

**TESIS DONADA POR  
D. G. B. UNAM.**



# **Universidad Nacional Autónoma de México**

**Facultad de Química**

**“CONCENTRACION DE CROMITA, ZIRCON E ILMENITA  
POR METODOS FISICOS Y FISICOQUIMICOS A PARTIR  
DE ARENAS DE PLAYA”**

## **T E S I S**

**Que para obtener el Título de  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO**

**p r e s e n t a**

**JOSE EZEQUIEL CARRANZA ZAVALA**

**MEXICO, D. F.**

**1983**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## CONTENIDO

### INTRODUCCION

#### I GENERALIDADES

- 1.1 Características y usos de los minerales de las arenas detríticas.
  - 1.1.1 Ilmenita
  - 1.1.2 Zircón
  - 1.1.3 Cromita
  - 1.1.4 Magnetita
  - 1.1.5 Otros (de menor importancia)

#### II DESCRIPCION Y OPERACION DEL EQUIPO USADO EN LA CONCENTRACION DE ZIRCÓN, ILMENITA Y CROMITA DE LAS ARENAS - EN ESTUDIO.

- 2.1 Descripción y operación del separador magnético
- 2.2 Descripción y operación de la mesa wilfley
- 2.3 Descripción del separador electromagnético
- 2.4 Operación del separador electromagnético
- 2.5 Descripción y operación de la celda de flotación

#### III EXPERIMENTACION

- 3.1 Muestreo de la zona y preparación de muestras
- 3.2 Análisis químico
- 3.3 Procesamiento del compuesto
  - 3.3.1 Determinación del peso volumétrico y tonelaje del yacimiento
  - 3.3.2 Mineralogía de las arenas detríticas
  - 3.3.3 Contenido estimado en el yacimiento
  - 3.3.4 Análisis granulométrico
  - 3.3.5 Pruebas de separación

- 3.3.5.1 Separación magnética
- 3.3.5.2 Separación gravimétrica por mesa wilfley
- 3.3.5.3 Separación electromagnética
- 3.3.5.4 Separación por flotación

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### BIBLIOGRAFIA

## INTRODUCCION

De acuerdo a estudios realizados, en México existen varias zonas donde se localizan grandes extensiones de arenas de playa ricas en cromita, ilmenita y zircón. Conociendo la importancia que tendría para el país y el mercado internacional la concentración de los componentes mineralógicos de estas arenas y tomando en cuenta que los minerales de interés económico rara vez se encuentran en el estado puro, pues generalmente forman mezclas con otras sustancias carentes de valor, se procedió a buscar la tecnología más adecuada para efectuar la concentración de estos minerales.

Ahora bien, de acuerdo a la investigación bibliográfica se encontró que la concentración se podría hacer por métodos físicos (mesa wilfley, separador magnético y separador electromagnético) y fisicoquímicos (flotación); sin embargo, los resultados obtenidos por estos métodos por separado no fueron del todo satisfactorios, siendo la causa principal las características físicas y químicas que presentan los minerales contenidos en las arenas de playa en estudio.

Agotados estos métodos para hacer la concentración por separado, se consideró de sumo interés combinar los procedimientos físicos y fisicoquímicos para poder concentrar la cromita, ilmenita y zircón.

Conforme se fue avanzando en la investigación, se pudo apreciar las ventajas que nos ofrecía la conjugación de métodos

dos físicos y fisicoquímicos en la concentración de cromita, ilmenita y zircón contenidos en las arenas de playa y como se puede ver en los resultados y conclusiones, el objetivo de esta tesis se logro satisfactoriamente.

## I.- GENERALIDADES

En nuestro país hay grandes extensiones de playa donde se localizan arenas detríticas, estas son producto de la desintegración de rocas. Las arenas son transportadas hasta las playas por el arrastre de las corrientes fluviales. Estas playas se localizan en las costas del pacífico, golfo de México y península de Baja California entre otros lugares.

Analizando la importancia que tendría para nuestro país los concentrados y los productos derivados de estas arenas como cromita, zircón, ilmenita, magnetita y otros de menor importancia como el granate, piroxenas, epidotas y cuarzo; en los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial (IANFI) se consideró de interés estudiar estos depósitos a través del departamento de Procesamiento de Minerales y buscar la tecnología más adecuada para tales fines, ya que en el país no se tienen yacimientos de cromo ni de zircón, y los que se conocen de titanio no han sido explotados por diversas razones.

He aquí la importancia que tendría suplir las importaciones de estos minerales cuyas cifras ascienden a cientos de millones de pesos como se puede apreciar en las tablas No. 1, 2 y 3.

De acuerdo a todo lo anterior y si es factible la explotación de estos depósitos de arena, significaría para el país un ahorro de millones de pesos, así como la creación de muchas fuentes de trabajo.

TABLA No. 1

IMPORTACION Y CONSUMO NACIONAL APARENTE DE CROMITA

AÑO	Volumen de importaciones T.M.	Valor de importaciones miles de pesos	Consumo Nacional aparente T.M.
1969	34,002.09	19,504.05	34,002.09
1970	24,999.8	15,998.4	24,999.8
1971	38,168.6	26,165.2	38,168.6
1972	26,143.9	11,938.6	26,143.9
1973	36,793.3	15,106.4	36,793.3
1974	53,081.8	26,435.5	53,081.8
1975	49,299.6	34,294.6	49,299.6
1976	51,260.9	46,528.3	51,260.9
1977	49,167.0	100,122.0	49,167.0
1978	50,786.0	124,300.0	50,786.0
1979	55,015.0	101,692.9	55,015.0

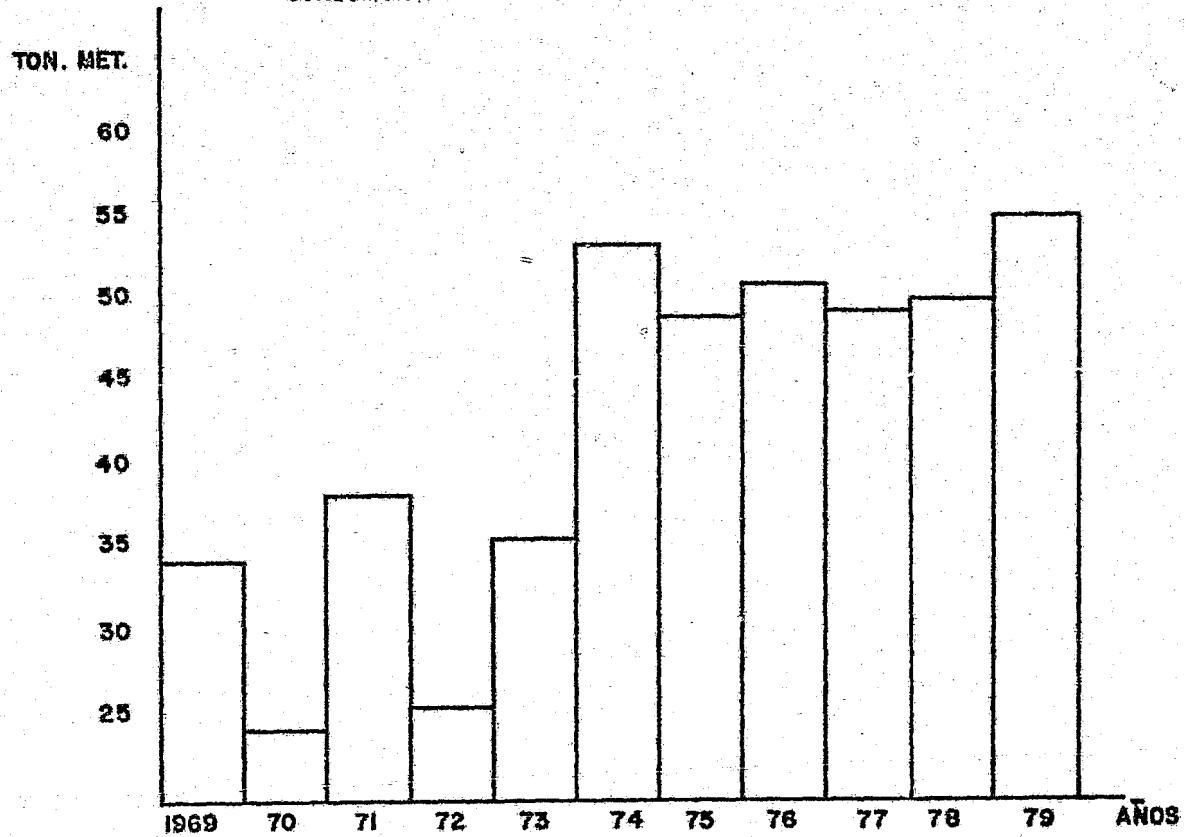
FUENTE: ANUARIO ESTADISTICO DE LA MINERIA MEXICANA

CONSEJO DE RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

1969-1979



# CONSUMO NACIONAL APARENTE DE CROMITA



5

TABLA No. 2

## IMPORTACION Y CONSUMO NACIONAL APARENTE DE ILMENTA

AÑO	Volumen de importaciones T.M.	Valor de importaciones miles de pesos	Consumo Nacional aparente T.M.
1969	21,037.7	13,003.3	21,037.7
1970	25,783.1	15,472.7	25,783.1
1971	29,041.3	20,456.2	29,041.3
1972	24,594.4	18,502.6	24,594.4
1973	30,102.8	22,358.9	30,102.8
1974	40,992.3	29,831.4	40,992.3
1975	7,688.3	12,549.9	7,688.3
1976	47,768.9	48,148.0	47,768.9
1977	42,038.0	38,955.0	42,038.0
1978	65,524.0	49,812.0	65,524.0
1979	62,484.7	45,239.6	62,484.7

FUENTE: ANUARIO ESTADISTICO DE LA MINERIA MEXICANA  
 CONSEJO DE RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES  
 1969-1979

