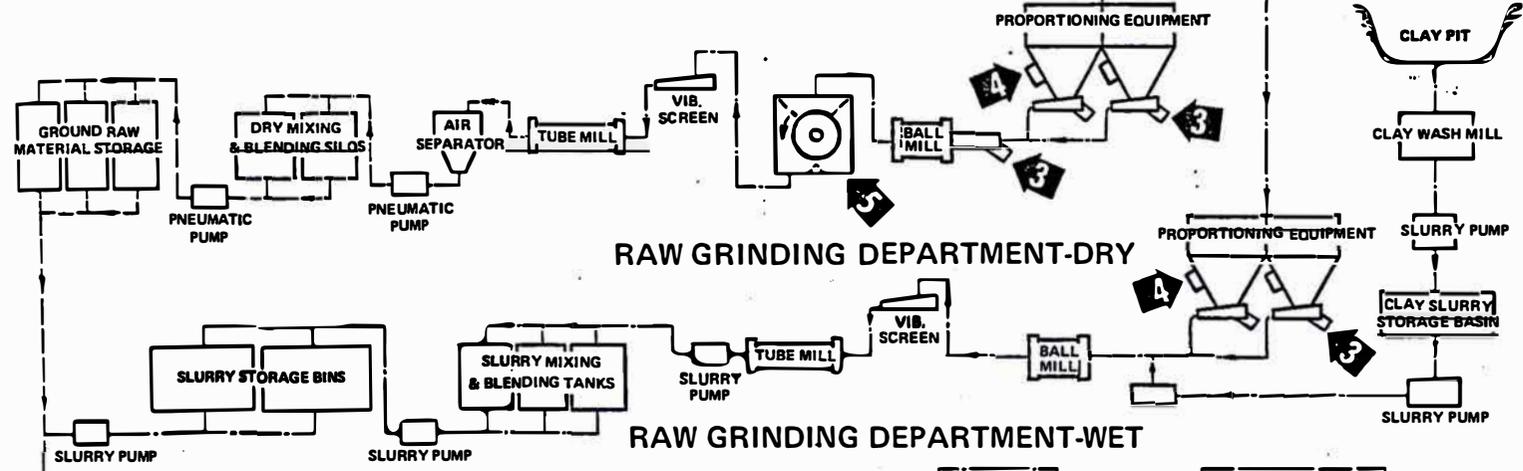
**ERIEZ MAGNETICS EQUIPMENT  
USED IN  
COAL PREPARATION PLANTS**

OTHER  
RAW MATERIALS -  
CLAY, MARL,  
IRON ORE,  
SILICA, SAND ETC.



**EQUIPMENT LIST**

- ① SUSPENDED ELECTRO MAGNET
- ② PERMANENT MAGNETIC PULLEY
- ③ ELECTRO-PERMANENT MAGNETIC VIBRATORY FEEDER
- ④ ELECTRO-PERMANENT MAGNETIC BIN VIBRATOR
- ⑤ PERMANENT MAGNETIC DRUM-IN-HOUSING



**ERIEZ MAGNETICS EQUIPMENT  
USED IN MANUFACTURE OF  
PORTLAND CEMENT**



siendo descubiertos diariamente.

También es importante considerar la granulometría del mineral, la cual nos permitirá separar las partículas de acuerdo a su tamaño para que puedan ser conducidas a los distintos puntos del circuito y poder hacer a este lo más eficiente posible.

El presente informe comprende las experiencias y enseñanzas adquiridas durante el ejercicio profesional de las actividades de Ingeniería desempeñadas como Representante en el Perú de la empresa norte-americana Eriez Magnetics, líder mundial en equipos magnéticos para todo tipo de industria, brindando especial atención a las operaciones referentes al campo metalúrgico.

## C A P I T U L O   I I

### FUNDAMENTOS SIMPLIFICADOS DE MAGNETISMO

#### 2.1.0      Generalidades.-

El propósito de esta presentación es resolver algo del misterio asociado con el tópico relativo a los imanes y magnetismo. Esta información puede parecer muy simplificada, pero esto es debido a que está dirigida a todos aquellos que tiene un pequeño o ningún conocimiento de esta materia pero les gustaría entender el porque del incremento de las aplicaciones del magnetismo en la industria y en otras áreas.

Algunas de estas áreas son la automatización, el manipuleo de materiales, el reciclado de desechos, control de la contaminación del aire y de los ríos, el beneficio de minerales, la protección de maquinarias, purificación de los alimentos, remoción de contaminación ferrosa de una multitud de productos y miles de

aplicaciones diversas.

Esta presentación explicará porque algunos materiales responden a fuerzas magnéticas mientras que otros no; porque algunas piezas de fierro son atraídas hacia el imán mas que otras y las fuerzas relativas que puedan ser anticipadas.

### 2.2.0 **Teoría Actual de los Imanes ó Magnetos.**-

Para aquellos que están interesados en el origen de las fuerzas magnéticas, se presenta a continuación una ilustración titulada "Qué hace a un Imán?" que explica en forma simplificada la teoría actual a nivel atómico de la conformación de un imán.

**Recuadro 1** .- Se tiene el concepto físico de la estructura interna de un átomo ferromagnético mostrando el arreglo electrónico necesario para la creación del magnetismo.

El descompensado ó desbalanceado sentido de giro de los electrones planetarios en la tercera capa cuántica incompleta , junto con características dimensionales específicas crea un momento magnético ó fuerza.

**Recuadro 2** .- Los momentos magnéticos en átomos vecinos son mantenidos paralelos por fuerzas mecánicas cuánticas, las cuales pueden ser comparadas con las fuerzas que mantienen al sol, la luna, las estrellas y a la Tierra en sus posiciones relativas.

**Recuadro 3** Los átomos que tienen estas características magnéticas están agrupadas en regiones denominadas "dominios". Un Dominio es el más pequeño imán permanente conocido.

# WHAT MAKES A MAGNET!

( PRESENT THEORY )

<p>1</p> <p>1st shell 2nd shell 3rd shell 4th shell</p> <p><b>SPINS</b> 2 Electrons - IR-IL 2 - IR-IL 2 - SP-SL 2 - IR-IL 2 - SP-SL 6 - IR-SL 2 - IR-IL</p> <p>D/r must be 3 or more to create ferromagnetism. This condition occurs in Iron, Cobalt, Nickel and rare-earth groups</p> <p>Physical concept of the inner structure of a ferromagnetic atom showing the electron arrangement necessary for the creation of magnetism.</p> <p>The uncompensated, or off-balance, planetary spin of the electrons in the third incomplete quantum shell, together with specific dimensional characteristics creates a magnetic moment, or force ....</p>	<p>2</p> <p>Magnetic moments in neighboring atoms are held parallel by quantum mechanical forces which can be likened to the forces holding the sun, moon, stars and earth in their relative positions.</p>	<p>3</p> <p><b>DOMAIN AREA</b></p> <p>It is equally probable that magnetism will occur in any one of six directions.</p> <p>The atoms possessing these magnetic characteristics are grouped into regions called domains. A Domain is the smallest known permanent magnet. 6000 domains would occupy an area comparable in size to the head of a common pin. A domain is composed of approximately one quadrillion (1,000,000,000,000,000) atoms. If an atom were the size of a 1/2 inch ball, then a domain would contain enough of these balls to surround the earth with a band 30 miles wide.</p>
<p>4</p> <p>In unmagnetized ferromagnetic materials the domains are randomly oriented and neutralize each other.</p> <p><b>HOWEVER THE MAGNETIC FORCES ARE PRESENT!</b></p>	<p>5</p> <p>Application of an external magnetic field causes magnetism in the domains to be aligned so that their magnetic moments are added to each other and to that of the applied field.</p> <p>With soft magnetic materials such as iron, small external fields will cause great alignment, but because of the small restraining force only a little of the magnetism will be retained when the external field is removed..</p> <p>With hard magnetic materials such as Alnico a greater external field must be applied to cause orientation of the domains, but most of the orientation will be retained when the field is removed, thus creating a larger permanent magnet, which will have one North and one-South pole.</p>	<p>6</p> <p>South seeking pole      North seeking pole</p> <p>Magnetic lines of force</p> <p>A freely suspended bar magnet will always tend to align itself with the North and South magnetic poles of the earth - for example - the magnetic compass.</p> <p>This occurs because unlike poles of a magnet are always attracted to each other by invisible lines of force whereas like poles repel each other. The earth, of course is the largest known permanent magnet.</p>
<p>7</p> <p>Permanent magnets can be scientifically designed and made in countless shapes and sizes to perform various tasks. The horse-shoe shape is most commonly used in magnetic separators because its lines of force are more adaptable to the tasks which must be performed in the separation of ferrous from non-ferrous materials. A piece of iron placed within the effective range of a magnet will, in turn become magnetized. It will have its own North and South poles which will be attracted to the parent, or larger magnet in proportion to its mass.</p>	<p>World Authority in Magnetic and Vibratory Applications</p> <p>Asbury Road at Airport Erie, Pennsylvania 16514, U.S.A. Tel: 814/833-9881 Telex: 91-4470</p> <p>786-2.5M-SP</p>	

6,000 dominios pueden ocupar un área comparable en tamaño a la cabeza de un alfiler.

Un dominio está compuesto de aproximadamente un cuadrillón de átomos. Si un átomo fuera del tamaño de una bola de acero de 1/2 pulgada de diámetro, entonces un dominio podría contener una cantidad suficiente de estos átomos para recubrir a la Tierra con una banda de 30 millas de ancho.

**Recuadro 4 .-** En los materiales ferromagnéticos no-magnetizados, los dominios están orientados al azar y se neutralizan el uno al otro. Sin embargo, **las fuerzas magnéticas están presentes.**

**Recuadro 5 .-** La aplicación de un campo magnético externo causa magnetismo en los dominios los cuales son alineados de tal forma que sus momentos magnéticos son sumados de uno al otro y a aquel del campo aplicado.

Con materiales suavemente magnéticos como el Fierro, un pequeño campo magnético externo causará un gran alineamiento, pero debido a la pequeña fuerza de fijación solamente una pequeña cantidad del magnetismo será retenido cuando el campo magnético externo sea retirado.

Con materiales fuertemente magnéticos como el ALNICO, un campo externo mayor debe ser aplicado para causar la orientación de los dominios, pero mucha de esta orientación será retenida cuando el campo magnético es retirado, creando entonces un imán permanente más grande, el cual tendrá un Polo Norte y un Polo Sur.

**Recuadro 6** - Un imán de barra suspendido libremente, siempre tenderá a alinearse con los Polos magnéticos Norte y Sur de la Tierra - por ejemplo - la brújula magnética.

Esto ocurre porque los polos opuestos de un imán son siempre atraídos entre sí por líneas invisibles así como los polos iguales se repelen uno al otro. La Tierra por lo tanto, es el imán permanente más grande que se conozca.

**Recuadro 7** Los imanes permanentes pueden ser diseñados científicamente y fabricados en innumerables formas y tamaños para realizar diversas funciones.

La forma de herradura es la más comunmente usada en separadores magnéticos porque sus líneas de fuerza son más adaptables a las funciones que deban realizarse en la separación de materiales ferrosos de los no-ferrosos.

Una pieza de Fierro colocado dentro del rango efectivo de un imán, será magnetizado. Este tendrá sus propios polos Norte y Sur los cuales serán atraídos hacia el imán original ó al imán mas grande en proporción a su masa.

En la ilustración los dominios son presentados en forma simétrica solamente para fines explicativos, pero actualmente sus formas son irregulares y sus dimensiones varían con los cambios de temperatura y con los campos magnéticos externos aplicados.

### 2.3.0 **Definiciones y Terminología** .-

A continuación se presentan algunas definiciones y términos, en lenguaje sencillo, más comúnmente utilizados por los

ingenieros y otros profesionales dedicados a las ciencias magnéticas donde los imanes y el magnetismo son empleados en soluciones para una gran variedad de problemas.

**IMAN** : Un imán es cualquier cuerpo que tenga la propiedad de atraer al hierro. El Hierro dulce puede ser temporalmente convertido en imán por contacto con un imán verdadero; por inducción sin contacto o por la influencia de una corriente eléctrica, en cuyo caso se llamará electro-imán.

**MAGNETISMO** : Esta es probablemente la palabra más difícil de definir ya que usualmente los libros lo describen mediante sus atributos, como su habilidad de atraer al hierro o causar la generación de electricidad cuando un conductor pasa a través de un campo magnético, como en un generador. Otra definición es que el magnetismo es creado por un flujo de electricidad en un conductor, como en un electro-imán ó en un motor.

Nosotros preferimos definir al magnetismo como una fuerza externa debida a la electricidad en movimiento, ya sea en un conductor ó en los sentidos de giro descompensados de los electrones en ciertos elementos.

**FLUJO** : Este es propiamente el nombre técnico del campo magnético.

**GAUSS** : Es la unidad de medida de la densidad del flujo ó campo magnético. Es medido con instrumentos que indican el número de líneas imaginarias por centímetro cuadrado ó por pulgada cuadrada.

**GRADIENTE** . Este es el término utilizado para indicar el cambio en la fuerza magnética (densidad de flujo) entre puntos medidos a diferentes distancias perpendiculares al campo magnético.

MATERIAL MAGNETICO (FERROMAGNETICO) : Se refiere a cualquier material capaz de ser magnetizado, tal como una pieza de hierro.

MATERIAL NO MAGNETICO (NO FERROSO) : Estos son materiales que no pueden ser magnetizados y que no pueden ser atraídos por un imán, no importando que tan fuerte sea el imán

MATERIALES PARAMAGNETICOS Esto se refiere a materiales débilmente magnéticos que solamente responden a fuerzas magnéticas extremadamente fuertes.

MAGNETISMO INDUCIDO : Este es un término usado para describir una condición donde el magnetismo es causado en un material por su exposición a un campo magnético.

MAGNETISMO RESIDUAL : Esto se refiere al magnetismo remanente en un material después de su exposición a una fuerza magnetizante.

PERMEABILIDAD MAGNETICA : Un término usado para clasificar materiales magnéticos en base a su habilidad relativa a conducir magnetismo. Permeabilidad es el recíproco de reluctancia.

SUSCEPTIBILIDAD MAGNETICA Técnicamente, la susceptibilidad magnética es la proporción de magnetización para una fuerza magnética aplicada. En el Anexo 1 se presenta la Tabla de Susceptibilidades Magnéticas de los Minerales, indicando las fuerzas de atracción magnética de varios minerales comparados con la fuerza de atracción del hierro.

FLOCULACION MAGNETICA : La floculación ocurre cuando partículas discretas en un líquido son magnetizadas por exposición a un campo magnético. Entonces, estas partículas se convierten en pequeños imanes con magnetismo residual que se atraen el uno al

otro, formando cuerpos más grandes que sedimentan más rápidamente que las partículas discretas.

IMAN PERMANENTE · Es una combinación de elementos formando un cuerpo que, después de ser magnetizado, está caracterizado por su habilidad de retener indefinidamente el magnetismo inducido. Debe tener polos Norte y Sur en razón de ser un imán. Puede ser fraccionado en cualquier número de piezas más pequeñas, pero cada pieza tendrá aún sus propios polos Norte y Sur.

ELECTRO-IMAN : Este es un imán creado usualmente mediante el paso de corriente eléctrica directa a través de una bobina ó conductor que envuelve a un alma de hierro. El flujo de corriente alinea las fuerzas magnéticas inherentes en el hierro causando que este se convierta en un imán con polos Norte y Sur mientras que la corriente eléctrica está fluyendo. Cuando el flujo de corriente es detenido el alma de hierro retorna a su estado normal y deja de ser un imán. Cuando los campos magnéticos de los imanes permanentes y electromagnéticos son del mismo tamaño y configuración, sus efectos sobre materiales magnéticos serán idénticos.

#### 2.4.0 Otros aspectos de interés

Seguidamente se señalan algunos puntos que merecen la pena ser considerados, ya que dan respuesta a una serie de interrogantes que, a menudo se les hace a los profesionales dedicados al estudio del magnetismo y de las diferentes propiedades de los imanes.

LEAD NACIONAL  
NA CENTRAL  
DAD DE PROC  
S TECI  
B SI

1) Por qué el Hierro ó un material ferroso, es atraído hacia el imán?

El hierro ó un material ferroso, es atraído hacia el imán porque bajo su influencia se convierte en un imán temporal con sus propios polos Norte y Sur y, ya que los polos opuestos se atraen el uno al otro, el hierro es atraído hacia el imán.

2) Por qué una pieza pequeña de hierro es atraída hacia un imán con menor fuerza con que una pieza más grande es atraída hacia el mismo imán?

La pieza más pequeña de hierro contiene un menor número de unidades de fuerza magnética (dominios) por lo que cuando ambas piezas son magnetizadas completamente, una se convierte en un imán temporal más pequeño que el otro. En otras palabras, ambas serán atraídas hacia el mismo imán pero en relación directa a sus dimensiones. Asimismo, la cantidad de atracción también está influenciada por el gradiente y la densidad de flujo del campo magnético.

3) Qué elementos se clasifican como magnéticos ó tienen características magnéticas significativas?

Los elementos más importantes en éste momento son el Hierro, el Níquel, el Cobalto y algunos grupos de las Tierras Raras.

4) Por qué los minerales tienen un rango tan amplio de Susceptibilidad Magnética?

Para ser atraídos por un imán cualquier mineral debe contener alguno de los elementos magnéticos. Los diversos minerales tienen diferentes cantidades y combinaciones de estos elementos, de aquí

que hayan sido clasificados como Fuertemente Magnéticos, Moderadamente Magnéticos, Ligeramente Magnéticos y Débilmente Magnéticos. Por supuesto, los minerales que no contienen elementos magnéticos son No-Magnéticos (Anexo 2).

5) Por qué el Hierro es algunas veces No-Magnético ó Paramagnético?

Esto es debido a que absorbe elementos no-magnéticos, tales como el oxígeno, el cual cambia la estructura interna necesaria para el magnetismo. Los óxidos de las escorias y algunas menas de hierro son ejemplos de esto.

6) Pueden otros materiales como el Aluminio ó el Cobre ser magnetizados si son expuestos a campos fuertemente magnéticos? No, porque no contienen elementos magnéticos en su estructura.

7) Cuáles son las mayores diferencias entre los dos materiales magnéticos permanentes más comunmente usados para la fabricación de los imanes de Alnico y los Cerámicos?

Los imanes de Alnico son aleaciones fundidas de Hierro, Níquel, Cobalto y otros elementos que son muy fuertes magnéticamente, usualmente requieren menos espacio que los imanes cerámicos para producir la misma fuerza magnética. Libra a libra son generalmente más caros. Pueden tolerar amplios rangos de temperatura.

Los imanes cerámicos son hechos a presión con Ferrita de Bario. Si están apropiadamente diseñados pueden frecuentemente igualar ó exceder la fuerza de los imanes de Alnico a menor costo. Sin embargo, están sujetos a variaciones si son expuestos a

temperaturas extremadamente elevadas ó por debajo de cero grados. Han reemplazado al ALNICO en muchas aplicaciones.

Ambos tipos de imanes son extremadamente resistentes a las influencias desmagnetizantes.

En el Anexo 3 se presenta un gráfico que nos muestra la pérdida magnética debida a los diferentes cambios de temperatura para estos dos tipos de imanes.

8) Cuáles son las otras influencias desmagnetizantes?

Con los imanes de Alnico las tres mayores influencias desmagnetizantes son:

a) Forzar repetidamente la unión de polos iguales

b) Des-ensamble de partes que han sido magnetizadas como una sola unidad.

c) Permitir que el Hierro ó otros materiales magnéticos hagan contacto en otras áreas diferentes a las caras de trabajo.

Con los imanes cerámicos usualmente no hay referencias de influencias desmagnetizantes excepto las temperaturas extremas mencionadas previamente.

9) Cuáles son los límites razonables de temperatura con los imanes de Alnico y los Cerámicos?

Con los imanes de Alnico no hay límite a temperaturas bajas. A elevadas temperaturas pueden trabajar eficientemente en temperaturas hasta 800°F ( 425°C) con pérdidas de fuerza no insignificantes.

La fuerza de los imanes Cerámicos es generalmente menor en un 10% por cada 100°F ( 38°C) sobre la temperatura ambiente. Recuperará

su fuerza cuando regrese a la temperatura ambiente. A 900°F (485°C) se desmagnetizará y deberá ser magnetizado. A temperaturas bajas (con el apropiado diseño) muchos imanes Cerámicos pueden soportar 40°F (- 5°C) sin requerir remagnetización.

10) Cuánto tiempo retendrá su fuerza un imán permanente ?

A menos que sea expuesto a las influencias desmagnetizantes mencionadas previamente, debe mantener su fuerza indefinidamente. Sin embargo, podríamos decir que la fuerza magnética disminuirá a una razón de 1/10 a 1/2 % por siglo.