### CONSUMO NACIONAL APARENTE DE ILMENITA

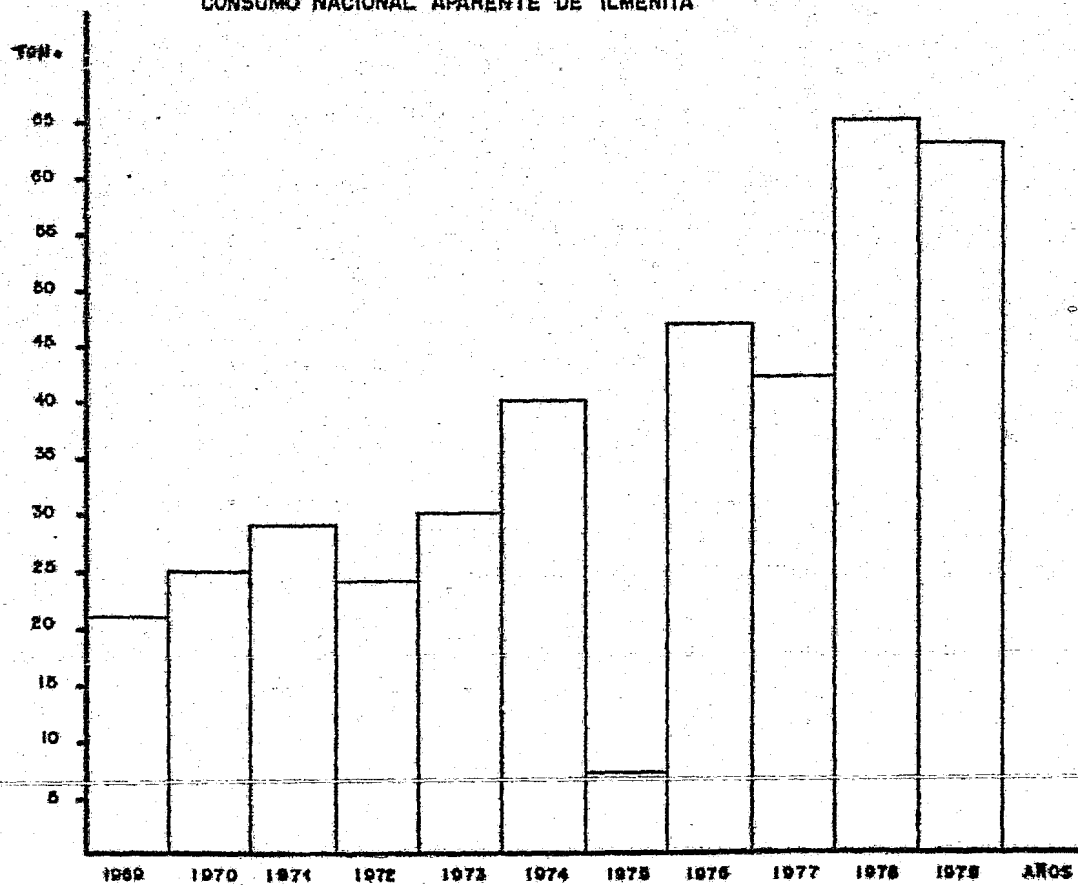


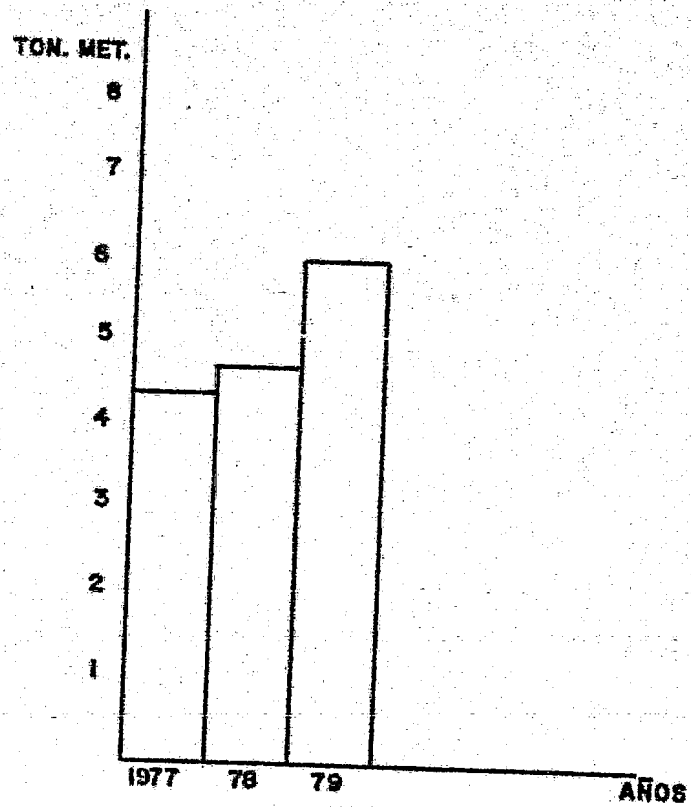
TABLA No. 3°

## IMPORTACION Y CONSUMO NACIONAL APARENTE DE ZIRCON

AÑO	Volumen de importaciones T.M.	Valor de importaciones miles de pesos	Consumo Nacional aparente T.H.
1977	4,203.0	18,638.0	4,203.0
1978	4,720.0	21,749.0	4,720.0
1979	6,265.6	20,810.4	6,265.6

FUENTE: ANUARIO ESTADISTICO DE LA MINERIA MEXICANA  
 CONSEJO DE RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES  
 1969-1979

# CONSUMO NACIONAL APARENTE DE ZIRCON



1.1 CARACTERÍSTICAS Y USOS PRINCIPALES DE LOS MINERALES  
DE LAS ARENAS DETRÍTICAS

1.1.1 Ilmenita(  $FeO \cdot TiO_2$  )

La ilmenita junto con el rutilo son las fuentes más importantes de titanio de importancia económica.

Este mineral generalmente se encuentra en las arenas, principalmente de playa donde los minerales pesados se han concentrado por su alto peso específico. Originalmente la ilmenita se encuentra en forma diseminada en las rocas básicas eruptivas ( gabbro, diabasas, piroxenitas, etc.), muchas veces asociada a la magnetita, así como en rocas alcalinas. Se observa a veces en cantidades considerables en pegmatitas de ciertos tipos (sieníticas) en paragénesis con feldespatos, biotitas, etc.

La ilmenita se parece a la hematita, pero se distingue en la forma de los cristales (solo se ven romboedros, no hay caras de piramides dobles hexagonales). Cuando se halla en masas continuas se distingue de la hematita por la raya y las débiles propiedades magnéticas. El color de la ilmenita es negro y la rayadura en la mayoría de los casos es negra y a veces -- parda o pardusca-rojiza (en variedades que contienen inclusiones de hematita). El brillo es semimetálico, opaca, de peso específico 5.6, dureza de 5-6 y cristaliza en el sistema hexag.

USOS

En los casos de grandes concentraciones, la ilmenita puede beneficiarse como una mena de titanio, empleando el bióxido de titanio en la fabricación de ferrotitanio y ferrocarnotitanio, los cuales, añadidos al acero se emplean como agentes desoxidantes.

Aumentan la resistencia a la tensión del acero. Estas aleaciones contienen de 15 a 25% de titanio. Igualmente el  $TiO_2$  es fuente de titanio metálico, y se emplea para fabricar cupro-titanio usado en las aleaciones de bronce y otras que lleven - cobre. El bronce de titanio-aluminio, es muy resistente a la - corrosión del agua de mar y a los líquidos químicos, tiene pro-piedades iguales a la de los bronce al fosforo y al niquel, aunque es considerablemente más ligero que cualquiera de ellos. El titanio también se emplea para revestimientos de electrodos de soldadura y herramientas para cortar carburos.

El  $TiO_2$  es el compuesto de titanio de mayor uso, pues además se emplea para hacer más opacos los esmaltes, y como -- pigmento blanco se usa mucho, ya que es químicamente inerte, - no es tóxico, y tiene un elevado poder de recubrimiento.

Las pinturas que tienen pigmentos de titanio no se a--grietan ni se desconchan. El principal pigmento de titanio -- empleado es un compuesto de  $TiO_2$  (75%) y  $BaSO_4$  (25%). El  $TiO_2$  - ~~se emplea también en la fabricación de esmaltes de laca, sedas artificiales, caucho, cristales y ciertos tipos de papeles de peso ligero muy opacos.~~

Debido a que el titanio metálico posee resistencia a - las temperaturas altas, a la corrosión y tiene un peso especí-fico bajo, es una materia prima muy valiosa para la industria-aeronáutica.

### 1.1.2 Zircón ( $ZrO_2 \cdot SiO_2$ )

El zircón es un silicato de zirconio, algunas veces con tiene pequeñas cantidades de fierro y siempre está asociado al óxido de hafnio ( $HfO_2$ ). Este mineral es el único de importancia económica para la obtención de zirconio metálico.

Se ha encontrado en grandes cantidades en rocas sienitas (principalmente) granitos, sienitas y pegmatitas; es un constituyente, a menudo frecuente, de las arenas titaníferas con las que se asocia en las arenas de río y playas. Su color es generalmente blanco pero algunas veces se encuentra en variedades de color azul, verde, rojo, amarillo, naranja e incoloras; el color del zircón puede alterarse algunas veces por calentamiento apropiado, propiedad aprovechada en la preparación de gemas sintéticas. Cristaliza en el sistema tetragonal su raya es blanca y su lustre vítreo, tiene una densidad o peso específico de 4.68-4.70 y su brillo es adamantino.

El zircón es un mineral que se puede confundir:

1) con el estibio, distinguiéndose por la dureza que es de 7-8 y los índices de refracción; 2) con la cassiterita, distinguiéndose por el peso específico, la paragenesis, las reacciones químicas y una menor doble refracción al microscopio; 3) con la thorita (se distingue por la dureza, la conducta ante los ácidos, una doble refracción menor), y 4) con la monacita, que se encuentra en condiciones análogas (se distingue por la dureza y el aspecto de los cristales, ya que la monacita se presenta la más de las veces bajo formas tabulares).



### Usos

Las variedades transparentes del zircón generalmente se emplean en joyería. Por lo común el zircón se utiliza para la obtención de  $ZrO_2$ , el cual posee una baja conductividad térmica y un bajo índice de dilatación, se usa en la fabricación de crisoles resistentes a los ácidos y a la temperatura (el punto de fusión llega a los  $3000^{\circ}C$ ). Como material de óptica el vidrio de cuarzo (hasta el 2.5%) con objeto de obtener varillas de laboratorio resistentes a los ácidos y a altas temperaturas. Se usa también en la fabricación de ladrillo y cemento refractarios, empleados en el revestimiento de hornos de fundición de acero, así como en la producción de esmaltes blancos y pinturas muy estables.

El zirconio en aleaciones metálicas con el magnesio (al 40%) se usa para las explosiones sin humo (para señales luminosas y fotografías). El zirconio puro, dada su maleabilidad, sustituye el platino en la fabricación de aparatos para investigaciones científicas. Puede emplearse, asimismo, para la fabricación de bujías de los motores de combustión interna y de termocodos en los pirómetros. Su adición en determinadas proporciones, al acero, al cobre, al latón, mejora la calidad de las aleaciones. En la metalurgia del acero, el zirconio se emplea como el mejor desoxidante. Merced a la capacidad para formar compuestos con nitrógeno, el zirconio depura totalmente el acero de los nocivos nitruros.

### 1.1.3 Cromita ( $Cr_2O_3$ )

La cromita es el único mineral de cromo con importancia económica, de donde se obtiene la materia prima para la obtención de ferrocromo.

La cromita es un óxido de cromo, generalmente encontrado con hierro, y aluminio; sus características comunes son el color negro, la raya café, brillo metálico, la elevada dureza (5-7.5), su peso específico (4-4.8) y su cristalización en el sistema cúbico. La cromita se encuentra casi exclusivamente en rocas ultrabásicas (dunitas, peridotitas y serpentinitas) magmáticas tanto en impregnaciones como en grandes concentraciones en nidos, lentas o columnas. Suele ir asociada a la serpentina (hidroxilato de magnesio y hierro) de color verdusco, al olivino (i.e.,  $Fe_2SiO_4$ ) y a granates con cromo de color verde esmeralda.

Hay tres clases de cromita que corresponden al uso que se les destina: 1) metalúrgica (56%), 2) refractaria (alrededor del 33%), y 3) química (alrededor del 11%).

Las características de una cromita metalúrgica exigen un mínimo del 48% de  $Cr_2O_3$  con una relación de Cr:Fe de 3:1. — En la medida en que se enriquece en cromo (1 a 2 %) el cromo aumenta su dureza y su resistencia a la tracción. En cantidades mayores (18 de Cr y 8% de Si), le proporciona resistencia

La corrosión, y se lo conoce con el nombre de acero inoxidable. El acero al cromo se usa en la fabricación de chapas de blindaje, proyectiles antiblindaje, y para herramientas de acero rápido. El cromo también se usa como cromador. El revestimiento es duro y blanco, y se parece un poco al platino. El níquel cromo (60% de Ni, 14% Cr, 15% de Fe), se emplea mucho en elementos de calefacción eléctricos.

Para forjas automáticas se emplea un acero de manganeso-cromo-vanadio. La cromita es un refractario importante, y con frecuencia se emplea en el revestimiento de hornos de cobre y acero. Para esto tiene ciertas ventajas sobre la magnesia, ya que resiste a la corrosión, soporta cambios bruscos de temperatura y es de manejo más sencillo. Los coqueos de cromo se emplean como pigmentos (amarillo, verde y rojos), como mordientes en tintorería, estampados de tejidos y en curtidos.

#### 1.1.4 Magnetita ( $FeO \cdot Fe_2O_3$ )

La magnetita es uno de los principales minerales de hierro de mayor importancia económica. Este mineral cristaliza en el sistema cúbico, de color negro-amarillo, a veces con reflejo azuláceo en cristales, su raya es negra y el brillo es metálico. La dureza es de 5.5-6 con un peso específico de 4.9-5.2; además es muy magnética, a veces polar. Al calentarse al rojo (alrededor de  $580^{\circ}$ ) desaparece de pronto el magnetismo, pero al enfriarse vuelve a aparecer.

Debido a sus propiedades magnéticas y la raya negra suele identificarse con facilidad y distinguirse de los minerales parecidos (la hematita, la goetita, la hausmanita y la cronita), pero no siempre se le puede distinguir de otras especies minerales del grupo de las espinelas, tales como óxidos ferroso y férrico, como, por ejemplo la ferrocronita y la jacobscita.

La magnetita, a diferencia de la hematita, se localiza en condiciones más reducidas y se encuentra en yacimientos y rocas de los tipos genéticos más distintos.

#### Usos

La magnetita, que con frecuencia contiene hasta el 60% de hierro, es una importantísima materia prima para la obtención de pellet, arrabio y acero. Considerándose impurezas definidas de estas menas el fósforo, cuyo contenido, si se emplea el método de fundición por coque, no debe ser mayor del 0.05% (para ob

tener metal de calidad, no debe haber más del 0.03%), y el azufre, cuyo contenido no puede exceder del 1.5%. Al fundirse los menas por el método Thomas, donde el fósforo se pasa a la escoria, el contenido de dicho elemento no debe ser inferior al 0.61% ni superior al 1.5%. La escoria fosfórica que se obtiene en este caso se denomina escoria Thomas y se emplea como fertilizante en la agricultura.

1.1.5 Otros minerales de menor importancia contenidos  
en las arenas detríticas

Las arenas detríticas además de tener minerales de valor económico, vienen acompañadas de otros minerales de menor importancia como el cuarzo, epidotas, piroxenas y piroxenas, los cuales se describirán brevemente a continuación.

Cuarzo.- El cuarzo es un óxido de silicio muy común en la naturaleza, entra en la composición de las rocas y yacimientos del más distinto origen. Los cristales de cuarzo se identifican con facilidad por las formas características. En los agregados compactos, el cuarzo se reconoce por la elevada dureza, la fractura concoide y la ausencia de clivaje. El cuarzo posee la propiedad de la piezoelectrización: bajo el efecto de tensiones mecánicas surgen en él, cargas eléctricas.

Al efectuarse una fusión de cuarzo (1713 °C) y enfriarse ésta se forma fácilmente el vidrio de cuarzo (cuarzo amorfo) dotado de varias propiedades especiales: resistencia a los ácidos, bajo coeficiente de dilatación, transparencia para los rayos ultravioletas, etc.,.

En muchas rocas ácidas eruptivas (intrusivas y efusivas), lo mismo que los feldespatos y las micas, el cuarzo es uno de los componentes esenciales (en granitos, gneis, rocas cuarcicas, etc.). Los cristales porfiricos de cuarzo en rocas ácidas efusivas poseen con frecuencia una estructura cristalina zonal y contiene a menudo inclusiones de vidrio volcánico.

En los procesos metamórficos, el cuarzo se forma en masas considerables durante la deshidratación de rocas sedimentarias que contienen ópalo.

El color del cuarzo puede ser cualquiera, pero los más comunes son los cuarzos incoloros, blancos de leche y grises.

El trillo es vítreo, su dureza es de 7 y su peso específico varía de 2.5 a 2.8. en las variedades puras su peso específico es de 2.65.

Granate. - En los granates se incluye un numeroso grupo de minerales cuya fórmula común es  $A_3B_2(SiO_4)_3$ , donde A=Mg, Fe<sup>++</sup>, - Mg<sup>++</sup>, Ca y B=Al, Fe<sup>+++</sup>, Cr (ver tabla # 4). Entre ellos son -- particularmente numerosas las especies minerales de dos series isomorfas:

Serie almandínica -  $(Mg, Fe, Mn)_3Al_2(SiO_4)_3$

Piropo -  $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$

Almandino -  $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$

Espeartina -  $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$

Serie andradítica -  $Ca_3(Al, Fe, Cr)_2(SiO_4)_3$

Grosularia -  $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$

Andradita -  $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$

TABLA No. 4

COMPOSICION QUIMICA DE LOS GRANATES ( PESO EN % )

MINERAL	MgO	FeO	MnO	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Piropo	29.8	-	-	-	25.4	-	-	44.8
Almandina	-	43.3	-	-	20.5	-	-	36.2
Espesartina	-	-	43.0	-	20.6	-	-	36.4
Grosularia	-	-	-	37.3	22.7	-	-	40.0
Andradita	-	-	-	33.5	-	31.5	-	36.5
Uvarovita	-	-	-	33.5	-	-	30.6	35.9



Uvarovita -  $\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$ 

Todos estos minerales cristalizan en el sistema cúbico y poseen muchas propiedades en común, como su color que varía en una gama bastante amplia. Son raras las variedades incolores transparentes. Los colores más comunes son los señalados en la tabla # 5. Granates azules no se conocen.

Los granates se identifican con facilidad macroscópicamente por el aspecto característico de los cristales, el brillo graso, la elevada dureza (6.5-7.5), y el peso específico - relativamente elevado (3.5-4.2).

Piroxena.- Los minerales más propiados en la naturaleza son las piroxenas ferromagnesianas junto con los anfíboles, importantes componentes de muchas rocas eruptivas. En total constituyen el 16% del peso de la corteza terrestre.

Las piroxenas se diferencian de los ortosilicatos ferromagnesianos (minerales del grupo del olivino) constituyentes de las rocas, por las siguientes particularidades químicas:

1) Contienen más  $\text{SiO}_2$  (en caso de carencia de  $\text{SiO}_2$  en las fusiones se forman olivinos).

2) Además de Mg y Fe, desempeña en ellos un importante papel el Ca (en ortosilicatos su papel es insignificante), - por cuya razón están representados entre ellos los compuestos dobles (diópsido, tremolita, etc.,).

3) Muchas piroxenas y anfíboles, sobre todo los representados por compuestos dobles, contienen con frecuencia mezclas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , a veces  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , etc. (los ortosilicatos se

TABLA No. 5

## PROPIEDADES FISICAS DE LOS GRANATES

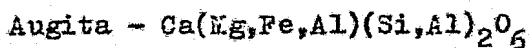
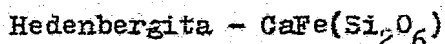
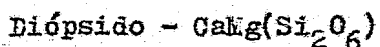
MINERAL	COMPOSICION	PESO ESPECIFICO	COLOR
Piropo	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$	3.51	Rojo oscuro, negro, rojo rosa.
Almandina	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$	4.25	Rojo-pardo, rojo, negro.
Espesartina	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$	4.18	Rojo oscuro, pardo, amarillo.
Grosularia	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	3.53	Amarillo melado, verde pálido.
Andradita	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$	3.75	amarillo verdusco, rojo-pardo.
Uvarovita	$Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$	3.52	verde esmeralda.

distinguen por la relativa pureza de su composición).

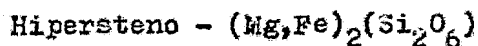
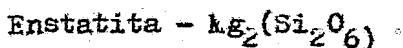
Con arreglo a los índices cristalográficos, en este grupo de minerales relativamente grande se distinguen desde hace mucho tiempo dos subgrupos: piroxenas monoclinicas y rómbicas.

A continuación se describirán las siguientes especies minerales pertenecientes a este grupo:

#### Piroxenas monoclinicas



#### Piroxenas rómbicas



Entre otras especies monoclinicas tenemos a la Jadelita, Egirina y Espodumena. Generalmente estas especies coinciden en muchas de sus propiedades tanto químicas como físicas.

Epidota.- La epidota consiste de silicatos de calcio y aluminio con una adición o sustitución ocasional de manganeso, fierro o cerio. Se presenta en agregados granulares o columnares y cristales distintos.

Es un mineral ampliamente distribuido en muchos tipos de rocas ígneas y metamórficas. En rocas ígneas es, usualmente - un mineral deutérico o magmático. El mineral dominante es la epidosita, es una epidota metamórfica de rocas de cuarzo.

El color de la epidota es verde amarillento o negrusco no siendo usualmente uniforme, rara vez se encuentra de un color rojo. Tiene una densidad o peso específico de 3.3 a 3.5 y una dureza de 6 a 7, su brillo es vítreo resinoso y su raya es blanca o grisácea.

La epidota pertenece al grupo, precisamente de la epidota en donde además podemos encontrar la:

Zoisita -  $\text{Ca}_2(\text{AlOH})\text{Al}_2(\text{Si}_4)_3$  - ortorómbica

Clinozoisita -  $\text{Ca}_2(\text{AlOH})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  - monoclinica

Piamontita -  $\text{Ca}_2(\text{AlOH})(\text{Al},\text{Mn})_2(\text{SiO}_4)_3$  - monoclinica

Alanita -  $(\text{Ca},\text{Fe})_2(\text{AlOH})(\text{Al},\text{Ce},\text{Fe})_2(\text{SiO}_4)_3$  - monoclinico

Generalmente, los usos de estos minerales de importancia económica menor (epidotas, piroxenas, cuarzo, etc.,) son en joyería, - ornamentaciones y piedras preciosas; sin embargo, tienen otros usos como los del cuarzo que se le emplea también en la fabricación de vidrio o como los del granate como un abrasivo.