## C A P I T U L O   I I I

### NUEVOS AVANCES EN EQUIPOS Y PROCESOS DE SEPARACION MAGNETICA

#### 3.1.0     Generalidades

Los principios básicos para el diseño de separadores magnéticos no han variado en los últimos 70 años. Los procesos de fabricación y el desarrollo de nuevas materias primas han permitido nuevos avances y han despertado el interés de ingenieros en función del desarrollo de equipos de mayor capacidad operacional.

Es muy amplia la variedad de equipos aplicados a la industria de la minería, desde la mina propiamente dicha hasta la Planta de Beneficio y Concentración. Por norma y tradición, técnicamente se acostumbra a dividir el campo de separación magnética en sectores, en los cuales se aplican equipos que se han desempeñado de acuerdo a la capacidad de generar flujos magnéticos en rangos

determinados de acuerdo a las diferentes susceptibilidades magnéticas de los minerales (Ver Anexo 1).

### 3.2.0 Clasificación

De acuerdo a lo anterior, es posible clasificar a los separadores magnéticos en tres grupos distintos con sub-grupos de aplicación de acuerdo al proceso si es en seco ó en húmedo.

IER. GRUPO : Separación Magnética de Baja Intensidad

(Campo Magnético en el rango de 0 - 2,500 Gauss)

- Proceso en Seco : Imanes Suspendidos  
Poleas Magnéticas  
Tambores Magnéticos
- Proceso en Húmedo : Tambores Magnéticos en tanques

IIDO. GRUPO: Separación Magnética de Media y Alta Intensidad

(Campo Magnético en el rango de 2,500 - 17,500 Gauss)

- Proceso en Seco : Separadores de Rodillos Inducidos  
Separadores de Fajas Cruzadas (HCB)
- Proceso en Húmedo: Separadores de Alta Intensidad tipo carousel (WHIMS)

IIIER. GRUPO: Separación Magnética de Alto Gradiente

(Campo Magnético en el rango de 17,500-21,500 Gauss).

#### 3.2.1 Separación Magnética de Baja Intensidad

Como se ha considerado anteriormente se ha convenido en denominar Separación Magnética de Baja Intensidad a los procesos

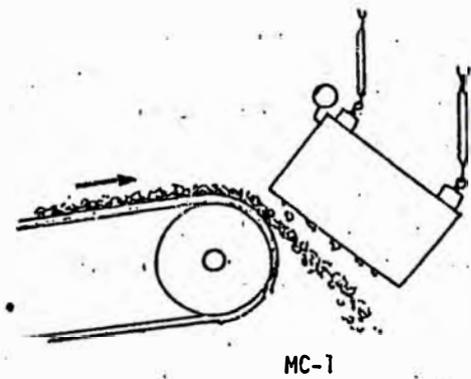
que involucran equipos constituidos por imanes permanentes (Alnico ó Ferrita) ó electromagnéticos (embobinados), que en operación son capaces de generar campos en el rango de 0 a 2,500 Gauss.

Normalmente por razones constructivas y restricciones de fabricación, se usan equipos de imanes permanentes (tambores, poleas e imanes suspendidos) generando campos de hasta 1,500 Gauss a 2" de la superficie magnética. Para obtener valores más significativos de campo magnético, se recomiendan tambores e imanes suspendidos electro-magnéticos para trabajar en el rango de 1,500 a 2,500 Gauss (Fig. 1).

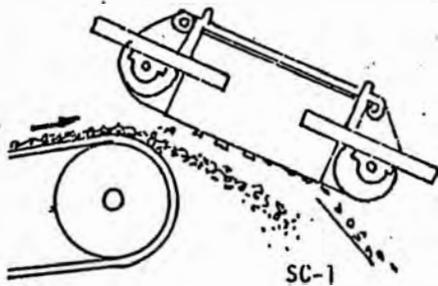
Los imanes suspendidos son equipos de protección, ideales para eliminar pedazos de fierro que vienen con el mineral, tales como puntas de pala, barras, pernos, etc., en la faja transportadora que alimenta a la chancadora. Estos imanes pueden ser permanentes ó electroimanes dependiendo en gran parte de la altura de cama del mineral sobre la faja transportadora.

Las poleas magnéticas tienen una función similar a los imanes suspendidos (protección de equipos), pero se usan como poleas de cabeza en las fajas transportadoras, eliminando contaminación ferrosa en dimensiones mayores de 1 mm contenido en un material que tenga una altura de cama no mayor de 20 mm.

Las poleas magnéticas son construidas de forma cilíndrica agregando en su interior módulos magnetizados de ferrita, montados sobre bloques rectangulares. Los circuitos cruzados en toda la superficie de la polea hacen que se alcancen gradientes

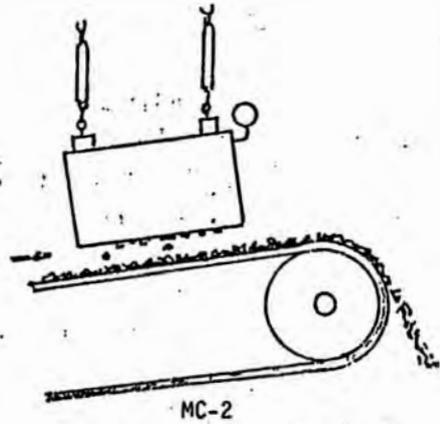


MC-1

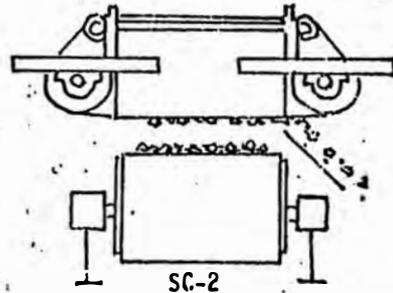


SC-1

Instalación de imanes suspendidos de limpieza manual (MC-1) y de limpieza automática (SC-1) para fajas de alta velocidad.



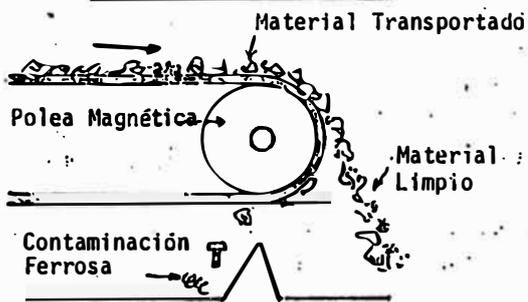
MC-2



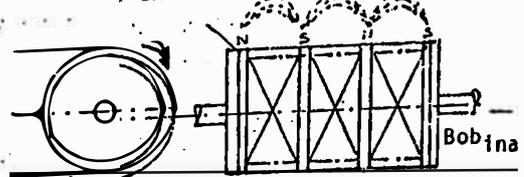
SC-2

Instalación de imanes suspendidos de limpieza manual (MC-2) y de limpieza automática (SC-2) para fajas de baja velocidad.

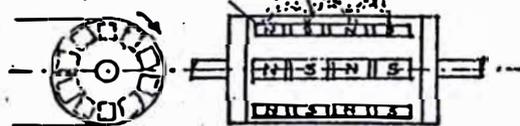
**PRINCIPIO DE OPERACION DE LAS POLEAS MAGNETICAS**



**Polos en discos de argo**



Barra montada con bloques de ferrita



Polea Magnética Permanente

Fig. 1

entre 500 y 600 Gauss, suficientes para separar materiales secos desde 30 gramos y eliminar contaminación ferrosa de hasta menos de 8 mallas de tamaño.

Los tambores magnéticos son equipos de proceso, que consisten básicamente de elementos magnéticos fijos colocados debajo de una superficie rotativa cilíndrica de acero inoxidable ó cualquier otro material no-magnético.

En aplicaciones secas las partículas magnéticas son atraídas al tambor, en la zona de separación, mientras que las piedras y ganga son arrastradas por fuerzas centrífugas creadas por la rotación y la gravedad.

Todos los separadores requieren alimentación con características más o menos similares. La fracción magnética a ser separada debe ser ferro-magnética y seca con una granulometría específica.

El sistema de separación ideal, consiste de una polea magnética de imanes permanentes instalada en la cabeza del transportador y un tambor montado en la faja transportadora de finos ó un imán suspendido y un tambor.

La separación magnética de baja intensidad en húmedo es considerada como una de las más importantes técnicas ó sistemas de procesos modernos para concentrar ó separar la Magnetita, así como para concentrar Fosfatos y Ferro-Niobio y recuperar Magnetita en el Lavado de Carbón a través del proceso de Medios Densos (Heavy Media).

Los elementos magnéticos utilizados en un tambor magnético en húmedo pueden ser permanentes, electro-magnéticos ó una

combinación de ambos. Si el material a ser tratado no es lo suficientemente magnético para ser procesado en uno de estos tambores, pueden usarse equipos magnéticos de mayor intensidad en etapas posteriores.

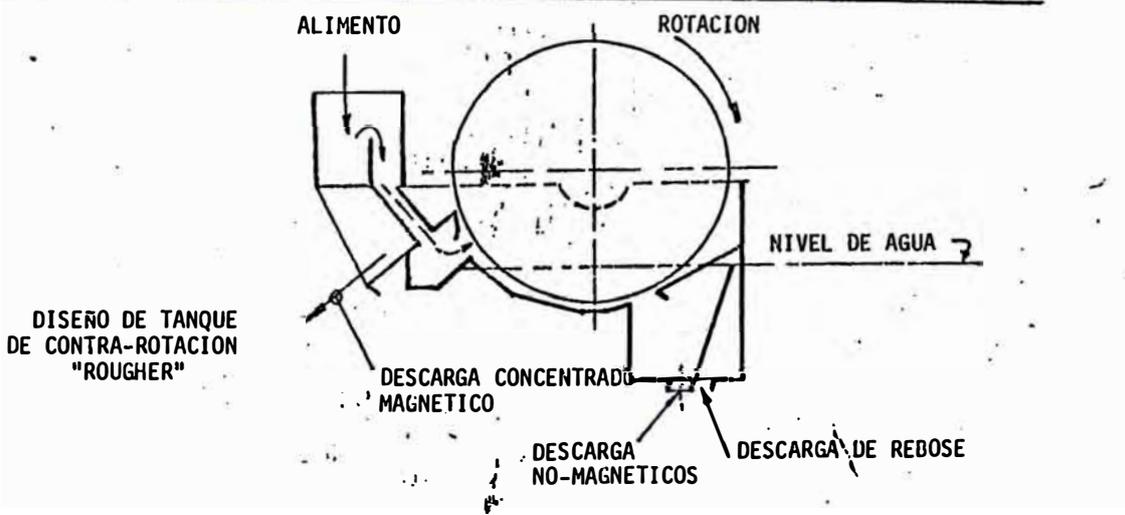
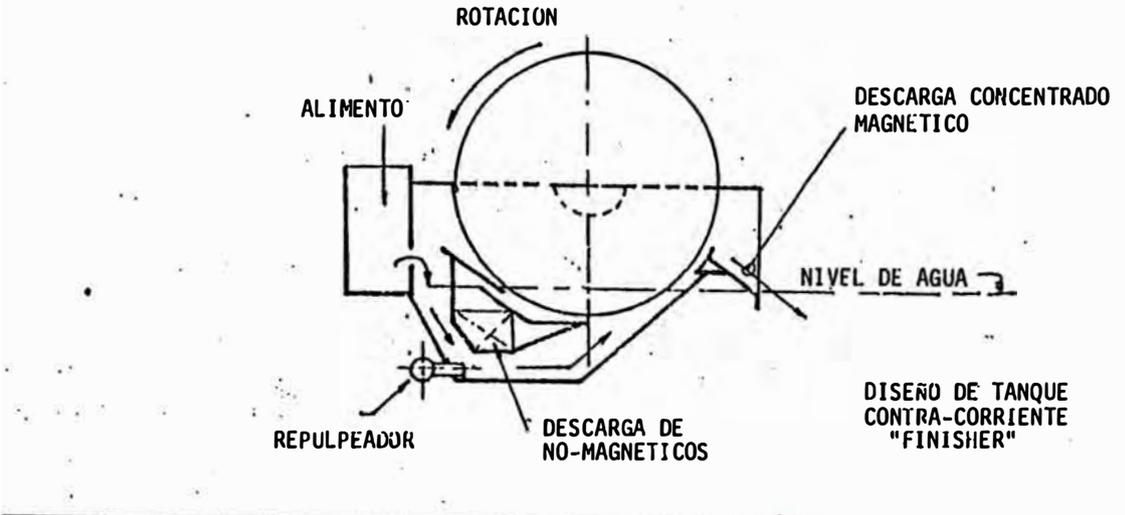
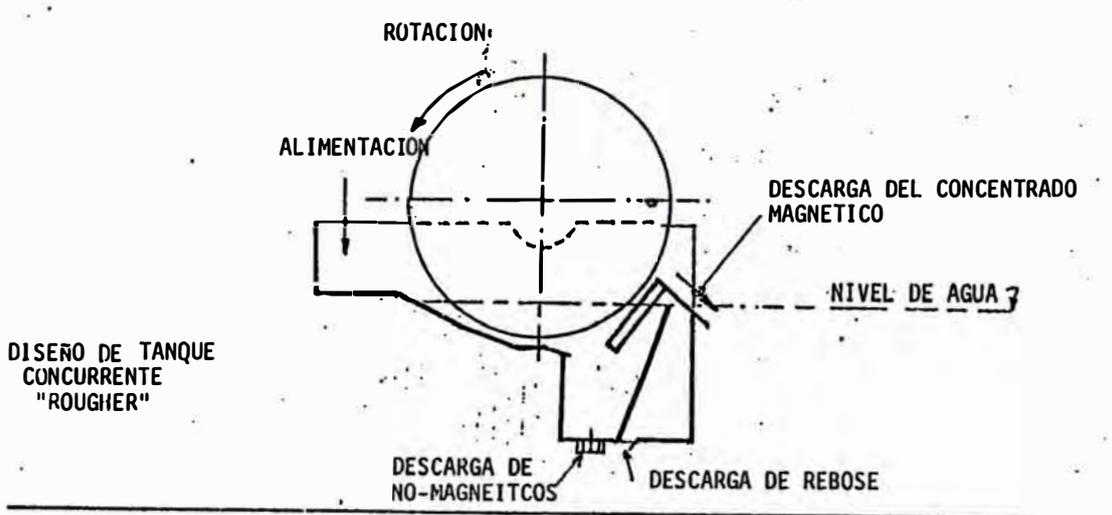
Los tambores magnéticos de baja intensidad en húmedo pueden montarse básicamente en tres tipos diferentes de tanques (Fig. 2)

a)Concurrentes: el flujo del material en el mismo sentido de rotación del tambor, produciendo concentrados magnéticos limpios considerando una alimentación con material grueso. Es normalmente usado en operaciones de separación.

b)Contra-Rotación: el flujo del material con un tambor girando en sentido contrario a la alimentación. Este estilo de tanque se usa cuando existen variaciones ocasionadas en la alimentación, donde las pérdidas de material magnético se mantienen a un mínimo y donde no se requiere un concentrado altamente limpio. La granulometría en la alimentación debe ser menor de 40 mesh. Este equipo se utiliza como separador "rougher" en la concentración de minerales.

c)Contra-Corriente: Este tipo de tanque es usado en la etapa final de la concentración de minerales y está limitado al manipuleo de mineral finamente molido (-200 mesh) a un volumen comparativamente menor. Si en una operación final se requiere trabajar con un material grueso, tal como +200 mesh, el diseño de tanque concurrente debe ser el elegido.

Con los tipos de tanques mencionados, se pueden diseñar sistemas consistentes en tanques dobles y triples con el fin de procesar



**Fig. 2**

pulpa de hasta 50% de sólidos en peso, asegurando una máxima recuperación por recirculación de los relaves ó rechazos.(Fig. 3)

### 3.2.2 Separación Magnética de Media y Alta Intensidad.-

Básicamente el factor limitante en la selección del proceso en seco ó en húmedo para la utilización de separadores magnéticos de media o alta intensidad es la granulometría del mineral a ser procesado.

Los separadores en seco, conocidos en el mercado como de rodillos inducidos ó de fajas cruzadas (HCB), concentran, separan, benefician ó refinan minerales en el rango de -8 a +150 mesh, con campos magnéticos variables entre 2,000 a 17,500 Gauss.

Los separadores en húmedo, de alta intensidad (WHIMS), conocidos en el mercado como tipo "carrousel", separan, concentran ó benefician minerales con granulometría por debajo de malla 200.

Los separadores magnéticos en seco de rodillos inducidos (IMR), se usan en la recuperación de óxidos moderadamente magnéticos o la concentración de minerales ó materiales secos como arena sílice, dolomita, casiterita, tantalita, cromita, rutilo, manganeso, titanio, wolframita y muchos otros. Algunas características principales de estos equipos son:

- )Material a ser tratado : Seco y liberado
- )Granulometría : -8 a +150 mesh
- )Campo magnético : Variable de 2,000 a 17,500 Gauss
- )Consumo de energía : 400 a 4,000 Watts.
- )Capacidad de alimentación : 10 a 4,500 kg/h

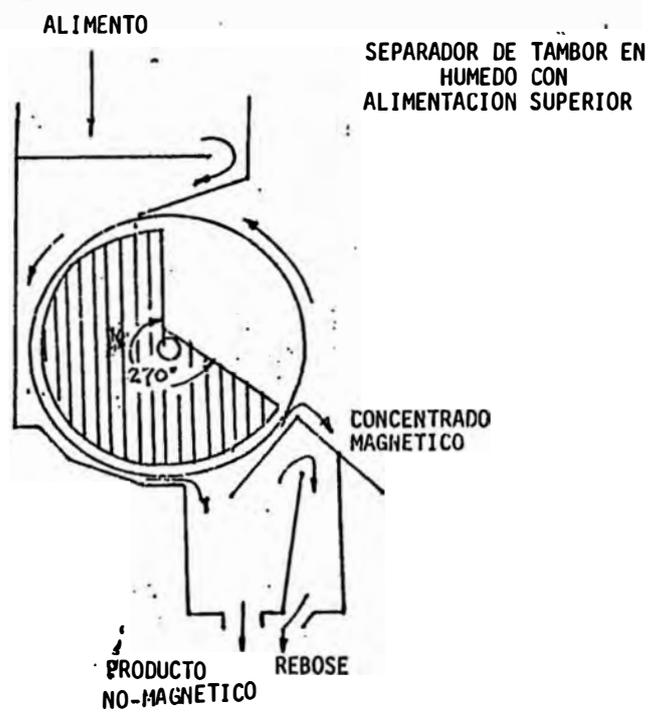
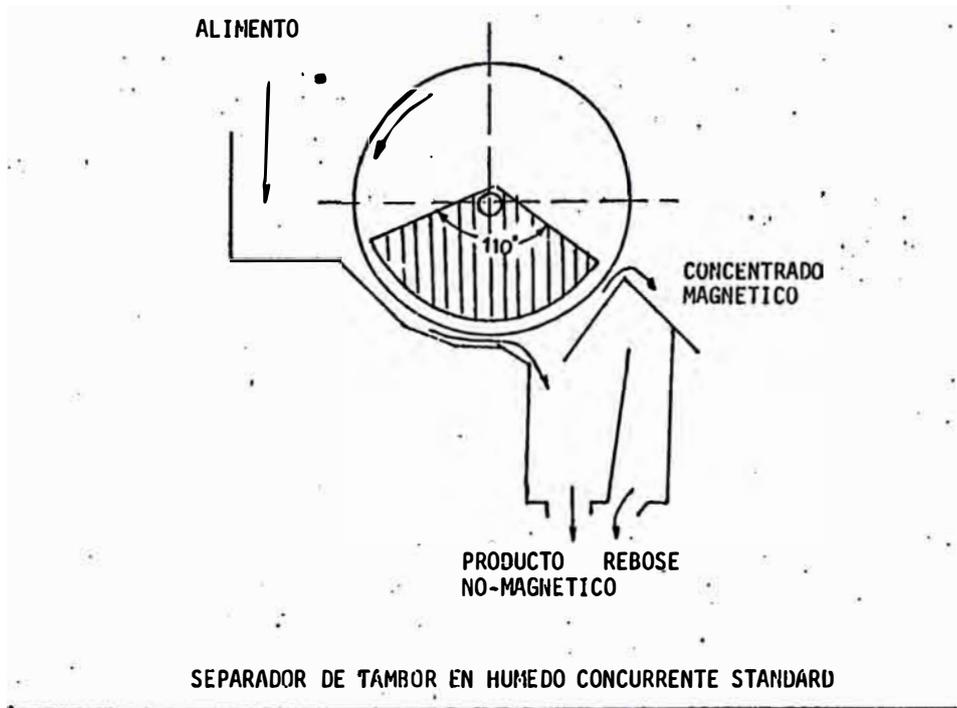


Fig. 3

Los separadores magnéticos de fajas cruzadas (HCB) se usan en la separación selectiva de productos ó ganga magnética de materiales como abrasivos, cerámica, productos químicos, arcilla, plásticos, etc., o en la concentración de minerales débilmente magnéticos tales como el Tungsteno (wolframita), cromita, manganeso, tantalita, titanio y otros. Características principales de este separador magnético son:

- )Material a ser tratado : Seco y liberado
- )Granulometría : -1/2 a +100 mesh
- )Campo magnético : Variable de 2,000 a 16,000 Gauss
- )Velocidad de la faja principal : De 12 a 36 mts/min
- )Velocidad de las fajas secundarias : 92 mts/min.
- )Consumo de energía : 750 a 16,000 Watts.
- )Capacidad de Alimentación : 900 kgs a 1 Ton/h

Los separadores magnéticos en húmedo de alta intensidad (WHIMS) (Fig. 4) han interesado particularmente a la industria de procesamiento de minerales con capacidades de procesamiento de más de 120 Tons/hora, utilizando alimentación a presión, manteniendo constante el proceso metalúrgico original.

Los WHIMS son utilizados en el beneficio de mineral de fierro (Hematita y Goethita), eliminación de óxidos de fierro y ferrosilicatos de cuarzo y arcillas en la fabricación del vidrio, cerámica y esmaltes, separación de ilmenita, wolframita y columbita de la ganga durante la concentración, eliminación de óxidos de fierro, ferrosilicatos y ferrotitanios de los concentrados de casiteria, zirconio y rutilo; recuperación de

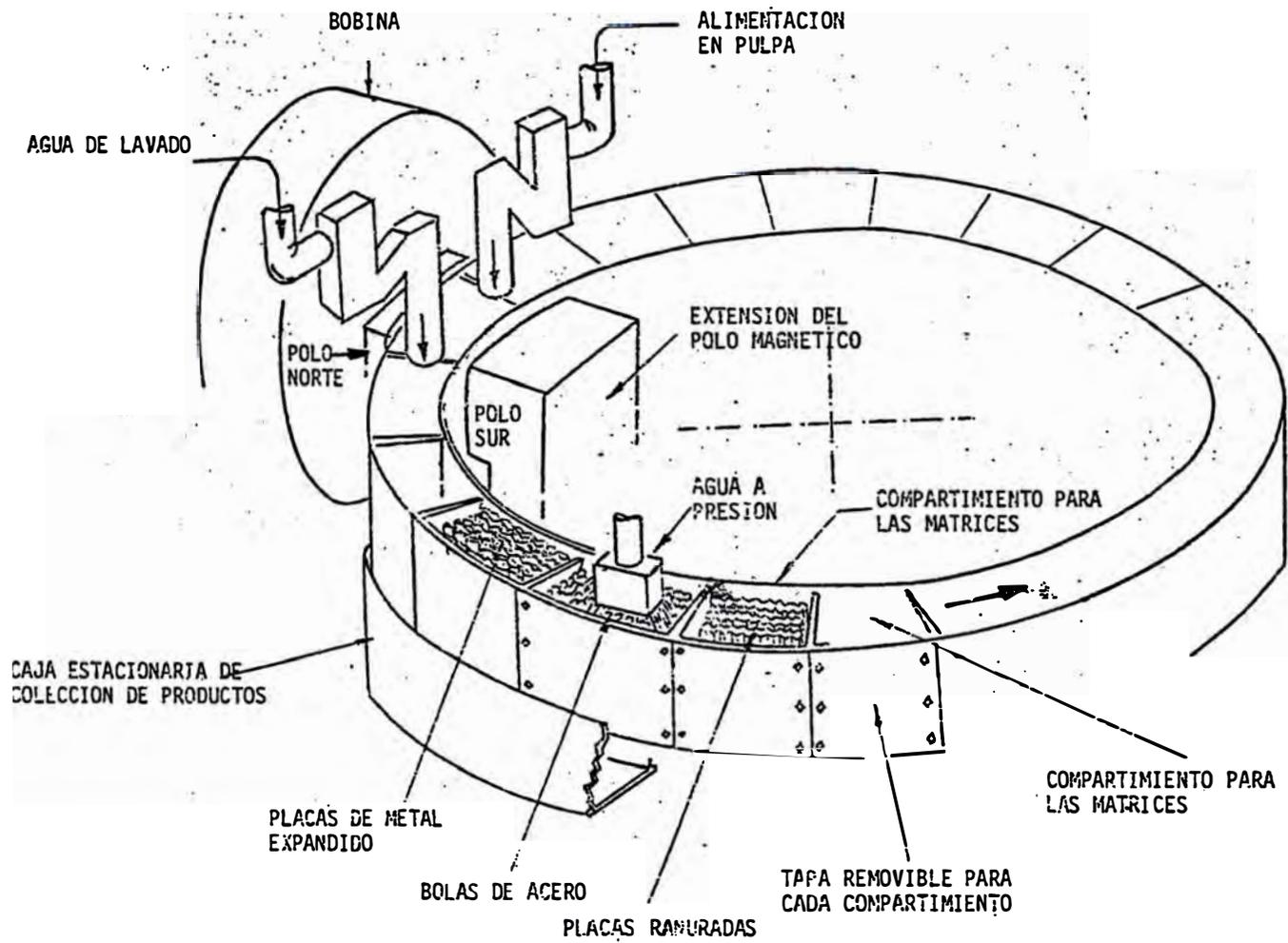


Fig. 4

ESQUEMA DE UN SEPARADOR MAGNETICO DE ALTA INTENSIDAD EN HUMEDO - WHIMS

minerales de oro y uranio de los residuos de cianuración y relaves de flotación, etc.

Un WHIMS consiste básicamente de un aro giratorio en el cual hay una serie de celdas individuales, en donde se colocan una serie de matrices de acero inoxidable magnético. El aro rota entre los polos de un campo electro-magnético. Al entrar a este campo se le induce magnetismo a las matrices, las cuales multiplican la intensidad del campo hasta 17,500 Gauss.

En el momento que cada celda pasa por el campo magnético, se le inyecta a la celda el mineral en pulpa, de modo que las partículas susceptibles al magnetismo se queden prendidas a las matrices y los no-magnéticos pasen por entre las aberturas de las matrices. Al salir las matrices del campo magnético se les inyecta agua a presión para extraer el material magnético y lavar las matrices, quedando listas para la siguiente pasada por el campo electromagnético.

Debido a que cada mineral se comporta de diferente manera frente al magnetismo, es necesario ajustar una serie de variables tanto de operación como de diseño del equipo que mencionamos a continuación:

a) Intensidad de Campo: La intensidad de campo se mide en el área abierta ("open air gap") entre los polos magnéticos, por donde pasa el aro giratorio. Esta intensidad puede llegar hasta 10,000 Gauss sin matrices, pero con las matrices se originan regiones que desarrollan gradientes de flujo de hasta 17,500 Gauss.

b) Matrices: Son diseñadas especialmente para multiplicar el campo

magnético y retener las partículas magnéticas. Se tiene varios tipos de matrices:

1)Metal Expandido.- Pueden ser de varios espesores; grueso, mediano y fino. El uso de cada uno depende de la granulometría de la alimentación. Con las matrices de metal grueso y mediano se puede tratar mineral debajo de 30 mallas mientras que con el metal fino se requiere una granulometría por debajo de malla 100. Estos últimos se utilizan generalmente para el tratamiento de relaves para recuperar valores finos.

2)Placas Ranuradas.- Son placas ranuradas a ambos lados colocadas verticalmente. Son apropiadas para la recuperación de Hematita debajo de malla 28.

3)Bolas ó Billas.- Son de 1/4" de diámetro que ocupan un alto porcentaje del volumen de las celdas. Ofrecen un mayor efecto multiplicador del campo y se utilizan para una máxima recuperación de valores. El mineral debe ser 100% menos malla 100. La única desventaja es la reducción drástica de la capacidad.

4)Esponja de Acero Inoxidable.- Es usada básicamente para purificar minerales extremadamente finos como el talco y el caolín. Su uso es para procesar bajas capacidades de mineral y donde se desea una máxima pureza en la fracción no-magnética.

c)Densidad de Pulpa:No sólo afecta a la capacidad de la unidad sino también al nivel de recuperación y ley que se puede obtener. Normalmente se trabaja de 20 a 40% de sólidos, dependiendo del tipo de matriz a usarse.

d)Velocidad del Aro: Nos dá el tiempo de exposición de la matriz

y del mineral al campo magnético

e)Presión de Enjuague: Básicamente hay dos puntos de enjuague, uno en el campo magnético para quitar las partículas no-magnéticas y el otro es cuando las matrices salen del campo y es para desprender las partículas magnéticas que quedaron en las matrices.

f)pH del agua: Afecta en cierta forma en la recuperación del mineral.

g)Altura sobre el Nivel del Mar: El enemigo del magnetismo es el calor ya que a medida que la temperatura de los electro-imanés sube, la intensidad del campo tiende a bajar. Esto sucede cuando el equipo opera a alturas elevadas sobre el nivel del mar, donde el calor se disipa lentamente. Por eso se utiliza el sistema "derating" que consiste en añadir mayor agente conductor (alambre de aluminio) para mejorar la disipación del calor. También se utiliza un sistema de inter-cambiadores de calor para refrigerar el aceite de la bobina.

### 3.2.3 Separación Magnética de Alto Gradiente (HGMS).-

Los Separadores Magnéticos de Alto Gradiente (HGMS) son equipos de alta intensidad electro-magnética, diseñados para concentrar ó separar partículas débilmente magnéticas en un rango de tamaños de un micrón hasta un máximo de 28 mallas.

Este equipo consta básicamente de un número y tamaño de placas de acero al carbono calculadas con precisión, unidas entre sí, encerrando completamente una bobina refrigerada por agua. La bobina a su vez encierra una canasta ó cámara de acero inoxidable

no magnético conteniendo una matriz a través de la cual se hace pasar la pulpa. La matriz comunmente usada para las partículas de tamaño micrónico es una malla de lana de acero inoxidable magnético.(Fig. 5)

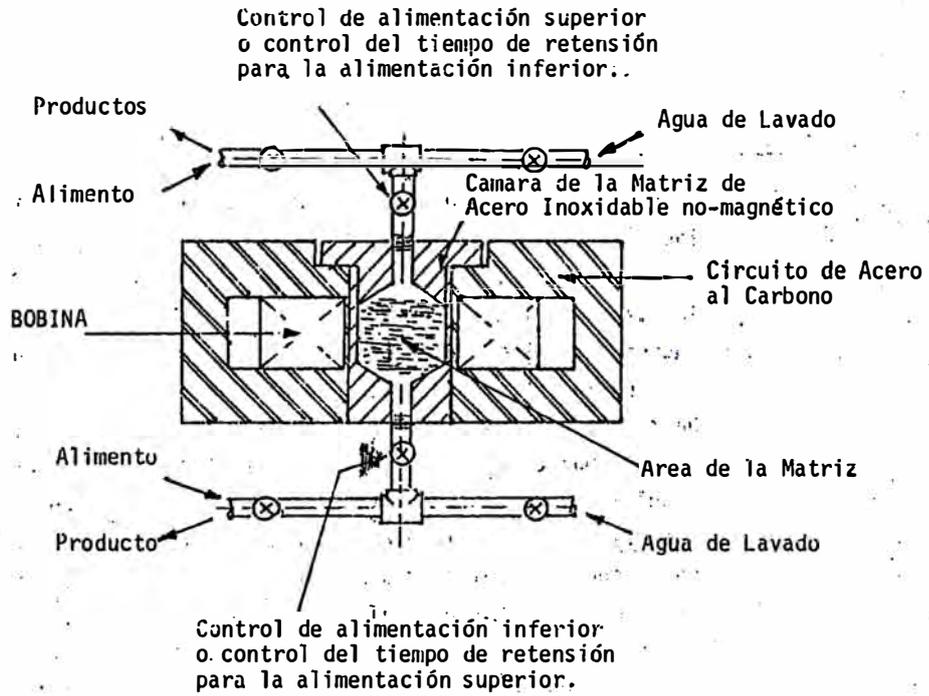
Cuando es magnetizado por el campo de alta intensidad, los millares de filamentos crean campos intensos de alto gradiente, a través de los cuales la partícula debe pasar. Debido a la alta superficie específica respecto al volúmen de la matriz inducida, se logra obtener una alta eficiencia de separación.

La intensidad de campo magnético es infinitamente variable hasta 20,000 Gauss en el área abierta ("open air gap") de la cámara de separación. Más aún, se logra obtener una mayor intensidad magnética dependiendo del tipo de matriz utilizada.

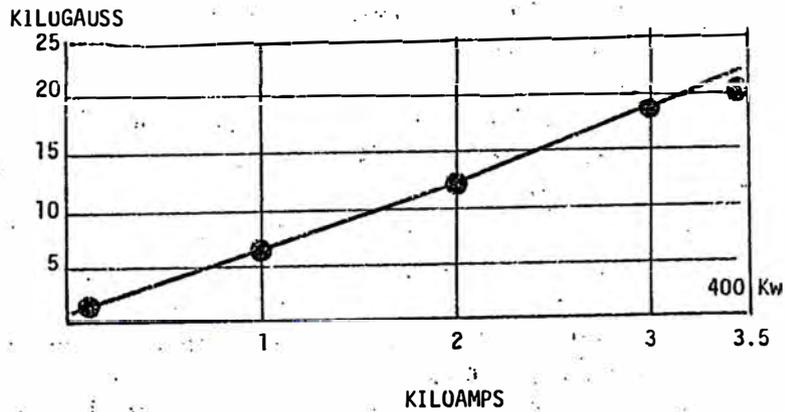
La alimentación de la pulpa se realiza por la parte superior del equipo mediante tuberías apropiadas. Las partículas magnéticas son atraídas a las matrices mientras que las no-magnéticas fluyen a través de la cámara de separación. Periódicamente, dependiendo del contenido magnético, la alimentación es detenida y la cámara de separación es limpiada por inyección de agua a presión, para la eliminación de los magnéticos.

Entre los factores y variables a considerar en la aplicación de los separadores de Alto Gradiente podemos mencionar a los siguientes:

a) Ley y Recuperación por campo aplicado y presión de la alimentación: Generalmente, en la separación de alta intensidad y alto gradiente, cuando se incrementa el campo magnético, la ley



ESQUEMA DEL SEPARADOR MAGNETICO DE ALTO GRADIENTE (HGMS)



KILOGAUSS VS. KILOAMPS PARA EL HGMS

Fig. 5

es mejorada con el aumento de presión ó velocidad de alimentación, mientras que la recuperación de los magnéticos decrece. La reducción del campo produce recuperaciones inferiores.

b)Campo Magnético: Generalmente el valor de 20,000 Gauss es el recomendado para la alimentación de partículas sub-micrónicas, entre tanto, en algunos casos se han tenido éxitos con campos menores y proporcionales reducciones de los costos operacionales.

c)Tiempo de Retención: Para partículas sub-micrónicas se requieren condiciones de 10 a 120 segundos de retención en el campo magnético para el proceso de separación.

d)Selección de Matrices: Se probaron varios tipos de matrices, pero la más satisfactoria fué la malla de lana de acero inoxidable empaquetada a la densidad de 6% en el filtro de separación.

e)Susceptibilidad del Mineral Alimentado: Cuando se exponen a fuerzas de campo magnético, los minerales de mayor susceptibilidad se pueden comportar como centros de interacción de fuerzas con partículas de menor susceptibilidad ó aún no liberadas, formando asimismo flóculos de mineral magnético, aumentando sensiblemente la recuperación de los mismos.

f)Carga Magnética x Ley y Recuperación: Uno de los factores más importantes en la determinación de la ley, recuperación y velocidad de alimentación, es la carga de magnéticos presentes en la alimentación. Tal carga puede ser definida como la razón entre el volumen de magnéticos en la alimentación y el volumen ó área

desocupada de la cámara magnética.

g)Densidad de Pulpa: La razón de agua a sólidos determina la capacidad de la unidad, así como la eficiencia de la separación.

### 3.3.0 Procesos y Aplicaciones Típicas.-

#### Purificación de Minerales de Titanio por Separación Magnética de Baja Intensidad en Seco - Tambores.

El objetivo es producir un concentrado de  $TiO_2$  con bajo contenido de hierro, cuya presencia en la alimentación llega a 32% en peso. Los equipos utilizados fueron únicamente tambores magnéticos. El proceso fue llevado a cabo de tal forma que se consiguiese eliminar alrededor de 30 a 35% de la alimentación como fracción magnética. Se incluye un flow-sheet con balance metalúrgico (Fig. 6).

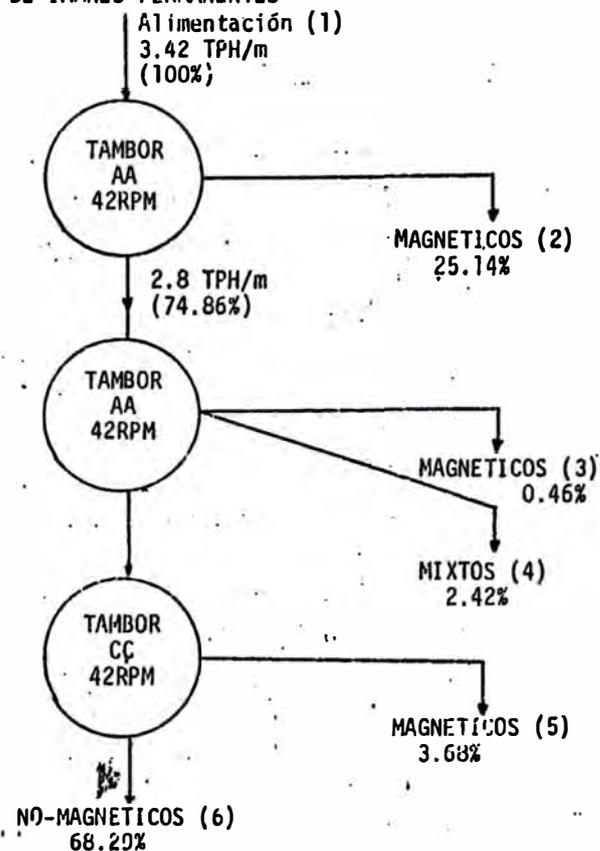
Como resultado se obtuvo una ley de Titanio de 75.8% verificado en laboratorio con una recuperación de 87%. El producto contiene de 7 a 8% de  $Fe_2O_3$ . Un promedio del 75 al 79% del  $Fe_2O_3$  fué eliminado como fracción magnética, lo que representa el 32% de la alimentación.

#### Eliminación de Magnetita en Proceso de Fosfatos por Tambores Magnéticos en Húmedo de Baja Intensidad

La roca de fosfatos, calcárea y compuesta básicamente de Apatita (Fosfato fertilizante) con impureza ferrosa (Magnetita).

Después de la molienda, en general a 65 mesh es posible liberar los granos de Apatita de los granos de Magnetita y consecuentemente se prosigue la separación magnética de baja

PURIFICACION DE MINERAL DE  $TiO_2$  POR  
SEPARACION MAGNETICA EN SECO CON TAMBORES  
DE IMANES PERMANENTES



BALANCE METALURGICO

PRODUCTO	% Peso	% $TiO_2$	% $Fe_2O_3$	% DISTRIBUCION	
				$TiO_2$	$Fe_2O_3$
Magnéticos (2)	25.14	23.8	62.6	9.79	70.78
Magnéticos (3)	0.46	29.1	56.6	0.22	1.17
Mixtos (4)	2.42	55.7	20.4	2.21	2.22
Magnéticos (5)	3.68	51.7	20.6	3.11	3.41
No-Magnéticos (6)	68.29	75.8	7.3	84.68	22.42
Alimentación Calculada	100.00	61.1	22.2	100.00	100.00

Fig. 6

intensidad (500 a 1,000 Gauss) por vía húmeda debido al tamaño de los granos.

El exceso de Magnetita en las lamas es un factor importante para la capacidad de los tambores, por ejemplo:

36" de diámetro --- 15 t/h por metro de ancho del tambor

48" de diámetro --- 24 t/h por metro de ancho del tambor.

La eficiencia de separación de la Magnetita está relacionada también con la cantidad de Magnetita por litros de lamas. En pulpas muy diluidas la separación de Magnetita puede caer a 60%. A medida que el porcentaje de Magnetita por litro aumenta, la eficiencia puede llegar a 99.8%

#### Recuperación Magnética de Cromita

La cromita es usada en los moldes de fundición para piezas de acero al manganeso, conjuntamente con la arena sílice, en puntos críticos por ser endotérmica es decir, absorbe el calor liberado por la piezas fundidas y consecuentemente, se obtienen piezas fundidas con un mínimo de tensiones internas.