## II Descripción y operación del equipo usado en la concentración de zircón, ilmenita y cromita de las arenas en estudio

### 2.1 Descripción y operación del separador magnético

El separador magnético de imán permanente se puede describir a grandes rasgos como un aparato destinado a separar los materiales magnéticos de los que no lo son, por la acción de imanes ya sean naturales o inducidos.

La selección de un separador magnético adecuado para un fin, es determinado por las características del material a ser tratado ( tamaño, forma, comportamiento magnético, estado seco o mojado, etc.), y la manera en la cual es manejado el material. La función de los separadores magnéticos es la separación de partículas ferromagnéticas de las no magnéticas y la separación selectiva de los materiales magnéticos débiles que pueden ser obtenidos bajo condiciones adecuadas de alimentación.

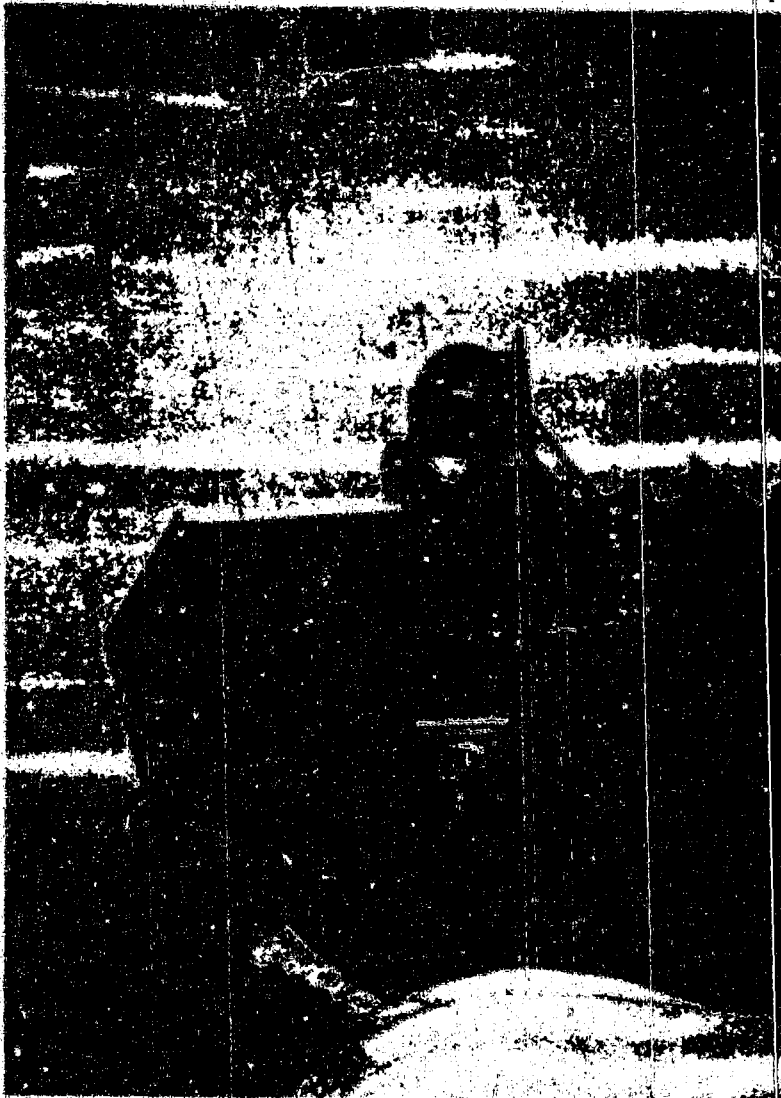
El funcionamiento de un separador magnético no puede ser pronosticado solo con base al valor de la atractividad, las pruebas de laboratorio son comunmente usadas para determinar la posibilidad de la separación magnética y el tipo de separador magnético más adecuado para una aplicación específica.

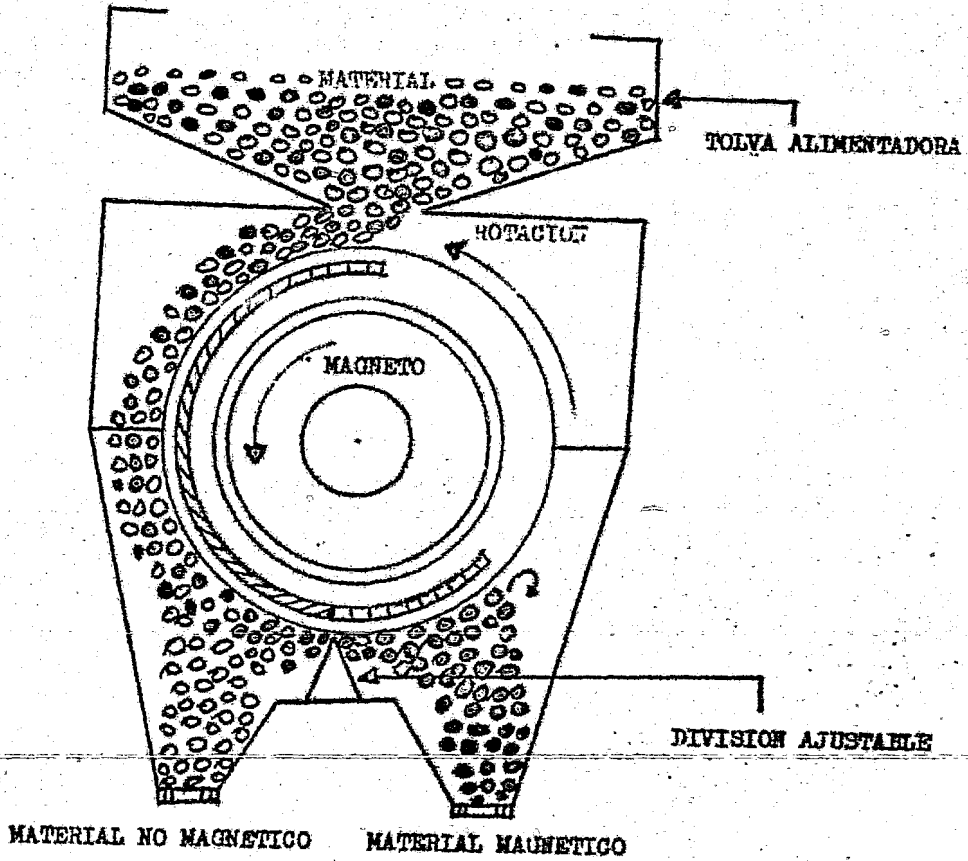
En unión con la susceptibilidad magnética de un material hay otras consideraciones que influyen en la selección del separador como son la potencia de aplicación del campo magnético, el tamaño necesario del entre hierro para producir el campo, el tiempo que la partícula debe estar sometida al campo y las especificaciones mecánicas del separador magnético considerado.

De acuerdo a las características que presentaban las arenas de playa y tomando en cuenta lo anterior, se consideró el separador magnético de tambor de baja intensidad marca ERIZ, debi

do a su gran confiabilidad y bajo costo de operación y mantenimiento.

El separador magnético consta de un tambor de 35 cm de diámetro que gira a 68 R.P.M., de un motor de 440/220 volts y 1.1/2.2 ampers; la potencia de este es de 1/2 HP. El separador magnético permite separar material magnético del no magnético a una capacidad de 24 Kg/Hr. de material. Este equipo tiene además una tolva la cual recibe el material que ha de pasar por el campo magnético. La salida del material de la tolva puede regularse fácilmente ya que tiene una parte fija y una móvil.





SEPARADOR MAGNETICO



### 2.3 Descripción y Operación de la mesa Wilfley

La mesa wilfley es utilizada como método de separación en aquellas menas en las que se tiene una diferencia notable en el peso específico de los minerales que la constituyen. - Al someter una mena a la separación gravimétrica por mesa --- wilfley, se tendrán al final tres productos, uno con gravedad específica alta llamado concentrado, otro con gravedad específica media llamados medios y un tercero con una gravedad específica baja que se llaman productos ligeros.

La mesa consiste de una tabla rectangular recubierta con un linóleo, sobre el cual se encuentran dispuestos longitudinalmente una serie de travesaños llamados "rifles", los cuales cubren dos tercios de la superficie. La mesa tiene un mecanismo para efectuar un movimiento longitudinal asimétrico el cual es lento hacia adelante y rápido hacia atrás. ~~La mesa puede inclinarse en forma perpendicular al movimiento.~~

Las variables que intervienen en la separación gravimétrica se caracterizan por los siguientes efectos:

- Efecto del flujo de agua
- Efecto de la pendiente
- Efecto del movimiento asimétrico
- Efecto de los rifles
- Efecto del tamaño de partícula
- Efecto de la alimentación

### Efecto del flujo de agua

Al someter un mineral a una corriente de un fluido en una pendiente, se tiene una clasificación de partículas sobre la pendiente, la cual muestra las partículas más ligeras y pesadas. En la parte superior, siguiéndole en orden descendente una mezcla de partículas gruesas pesadas y finas ligeras, y luego las partículas gruesas.

Esto se debe a que una película de fluido corriendo pendiente abajo imprime un arrastre sobre las partículas que se hayan sobre la pendiente, siendo mayor el arrastre sobre las partículas que se encuentran más cercanas a la interfase fluido-aire, además de que las partículas con mayor gravedad específica por efecto de la misma tienden a irse al fondo de la película y por lo mismo sujetas a mayor fricción y por lo tanto a menor arrastre.

### Efecto de la pendiente

Al tener partículas minerales sobre una superficie horizontal, estas estarán estáticas, pero al dar una cierta pendiente a esta superficie se iniciará el movimiento de las partículas, siendo las primeras en moverse las de menor gravedad específica y de menor tamaño. Teniendo también influencia sobre el movimiento la forma de la partícula ya que partículas esféricas no cumplen estrictamente con lo anterior.

### Efecto del movimiento asinétrico

~~El movimiento recíprocante de la mesa permite un avance longitudinal de las partículas sobre ella siendo mayor su efecto sobre las partículas más pesadas que son las que tienen contacto con la mesa y que por lo mismo son las menos afectadas por el flujo. La longitud del avance está en relación al porcentaje del material pesado, teniendo a porcentajes bajos un avance corto para permitir un mayor flujo de partículas ligeras en forma descendente.~~

### Efecto de los rifles

Entre los espacios formados entre rifle y rifle se forman canales los cuales tienen por objeto la clasificación de partículas tanto por tamaños como por gravedad específica, quedando en el fondo las de menor tamaño y mayor gravedad específica.