Pruebas realizadas con los separadores magnéticos de media y alta intensidad en seco nos dieron los siguientes resultados:

Alimentación inicial : 85% sílice

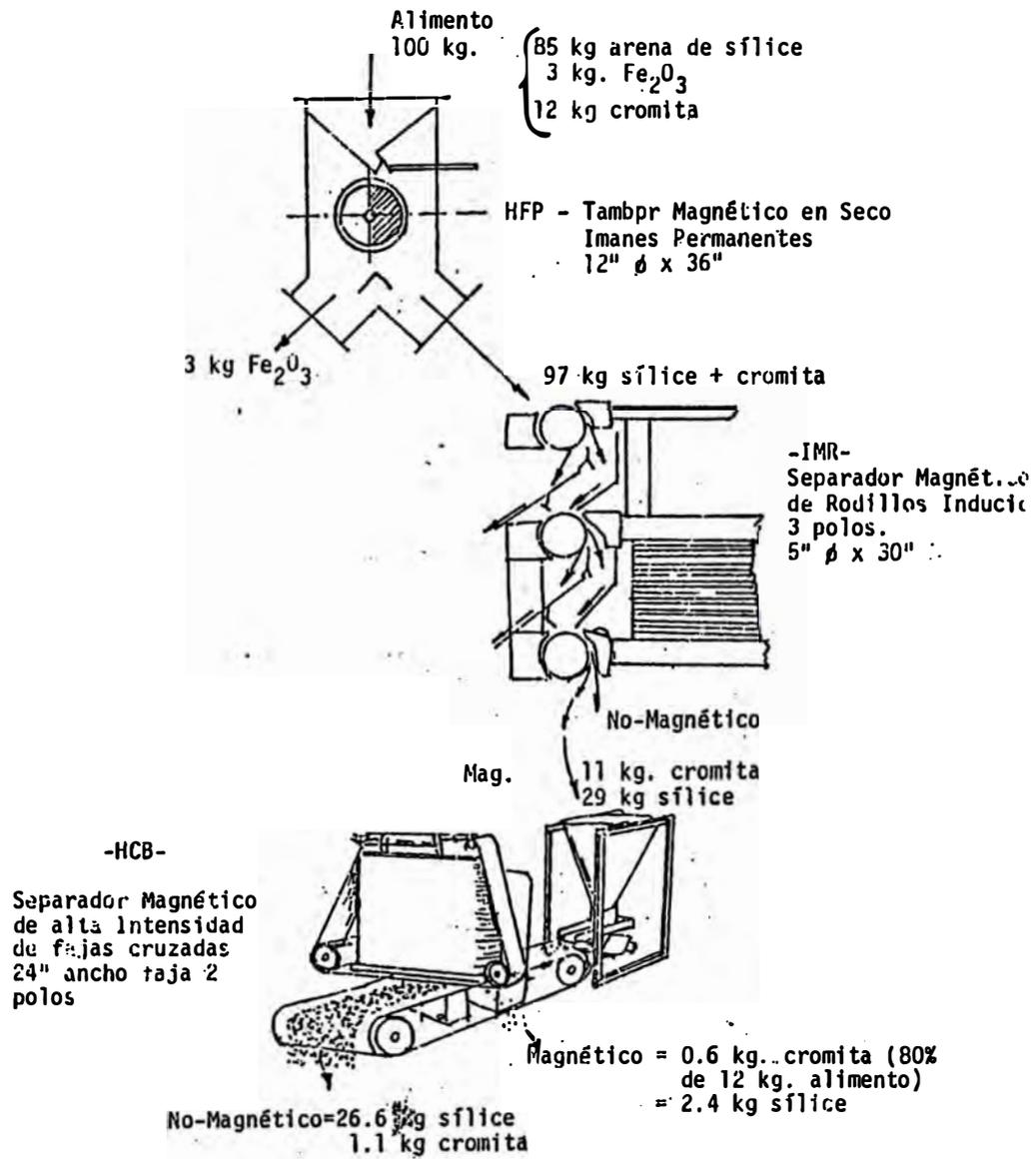
12% cromita

3% óxido de fierro

Resultados finales : 80% de cromita recuperada

80% de pureza.

En la Fig 7 se presenta en forma gráfica las etapas y equipos utilizados en el proceso de recuperación de la cromita de la



RECUPERACION MAGNETICA DE CROMITA

Fig: 7

arena sílice.

Recuperación de Oro y Uranio por Separación Magnética de Alta Intensidad en Húmedo (WHIMS)

Una de las aplicaciones interesantes del WHIMS es la recuperación de Oro y Uranio de los relaves de cianuración y relaves de flotación en las minas de Witwatersrand en Sudáfrica. Tal separación es posible ya que el Oro está asociado con la pirita y los minerales de Uranio, por lo tanto la concentración de oro está acompañada por la concentración de Uranio y la concentración de Pirita.

Por lo general las recuperaciones de Oro y Uranio están muy cercanas (en el orden de más del 50%). Por otro lado el Oro está cubierto de una película fina de óxidos de fierro lo cual hace que se comporte como partículas débilmente magnéticas.

La flotación es el método comunmente aceptado para la recuperación de minerales de Oro y Uranio, pero no es muy eficiente. Con la flotación se recupera 25% de Uranio y 50% de Oro de los residuos de cianuración. Además este proceso es apropiado para partículas entre 40 - 100 micrones. En cambio con el WHIMS se pueden capturar partículas de hasta 20 micrones.

Se piensa instalar un WHIMS de 60 tons/hora usando matrices de bolas de 4.8 mm de diámetro para concentrar aproximadamente 50% de los valores de Oro y Uranio contenidos en los residuos de cianuración en un 10% en peso. Estos concentrados serían tratados posteriormente mediante cianuración y lixiviación ácida, para recuperar los valores de Oro y Uranio.

### Aplicaciones de los Separadores de Alto Gradiente(HGMS)

Además de la industria del caolín se tienen otras aplicaciones como son:

1)La recuperación de minerales muy débilmente magnéticos como en la concentración de wolframita, eliminación de chalcopirita de los concentrados de molibdeno y eliminación de  $Fe_2O_3$  fino de las arenas de sílice.

2)Separación comercialmente rentable de las partículas más pequeñas de piritas de los carbones convencionales.

3)Otro uso importante del HGMS es el procesamiento de aguas residuales. En la industria siderúrgica, grandes volúmenes de agua de proceso están contaminadas con partículas suspendidas muy finas, las cuales son magnéticas.

## C A P I T U L O   I V

### T A M I Z A D O

#### 4.1.0    Breve historia del Tamizado.-

La historia del tamizado se originó probablemente en los primeros esfuerzos del hombre para separar ó extraer arcillas y minerales de la tierra bruta. Las primeras referencias datan del año 150 AC en descripciones de los Métodos Mineros de Griegos y Romanos, donde se describen cedazos rudimentarios con mallas de crin de caballo, cañas ó tablas y sogas llenos de agujeros que fueron utilizados primariamente para la separación de partículas. El primer indicio de la utilización de tamices de malla de alambre en el siglo 15 es atribuído a los Germanos.

La primera mención que tenemos de tamices sacudidos mecánicamente la encontramos en el diario de John Sweaton a su paso por los Países Bajos en 1775. En Rotterdam encontró molinos de martillos

(trituración) en circuito cerrado con lo que el llamó tamices. Los primeros intentos de zarandas vibratorias en U.S.A. fueron dispositivos para sacudir ó hacer vibrar las cubiertas de las zarandas por impacto con martillos, levas ó excéntricas. Muchas zarandas de éste tipo fueron puestas en operación a finales de 1890 e inicios de 1900. A partir de 1900 se probaron otros métodos de tamizado. Los barriles ó tambores rotatorios y las zarandas de baja velocidad de vibración fueron las unidades más populares.

Alrededor de 1910, las primeras zarandas vibratorias realmente modernas (500 rpm y mayores) empezaron a hacer su aparición, las cuales han sido constantemente perfeccionadas por los diversos fabricantes de equipos vibratorios para obtener mayores capacidades y mayores niveles de eficiencia.

La razón básica de una zaranda vibratoria es complementar la separación de un producto granular en varios tamaños. Para efectuar esta separación, hay que darle a las partículas, tantas oportunidades como sea posible para pasar a través del medio de tamizaje. Las partículas que se adhieren una a otra deben ser disgregadas y la estratificación y zarandeo de los finos hacia abajo y a través del medio tamizador debe ser acelerado.

La mejor manera de implementar esto es moviendo (zacudiendo) la malla bajo el producto tanto como sea posible para dar al material múltiples oportunidades de ser dimensionado.

#### 4.2.0 Tipos de Tamices

Hay muchos tipos de tamices, los cuales fueron diseñados para clasificar materiales secos de acuerdo al tamaño de partícula; muchos de estos tamices tienen forma rectangular y están diseñados para operar horizontalmente ó con pendiente descendente.

Actualmente nuestros tamices separadores están clasificados como cernidores ,ya que operan en un plano completamente horizontal y tienen un movimiento primario a lo largo del plano horizontal y un movimiento vertical secundario. Muchos de estos cernidores son usados para separación fina, donde el énfasis está dirigido hacia la eficiencia del tamizado y no a la capacidad.

Como dijimos anteriormente, hay muchos tipos de tamices que son utilizados por los fabricantes de tamices vibratorios. Sin embargo, el tipo de tamiz más ampliamente usado es el de tela de malla de alambre.

La tela de malla de alambre es diseñada ya sea por la abertura entre alambres ó por el número de aberturas por pulgada lineal (malla cuadrada) el cual es medido de centro a centro de los alambres.

Hay dos configuraciones básicas de las mallas de alambre, rectangular ó cuadrada. Sin embargo, en aplicaciones secas de tamizado circular, las aberturas cuadradas son los tipos de configuración más populares y también son el tipo de tamiz más exactos.

Algunas veces podemos escuchar a una persona que desea un tamiz

de malla 6. Sin embargo hay varios tipos de tamices de malla 6 , cada una de las cuales tiene un tamaño diferente de abertura y un diámetro diferente de alambre. En estos casos es necesario especificar el tamaño de abertura deseado y el diámetro del alambre. Hay también ocasiones en que se especifica solamente el uso de un tamiz de malla No6. En este caso nos estamos refiriendo a un tamaño específico de abertura y a un diámetro de alambre los cuales son 0.132" de abertura y un diámetro de alambre de 0.0484".

Para una completa y mejor especificación de las mallas se presentan a continuación las tablas de las Series de Mallas U.S.A., sus equivalentes TYLER y una tabla comparativa de las Series de Mallas USA, Tyler, Canadiense, Británica, Francesa y Alemana.

Es necesario indicar también que hay dos tipos de tamiz de abertura cuadrada que son:

1) Tamiz de grado comercial

2) Tela empernada a tensión (Tensil Bolted Cloth TBC)

El tamiz de grado comercial, sigue casi exactamente los parámetros de la ASTM y debe ser utilizada donde se manipulen materiales abrasivos.

El tamiz TBC está hecho de acero inoxidable el cual tiene un tamaño de abertura similar al de grado comercial, sin embargo el diámetro del alambre es mucho menor.

**U. S. A. SIEVE SERIES AND TYLER EQUIVALENTS**  
A.S.T.M.—E-11-70

Sieve Designation		Sieve Opening		Nominal Wire Diameter		Tyler Screen Scale Equivalent Designation
Standard (a)	Alternate	mm	in (approx. equivalents)	mm	in (approx. equivalents)	
125 mm	5 in.	125	5	8	.3150	.....
106 mm	4.24 in.	106	4.24	6.40	.2520	.....
100 mm	4 in. (b)	100	4.00	6.30	.2480	.....
90 mm	3 1/2 in.	90	3.50	6.08	.2394	.....
75 mm	3 in.	75	3.00	5.80	.2283	.....
63 mm	2 1/2 in.	63	2.50	5.50	.2165	.....
53 mm	2.12 in.	53	2.12	5.15	.2028	.....
50 mm	2 in. (b)	50	2.00	5.05	.1988	.....
45 mm	1 3/4 in.	45	1.75	4.85	.1909	.....
37.5 mm	1 1/2 in.	37.5	1.50	4.59	.1807	.....
31.5 mm	1 1/4 in.	31.5	1.25	4.23	.1665	.....
26.5 mm	1.06 in.	26.5	1.06	3.90	.1535	1.050 in.
25.0 mm	1 in. (b)	25.0	1.00	3.80	.1496	.....
22.4 mm	3/4 in.	22.4	0.875	3.50	.1378	.883 in.
19.0 mm	3/4 in.	19.0	0.750	3.30	.1299	.742 in.
16.0 mm	3/4 in.	16.0	0.625	3.00	.1181	.624 in.
13.2 mm	.530 in.	13.2	0.530	2.75	.1083	.525 in.
12.5 mm	3/4 in. (b)	12.5	0.500	2.67	.1051	.....
11.2 mm	3/4 in.	11.2	0.438	2.45	.0965	.441 in.
9.5 mm	3/4 in.	9.5	0.375	2.27	.0894	.371 in.
8.0 mm	3/4 in.	8.0	0.312	2.07	.0815	2 1/2 mesh
6.7 mm	.265 in.	6.7	0.265	1.87	.0736	3 mesh
6.3 mm	3/4 in. (b)	6.3	0.250	1.82	.0717	.....
5.6 mm	No. 3 1/2 (c)	5.6	0.223	1.68	.0661	3 1/2 mesh
4.75 mm	No. 4	4.75	0.187	1.54	.0606	4 mesh
4.00 mm	No. 5	4.00	0.157	1.37	.0539	5 mesh
3.35 mm	No. 6	3.35	0.132	1.23	.0484	6 mesh
2.80 mm	No. 7	2.80	0.111	1.10	.0430	7 mesh
2.36 mm	No. 8	2.36	0.0937	1.00	.0394	8 mesh
2.00 mm	No. 10	2.00	0.0787	.900	.0354	9 mesh
1.70 mm	No. 12	1.70	0.0661	.810	.0319	10 mesh
1.40 mm	No. 14	1.40	0.0555	.725	.0285	12 mesh
1.18 mm	No. 16	1.18	0.0469	.650	.0256	14 mesh
1.00 mm	No. 18	1.00	0.0394	.580	.0228	16 mesh
850 μm	No. 20	0.850	0.0331	.510	.0201	20 mesh
710 μm	No. 25	0.710	0.0278	.450	.0177	24 mesh
600 μm	No. 30	0.600	0.0234	.390	.0154	28 mesh
500 μm	No. 35	0.500	0.0197	.340	.0134	32 mesh
425 μm	No. 40	0.425	0.0165	.290	.0114	35 mesh
355 μm	No. 45	0.355	0.0139	.247	.0097	42 mesh
300 μm	No. 50	0.300	0.0117	.215	.0085	48 mesh
250 μm	No. 60	0.250	0.0098	.180	.0071	60 mesh
212 μm	No. 70	0.212	0.0083	.152	.0060	65 mesh
180 μm	No. 80	0.180	0.0070	.131	.0052	80 mesh
150 μm	No. 100	0.150	0.0059	.110	.0043	100 mesh
125 μm	No. 120	0.125	0.0049	.091	.0036	115 mesh
106 μm	No. 140	0.106	0.0041	.076	.0030	150 mesh
90 μm	No. 170	0.090	0.0035	.064	.0025	170 mesh
75 μm	No. 200	0.075	0.0029	.053	.0021	200 mesh
63 μm	No. 230	0.063	0.0025	.044	.0017	250 mesh
53 μm	No. 270	0.053	0.0021	.037	.0015	270 mesh
45 μm	No. 325	0.045	0.0017	.030	.0012	325 mesh
38 μm	No. 400	0.038	0.0015	.025	.0010	400 mesh

(a) These standard designations correspond to the values for test sieves and screens recommended by the International Standards Organization (Geneva, Switzerland).

(b) These sieves are not in the fourth part of 2-Series, but they have been included because they are in common usage.

(c) These numbers (3 1/2 to 400) are the approximate number of openings per linear inch but it is preferred that the sieve be identified by the standard designation in millimeters or μm, 1000 μm = 1 mm.

U. S. A. STANDARD SIEVES — ASTM SPECIFICATION E-11-70

(See Pages 36 and 37)

NOMINAL DIMENSIONS, PERMISSIBLE VARIATIONS, AND LIMITS FOR WOVEN WIRE CLOTH OF STANDARD SIEVES.

U. S. A. Standard Series (4th Root of 2 Ratio)

Sieve Designation		Nominal Sieve Opening, in. <sup>a</sup>	Permissible Variation of Average Opening from the Standard Sieve Designation	Maximum Opening Size for Not More than 5 Percent of Openings	Maximum Individual Opening	Nominal Wire Diameter, mm <sup>a</sup>
Standard <sup>b</sup>	Alternative					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
125 μm	5 in.	5	±3.7 mm	130.0 mm	130.9 mm	8.0
106 mm	4.24 in.	4.24	±3.2 mm	110.2 mm	111.1 mm	6.40
100 mm <sup>d</sup>	4 in. <sup>d</sup>	4	±3.0 mm	104.0 mm	104.8 mm	6.30
90 mm	3½ in.	3.5	±2.7 mm	93.6 mm	94.4 mm	6.08
75 mm	3 in.	3	±2.2 mm	78.1 mm	78.7 mm	5.80
63 mm	2½ in.	2.5	±1.9 mm	65.6 mm	66.2 mm	5.50
53 mm	2.12 in.	2.12	±1.6 mm	55.2 mm	55.7 mm	5.15
50 mm <sup>d</sup>	2 in. <sup>d</sup>	2	±1.5 mm	52.1 mm	52.6 mm	5.05
45 mm	1¾ in.	1.75	±1.4 mm	46.9 mm	47.4 mm	4.85
37.5 mm	1½ in.	1.5	±1.1 mm	39.1 mm	39.5 mm	4.59
31.5 mm	1¼ in.	1.25	±1.0 mm	32.9 mm	33.2 mm	4.23
26.5 mm	1.06 in.	1.06	±0.8 mm	27.7 mm	28.0 mm	3.90
25.0 mm <sup>d</sup>	1 in. <sup>d</sup>	1	±0.8 mm	26.1 mm	26.4 mm	3.80
22.4 mm	¾ in.	0.875	±0.7 mm	23.4 mm	23.7 mm	3.50
19.0 mm	¾ in.	0.750	±0.6 mm	19.9 mm	20.1 mm	3.30
16.0 mm	¾ in.	0.625	±0.5 mm	16.7 mm	17.0 mm	3.00
13.2 mm	0.530 in.	0.530	±0.41 mm	13.83 mm	14.05 mm	2.75
12.5 mm <sup>d</sup>	½ in. <sup>d</sup>	0.500	±0.39 mm	13.10 mm	13.31 mm	2.67
11.2 mm	½ in.	0.438	±0.35 mm	11.75 mm	11.94 mm	2.45
9.5 mm	¾ in.	0.375	±0.30 mm	9.97 mm	10.16 mm	2.27
8.0 mm	¾ in.	0.312	±0.25 mm	8.41 mm	8.58 mm	2.07
6.7 mm	0.265 in.	0.265	±0.21 mm	7.05 mm	7.20 mm	1.87
6.3 mm <sup>d</sup>	½ in. <sup>d</sup>	0.250	±0.20 mm	6.64 mm	6.78 mm	1.82
5.6 mm	No. 3½ <sup>e</sup>	0.223	±0.18 mm	5.90 mm	6.04 mm	1.68
4.75 mm	No. 4	0.187	±0.15 mm	5.02 mm	5.14 mm	1.54
4.00 mm	No. 5	0.157	±0.13 mm	4.23 mm	4.35 mm	1.37
3.35 mm	No. 6	0.132	±0.11 mm	3.55 mm	3.66 mm	1.23
2.80 mm	No. 7	0.111	±0.095 mm	2.975 mm	3.070 mm	1.10
2.36 mm	No. 8	0.0937	±0.080 mm	2.515 mm	2.600 mm	1.00
2.00 mm	No. 10	0.0787	±0.070 mm	2.135 mm	2.215 mm	0.900
1.70 mm	No. 12 <sup>e</sup>	0.0661	±0.060 mm	1.820 mm	1.890 mm	0.810
1.40 mm	No. 14	0.0555	±0.050 mm	1.505 mm	1.565 mm	0.725
1.18 mm	No. 16	0.0469	±0.045 mm	1.270 mm	1.330 mm	0.650
1.00 mm	No. 18	0.0394	±0.040 mm	1.080 mm	1.135 mm	0.580
850 μm <sup>f</sup>	No. 20	0.0331	±35 μm	925 μm	970 μm	0.510
710 μm	No. 25	0.0278	±30 μm	775 μm	815 μm	0.450
600 μm	No. 30	0.0234	±25 μm	660 μm	695 μm	0.390
500 μm	No. 35	0.0197	±20 μm	550 μm	585 μm	0.340
425 μm	No. 40	0.0165	±19 μm	471 μm	502 μm	0.290
355 μm	No. 45	0.0139	±16 μm	396 μm	425 μm	0.247
300 μm	No. 50	0.0117	±14 μm	337 μm	363 μm	0.215
250 μm	No. 60	0.0098	±12 μm	283 μm	306 μm	0.180
212 μm	No. 70	0.0083	±10 μm	242 μm	263 μm	0.152
180 μm	No. 80	0.0070	±9 μm	207 μm	227 μm	0.131
150 μm	No. 100	0.0059	±8 μm	174 μm	192 μm	0.110
125 μm	No. 120	0.0049	±7 μm	147 μm	163 μm	0.091
106 μm	No. 140	0.0041	±6 μm	126 μm	141 μm	0.076
90 μm	No. 170	0.0035	±5 μm	108 μm	122 μm	0.064
75 μm	No. 200	0.0029	±5 μm	91 μm	103 μm	0.053
63 μm	No. 230	0.0025	±4 μm	77 μm	89 μm	0.044
53 μm	No. 270	0.0021	±4 μm	66 μm	76 μm	0.037
45 μm	No. 325	0.0017	±3 μm	57 μm	66 μm	0.030
38 μm	No. 400	0.0015	±3 μm	48 μm	57 μm	0.025

<sup>a</sup>The average diameter of the warp and of the shoot wires, taken separately, of the cloth of any sieve shall not deviate from the nominal values by more than the following:

- Sieves coarser than 600 μm 5 percent
- Sieves 600 to 125 μm 7½ percent
- Sieves finer than 125 μm 10 percent

<sup>b</sup>These standard designations correspond to the values for test sieve apertures recommended by the International Standards Organization, Geneva, Switzerland. Only approximately equivalent to the metric values in Column 1.