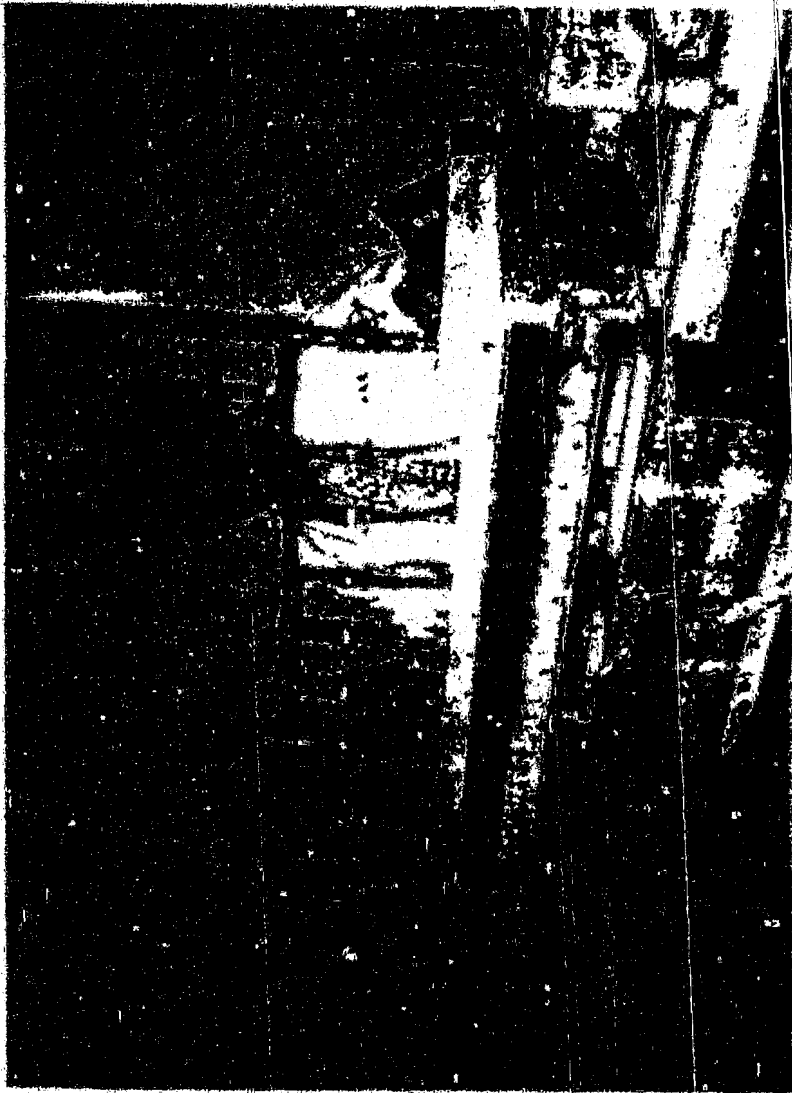
### Efecto del tamaño de partícula

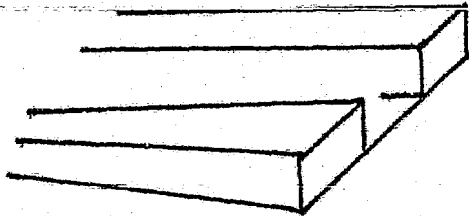
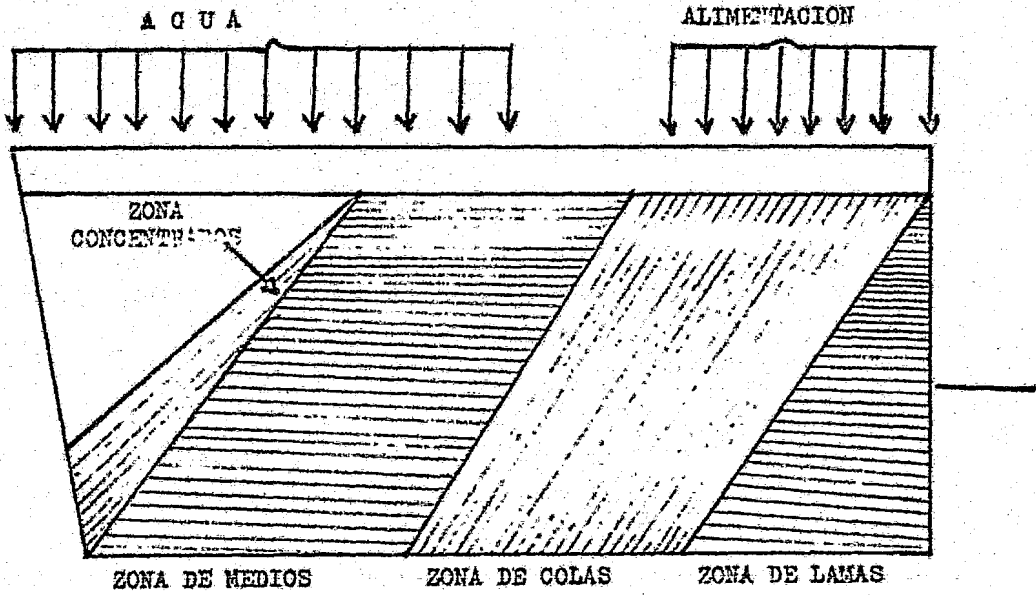
Para una concentración eficiente el rango de tamaño de las partículas debe ser homogéneo ya que de no ser así se tendrían pérdidas de partículas o clasificación. El tamaño mínimo de partícula debe ser mayor a 200 mallas y el tamaño máximo no debe exceder  $1/3$  del ancho del canal formado por los rifles.

### Efecto de la alimentación

Una de las variables importantes a controlar dentro de una separación gravimétrica, sin duda alguna, es la del efecto que produce una irregularidad en la alimentación.

La alimentación tiene que estar perfectamente bien controlada porque en caso contrario esto repercutiría en la separación de algún material deseado, es decir, al momento de estar alimentando una pulpa de mineral se debe de hacer en forma continua y regularmente y no lo contrario.





DISPOSICION DE  
LOS RIFLES

MESA WILFLEY

### 2.3 Descripción del separador electromagnético

El separador electromagnético consiste fundamentalmente - de un rectificador de corriente, el cual convierte corriente alterna en corriente directa; de un réostato el cual permite variar la intensidad que es alimentada a un electroiman que está formado por un núcleo de hierro F y un embobinado de cobre en éste M (ver figura 2).

Este equipo de concentración electromagnética posee además un anillo de separación, el cual está formado por 36 celdas rectangulares las cuales están empacadas con regillas de acero inoxidable expandido y muchos bordes puntiagudos que sirven para aumentar la superficie de contacto magnético, además de preservar magnetismo remanente al salir de la zona de influencia del electroiman.

El giro del anillo se efectúa mediante un moto-reductor de velocidad variable, siendo ésta un factor a controlar que depende de las características del material en estudio.

Una vez que el material ha pasado por el campo magnético los productos obtenidos son descargados en una charola colectora que está formada por 8 compartimientos en los que se separan básicamente tres productos al ir girando el anillo y que son: magnéticos, medio magnéticos y no magnéticos, estos productos separados se reciben en unas tolvas para su estudio posterior.

El equipo está diseñado para trabajar en forma continua con una capacidad de 500 lb/Hr. (225 kg/Hr.) con pulpas de diferente % de sólidos recomendándose trabajar en un renglón o rango de 20-30 % de sólidos.

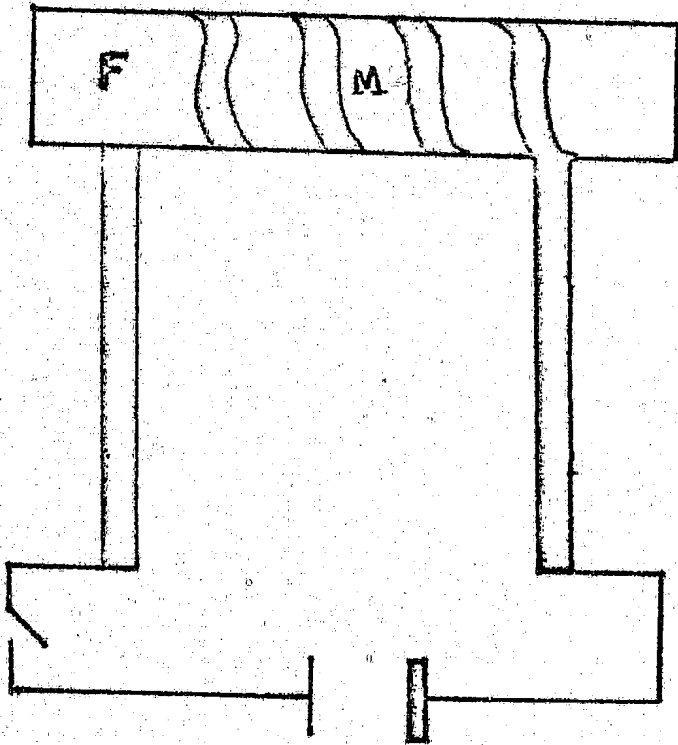


FIGURA No. 2

La limpieza del material que se encuentra en el anillo se hace mediante un expreado de agua a presión la cual es regulada mediante una válvula de control. Tomando en cuenta que el gasto de este líquido es elevado se penso en un sistema cerrado para poder recuperar el agua utilizada en todo el proceso.

Las especificaciones a el fabricante de la unidad son las siguientes:

Regulador automático de voltaje ( 15 KVA )

Primario

240 volts

46 ampers

Secundario

220 volts

39 ampers

Unidad de control

Voltaje de entrada..... 120 C.A

Voltaje de salida..... 0-120 C.D

Amperaje de entrada..... 39.1

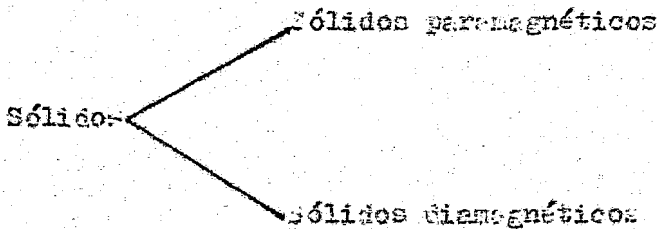
Amperaje de salida..... 34.0

El voltímetro tiene un rango de variación de 0-150 C.C  
y el amperímetro de 0-15 C.C.