<sup>d</sup>These sieves are not in the standard series but they have been included because they are in common use.

<sup>e</sup>These numbers (3½ to 400) are the approximate number of openings per linear inch but it is preferred that the size be identified by the standard designation in millimeters or μm.

<sup>f</sup>1000 μm—1 mm.

Comparison Table of U. S. A., Tyler, Canadian, British, French, and German Standard Sieve Series

U.S.A. (1)		TYLER (2)	CANADIAN (3)		BRITISH (4)		FRENCH (5)		GERMAN
Standard	Alternate	Mesh Designation	Standard	Alternate	Nominal Aperture	Nominal Mesh No.	Org. M.M.	No.	Org.
125 mm	5"		125 mm	5"					
106 mm	4.24"		106 mm	4.24"					
100 mm	4"		100 mm	4"					
90 mm	3 1/2"		90 mm	3 1/2"					
75 mm	3"		75 mm	3"					
63 mm	2 1/2"		63 mm	2 1/2"					
53 mm	2.12"		53 mm	2.12"					
50 mm	2"		50 mm	2"					
45 mm	1 3/4"		45 mm	1 3/4"					
37.5 mm	1 1/2"		37.5 mm	1 1/2"					
31.5 mm	1 1/4"	1.05"	31.5 mm	1 1/4"					25.0 mm
26.5 mm	1.06"		26.5 mm	1.06"					
25.0 mm	1"	.883"	25.0 mm	1"					20.0 mm
22.4 mm	3/4"	.742"	22.4 mm	3/4"					18.0 mm
19.0 mm	3/4"		19.0 mm	3/4"					16.0 mm
16.0 mm	5/8"	.624"	16.0 mm	5/8"					16.0 mm
13.2 mm	.530"	.525"	13.2 mm	.530"					12.5 mm
12.5 mm	1/2"		12.5 mm	1/2"					12.5 mm
11.2 mm	1/2"	.441"	11.2 mm	1/2"					10.0 mm
9.5 mm	3/8"	.371"	9.5 mm	3/8"					8.0 mm
8.0 mm	3/8"	2 1/2	8.0 mm	3/8"					8.0 mm
6.7 mm	.265"	3	6.7 mm	.265"					6.3 mm
6.3 mm	1/4"		6.3 mm	1/4"					6.3 mm
5.6 mm	No. 3 1/2	3 1/2	5.6 mm	No. 3 1/2					
4.75 mm	4	4	4.75 mm	4			5.000	38	5.0 mm
4.00 mm	5	5	4.00 mm	5			4.000	37	4.0 mm
3.35 mm	6	6	3.35 mm	6	3.35 mm	5			
2.80 mm	7	7	2.80 mm	7	2.80 mm	6	3.150	36	3.15 mm
2.36 mm	8	8	2.36 mm	8	2.40 mm	7	2.500	35	2.5 mm
2.00 mm	10	9	2.00 mm	10	2.00 mm	8	2.000	34	2.0 mm
1.70 mm	12	10	1.70 mm	12	1.68 mm	10	1.600	33	1.6 mm
1.40 mm	14	12	1.40 mm	14	1.40 mm	12			
1.18 mm	16	14	1.18 mm	16	1.20 mm	14	1.250	32	1.25 mm
1.00 mm	18	16	1.00 mm	18	1.00 mm	16	1.000	31	1.0 mm
850 μm	20	20	850 μm	20	850 μm	18			
710 μm	25	24	710 μm	25	710 μm	22	.800	30	800 μm
600 μm	30	28	600 μm	30	600 μm	25	.630	29	630 μm
500 μm	35	32	500 μm	35	500 μm	30	.500	28	500 μm
425 μm	40	35	425 μm	40	420 μm	36			
355 μm	45	42	355 μm	45	355 μm	44	.400	27	400 μm
300 μm	50	48	300 μm	50	300 μm	52	.315	26	315 μm
250 μm	60	60	250 μm	60	250 μm	60	.250	25	250 μm
212 μm	70	65	212 μm	70	210 μm	72	.200	24	200 μm
180 μm	80	80	180 μm	80	180 μm	85	.160	23	160 μm
150 μm	100	100	150 μm	100	150 μm	100			
125 μm	120	115	125 μm	120	125 μm	120	.125	22	125 μm
106 μm	140	150	106 μm	140	105 μm	150	.100	21	100 μm
90 μm	170	170	90 μm	170	90 μm	170			90 μm
75 μm	200	200	75 μm	200	75 μm	200	.080	20	80 μm
63 μm	230	250	63 μm	230	63 μm	240	.063	19	71 μm 63 μm 56 μm
53 μm	270	270	53 μm	270	53 μm	300	.050	18	50 μm
45 μm	325	325	45 μm	325	45 μm	350	.040	17	45 μm 40 μm
38 μm	400	400	38 μm	400					

(1) U.S.A. Sieve Series - ASTM Specification E-11-70  
 (2) Tyler Standard Screen Scale Sieve Series.  
 (3) Canadian Standard Sieve Series 8-GP-1d.  
 (4) British Standard Institution, London BS-410-62.  
 (5) French Standard Specifications, AFNOR X-11-501.  
 (6) German Standard Specification DIN 4188.

\*These sieves correspond to those recommended by ISO (International Standards Organization) as an International Standard and this designation should be used when reporting sieve analysis intended for international publication.

ERIEZ MAGNETICS - ERIE, PA. U.S.A.

VT-3732  
4-12-77

Mesh sizes most frequently specified for use with the Syncro-Matic Separator.

<u>MARKET GRADE SCREEN</u>				<u>TENSIL BOLTING CLOTH (T.B.C.) SCREEN</u>			
<u>MESH</u>	<u>WIRE DIAMETER</u>	<u>OPENING</u>	<u>% OPEN AREA</u>	<u>MESH</u>	<u>WIRE DIAMETER</u>	<u>OPENING</u>	<u>% OPEN AREA</u>
2	.063	.437	76.4	16	.009	.0535	73.3
3	.054	.279	70.1	18	.009	.0466	70.2
4	.0475	.2023	65.9	20	.009	.0410	67.2
4	.063	.187	56.0	22	.0075	.0380	69.7
5	.041	.159	63.2	24	.0075	.0342	67.2
6	.0348	.1318	62.7	26	.0075	.0310	64.8
7	.035	.108	57.2	28	.0075	.0282	62.4
8	.0286	.0964	60.2	30	.0065	.0268	64.8
10	.0258	.0742	56.3	32	.0065	.0248	62.7
11	.018	.073	64.5	34	.0065	.0229	60.7
12	.0230	.0603	51.8	36	.0065	.0213	58.7
14	.0204	.0510	51.0	38	.0065	.0198	56.7
16	.0181	.0445	50.7	40	.0065	.0185	54.8
18	.0173	.0386	48.3	42	.0055	.0183	59.1
20	.0162	.0340	46.2	44	.0055	.0172	57.4
24	.0140	.0277	44.2	46	.0055	.0162	55.8
30	.0128	.0203	37.1	48	.0055	.0153	54.2
35	.0118	.0176	37.9	50	.0055	.0145	52.6
40	.0104	.0150	36.0	52	.0055	.0137	51.0
50	.0090	.0110	30.3	54	.0055	.0130	49.4
60	.0075	.0092	30.5	58	.0045	.0127	54.6
80	.0055	.0070	31.4	60	.0045	.0122	53.3
100	.0045	.0050	30.3	62	.0045	.0116	51.7
120	.0037	.0046	30.5	64	.0045	.0111	50.7
150	.0026	.0041	37.9	70	.0037	.0106	54.9
200	.0021	.0029	33.6	72	.0037	.0102	53.8
250	.0016	.0024	36.0	74	.0037	.0098	52.7
325	.0014	.0017	30.5	76	.0037	.0095	51.7
400	.0010	.0015	36.0	78	.0037	.0091	50.6
				80	.0037	.0088	49.6
				84	.0035	.0084	49.8
				88	.0035	.0079	47.9
				90	.0035	.0076	47.8
				94	.0035	.0071	45.0
				105	.0030	.0065	46.9
				120	.0025	.0058	47.3
				145	.0022	.0047	46.4
				165	.0019	.0042	47.1
				200	.0016	.0034	46.2
				230	.0014	.0029	46.0

#### 4.3.0 Modelos ó Patrones de Movimiento.-

Nuestros tamices separadores son básicamente cernidores, con un arreglo completamente horizontal y un fuerte movimiento horizontal y un movimiento vertical ajustable. El movimiento es generado por un generador de movimiento excéntrico el cual está conectado a una polea de velocidad variable mediante una faja en V .

El generador de movimiento consta de un eje, dos cojinetes tipo brida y una serie ajustable de contra-pesos que están localizados sobre ambos extremos del generador de movimiento. El movimiento horizontal de la unidad es generado por los pesos superiores y el movimiento vertical es generado por los pesos inferiores. La apropiada combinación de los pesos superiores e inferiores nos dará un movimiento de  $45^\circ$

El modelo ideal de movimiento es aquel que nos dá un máximo tiempo de desplazamiento de la partícula desde el centro del tamiz hacia los extremos de la unidad. A mayor tiempo de exposición de la partícula a las aberturas de la malla, se tendrán mayores oportunidades de que pase a través de la malla.

Se pueden obtener una amplia variedad de modelos de movimiento ya sea incrementando la cantidad de pesos superiores e inferiores así como la cantidad de desfase de los pesos inferiores con respecto a los superiores.

Cada unidad está ensamblada con 7 pesos superiores y 7 pesos inferiores de 1/4" de espesor cada uno. Esto no significa necesariamente que el número de pesos superiores deba ser igual

al número de pesos inferiores.

Si operamos la unidad con 7 pesos en la parte superior y ningún peso en el fondo y un desfase de  $0^\circ$  tendremos un movimiento completamente horizontal. Si operamos con 7 pesos en el fondo, ningún peso en la parte superior y un desfase de  $0^\circ$  tendremos un movimiento completamente vertical.

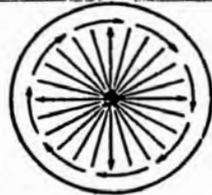
La combinación de los pesos superiores e inferiores nos dará el ángulo de deflexión requerido para nuestros objetivos. Conforme se añadan pesos al extremo superior del generador de movimiento, el ángulo de deflexión será mas bajo ó plano, mientras que si los pesos son añadidos al fondo el ángulo de deflexión será más elevado ó alto.

Como mencionamos anteriormente, el ángulo de desfase de los pesos inferiores determina los modelos de desplazamiento del material que pueden ser obtenidos. En la Fig. 8 estamos mostrando una serie de modelos ó patrones que pueden obtenerse a varios ángulos de desfase.

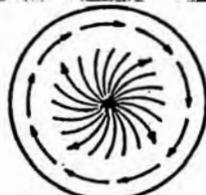
Debe hacerse notar que si el sentido de rotación del motor es horario, el desfase también debe ser en el mismo sentido. En caso contrario, el flujo del material será opuesto a la dirección de las salidas tangenciales, y el material no se descargará de la unidad.

Ya que cada aplicación es diferente, deben hacerse ajustes en los pesos superior e inferior para compensar características tales como densidad del material, granulometría, capacidad y eficiencia deseadas, número de tamices por unidad, etc.

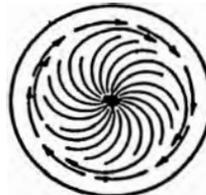
**MODELOS O PATRONES DE MOVIMIENTO**



0° Lead--Dry material may be thrown straight and may give insufficient separation.



15° Lead--Dry material may begin to spiral.  
30° Lead--Slightly more spiral.



45° Lead--May give dry material maximum efficient screening pattern.



60° Lead--May give wet material maximum efficient screening pattern.

**NOTE:** These patterns are based on sand weighing 100 lbs./cubic ft. and the unit operating at a speed of 1200 RPM.



1 Deck - Deflection 5/32"  
5 - top  
4 - bottom  
45° out of phase



2 Deck - 1/8" Deflection  
7 - top  
3 - bottom  
45° out of phase



3 Deck - 1/8" Deflection  
7 - top  
3 - bottom  
45° out of phase

**NOTE:**

- 1) All patterns are based on actual tests performed on a 48" dia. unit, and most likely will hold true for 60" dia. units.
- 2) All patterns shown are at 1200 RPM. The pattern will not vary with a change in speed, but the radial and circumferal time will definitely change.
- 3) All patterns shown are those that were obtained at the bottom deck of each unit.

**Fig. 8**

Normalmente un material grueso, pesado ó húmedo requiere una acción vertical extrema la cual puede ser obtenida con más pesas en el fondo del generador de movimiento ó incrementando la velocidad de la unidad.

Un material liviano y fino requerirá menos movimiento vertical y, como resultado, se necesitarán menos pesas en el fondo para tamizar apropiadamente al material.

Los materiales pegajosos que no se desplazan apropiadamente a través de la malla requieren un fuerte movimiento vertical, el cual puede ser obtenido añadiendo pesos al fondo ó ajustando el desfase.

Normalmente un movimiento horizontal maximiza la eficiencia ya que el material permanece más tiempo en contacto con la malla que cuando se utiliza un movimiento vertical fuerte. Normalmente un movimiento vertical es deseado cuando hay necesidad de incrementar la capacidad de una unidad, ya que el material es movido rápidamente hacia los lados de la unidad y está menos expuesto a las aberturas de la malla.

Debe tenerse en mente que la frecuencia de la unidad puede ser utilizada para un ajuste fino de la operación del equipo y lograr un cierto nivel de capacidad.

#### 4.4.0 **Factores que afectan la Capacidad de la Unidad**

Los siguientes factores deben ser tomados en consideración cuando se calcula la capacidad de una unidad.

**1)Peso específico del material.**

Normalmente se utiliza arena como base para estimar capacidades , ya que tiene un peso específico de 100 lbs por pie cúbico.

**2)Tamaño de la abertura del tamiz (también llamado tamaño de malla).**

Este es el tamaño de la abertura a través de la cual el material pasa. Cuanto menor la abertura de la malla menor la capacidad.

**3)Area abierta.**

Esta es el área de la malla por la que el material puede pasar como una partícula de sub-tamaño. El área abierta está expresada siempre en porcentaje y usualmente depende del tamaño de la abertura de la malla y del diámetro del alambre.

Cuanto mayor el área abierta mayor será el rendimiento y mayor la eficiencia que pueda esperarse de la unidad ya que hay más aberturas por las que el material de sub-tamaño puede pasar.

**4)Porcentaje del material que pasa a través de la malla VS. el porcentaje el material que queda retenido en la malla.**

Normalmente cuanto menor la cantidad que queda retenida, mayor la capacidad y eficiencia de la unidad, ya que la malla está libre de material y una pequeña porción de malla es usada para el desplazamiento de las partículas de sobre-tamaño.

A menos que estemos desempolvando un material, no es aconsejable usar solamente una plataforma cuando el sobre-tamaño esta sobre el 50% del tamaño de malla deseado.En estos casos, debe colocarse una plataforma preliminar para reducir la masa que irá sobre la malla deseada.

##### **5) Porcentaje de las partículas de "casi tamaño".**

Estas son partículas que no son de sub-tamaño ni de sobre-tamaño, pero que debido a su forma y tamaño, normalmente tienden a atascarse en las aberturas de la malla. Estas partículas tienden a reducir la capacidad y eficiencia de la unidad.

Estas partículas deben ser consideradas como sobre-tamaño y deben ser consideradas cuando se calculan la capacidad y la eficiencia.

##### **6) Características del Material.**

Características tales como la forma de las partículas, la humedad del material y la susceptibilidad a la electricidad estática tienden a afectar la habilidad de las partículas que pasan a través de las aberturas de la malla.

Un alto contenido de humedad en el material tenderá a bloquear la malla ya que las partículas tenderán a pegarse y no pasarán libremente por la malla. Cuanto más seco el material mayor la capacidad y eficiencia de la unidad.

La electricidad estática es un problema mayor durante el invierno cuando el ambiente puede estar muy seco y materiales tales como polyester ó PVC causarán que las partículas se peguen unas a otras así como a la superficie de la malla y a las paredes internas de la unidad. Normalmente los problemas de electricidad estática pueden ser reducidos conectando a tierra la unidad.

La forma de la partícula también representa un problema, como en el caso de las partículas rectangulares, ya que estas podrían no pasar a través de la malla y deberían ser clasificadas en tamices

rectangulares con mallas de aberturas rectangulares. En el Anexo 4 se presenta una tabla de las características de diversos materiales.

#### 7) **Diámetro de la Unidad.**

El diámetro juega un papel significativo en términos de capacidad y eficiencia, ya que cuanto mayor la superficie del tamiz, mayores serán las oportunidades que la partícula tenga para pasar a través de las aberturas de la malla.

#### 8) **Método y Velocidad de Alimentación.**

Un tamiz separador no circular está diseñado para operar bajo condiciones donde está sujeto a oleadas de alimentación. Por el contrario, los tamices circulares operan mejor cuando son alimentados a una velocidad fija y uniforme.

El uso de un alimentador vibratorio es una forma ideal de alimentar a un separador circular y al mismo tiempo se logra que la eficiencia y capacidad sean las deseadas.

El flujo de material debe ser completamente vertical a la malla en razón de permitir que las partículas finas pasen a través de la malla tan pronto como hagan contacto con la superficie de la malla.

#### 4.5.0 **Eficiencia del Tamizado.**-

La eficiencia del tamizado es el porcentaje de sub-tamaño en la alimentación que pasa actualmente la abertura superficial de la malla y puede ser calculado por la siguiente expresión:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\% \text{ de sub-tamaño en la alimentación que actualmente pasa}}{\% \text{ de sub-tamaño en la alimentación (q' debería pasar)}}$$

Sería deseable para un operador si cada malla tuviera un 100% de eficiencia. Sin embargo, se entiende y se acepta que en la industria del tamizado es imposible obtener este nivel de eficiencia.

Normalmente 85-90% es un nivel aceptado de eficiencia en muchas aplicaciones de tamizado. Sin embargo, aún este nivel es difícil de lograr. Considerando los muchos factores que afectan la clasificación de una material, es muy difícil mantener un control constante de la eficiencia del tamizado a un porcentaje exacto. Más aún cuando se utilizan tamices múltiples los problemas son aún mas diferentes.

La dificultad de paso del material de casi el sub-tamaño es muchas veces un factor de control en la determinación de problemas que podemos esperar encontrar para lograr un alto nivel de eficiencia. Otros factores, tales como el área abierta de la malla, el porcentaje que no pasa, el contenido de humedad del material, la velocidad de alimentación y la forma peculiar de partícula complicarán el problema.

La eficiencia es evaluada utilizando pruebas de mallas durante 3 a 5 minutos y chequeando la porción rechazada para ver cuanto material de sub-tamaño no está pasando a través de la malla y comparandola con el material que está en la alimentación y cuanto

está pasando a través de la malla.

La Eficiencia del tamizado también es afectada por la cantidad de sobre-tamaño en la alimentación, ya que retardará el paso del material de sub-tamaño y habrá una cama de material cerca al centro de la malla. Como el sub-tamaño pasa a través de la malla la profundidad de la cama decrecerá.

A continuación se indican algunas sugerencias de como incrementar la eficiencia del tamizado:

- 1) Asegurarse de mantener un flujo uniforme de alimentación en la parte superior de la unidad mediante el empleo de alimentadores vibratorios. Evitar intermitencias en la alimentación.
- 2) Cuando sea posible, utilizar una malla preliminar para reducir la cantidad de material sobre-tamaño que caiga sobre la malla fina.
- 3) Limpiar frecuentemente las mallas con una escobilla de alambre y aire a presión. A mayor limpieza se mejorará la eficiencia.
- 4) Ajuste periódico de la tensión del soporte central para incrementar la eficiencia, ya que esto aumentará el tiempo de desplazamiento del material sobre las mallas.
- 5) Utilizar un modelo ó patrón de tamizado que proporcione un tiempo prolongado de desplazamiento del material a través de la superficie de la malla.
- 6) Las características del material tales como la humedad tenderán a reducir drásticamente la eficiencia de la unidad. Normalmente cuanto más seco el material se puede esperar una mejor

eficiencia.

7) Utilizar mas frecuentemente las mallas TBC ya que ofrecen una mayor área abierta que las mallas del grado comercial.

#### 4.6.0. Análisis de Mallas

El análisis de mallas es la pieza más importante de información que necesitamos para seleccionar apropiadamente una unidad. Debemos asegurarnos siempre que la muestra es representativa de todo el material.

El muestreo bien realizado es esencial para un análisis de mallas confiable. Hay dos etapas básicas para un buen muestreo:

- 1) La muestra primaria de material debe ser representativa y
- 2) Tener el máximo cuidado para reducir la muestra primaria hasta obtener la cantidad requerida de muestra para el análisis.

Hay dos métodos populares usados para reducir la cantidad de muestra primaria al tamaño de muestra para el ensayo. El primero es el llamado "coneado y cuarteo" el cual consiste en:

- 1) apilar la muestra primaria en forma de cono,
- 2) esparcirla en forma de círculo de espesor uniforme,
- 3) dividir el círculo en cuatro partes,
- 4) rechazar dos porciones opuestas y
- 5) formar un nuevo cono con el material remanente.

Este proceso se repite hasta que la muestra quede reducida al tamaño requerido.

El segundo método, que requiere menos consumo de tiempo, es usando un divisor de muestras ó reductor. Este dispositivo es

capaz de dividir una muestra primaria de mitades a dieciseis-avas partes representativas manteniendo la distribución original de tamaños de partículas.

El procedimiento general del análisis de mallas consiste de tres etapas fundamentales:

1o) Si la muestra no está seca y no fluye libremente debido al contenido de humedad, debe ser secada hasta tener un peso constante.

2o) Pesar y anotar el peso de la muestra

3o) Selección de las mallas para realizar la prueba.

Debemos incluir tantas mallas como sea posible para poder plotear un curva más exacta que muestre la distribución completa de tamaños de las partículas. Esto también nos permitirá determinar a que tamaño de abertura debemos colocar mallas preliminares, para reducir la carga que vaya a la malla más fina.

El análisis debe ser hecho a través de seis mallas si es posible, tres de las cuales deben tener aberturas más grandes que la malla que se desea y dos deben ser más pequeñas. Si sabemos que el material es 100% menos malla 80 entonces debemos usar una malla 100 como primer elemento de separación.

Cuando se realiza la prueba en un sacudidor mecánico, es necesario determinar el tiempo requerido para una muestra dada. Generalmente, de 3 a 5 minutos es suficiente, pero algunos materiales pueden necesitar hasta 30 minutos de sacudido, mientras que algunos materiales desmenuzables pueden requerir menos de tres minutos.

Para materiales que son difíciles de tamizar, un análisis de mallas más exacto puede ser hecho en húmedo. Cuando el material ya se ha mezclado con el agua, la muestra es colocada sobre la malla más fina y se lava con agua hasta que el agua que atraviesa la malla esté clara. El residuo es entonces secado y pesado. Este procedimiento se repite sobre la siguiente malla más gruesa. Si el material no se mezcla bien con el agua, la muestra es secada y pesada y luego se coloca en un recipiente lleno de agua hasta  $3/4$  de su capacidad y movido vigorosamente. De esta manera ya se puede continuar con el procedimiento anterior.

Después de terminar cada prueba, el material sobre cada malla debe ser pesado, inclusive el material sobre la bandeja del fondo. Estos pesos son luego divididos entre el peso total de la muestra para determinar el porcentaje retenido en cada malla.

El porcentaje acumulado retenido sobre cada malla es el porcentaje retenido por esta malla más los porcentajes retenidos sobre las mallas más gruesas. A partir de estos porcentajes es posible también determinar los porcentajes a través de cada malla y los porcentajes acumulados sobre cada malla.

El análisis de mallas puede ser ahora presentado gráficamente (Fig. 9). La presentación gráfica, simplifica la comparación de resultados y permite la interpolación de porcentajes ó mallas no utilizadas en la prueba. Normalmente, las escalas de las mallas son representadas en el eje de abscisas y el porcentaje retenido ó de paso sobre el eje de ordenadas.

Las escalas pueden aritméticas ó logarítmicas, con la ventaja de

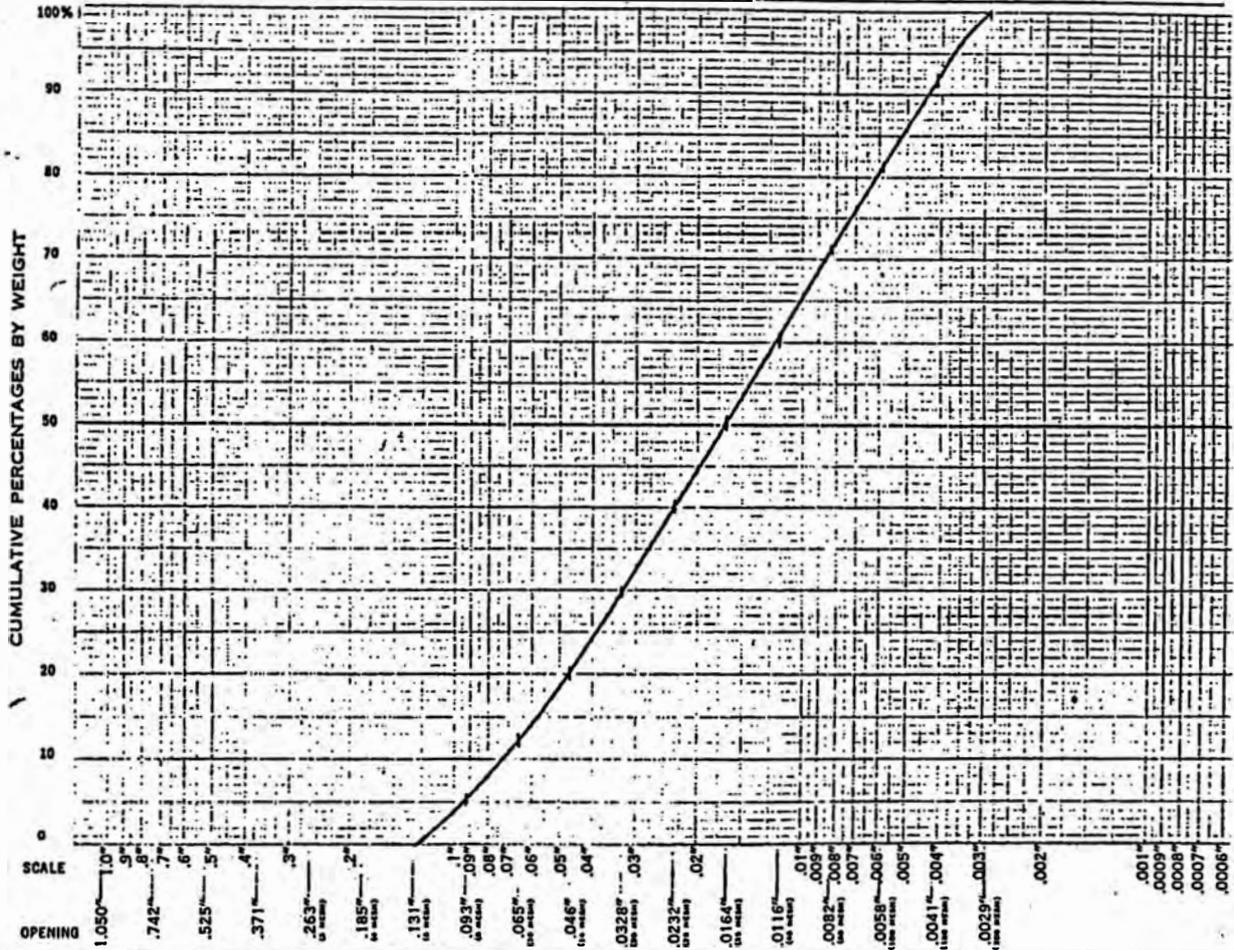
# The Tyler Standard Screen Scale

Form No. 1  
Please mention  
when order

Cumulative Logarithmic Diagram of Screen Analysis on Sample of \_\_\_\_\_

Name \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_



SCREEN SCALE RATIO 1.414												
Openings		Tyler Mesh	U. S. No.	Sample Weights	Per Cent	Per Cent Cumulative Weights	Sample Weights	Per Cent	Per Cent Cumulative Weights	Sample Weights	Per Cent	Per Cent Cumulative Weights
Inches	Milli-meters											
1.050	26.67											
.742	18.85											
.525	13.33											
.371	9.423											
.263	6.660	3										
.185	4.699	4	4									
.131	3.327	6	6	0								
.093	2.362	8	8	34.39	5.8	5.8						
.086	1.651	10	12	48.63	6.2	14.0						
.040	1.168	14	18	35.56	6.0	20.0						
.0328	.833	20	20	58.71	8.9	24.9						
.0232	.589	20	30	67.59	11.4	41.3						
.0164	.417	35	40	53.74	9.4	30.7						
.0118	.295	48	60	57.89	10.1	60.8						
.0082	.208	65	70	60.49	10.2	71.0						
.0058	.147	100	100	60.45	10.2	81.2						
.0041	.104	150	140	62.56	10.6	91.8						
.0029	.074	200	200	48.63	8.2	100.0						
.0029	.074	200	200	0								
Totals,				593.0	100.0	100.0						

W. S. TYLER INCORPORATED, MENTOR, OHIO 44060

Fig. 9

ésta última de representar tamaños de mallas standard, ya que estas están en relación una a otra por la raíz cuarta de 2. La escala lineal es usada normalmente para plotear los porcentajes. Utilizar siempre un pistolete y una regla para plotear sobre el gráfico del papel.

El análisis de mallas juega un rol integral en la estimación y dimensionamiento de un tamiz vibratorio. Después de la instalación de la unidad diseñada, el análisis de mallas es usado nuevamente para realizar cambios en la alimentación del material los cuales podrían afectar negativamente la producción.

## C A P I T U L O V

### DETECTOR DE TROZOS METALICOS EN MENAS MAGNETICAS Y/O ALTAMENTE MINERALIZADAS

#### 5.1.0 Generalidades.-

El Detector de Trozos Metálicos modelo 1080 es un instrumento cuidadosamente diseñado y construido para especificaciones exactas, utilizando solamente componentes de las más alta calidad. Si es instalado apropiadamente y se le dá el mantenimiento necesario, proporcionará largos años de satisfactorio rendimiento.

El equipo ha sido diseñado para detectar trozos de metal ferrosos y no-ferrosos en menas magnéticas y/o altamente mineralizadas, incluyendo magnetita y piritas y sulfuros masivos, aún cuando sean transportadas en fajas de cable acerado.

### 5.2.0 Método de Operación.-

Este sistema de detección de trozos de metal, opera sobre el principio de la medida de la conductividad eléctrica del material que está siendo transportado a través del área de sensibilidad, complementado por la detección de variaciones en un campo electro-magnético pulsante.

Las propiedades magnéticas de un material son completamente independientes de la conductividad y aún las menas altamente mineralizadas exhiben una conductividad mucho menor que cualquier metal refinado.

Consecuentemente, ambos metales magnéticos y no-magnéticos son eficientemente detectados, mientras los denominados "efectos del producto" sean eliminados.

La técnica de inducción pulsante, intensifica al campo electro-magnético generado a intervalos de tiempo muy cortos. Las mediciones tomadas varios cientos de veces cada segundo durante el pulso de energía concentrada, proporciona una señal muy alta a nivel del ruido, sin el calentamiento y esfuerzo del método convencional de la onda continua.

Un sistema sensor de 3 bobinas, montado encima y debajo del material transportado, produce un campo más uniforme, proporcionando una mejor sensibilidad de detección a través de la sección transversal de la carga. Otra ventaja que también se obtiene es la generación de un modelo de campo, configurado de tal manera que las señales del trozo de metal sean reforzadas, mientras que las señales de campos eléctricos extraños son

anulados.

### 5.3.0 **Aplicaciones.-**

Los materiales típicos con los cuales el Detector de Metales modelo 1080 puede ser utilizado son los siguientes:

- ) Menas de Hierro, Cobre, Níquel, Aluminio, Uranio y Molibdeno.
- ) Carbón
- ) Agregados
- ) Pellets de hierro
- ) Asbestos
- ) Alquitrán
- ) Sinter.

## C A P I T U L O   V I

### USOS Y APLICACIONES INDUSTRIALES

#### 6.1.0 Refinación Magnética del Tungsteno en Pasto Bueno -

En éste asiento minero, la mineralogía de la zona esta compuesto principalmente por los siguientes minerales:

Hubnerita	MnWO <sub>3</sub>	Chalcopyrita	CuFeS <sub>2</sub>
Ferberita	FeWO <sub>3</sub>	Arsenopirita	(As,Fe)S <sub>2</sub>
Tetraedrita	CuSbS <sub>2</sub>	Molibdenita	MoS <sub>2</sub>
Galena	PbS	Pirita	FeS <sub>2</sub>
Esfalerita	ZnS	Casiterita	SnO <sub>2</sub>

Todos estos minerales constituyen los llamados minerales de mena a partir de los cuales se recuperan los elementos valiosos tales como el Tungsteno, Cobre, Plomo, Zinc, Plata y últimamente algo de Molibdeno como otro producto de flotación.

El tratamiento de todos estos minerales involucra una serie de procesos que incluyen en un primer momento la concentración gravimétrica por medio de jigs y mesas vibratorias, para los minerales pesados, la concentración por flotación para los minerales sulfurados y la concentración y/o refinación magnética del pre-concentrado de tungsteno obtenido luego de la separación de la pirita en la última etapa de flotación.

Las colas de flotación de la pirita son llevados a dos hornos de secado en los cuales, además de secar el pre-concentrado de tungsteno se eliminan también otras materias volátiles que son perjudiciales en la comercialización tales como el Arsénico y el Azufre.

Una vez secado el material, se tamiza para separar la fracción gruesa que es llevada a un molino de rodillos. Una vez que se tiene al material de un tamaño específico se lo pasa por dos tamices vibratorios de 3 pisos cada uno. Uno de ellos separa al material entre las mallas +28,+65 y -65 mientras que la otra unidad separa las mallas +65, +100 y -100.

Una vez que se tiene al pre-concentrado ya clasificado en tamaños se lo pasa primero por un Separador Magnético de Fajas Cruzadas (HCB) de 4 polos inducidos en el que se separan los mixtos y óxidos de tungsteno, pasando luego éste primer concentrado por un segundo separador HCB también de 4 polos inducidos en el que obtiene el concentrado de tungsteno ya refinado.

Las características de los separadores magnéticos de fajas cruzadas (HCB) son las siguientes:

Motor : Tipo Varidriver de 1.5 HP

Voltaje : 220/440 VAC

Amperaje : 2.9/5.9 Amp

Velocidad del motor : 1300 rpm

Velocidad en las fajas : 52 rpm (mín) - 155 rpm (máx.)

Ambos separadores magnéticos trabajan con un rectificador de corriente que presenta las siguientes características:

Marca ; Mellaphone

Tipo : C25A0

Voltaje : 220-230 VAC

Amperaje : 25 Amp.

Potencia de Salida · 5 - 50 Watts.

Frecuencia : 60 Hz.

El Balance Metalúrgico de éste proceso de concentración y/o refinación del tungsteno presenta los siguientes resultados:

	Peso	%WO3	Peso WO3	Extrac. WO3	Radio Conc.
Cabeza	321.011	0.39	1.2519		
Concentrado	7.108	14.08	1.0008	79.94%	45.16
Relave	313.903	0.08	0.2511		

El Concentrado pasa al ensacado y el relave va al molino 3' x 4' para su posterior tratamiento en mesas vibratorias.

#### 6.2.0 Implementación de Tamices para EMSAL en su planta de Huacho.-

EMSAL es la empresa dedicada a la producción de Sal

para consumo humano, razón por la cual está sometida a la exigencia de cumplir con ciertas especificaciones internacionales para este tipo de productos.

El problema de la planta de tratamiento para el cual fue requerida nuestra intervención, se presentaba principalmente en la zona de tamizado del material ya que tenían constantes problemas con las zarandas ya existentes, al producirse escape del material fino a la atmósfera. La sal es un mineral altamente corrosivo y al haber partículas libres en el medio ambiente corroían a las estructuras y equipos circundantes a los tamices, trayendo consigo el riesgo de contaminación ferrosa en el producto final.

Al hacer una visita preliminar de inspección a la planta de tratamiento, obtuvimos los siguientes datos:

Material procesado : Sal de mesa (para consumo humano)

Capacidad de la planta : 15 tph

Temperatura : 80 - 100°C

Rango de tamaños del producto final .

malla 10

malla 30 (mín 97%)

malla 80 (máx. 5%)

Húmedad máxima del producto : 0.5%

Color : Blanco

Olor · Inodoro

Sabor · Salado característico

Otros Granulado fino, uniforme, libre de sustancias extrañas.

Con los datos obtenidos y la realización de diversas pruebas, se determinó la implementación de una batería de 6 tamices vibratorios de 3 pisos de 60" de diámetro con tapa superior y ductos de alimentación central, cada uno con las correspondientes mallas requeridas.

Teniendo en consideración que la sal de mesa es un material altamente corrosivo y que absorbe fácilmente la humedad, se tuvo que diseñar los equipos con material de construcción tipo sanitaria resistente a la corrosión, empleándose acero inoxidable austenítico del tipo 316. En las partes exteriores de los equipos se utilizará un recubrimiento del tipo epóxico para garantizar un mejor aislamiento del medio ambiente corrosivo.

Los aceros inoxidables austeníticos poseen mejor resistencia a la corrosión que los inoxidables al Cromo y en general a todos los grupos de aceros inoxidables, razón por la cual se especifican para la construcción de equipos para plantas químicas donde haya severo ataque corrosivo. Así mismo, son resistentes a la corrosión atmosférica por lo que se utilizan en la arquitectura de plantas de la industria alimenticia y farmacéutica, donde la contaminación no es aceptada.

#### **6.3.0 Seleccionar un Separador Electro-Magnético Suspendido para la Cía. de Minas Buenaventura.-**

Los Separadores Electro-Magnéticos Suspendidos están especialmente diseñados para remover económica y automáticamente grandes cantidades de trozos y piezas ferrosas de fajas

transportadoras y/o alimentadores de grandes cargas de mineral.

Los factores más importantes para la selección del Separador Electro-Magnético Suspendido son :

-)Alto de cama

-)Ancho de faja

-)Posición de Suspensión y

-)Tamaño de los trozos a separar.

En base a los datos proporcionados por la Cía. Buenaventura, el equipo seleccionado fue el Modelo SE-7325 estilo SC-2, el cual tiene las siguientes dimensiones :

Ancho (W) = 85" x Largo (L) = 59" x Alto (H) = 30"

Este Separador es del tipo Self Cleaning (Auto-limpieza) para lo cual cuenta con una faja alrededor del electro-imán accionada por cuatro poleas y un motor del tipo TEFC, para descargar automáticamente los trozos férricos atrapados. La posición de suspensión es transversal a la dirección de desplazamiento de la faja que lleva el mineral. El peso aproximado de la unidad es de 3,720 Lbs (1,690 Kgs.) con un consumo de energía de 4,920 Watts.

Este separador genera un campo electro-magnético máximo de 2,100 Gauss a una distancia de 4" de la cara del imán y un mínimo de 245 Gauss a 18" de la cara del imán.

Un aspecto importante que se tuvo en cuenta para seleccionar éste equipo fué la Compensación por Altura Sobre el Nivel del Mar. A grandes alturas (mayores a 4,000 m.s.n.m.) el calor no se disipa tan rápido como a nivel del mar, debido a que la conducción térmica de la atmósfera es mucho menor. A medida que la

temperatura de la bobina aumenta, la potencia del campo magnético disminuirá. En nuestro caso, el Separador se instaló en una planta concentradora ubicada a 4,100 m.s.n.m.

Como un medio de compensar el aumento de altitud, se realiza un diseño especial de la bobina (de-rating) con el propósito de hacer que el aumento de temperatura caiga dentro de los límites normales. Para ello se añade mayor material conductor (alambre de aluminio) a la bobina, disminuyendo por lo tanto el consumo de potencia.

Además del bobinado especialmente diseñado para operar a grandes alturas, la caja del magneto debe ser llenada con Aceite Tipo Transformador para la disipación del calor generado por la bobina. También el electro-imán viene con una exclusiva Cámara de Expansión con trampa de humedad y válvula de alivio de presión, con el objeto de asegurar una larga vida a la bobina.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

De la experiencia obtenida durante el desempeño de las actividades como representante de la Cía. Eriez Magnéticos podemos concluir y/o recomendar lo siguiente:

- )El avance tecnológico mostrado por los países desarrollados se basa fundamentalmente en los mismos conocimientos que se nos imparte en nuestra formación académica, la diferencia estriba principalmente en el aspecto económico, que les permite a ellos un mayor y más continuo desarrollo en el campo de la investigación, experimentación e implementación de nuevos equipos y procesos tratando de hacer mucho más eficientes y rentables las actuales estructuras industriales, a la vez de salvaguardar el sistema ecológico del medio ambiente.
  