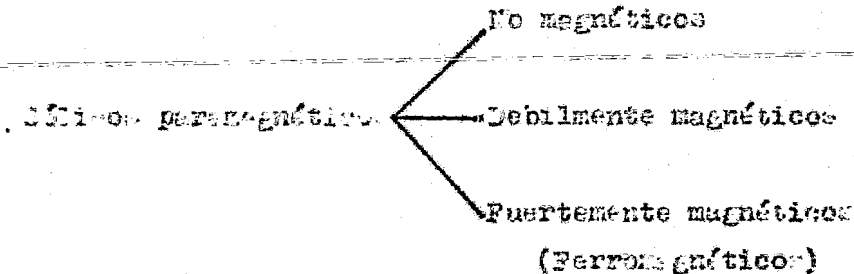


## 2.4 Operación del separador electromagnético

Al colocar un sólido bajo un campo electromagnético puede ser atraído o repelido por éste, lo que nos dice que los sólidos pueden ser clasificados en dos grupos:



Los sólidos paramagnéticos son atraídos por un campo magnético, mientras que los segundos no son atraídos por éste. A su vez los sólidos paramagnéticos se clasifican de la siguiente forma:



De lo anterior se desprende que los separadores electromagnéticos son uno de los mecanismos que se pueden usar para separar materiales magnéticos y débiles magnéticos de los no magnéticos aprovechando las propiedades físicas de estos, como son la susceptibilidad magnética por ejemplo. (ver tabla 6 y 7 )

Table No. 6Unconcentrated Minerals in Sample 133Paramagnetic

<u>Line 1</u>	<u>Unconcentrated</u>
Ilmenite	103.000
Magnetite	7.000
Franklinite	13.000

Magnetic Minerals

Ilmenite	9.133
Pyrochlore	0.490

Nonmagnetic Minerals

Quartz	0.757
Siderite	0.743
Goethite	0.687
Leucosiderite	0.314
Corundum	0.261
Isopolucite	0.243
Calcite	0.197
Barite	0.178
Tronzoite	0.149
Pyrite	0.119
Hellandite	0.113

<u>Mineral</u>	<u>Susceptibilidad</u>
Wolframita	0.105
Apatita	0.093
Bornita	0.067
Cerussita	0.057
Dolomita	0.057
Malachita	0.054
Calcopirita	0.051
Cinabrita	0.038
Celetita	0.038
Galena	0.033
Yeso	0.033
Chalcopyrita	0.033
Fluorita	0.032
Agita	0.027
Horblenda	0.025

Dispersión de la luz

Pirita	0.022
Sulfocinabrita	0.022
Asfolemita	0.022
Stibnita	0.022
Criolita	0.019
Agita	0.019
Quercita	0.0096
Asfolemita	0.0096
Rutilo	0.0034

<u>Mineral</u>	<u>Susceptibilidad</u>
Ortoclasa	0.0032
Cobaltita	0.0023
Sirocón	0.0002
<u>No magnéticos</u>	
Calcita	-0.0004
Halita	-0.0004
Cuarzo	-0.0005
Antimonio nativo	-0.0023
Agatita	-0.0034
Argonita	-0.0041
Grafito	-0.0330

Tabla No. 7Susceptibilidad Magnética relativa

(Después de Davies)

Fuertemente magnéticos

<u>Mineral</u>	<u>Atractividad magnética</u> <u>relativa</u>
Hierro (base)	100.00
Magnetita	40.18
Franklinita	35.33
Ilmenita	24.70

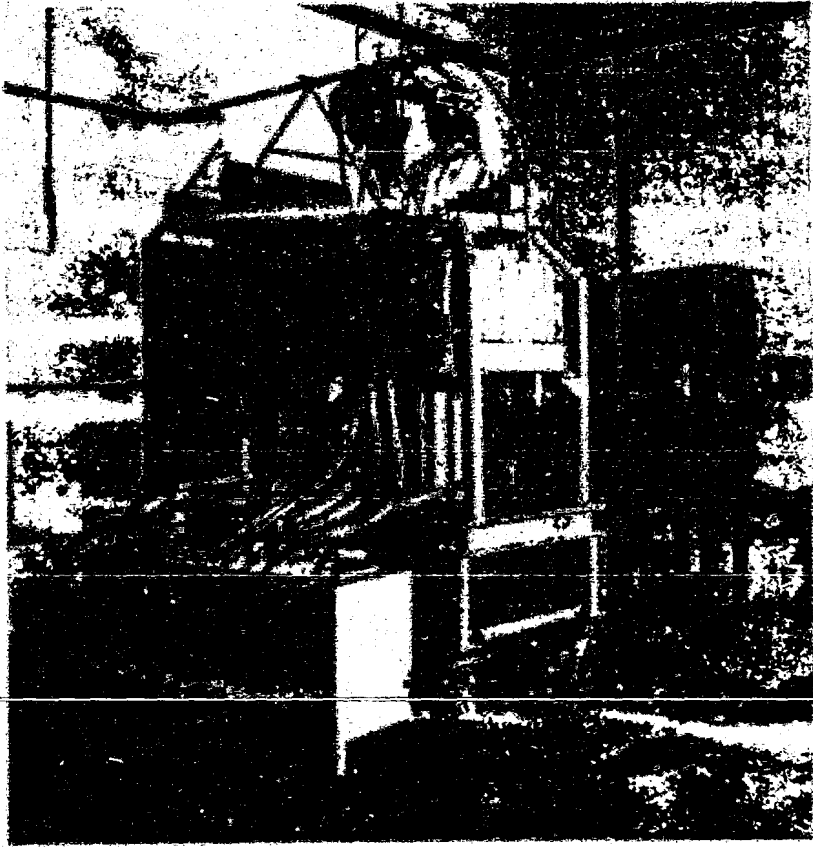
Debilmente magnéticos

Pirrotita	6.69
Siderita	1.32
Hematita	1.32
Sircón	1.01
Idronita	0.84
Corundo	0.83
Picrolita	0.71
Manganita	0.52
Stilpnita	0.51

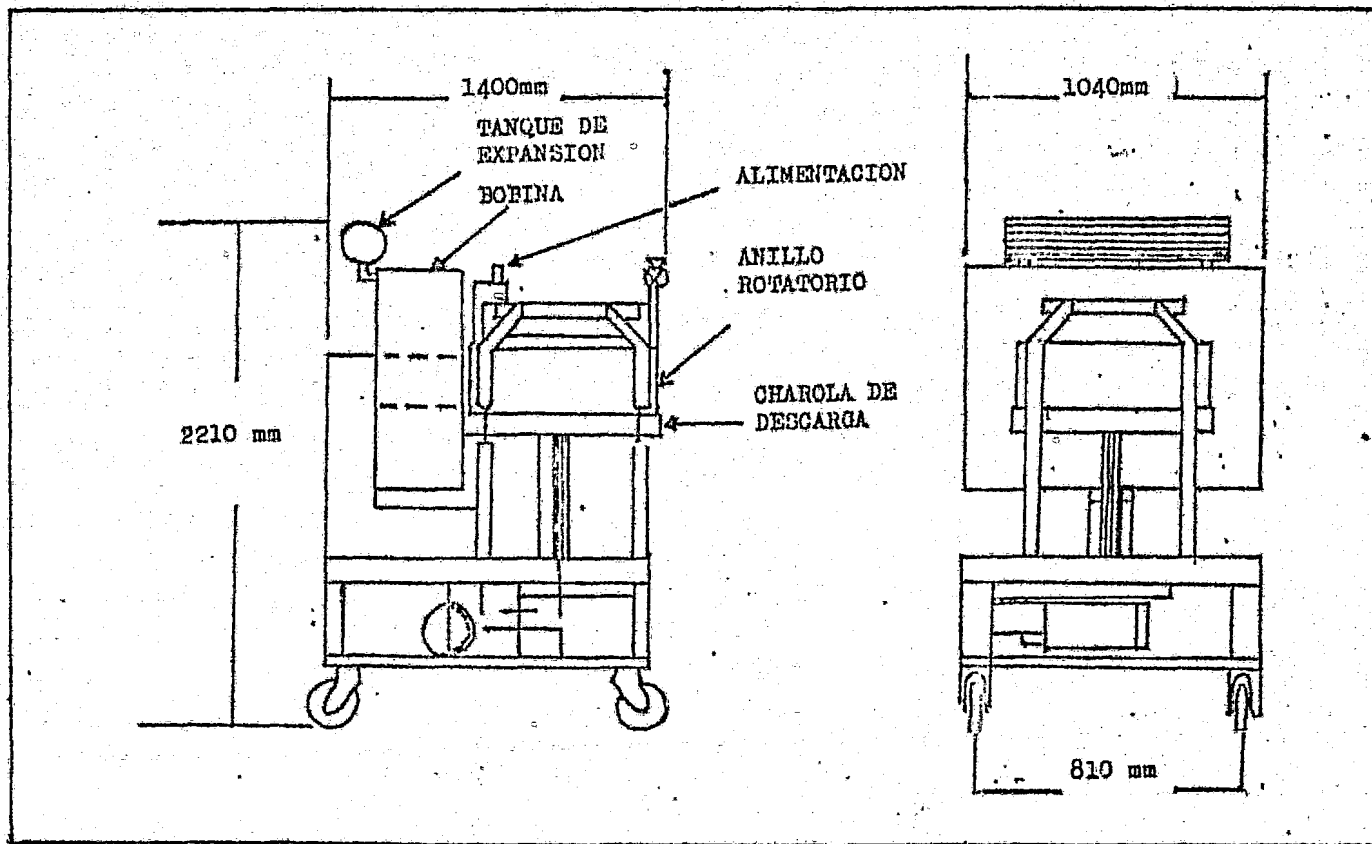
No magnéticos

Granate	0.40
---------	------

<u>Mineral</u>	<u>atractividad magnética</u> <u>relativa</u>
Quarzo	0.37
Rutilo	0.37
Cornioita	0.30
Mercurioita	0.78
Argentita	0.27
Oropimento	0.24
Libioita; Sulfuro de plata	0.23
Niobioita	0.23
Dolomita	0.23
Wernerita	0.21
Apatita	0.21
Tetrahedrita	0.21
Talco; Magnesita	0.15
Arsenopirita	0.15
Calcopirita	0.14
Yaso	0.12
Fluorita	0.11
Zincita; Celestita	0.10
Cinabrio	0.10
Calcocita	0.09
Cuprita	0.09
Smithsonita	0.07
Ortocloro; Feldspato	0.05
Oriolita; Esmeralda	0.05
Calcita	0.03







SEPARADOR ELECTROMAGNETICO

## 2.5 Descripción y operación de la celda de flotación

El proceso de flotación es un método físico-químico que consiste en la separación de minerales finamente molidos.

La flotación de un mineral comprende el tratamiento químico de una pulpa de este mineral que se desea flotar. Esto se logra a través de promotores o colectores, que son los que imparten a los minerales una superficie repelente al agua o que produce una película hidrofóbica que se adhiere a las burbujas de aire. Estas burbujas de aire llevan consigo los minerales seleccionados a la superficie y forman una espuma estabilizada que es recogida mientras los otros minerales permanecen sumergidos en la pulpa.

La separación por flotación puede explicarse a cualquier mezcla de partículas que se hallen esencialmente libres -- una de otra y que sean lo suficientemente pequeñas para ser elevadas por burbujas de gas ascendente.