- )En vista de la gran variedad de aplicaciones que tienen los

equipos mencionados en el presente informe, es necesario desarrollar nuevas técnicas de tratamiento de los minerales metálicos y no-metálicos que posee nuestro territorio para que, mediante el aprovechamiento de propiedades tales como la susceptibilidad magnética, la atractibilidad, la conductividad eléctrica, etc., puede obtenerse un mayor beneficio para nuestro país.

-) La implementación de estos nuevos equipos y procesos puede parecer muy costosa de primera impresión, pero evaluando las múltiples ventajas que se obtienen tales como protección del equipo, mayor calidad del producto, automatización de la producción, protección del medio ambiente, menores costos por paradas del proceso para la reparación de equipos, mayor capacidad de tratamiento, recuperación de partes y piezas desechadas, etc., vemos que está justificada su puesta en marcha, asegurándose la recuperación de la inversión en un plazo mucho menor.

-) Sería recomendable también, que nuestros profesionales metalurgistas, pudieran tener conocimientos básicos, relativos a otras ramas de la ciencia como son la electricidad, la electrónica, la mecánica, etc., para lograr una mayor y mejor comprensión de los principios de funcionamiento de los equipos señalados aquí, ya que muchas veces la solución de algún problema que pudiera presentarse es mucho más simple de lo que se aparenta. Esto ayudaría también a lograr un mayor rendimiento del proceso productivo.

## **A N E X O S**

## TABLA DE SUSCEPTIBILIDADES MAGNETICAS DE LOS MINERALES

Intensidad (Gauss) requerida para la separación.	Minerales	Fuerza Atractiva
<b>Fuertemente Magnéticos</b>		
500	Hierro	100.00
	Magnetita	40.19
a	Franklinita	33.49
	Leucita	17.50
5,000	Silice	17.42
	Pirrotita	15.43
<b>Moderadamente Magnéticos</b>		
5,000	Ilmenita	11.67
	Biotita	8.90
a	Granate	6.68
	Wolframita	5.68
10,000		
<b>Débilmente Magnéticos</b>		
10,000	Hematita	4.64
	Columbita	4.08
a	Limonita	3.21
	Cromita	3.12
18,000	Pirolusita	2.61
	Rodocrosita	1.93
18,000	Siderita	1.82
	Manganita	1.36
<b>Tenuemente Magnéticos</b>		
18,000	Rutilo	.93
	Rodonita	.76
a	Dolomita	.57
	Calamina	.51
18,000	Tantalita	.40
	Cerusita	.35
a	Epidota	.30
	Monacita	.30
18,000	Fergusonita	.29
	Zircón	.28
a	Cerargirita	.28
	Argentita	.27
18,000	Oropimente	.24
	Pirita	.23
a	Esfalerita	.23
	Molibdenita	.22
18,000	Bornita	.22
	Willemita	.21
a	Tetraedrita	.21
	Scheelita	.15

ERIEZ MAGNETICS

SJ-250

TABLE OF RELATIVE ATTRACTABILITY OF MINERALS

MINERAL	SOURCE OF SAMPLE	RA*	MINERAL	SOURCE OF SAMPLE	RA*
<b>Group 1 - Ferromagnetic (Approximately 600-6000 gauss required for separation)</b>					
Iron		100.000	Magnetite	Port Henry, N.Y.	14.862
Magnetite	Unknown	48.000	Franklinite	Franklin Furnace, N.J.	13.089
<b>Group 2 - Moderately Magnetic (approximately 6000-10000 gauss required for separation)</b>					
Ilmenite	Edge Hill, Pa.	9.139	Franklinite	Franklin Furnace, N.J.	1.480
Pyrrhotite	Sudbury, Ontario	2.490			
<b>Group 3 - Weakly Magnetic (approximately 10000-18000 gauss required for separation)</b>					
Hematite	Lake Superior district	0.769	Bornite	New South Wales, Australia	0.086
Siderite	Roxbury, Conn.	0.743	Apatite	Eganville, Ontario	0.083
Rhodonite	Franklin Furnace, N.J.	0.560	Tetrahedrite	Peru	0.080
Limonite	Nova Scotia	0.314	Willemite	Franklin Furnace, N.J.	0.076
Braunite	Italy	0.300	Bornite	Union Bridge, Maryland	0.067
Corundum	Gaston County, N.C.	0.264	Sphalerite	Iowa	0.057
Hematite	Cumberland, England	0.257	Cerrusite	New South Wales, Australia	0.057
Pyrolusite	Bartow County, Ga.	0.248	Dolomite	Sing Sing, N.Y.	0.057
Manganite	Bridgeville, Nova Scotia	0.194	Psilomelane	North Mt. Mine, Arkansas	0.056
Calamina	Friedensville, Pa.	0.187	Arsenopyrite	Action, York Co., Maine	0.054
Sphalerite	Frieburg, Germany	0.182	Sphene (Titanite)	Murchison Township, Ontario	0.054
Siderite	Unknown	0.160	Chalcopyrite	South Australia	0.051
Rhodochrosite	Argentina	0.152	Molybdenite	New South Wales, Australia	0.048
Garnet	Unknown	0.149	Talc	Swain Co., N.C.	0.042
Serpentine, green	Unknown	0.140	Celesite	Strontium Island, Ohio	0.038
Molybdenite	Frankford, Pa.	0.118	Chalcocite	Butte, Montana	0.038
Mica, Spotted	Bengal, India	0.115	Cinnabar	New Almaden, California	0.038
Corundum	Lehigh Co., Pa.	0.111	Gypsum	Derbyshire, England	0.038
Cerargyrite	New Mexico	0.105	Zincite	Franklin Furnace, N.J.	0.038
Huebnerite	Henderson, N.C.	0.105	Orthoclase	Elam, Pa.	0.035
Wollframite	Chochiwon, Kenya	0.105	Epidote	Unknown	0.033
Argentite	Guanajuato, Mexico	0.102	Fluorite	Rosiclare, Ill.	0.032
Ferberite	Malaya	0.101	Augite	Unknown	0.027
Wollframite	Climax, Colorado	0.100	Hornblende	Unknown	0.025
<b>Group 4 - Feebly Magnetic (over 18000 gauss required for separation)</b>					
Pyrite	Rio Tinto, Spain	0.022	Chrysocolla	Miami, Arizona	0.0063
Smithsonite	Kelly, N.M.	0.022	Rutile	Unknown	0.0034
Sphalerite	Joplin, Mo.	0.022	Mica, ruby, clear	Bengal, India	0.0032
Stibnite	Germany	0.022	Orthoclase	Alexandria, N.Y.	0.0032
Cryolite	Greenland	0.019	Limestone	Unknown	0.0024
Energite	Butte, Montana	0.019	Cobalite	Unknown	0.0023
Senarmonite	Unknown	0.019	Sapphire	Unknown	0.0023
Magnesite	Lancaster County, Texas	0.019	Pyrite	Unknown	0.002
Azurite	Chessy, France	0.018	Cassiterite (Iode)	Cornwall, England	0.0019
Gypsum	Grand Rapids, Michigan	0.016	Tourmaline	Unknown	0.0012
Malachite	Katanga, Africa	0.016	Dolomite	Unknown	0.0011
Niccolite	Bebra Hessa, Germany	0.016	Spinel	Unknown	0.0010
Serpentine, Red	Unknown	0.016	Beryl	Unknown	0.0008
Stibnite	Juab County, Utah	0.013	Ruby	Unknown	0.0008
Dioptase	Unknown	0.012	Covellite	Butte, Montana	0.0007
Tourmaline	Unknown	0.0012	Feldspar	Unknown	0.0006
Cuprite	Cornwall, England	0.0096	Sphalerite	Jefferson City, Tenn.	0.0005
Galena	Galena, Ill.	0.0096	Zircon	Unknown	0.0002
Witherite	Cumberland, England	0.0064			
<b>Group 5 - Nonmagnetic and Diamagnetic</b>					
Barite	Bartow County, Ga.	0.0	Corundum	Unknown	-0.0006
Adularia	Unknown	-0.0004	Topaz	Unknown	-0.0006
Calcite	Unknown	-0.0004	Galena	Unknown	-0.0011
Flourite	Unknown	-0.0004	Antimony, native	Unknown	-0.0023
Halite	Unknown	-0.0004	Bismuth	Unknown	-0.0032
Sphalerite	Unknown	-0.0004	Apatite	Unknown	-0.0034
Celestite	Unknown	-0.0005	Argonite	Unknown	-0.0048
Quartz	Unknown	-0.0005	Graphite	Ceylon	-0.032

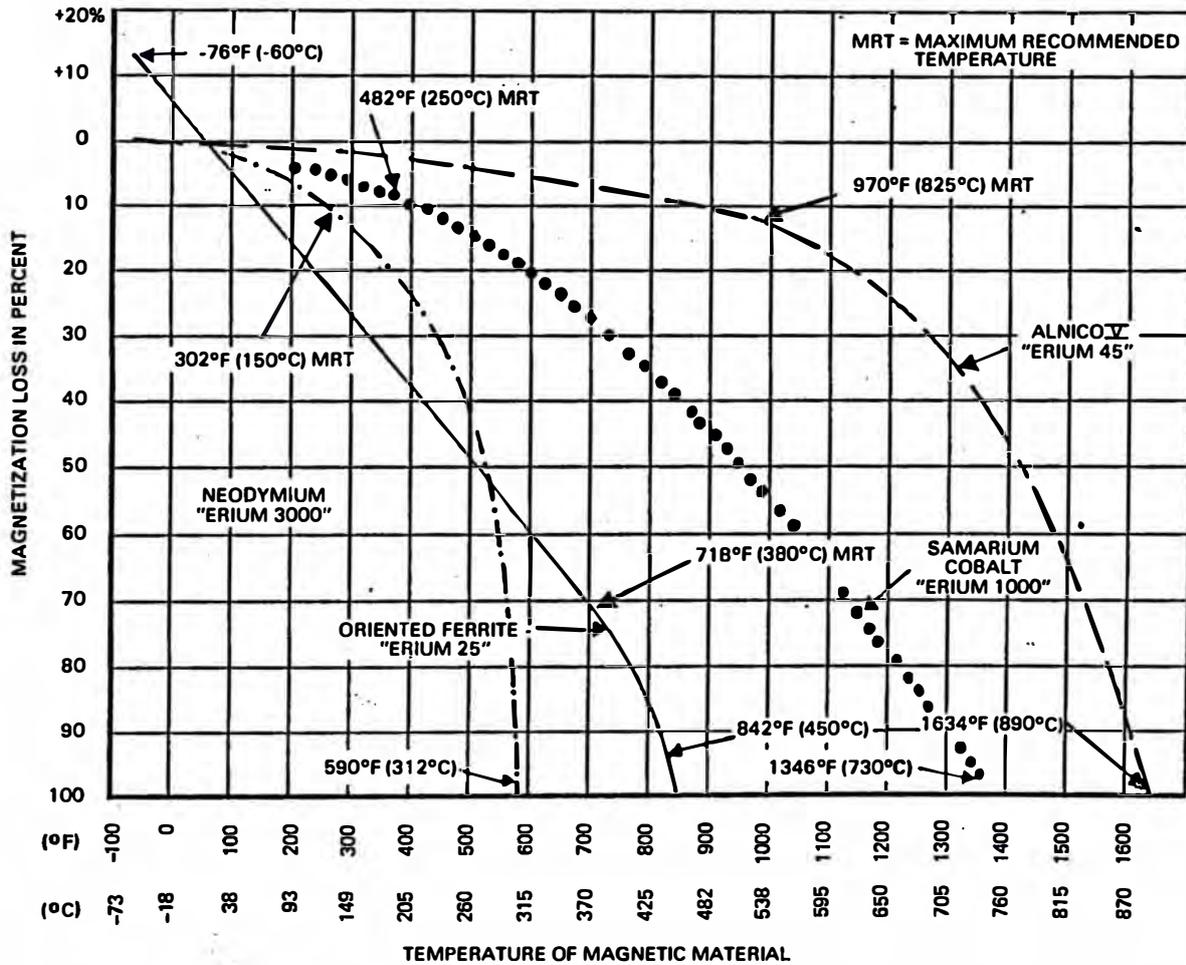
NOTE: Relative attractability will vary according to source of sample.

\*Relative Attractability

Relative attractabilities were calculated using the volume susceptibility of  $250,000 \times 10^{-6}$  as equal to 100.

# MAGNETIC MATERIAL TEMPERATURE CHART

## TEMPERATURE CHANGE VS MAGNETIC LOSS



NOTE: The "Erium 25" line indicates maximum performance in cold temperature with circuits designed for low temperature.

Generally, magnetic separator circuits will withstand temperatures as low as minus 40°F (-40°C). Equipment specifications should indicate if ambient temperatures lower than minus 40°F are to be considered.



World Authority In Advanced Technology for Magnetic, Vibratory and Metal Detection Applications

HEADQUARTERS: ERIE, PA 16514, U.S.A. • Telephone 814/833-9881 • Telex 91-4470 • FAX 814/838-4960

Eriez of Canada, Ltd., 133 Oakdale Rd., Downsview (Toronto), Ontario, Canada M3N 1W2

MANUFACTURING AFFILIATES IN: AUSTRALIA • BRAZIL • CANADA • JAPAN • MEXICO • SOUTH AFRICA • UNITED KINGDOM

12/88-5C-SP

ERIEZ MANUFACTURING CO.

PRINTED IN USA

## MATERIAL CHARACTERISTICS

Material	Average weight (lbs per cu ft)	Angle of repose (degrees)	Recommended maximum inclination	Code
Alfalfa seed	10-15			B15N
Alfalfa meal	17			B46Y
Almonds, broken or whole	28-30			C36Q
Alum, fine	45-50	30-45		B35
Alum, lumpy	50-60			D35
Alumina	50-65	22	10-12	B27M
Aluminum chips	7-15			E46Y
Aluminum hydrate	18	34	20-24	C35
Aluminum ore (see bauxite)	—			—
Aluminum oxide	70-120			A17M
Aluminum silicate	49			B35S
Aluminum sulphate	54	32	17	C25
Ammonium chloride, crystalline	45-52			B25S
Ammonium nitrate	45			C36NUS
Ammonium sulphate (granular)	45-53			C26S
Arsenate of lead (see lead arsenate)	—			—
Arsenic, pulverized	30			A26
Asbestos ore or rock	81			D27R
Asbestos shred	20-25			E46XY
Ash, black, ground	105	32	17	B35
Ashes, coal, dry, 1/2 inch and under	35-40	40	20-25	C46TY
Ashes, coal, dry, 3 inch and under	35-40			D45T
Ashes, coal, wet, 1/2 inch and under	45-50	50	23-27	C45T
Ashes, coal, wet 3 inch and under	45-50			C46T
Ashes, fly	40-45	42	20-25	A47
Ashes, gas-producer, wet	78			D47T
Asphalt, binder for paving	80-85			C45
Asphalt, crushed, 1/2 inch and under	45			C35
Bagasse	7-10			E45Y
Bakelite & similar plastics (powdered)	35-45			B25
Baking powder	40-55		18	A25
Barite	180			D36
Barium carbonate	72			A45
Bark, wood, refuse	10-20	45	27	E46Y
Barley	38	23	10-15	B15N
Berytes, powdered	120-140			B26
Bauxite, ground, dry	68	35	20	B25
Bauxite, mine run	60-90	31	17	D37
Bauxite, crushed 3 inch and under	75-85		20	D37
Beans, castor, whole	36		8-10	C15W
Beans, castor, meal	—			E15W
Beans, navy, dry	48			C15
Beans, navy, steeped	60			C25
Beet pulp, dry	12-15			E45
Beet pulp, wet	25-45			E46
Beets, whole	48			D35
Bentonite, crude	35-40			D46X

Material	Average weight (lbs per cu ft)	Angle of repose (degrees)	Recommended maximum inclination	Code
Bentonite, 100 mesh & under	50-60		20	A26XY
Benzine hexachloride	56			A45R
Bicarbonate of soda	40-50			A25
Bones	34-40			*
Boneblack, 100 mesh & under	20-25			A25Y
Bonechar	27-40			B35
Bonemeal	55-60			B36
Borate of lime	60			A35
Borax, 2 inch to 3 inch lumps	60-65			D36
Borax, 1 1/2 to 2 inch lumps	55-60			D36
Borax, 1/2 inch screenings	55-60			C36
Borax, fine	45-55		20-22	B26T
Boric acid, fine	55			B26T
Boron	75			*
Bran	16-20			B35NY
Brewer's grain, spent, dry	25-30			C45
Brewer's grain, spent, wet	55-60			C45T
Brick, hard	125			D47Z
Brick, soft	100			D47
Buckwheat	40-42	25	11-13	B25N
Calcium acetate	125			-
Calcium carbide (crushed)	70-80			D26N
Calcium lactate	26-29			D45QTX
Calcium oxide (see lime)	-			-
Carbon, activated, dry, fine	8-20			B25Y
Carbon black, pelletized	20-25			B15Q
Carbon black powder	4-7			A35Y
Carborundum, 3 inch and under	100			D27
Casein	35			B35
Cashew nuts	32-37			D46
Cast iron chips	130-200			C46
Cement, Portland	94	39	20-23	A26M
Cement, Portland, aerated	60-75			A16M
Cement, rock (see limestone)	100-110			D36
Cement clinker	75-95	30-40	18-20	D37
Cement mortar	133			37Q
Chalk, lumpy	75-85			D26
Chalk, 100 mesh and under	65-75			A46MXY
Charcoal	18-25	35	20-25	D36Q
Chips, paper mill	20-25			E45
Chips, paper mill, softwood	12-30			E45
Chips hagged, fuel	15-25			E45W
Chloride press cake	40-45			D25
Chromite ore (Chromite)	125-140			D27
Cinders, blast furnace	57	35	18-20	D37T
Cinders, coal	40	35	20	D37T
Clay (see also bentonite, diatomaceous earth, fullers earth, kaolin and Marl)	-			-

Clay, calcined	60-100			B37
Clay, dry, fines	100-120	35	20-22	C37
Clay, dry, lumpy	60-75	35	18-20	D36
Clinker, cement (see cement clinker)	-			-
Clover seed	48	28	15	B25N
Coal, anthracite, river or culm, 1/8 inch and under	60	35	18	B35TY
Coal, anthracite, sized	55-60	27	16	C26
Coal, bituminous, mined 50 mesh and under	50-54	45	24	B45T
Coal, bituminous, mined & sized	45-55	35	16	
Coal, bituminous, mined, run of mine	45-55	38	18	D35T
Coal, bituminous, mined, slack, 1/2 inch and under	43-50	40	22	C45T
Coal, bituminous, stripping, not cleaned	50-60			D36T
Coal, Lignite	40-45	38	22	D36T
Coal, char	24			
Cocoa beans	30-40			C25Q
Cocoa nibs	35			C25
Cocoa powder	30-35			A45XY
Cocoanut, shredded	20-22		15	E45
Coffee, Chaff	20			B25MY
Coffee, green bean	32	25	10-15	C25Q
Coffee, ground	25	23	10	B25
Coffee, roasted bean	22-26			C15
Coffee, soluble	19			B45PQU
Coke, loose	23-35		18	D47QVT
Coke, petroleum calcined	35-45		20	D35Y
Coke breeze, 1/4 inch and under	25-35	30-45	20-22	C37Y
Compost	30-50			E45ST
Concrete, cinder	90-100		12-30	D56
Concrete, 2 inch slump	110-150		24-26	D26
Concrete, 4 inch slump	110-150		20-22	D26
Concrete, 6 inch slump	110-150		12	D26
Concrete, in place, stone	130-150			
Copper ore	120-150		20	D27
Copper ore, crushed	100-150			D27
Copper sulfate	75-85	31	17	D35
Copra, lumpy	22	20	9	D25
Copra cake, ground	40-45	30	16	B35W
Copra cake, lumpy	25-30	20	8	D25W
Copra meal	40-45	35-40	25	B35W
Cork, fine ground	12-15			D45MY
Cork, granulated	12-15			C45
Corn, cracked	45-50			C25W
Corn, ear	56			
Corn, shelled	45	21	10	C25MW
Corn germs	21			D25W
Corn grits	40-45			B25W
Corncob	38-40	35	22	B35W
Costenese, dry de-limited	35	29	16	C25W