El proceso de flotación está definido por las siguientes etapas:

- 1.- Moler el mineral a un tamaño suficientemente fino para separar los minerales valiosos uno de otro, así como los minerales de ganga adherentes.
- 2.- Provocar condiciones favorables para la adherencia de los minerales deseados a las burbujas de aire.
- 3.- Provocar una corriente ascendente de burbujas de aire en la pulpa del mineral.
- 4.- Formar una espuma cargada de mineral en la superficie de la pulpa.
- 5.- Extraer la espuma cargada de mineral

La molienda del mineral a un grado de finura necesario - para la liberación de los valores de la ganga es de gran importancia ya que el grado de concentración y recuperación del mineral depende de este proceso. En la práctica la molienda no se lleva a la liberación completa de los minerales que forman la mena, sino solamente a un límite económico donde el costo de una mayor molienda excediera el valor de los minerales liberados y consecuentemente recuperados. La creación de un medio-flotante (burbujas de aire) se efectúa por medio de una máquina de flotación en las cuales las burbujas se producen por la agitación mecánica de la pulpa o por la introducción directa del aire a presión, o ambas formas.

Los reactivos más comunmente usados así como su función dentro del proceso de flotación son los siguientes:

COLECTORES.- Un colector o promotor es un reactivo químico empleado en la recuperación de minerales de una mena. Son muchos los compuestos químicos que podrían ser incluídos bajo esta descripción, pero los más comunes comercialmente son los xantatos, ditiofosfatos, mercaptanos, sulfonatos de petróleo, ácidos grasos, ácido oleico y aminas. Estos colectores se adhieren selectivamente a las partículas de mineral molido, proveendo la superficie hidrofóbica requerida para el contacto en la interfase de la burbuja.

Cuando una mena es molida, cada una de las múltiples partículas fracturadas que quedan separadas poseen una energía superficial, que se calcula ser igual a la energía requerida en su separación. Estas superficies, recientemente expuestas, pueden considerarse activas y receptoras (por medio de la adsorción) a otras moléculas. El uso del agua al moler, reduce la presencia de gases atmosféricos (como el oxígeno) que, si fueran adsorbidas antes que el reactivo, podrían formar una primera capa en la superficie del mineral impidiendo el contacto subsecuente de otras moléculas.

Entonces para poder flotar con éxito, se tendrá que añadir un reactivo a la pulpa que promoverá esta adsorción y proveerá la capa de moléculas especiales que se adherirán firme y selectivamente a la superficie del mineral.

Los reactivos de flotación probablemente no cubren la superficie del mineral completamente, sino que la cubren en forma de parches. Así se mantiene cierta energía superficial para el adherimiento de burbujas y la flotación.

Los minerales inanesos no quedan cubiertos con el reactivo. Los minerales de la ganga se mojan rápidamente, perdiendo su energía al adsorber las moléculas de agua.

La energía tan débil que le queda no le permitirá adherirse a una burbuja. Estas partículas húmedas se mueven con la fase del agua, no hacia arriba con la espuma.

Cuando se añaden agentes modificantes a un circuito para comportamiento de flotación en general está más relacionado al material primario y a la estructura química producida en el compuesto de la reacción final.

DEFINICIÓN.— El sistema de flotación es un método de concentración de minerales, en el cual una capa de espuma es el medio de separación. Esta capa de espuma recoge y separa los minerales valiosos de los espesantes inútiles de una mena.

El agua tiene una tensión superficial, más alta que cualquier otro líquido (a excepción de los metales líquidos, como el mercurio). Entonces, cualquier producto líquido que se añade al agua tendrá el efecto de reducir esta tensión superficial. Cuando un espesante, con una menor tensión superficial, se añade a una pulpa, la solución resultante deberá tener una tensión superficial igual a la del agua sola. Las moléculas de agua tienen entre ellas una atracción mayor que la que existe en la solución entre el espesante y el agua. Las moléculas del espesante responden a esta condición y son atraídas hacia la superficie en contacto con el aire, creando una película que estabiliza la burbuja.

Se pueden considerar que los espesantes forman moléculas alargadas, cuyas dos extremidades tienen propiedades opuestas; un extremo no-polar que tiene un radical de hidrocarburo y repele el agua llamado extremo hidrofóbico.

El extremo polar es un hidróxilo, OH, y éste busca la fase agua; se le llama extremo hidrofílico.

La producción de una espuma adecuada, que sea estable y selectiva, es importante en todas las operaciones de flotación.

El espumar significa producir gran cantidad de burbujas en la mezcla, y el recolectarlas, cargadas de mineral, en la superficie de la pulpa. Esta operación se realiza introduciendo un espumante a la mezcla agitada.

AGENTES MODIFICADORES.— En una operación de flotación los minerales se comportan de una manera característica para cada mena. Para modificar y normalizar este comportamiento, se usan productos químicos clasificados, de manera general, como Agentes modificadores. Estos productos químicos se han dividido convenientemente en tres clases generales: (1) Agentes reguladores y dispersores, (2) Agentes activadores y (3) Agentes depresores.

AGENTES REGULADORES Y DISPERSORES.— La reacción de los reactivos incluidos en este grupo es la de controlar la alcalinidad o acidez y, además contrarestrar el efecto interferente detrimental en las lamas, los coloides y las sales solubles.

En la mayoría de las operaciones de flotación para el tratamiento de menas sulfurosas, así como para muchas menas no-metálicas, se usan circuitos alcalinos o neutros. En casi todas las operaciones de flotación se obtienen los mejores resultados cuando se mantiene el pH dentro de cierto margen. Por esta razón es de mucha importancia controlar el pH apropiado. Los reactivos que comúnmente se usan para ajustar el pH son cal y carbonato de sodio para aumentar el pH o la alcalinidad; ácido sulfúrico, y a veces ácido sulfuroso, que acidifica la pulpa o reduce el pH y la alcalinidad. Ocasionalmente se usa sosa cáustica para incre-

mentar el pH.

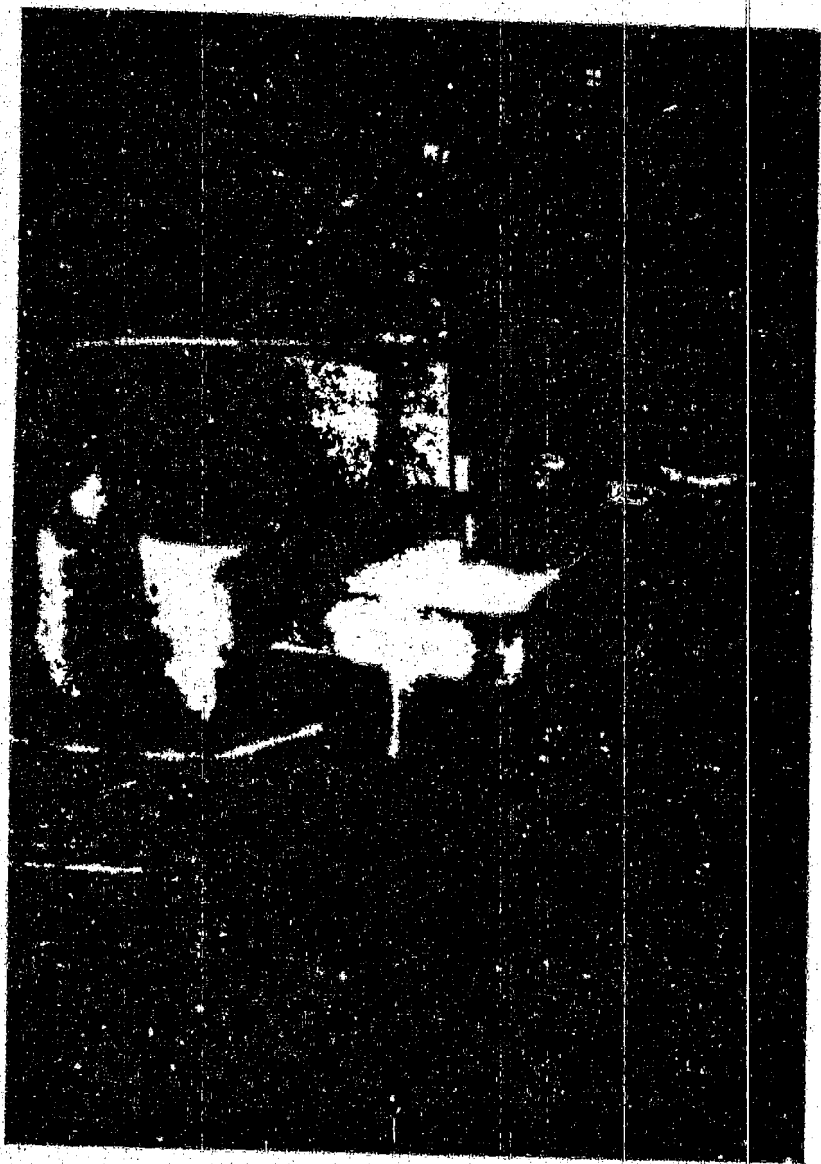
Como agentes controladores de lamas y de la ganga se usan, aún cuando con poca frecuencia, agentes reguladores tales como silicato de sodio, sosa cáustica, depresante ALK0 610, fosfatos, reactivo AEROFLOC 550 y antiprecipitante CY-UEST 3223. Todos estos reactivos ayudan a la selectividad produciendo una acción dispersora o floculadora en las lamas y coloides, reduciendo así la tendencia que tienen los coloides y lamas de absorber y interferir con la formación de películas sobre la superficie de las partículas de minerales en la mena.

Otros compuestos conocidos bajo el nombre general de secuestrantes, tienen propiedades interesantes para operaciones de flotación y lixiviación a través de su habilidad para secuestrar o formar quelatos con los iones metálicos interferentes. Su uso ha sido muy limitado en la concentración de minerales debido a su costo elevado y a las cantidades relativamente grandes que se requieren para que sean efectivos.

AGENTES DEPRESORES - Los agentes depresores ayudan a separar un mineral de otro cuando la flotabilidad de los dos minerales a ser separados es similar entre sí con respecto a cualquier promotor o combinación de promotores. Antes del desarrollo de los depresores específicos, era imposible separar mediante flotación-espuma, los minerales que poseían flotabilidades iguales o similares con respecto a cualquier combinación promotor-espumante. Además de la cal que funciona como regulador del pH y también como depresor, el otro reactivo más ampliamente usado como depresor es el cianuro, tanto en la forma de Cianuro marca ALK0, como cianuro de sodio. El cianuro se usa para separar la galena de la esfalerita y pirita, así como también separar sulfuros de cobre de la galena, sulfuros de cobre de pirita, y sulfuro de níquel.

AGENTES ACTIVADORES.— Los productos químicos de este grupo se usan para realizar la flotación de ciertos minerales que normalmente son difíciles o imposibles de flotar con el solo uso de promotores y espumantes. El ejemplo clásico de este tipo de reactivo es el sulfato de cobre que se usa para activar esfalerita y marmatita, los sulfuros de hierro y, en algunos casos, la arsenopirita. Otros ejemplos incluyen ácido sulfhídrico o sulfuro de sodio para cubrir con una película sulfurosa los minerales constituidos por carbonato de plomo y cobre; al nitrato de plomo para mejorar la flotación de varios minerales no metálicos con promotores del tipo ácido graso; al cloruro de aluminio para flotación de mica con promotores del tipo catiónico; y al cianuro para mejorar la recuperación de minerales lamosos de zinc.