Material	Average weight (lbs per cu ft)	Angle of repose (degrees)	Recommended maximum inclination	Code
Cottonseed, dry not de-linted.	18-25	35	19	C35W
Cottonseed cake, crushed	40-45			B35
Cottonseed cake, lumpy	40-45			D25W
Cottonseed hulls	12			B45Y
Cottonseed meal	35-40	35	22	B35W
Cottonseed meats	40			B35W
Cracklings, crushed 3 inch & under	40-50			D45
Cryolite, dust	75-90			A36
Cryolite, lumpy	90-100			D36
Cullet	80-120		20	D37Z
Culm (see coal)	45-60		20	-
Detergent (see soap detergent)	-			-
Diatomaceous earth	11-14			A36MY
Dicalcium phosphate	40-50			A45
Disodium phosphate	25-31			B26QT
Dolomite, lumpy	90-100		22	D26
Earth, as excavated - dry	70-80	35	20	B36
Earth, wet, containing clay	100-110	45	23	B46
Elonite, crushed 1/2 inch and under	65-70			C25
Emery	230			A27
Epsom salts	40-50			B25
Face powder (see talc)	-			-
Feed, cattle & fowl	-			E45W
Feldspar, 1/2 inch screenings	70-85	38	18	B36
Feldspar, 1 1/2 to 3 inch lumps	90-110	34	17	D36
Feldspar, 200 mesh	100			
Ferrous sulphate	60-75			C36
Filter press mud, sugar factory	70			15
Fish meal	35-40			B45W
Fish scrap	40-50			E45W
Flaxseed	45	21	12	B25NW
Flaxseed meal	25			B25W
Flour, wheat	35-40		21	A45FN
Flue dust, boiler house, dry	35-40			A17IATY
Fluorspar, 1/2 inch screenings	85-105			C46
Fluorspar, 1 1/2 to 3 inch lumps	110-120			D46
Fly ash, dry (see fine dust)	-			-
Foundry sand, loose (see sand)	80-90			B47
Foundry refuse, old sand cores, etc.	70-100			D37Z
Fullers earth, dry	30-35	23		B26
Fullers earth, oily	60-65			D26
Fullers earth, oil filter, burned	40			B26
Fullers earth, oil filter, raw	35-40	35	20	B26
Garbage, household	50			E45VW
Gelatin, granulated	32			C25Q
Gilsonite	37			C25HT
Glue, ground 1/2 inch and under	40			B26
Glue, pearl	40	25	11	C25

Glue, vegetable, powdered	40			-
Glass batch	80-100		20-22	D27Z
Gluten meal	40			B25P
Grain, distillery, spent, dry	30			E25WY
Granite, 1/2 inch screenings	80-90			C27
Granite, 1 1/2 to 3 inch lumps	85-90			D27
Granite, broken	95-100			D27
Graphite, flake	40			C25
Grass seed	10-12			B25NY
Gravel, bank run	90-100	38	20	
Gravel, dry, sharp	90-100		15-17	D27
Gravel, pebbles	90-100	30	12	D35
Gypsum dust non-aerated	93			
Gypsum, dust aerated	60-70	42	23	A36Y
Gypsum, 1/2 inch screening	70-80	40	21	C36
Gypsum, 1 1/2 to 3 inch lumps	70-80	30	15	D26
Guano, dry	70			B26
Gunpowder	63			B25T
Hay, loose	5			B45NY
Hominy	37			C25
Hops, spent, dry	35			E35
Hops, spent, wet	50-55			E35T
Ice, crushed	35-45			D16
Ilmenite ore	140-160			B27
Iron borings, machine shop	125			D47WZ
Iron ore	100-200	35	18-20	D36
Iron ore, crushed	135-150		20-22	C26
Iron oxide, pigment	25	40	25	A45
Kaolin clay, 3 inch and under	63	35	19	D36
Kaolin talc, 100 mesh	42-56	45	23	A46Y
Lactose	32			A25PX
Lamp black (see carbon black)	-			-
Lead arsenate	72			B45R
Lead ores	200-270	30	15	D36RT
Lead oxides	60-150			B53
Lignite, air dried	45-55			D25
Lime, ground, 1/2 inch and under	60-65	43	23	B45X
Lime hydrated, 1/2 inch and under	40	40	21	B35MX
Lime hydrated, pulverized	32-40	42	22	A35MXY
Lime, pebble	53-55	30	17	D35
Limestone, agricultural, 1/2 inch and under	68		20	B26
Limestone, crushed	85-90	38	18	C26X
Limestone, dust	80-85		20	A46AY
Linseed cake, pea size	50			C35W
Linseed meal	27	34	20	B25
Litharge (see lead oxide)				
Litharge, pulverized (lead oxide)	200-250			
Lithopone	45-50			A25M
Magnesium chloride	33			C46
Magnesium sulphate	70			-
Malt, dry ground, 1/2 inch and under	27			B25NR

Material	Average weight (lbs per cu ft)	Angle of repose (degrees)	Recommended maximum inclination	Code
Malt, dry whole	27-30			C25N
Malt, wet or green	60-65			C45
Malt, meal	36-40			B25
Malt, sprouts	15			-
Manganese dioxide	80			-
Manganese ore	125-140	39	20	D37
Manganese sulphate	70			C27
Marble, crushed, 1/2 inch and under	80-95			D27
Marl	80			C27
Meat scraps	50-55			E35VV
Mica, ground	13-15	34	23	B35
Mica, pulverized	13-15			A26MY
Mica, flakes	17-22			B16MY
Milk, dried flake	5-6			B25M, PY
Milk, dry powder	35			B25P
Milk, malted	30-35			A35PX
Milk, whole powdered	20			B35PUXY
Mill scale				E46T
Milo maize	56			C15N
Molybdenite, powdered	107	40	25	B25
Mortar, wet	150			B46T
Muriate of potash	77			R27
Mushrooms	24			-
Mustard seed	45			B15N
Niacin	35			B26
Nickel-cobalt sulphate ore	80-150			D27T
Oats	26	21	10	C25M
Oats, rolled	19			C25NY
Oil coke	48-50			D45W
Ore (see iron ore)	-			-
Oxalic acid crystals	60			B35SU
Oyster shells, ground under 1/2 inch	50-60			C36T
Oyster shells, whole	80			D36TV
Paper pulp stock	40-60			E15MV
Peanuts, in shells	15-20			D25Q
Peanuts, shelled	35-45			C25Q
Peas, dried	45-50			C15NQ
Petroleum coke (see coke)	-			-
Phosphate, acid, fertilizer	60	26	13	B25T
Phosphate triple super, ground fertilizer	50-55	45	30	B45T
Phosphate rock, broken, dry	75-85	25-30	12-15	D25
Phosphate rock, pulverized	60	40	25	B36
Plaster of Paris (see gypsum calcined, powdered)	-			C26
Polystyrene beads	40			U25
Potash salts, sylvite, etc.	80			C25T
Potassium carbonate	51			B25
Potassium chloride, pellets	120-130			C25T

Potassium nitrate	76			C16T
Potassium sulphate	42-48			B46X
Pumice, 1/8 inch and under	40-45			B47
Pyrites, iron, 2 to 3 inch lumps	135-145			D26T
Pyrites, pellets	120-130			C25T
Quartz, dust	70-80			A27Y
Quartz, 1/2 inch screenings	80-90			C27Z
Quartz, 1 1/2 to 3 inch lumps	85-95			D27Z
Rice, hulled or polished	45-48	20	8	B15
Rice, rough	36			B25M
Rice grits	42-45			B35
Rock, crushed	125-145			D26
Rock, soft, excavated with shovel	100-110		22	D36
Rouge, powder	-			A47M
Rubber, palletized	50-55	35	22	D45
Rubber, reclaim	25-30	32	18	D45
Rye	42-46	23	8	B15N
Salicylic acid	29			B25U
Salt, common dry, coarse	40-55		18-22	C26TU
Salt, common dry, fine	70-80	25	11	D26TUW
Salt cake, dry, coarse	85	36	21	B36TW
Salt cake, dry, pulverized	60-85			B26NT
Saltpeter	80			-
Sand, bank, damp	110-130	45	20-22	B47
Sand, bank, dry	90-110	35	16-19	B37
Sand, foundry, prepared	80-90		24	B47
Sand, foundry, shakeout	90-100	39	22	D37
Sand, silica, dry	90-100		10-15	B27
Sand, core	65	41	26	B45X
Sandstone, broken	85-90			D37
Sawdust	10-13	36	22	B35
Sesame seed	27			B26
Sewage (sludge)	40-50			E25TW
Shale, broken	90-100			D26QZ
Shale, crushed	85-90	39	22	C36
Shellac	80			C45
Shellac, powdered or granulated	31			B25PY
Silica (see sand)	90-100			B27
Sinter	100-135			D27
Slag, blast furnace, crushed	80-90	25	10	A27
Slag, furnace, granular, dry	60-65	25	13-16	C27
Slag, furnace, granular, wet	90-100	45	20-22	B47
Slate, dust	70-80	35	20	A35Y
Slate, crushed, 1/2 inch and under	80-90	23	15	C26
Slate, 1 1/2 to 3 inch lumps	85-95			D26
Slurry (see cement)	-			-
Snow, compacted by rain	15-60			-
Snow, fresh fallen	5-12			-
Scoop heads or granules	15-25			B25Q
Soap chips	15-25	30	18	C35Q
Soap detergents	15-50			-

Material	Average weight (lbs per cu ft)	Angle of repose (degrees)	Recommended maximum inclination	Code
Soap flakes	5-15			B35QXY
Soap powder	20-25			B25X
Soapstone, talc, fine	40-50			A45XY
Soda ash, briquettes	50	22	7	C26
Soda ash, heavy	55-65	32	19	B36
Soda ash, light	20-35	37	22	A36Y
Sodium bicarbonate	41	42	23	A45Y
Sodium nitrate	70-80	24	11	D25
Sodium phosphate	50-65			
Sodium aluminum sulphate	75	31	18	-
Sodium sulphate (see saltcake)	-			-
Sorghum seed	47-52			B26
Soybeans, cracked	30-40	35	15-18	C26NW
Soybeans, whole	45-50	21-28	12-16	C26NW
Soybean cake, over 1/2 inch	40-43	32	17	D35W
Soybean flakes, raw	20-26			C25Y
Soybean meal, cold	40	32-37	16-20	B35
Soybean meal, hot	40			B35T
Starch	25-50	24	12	B25
Steel chips, crushed	100-150			D27WZ
Steel trimmings	75-150	35	18	E37V
Sugar, granulated	50-55			B25YQT
Sugar, powdered	50-60			B35PT
Sugar, raw, cane	55-65			D36TX
Sugar, raw, beet	55-65			B35TX
Sugar cane, knifed	15-18			E45V
Sulphate, powdered	50-60		21	B25NV
Sulphate, crushed - 1/2 inch and under	50-60		20	C25NS
Sulphate, 3 inch and under	60-85		18	D25NS
Taconite, pellets	115-130		13-15	D17Q
Talc, powdered	50-60			A25MY
Talc, 1/2 inch screenings	80-90			C25
Talc, 1 1/2 to 3 inch lumps	85-95			D25
Talc, solid	165			-
Tallow	58			W
Timothy seed	36			B25NY
Titanium sponge	60-70			E47
Tobacco leaves, dry	12-14			E45QV
Tobacco scraps	15-25			D45Y
Tobacco stems	15			E45Y
Traprock, 1/2 inch screenings	90-100			C37
Traprock, 2 to 3 inch lumps	100-110			D37
Trisodium phosphate	60			B36
Trisodium phosphate, granular	60	25	11	D25
Trisodium phosphate, pulverized	50	40	25	B35
Triple super phosphate	50-55			B35RS
Turn nut meats, crushed	25			D25
Vermiculite, expanded	16			C37

Vermiculite ore	70-80		20	D35Y
Walnut shells, crushed	35-45			B37
Wheat	45-48	28	12	C25N
Wheat, cracked	40-45			B25N
Wheat germ	28			B25W
Wood chips	10-30		27	E45WY
Wood shavings	8-15			E45V
Zinc Dust	200			
Zinc concentrates	75-80			B26
Zinc ore, crushed	160	38	22	
Zinc ore, roasted	110	38		C36
Zinc oxide, heavy	30-35			A35X
Zinc oxide, light	10-15			A35XY

FLOWABILITY-ANGLE OF SURCHARGE-ANGLE OF REPOSE					
Very free flowing 1°	Free flowing 2°	Average flowing 3°		Sluggish 4°	Profile on flat bell
5° Angle of surcharge	10° Angle of surcharge	20° Angle of surcharge	25° Angle of surcharge	30° Angle of surcharge	Angle of surcharge
					
0°-20° Angle of Repose	20°-35° Angle of Repose	35°-40° Angle of Repose	35°-40° Angle of Repose	40°-Up Angle of Repose	Other Angles of Repose
MATERIAL CHARACTERISTICS					
Uniform size, very small rounded particle, either very wet or very dry, such as dry silica sand, cement, wet concrete, etc.	Rounded, dry polished particles, of medium weight, such as shells, grain and beans.	Irregular, granular or lumpy materials of medium weight, such as anthracite coal, cottonseed meal, clay, etc.	Typical common materials such as bituminous coal, stone, most ores, etc.	Irregular, stringy, fibrous, interlocking material, such as wood chips, bagasse, tumbled laundry sand, etc.	May include any characteristic shown in designations 1 thru 4.

\* Code designations conform to bulk material characteristics chart

	Material Characteristics	Code
<b>Size</b>	Very fine – 100 mesh and under	A
	Fine – 1/8 inch and under	B
	Granular – Under 1/2 inch	C
	Lumpy – containing lumps over 1/2 inch	D
	Irregular – stringy, interlocking, mats together	E
<b>Flowability Angle of Repose</b>	Very free flowing – angle of repose less than 20 degrees	1
	Free flowing – angle of repose 20 degrees to 30 degrees	2
	Average flowing – angle of repose 30 degrees to 45 degrees	3
	Sluggish – angle of repose 45 degrees and over	4
<b>Abrasiveness</b>	- Non-abrasive	5
	Abrasive	6
	Very abrasive	7
	Very sharp – cuts or gouges belt covers	8
<b>Miscellaneous Characteristics (Sometimes more than one of these characteristics may apply)</b>	Very dusty	L
	Aerates and develops fluid characteristics	M
	Contains explosive dust	N
	Contaminable affecting use or saleability	P
	Degradable, affecting use or saleability	Q
	Gives off harmful fumes or dust	R
	Highly corrosive	S
	Mildly corrosive	T
	Hygroscopic	U
	Interlocks or mats	V
	Oils or chemical present – may affect rubber products	W
	Packs under pressure	X
	Very light and fluffy – may be wind swept	Y
Elevated temperature	Z	

Example: A very fine material that is free flowing, abrasive, and contains explosive dust would be designated: Class A26N

**TABLA DE CARACTERISTICAS DE MATERIALES**

<b>MATERIAL ANALIZADO</b>	<b>DENSIDAD EN Lbs/Pie Cúb.</b>	<b>TAMAÑO DE PARTICULA DESCRIPCION</b>
Acero (tornillos)	197	Pequeños
Acero (arandelas)	159	Pequeños
Acero (virutas)	...	Virutas de torneado
Acero (base de lámpara)...	...	Láminas cilíndricas
Alumbre	50	Fino
Aluminio	60	Burbujas esféricas 40 m
Alúmina calcinada	84	Malla 100
Alúmina tabular	150	Malla 16
Alúmina tri-hidrato	57	Malla 325
Aluminio	18	Virutas de torneado
Aluminio	28	Hojuelas, Malla 20
Aluminio	28	Hojuelas, Malla 100
Aluminio	28	Hojuelas, Malla 140
Aluminio (hidrato)	20	Terrones porosos
Aluminio (estearato)	9	De fino a terroso
Aluminio (óxido)	45	Terrones
Arena (construcción)	100	Granular
Arena (fundición)	94	Fino
Arena (blanca)	115	Granular
Arsénico blanco	125	Fino
Arsénico (óxido)	125	Fino
Asbestos	20	Fino, fibroso
Asbestos	23	Finos y terrones
Asbestos	24	Hojuelas
Asbesto chancado	66	Terrones
Asbesto desmenuzado	53	Fibroso
Asbesto (cemento)	40	Hojuelas
Antracita chancada	32	Granular
Antracita entera	32	Núcleoso
Bauxita	68	Fino
Bentonita	45	Fino
Bórax	70	Fino
Bórico (ácido)	37	Fino
Calcio (cloruro)	50	Hojuelas
Calcio (carburo)	80	Granular
Caliza chancada	90	Terrones
Caliza hidratada	55	Fino
Caliza terrones	50	Terrones
Caliza oxidada	55	Fina
Carbón	10	Fino
Carbón activado	12	Fino
Carbón bituminoso	55	Fino a terrones pequeños
Carbón negro	6	Fino
Cemento (clinker)	90	Terrones

Cemento Portland	94	Fino
Ceniza de Soda densa	60	Granular
Ceniza de Soda liviana	28	Granular
Coque (ceniza)	30	Fino a terrones
Coque (terrones)	28	Terrones
Coque chancado	45	Fino a terrones
Coque (gilsonita)	66	Malla 2
Cobre (mena)	135	Fino a terrones
Criolita	95	Malla 250
Dolomita quemada	45	Fino a Malla 50
Dolomita chancada	100	Fino
Dolomita chancada	85	Granular
Feldespató	70	Fino a terrones
Fosfato chancado	80	Fino a terrones
Fluorespató	110	Fino
Frita	82	Fino
Galactita (arcilla)	35	Fino
Granito	100	Malla 10-terrones finos
Grava	100	Terrones
Hierro (Ox. rojo)	53	Fino
Hierro (limaduras)	148	Malla 60
Hierro (granalla fina)	296	Muy fino
Hierro (mena)	125	Fino a terrones
Hierro (polvo)	197	Malla 100
Ilmenita	150	Granular
Litargirio	185	Fino
Manganeso (mena)	156	Granular
Manganeso (dióxido)	102	Fino
Mica	40	Hojuelas
Piedra chancada	100	Terrones
Plomo Blanco	60	Fino
Plomo (Oxido)	200	Muy fino
Potasa	60	Granular
Resina en polvo	26	Polvo
Sal (roca)	84	Terrones
Sal (de mesa)	45	Granular
Sodio (hidrosulfato)	82	Granular
Sodio (Tripolifosfato)	48	Malla 300
Sulfato de Amonio	60	Granular
Vidrio (colado)	95	Terrones
Vidrio (desecho)	40	Terrones
Vidrio (polvo)	25	Fino
Yeso	61	Malla 100
Yeso chancado	90	Fino a terrones
Zinc (Oxido)	20	Fino
Zinc (Oxido)	30	Muy fino

**B I B L I O G R A F I A**

- 1.-) A.F. ISRAELSON, "Fundamentos Simplificados de Magnetismo",  
Consultor de Eriez Magnetics, Erie-Pennsylvania, U.S.A.
- 2.-) CRUCIBLE STEEL COMPANY OF AMERICA, "Permanent Magnet  
'Handbook", Pittsburgh-Pennsylvania 15206, U.S.A.
- 3.-) D. VAN NORTRAND COMPANY LTD., "Ferromagnetism". London, W.  
14, ENGLAND.
- 4.-) MIGUEL M. MORALES, "Manual de Entrenamiento Sincro-Sizer",  
Eriez Magnetics, Manager - International Division, Erie-  
Pennsylvania, U.S.A.
- 5.-) ERIEZ MAGNETICS - INTERNATIONAL DIVISION, "Nuevos Avances  
en Equipos y Procesos de Separación Magnética", Erie-  
Pennsylvania, U.S.A.
- 6.-) COLEGIO DE INGENIEROS QUIMICOS DEL PERU, "Corrosión y  
Selección de Materiales", LIMA-PERU, 1983.

-----

## I N D I C E

	Pág.
<b>CAPITULO I : INTRODUCCION</b>	1
<b>CAPITULO II : FUNDAMENTOS SIMPLIFICADOS DE MAGNETISMO.</b>	
2.1.0 Generalidades	5
2.2.0 Teoría Actual de los Imanes ó Magnetos	6
2.3.0 Definiciones y Terminología	8
2.4.0 Otros aspectos de interés	11
<b>CAPITULO III : NUEVOS AVANCES EN EQUIPOS Y PROCESOS DE SEPARACION MAGNETICA</b>	
3.1.0 Generalidades	16
3.2.0 Clasificación	
3.2.1 Separación Magnética de Baja Inten-	17
sidad	
3.2.2 Separación Magnética de Media y Al-	21
ta Intensidad	
3.2.3 Separación Magnética de Alto Gra--	25
diente	
3.3.0 Procesos y Aplicaciones Típicas	28
<b>CAPITULO IV : TAMIZADO</b>	
4.1.0 Breve historia del Tamizado	32
4.2.0 Tipos de Tamices	34
4.3.0 Modelos ó Patrones de Movimiento	36
4.4.0 Factores que afectan la Capacidad	38
4.5.0 Eficiencia del Tamizado	41
4.6.0 Análisis de Mallas	44
<b>CAPITULO V : DETECTOR DE TROZOS METALICOS PARA MENAS MAGNETICAS Y/O MINERALIZADAS</b>	
5.1.0 Generalidades	48
5.2.0 Método de Operación	49
5.3.0 Aplicaciones	50
<b>CAPITULO VI : USOS Y APLICACIONES INDUSTRIALES</b>	
6.1.0 Concentración Magnética del Tungsteno en	51
Pasto Bueno	
6.2.0 Implementación de Tamices para EMSAL en	53
su Planta de Huacho	
6.3.0 Seleccionar un Separador Electromagnético	55
Suspendido para la Cía. de Minas Buenaven-	
tura.	

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

58

**ANEXOS**

**BIBLIOGRAFIA**