### III EXPERIMENTACION

Después de hacer un estudio minucioso de los depósitos de arenas detríticas en las costas Mexicanas, se encontró que estos tenían minerales tales como cromita, ilmenita, zircón y magnetita, acompañados de cuarzo, epidotas, piroxenas y feldespatos.

Tomando en cuenta que los minerales de cromo, titanio, y zirconio se importan, se pensó en hacer un estudio detallado para valorar los depósitos y además diseñar un proceso de separación de los componentes mineralógicos citados anteriormente.

La secuencia a seguir en el estudio de las arenas detríticas se planteo de la siguiente forma:

- Muestreo de la zona y preparación de muestras
- Análisis químico
- Tratamiento del compuesto
- Determinación de peso volumétrico y tonelaje del yacimiento
- Análisis mineralógico
- Estimación de contenido
- Análisis granulométrico
- Pruebas de separación

### 3.1 Muestreo de la zona y preparación de muestra

El muestreo realizado se hizo detalladamente sobre un área de 5.500 km de longitud y 100 metros de ancho marcando puntos a 100 metros uno de otro.

De cada punto de muestreo, se tomaron muestras de 3 kg a una profundidad de 1 metro. Esto se realizó con muestreadores de mano Auger. El volumen muestreado fue de 550,000 metros cúbicos (5500 x 100 x 1 mts).

Las muestras que se colectaron en el campo se trasladaron al laboratorio para su procesamiento en forma siguiente: Las muestras anteriormente mencionadas fueron secadas en una estufa de calefacción directa.

Una vez secas las muestras, se formó un compósito para pruebas generales. Este compósito se cuarteo perfectamente hasta obtener una muestra representativa, posteriormente se molio a -200 mallas para su análisis químico.

### 3.2 Análisis químico

Para el análisis químico se tomó una muestra representativa del compósito y se molio hasta un tamaño de 74 micras (-200 mallas) para obtener una buena liberación de partículas y tener por consiguiente una mayor eficiencia en el ataque de la muestra.

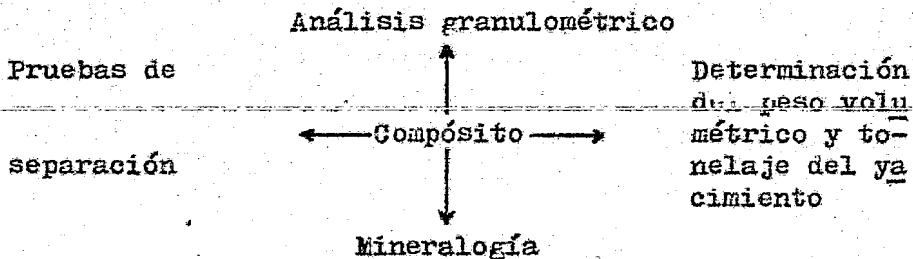
Los análisis químicos de cromo, titanio y zirconio --  
dieron las siguientes leyes:

Minerales:	% $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$	% $\text{TiO}_2 \cdot \text{FeO}$	% $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$
Leyes	3.88	7.56	1.43

### 3.3 Procesamiento del compuesto

El propósito de haber formado el compuesto fue para -  
hacer pruebas generales tales como análisis granulométrico  
para saber el tamaño de partícula predominante y la minera-  
logía de las arenas para conocer los componentes mineraló-  
gicos contenidos en estas.

Con el compuesto formado se planeo efectuar las sigui-  
entes pruebas de acuerdo al siguiente diagrama:



### 3.3.1 Determinación del peso volumétrico y tonelaje del yacimiento

Para hacer la determinación del peso volumétrico y tonelaje del yacimiento se uso una caja de  $1 \text{ dm}^3$ ; esta caja se lleno de arena y se determinó su peso, obteniendose un peso volumétrico de  $2.74 \text{ ton./m}^3$ . Después de tener el P.V. y el volumen del yacimiento, fue fácil calcular el tonelaje del mismo dando 2.74 millones de toneladas.

### 3.3.2 Mineralogía de las arenas detríticas

De acuerdo a observaciones microscópicas se encontró que las especies mineralógicas y su caracterización en estas arenas fueron las siguientes:

<u>Mineral</u>	<u>Composición</u>	<u>Actractividad Magnética R.</u>	<u>Densidad</u>	<u>Dureza</u>
Magnetita	$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	40.10	5.2	6.0
Ilmenita	$\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$	24.70	5.1	6.0
Cromita	$\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	-	4.5	5.8
Zircón	$\text{ZrSiO}_4$	1.01	4.7	7.5
Granate	$\text{Fe}_3\text{Al}(\text{SiO}_4)_3$	0.40	3.5	7.0
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	0.37	2.65	7.0
Epidota	$\text{Ca}(\text{AlOH})(\text{AlFe})_2(\text{SiO}_4)_3$	-	3.4	6.5
Piroxena	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Fe})_2(\text{SiO}_3)_2$	-	3.1	6.5

### 3.3.3 Contenidos estimados en el yacimiento

Teniendo en cuenta que los minerales de titanio, zirconio y cromo son la Ilmenita, Zircón y Cromita respectivamente se penso en hacer una estimación de los contenidos de estos minerales con los datos del análisis químico y mineralógico.

	<u>Ilmenita</u>	<u>Cromita</u>	<u>Zircón</u>
Volumen(M <sup>3</sup> )	550,000	550,000	550,000
Densidad(Ton/M <sup>3</sup> )	2.74	2.74	2.74
Peso(Ton)	1,507,000	1,507,000	1,507,000
Ley(%)	7.56	3.88	1.43
Contenidos(Ton)	11,392,920	5,847,160	2,155,010

### 3.3.4 Análisis granulométrico

Para conocer la distribución granulométrica de las arenas se hizo un tamizado sobre las mallas 20,40,60,80,100,150,200. Los resultados siguientes son producto de este análisis de mallas, en el cual se tomó un tamaño de muestra de un Kg. y un tiempo de tamizado de 15 minutos.

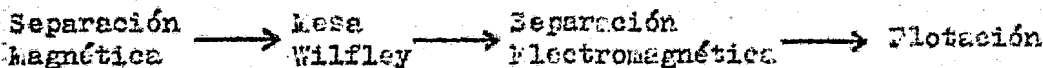
<u>No. malla</u>	<u>Tamaño en micras</u>	<u>% en peso</u>	<u>% Acumulativo</u>
+20	+840	0.12	0.12
-20 +40	+420	1.45	1.57
-40 +60	+250	10.27	11.84
-60 +80	+177	19.70	31.51
-80 +100	+150	32.81	64.35
-100 +150	+100	16.80	81.95
-150 +200	+74	15.80	96.75
-200	-74	2.95	99.70

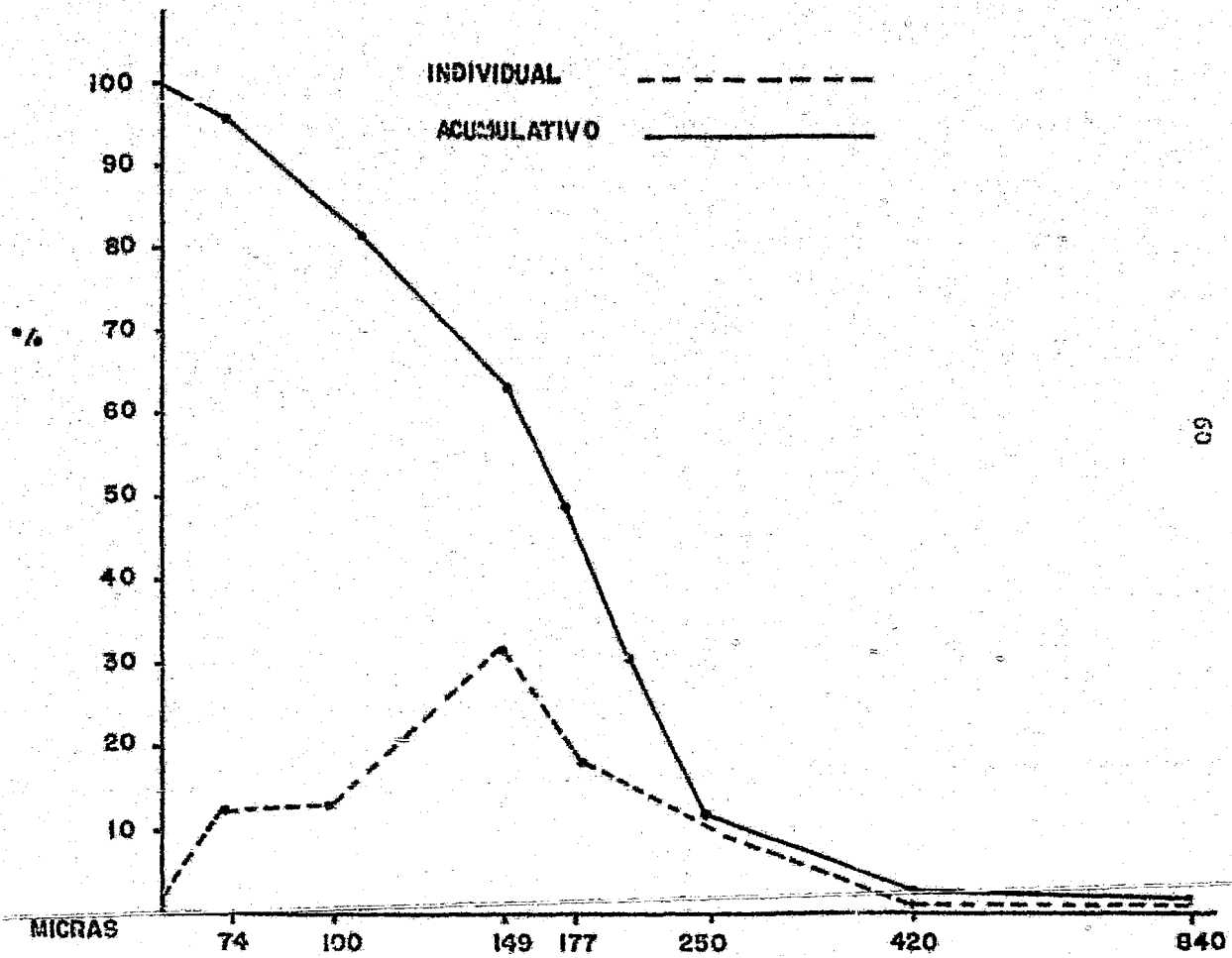
Gada una de las fracciones anteriores se observaron en el microscopio notandose una mayor concentración de los minerales pesados en las fracciones menores a 80 mallas. Los minerales pesados fueron identificados de acuerdo a las características que presenta cada uno de ellos bien definidas como por ejemplo el color y la cristalización entre otras. Además en el caso del zircón fue identificado con la lampara ultravioleta de onda corta.

Todo lo anterior se puede explicar mejor con la gráfica elaborada de acuerdo al análisis granulométrico efectuado y que se puede apreciar en la siguiente página.

### 3.3.5 Pruebas de separación

Para efectuar el presente estudio, se consideró por las características de los minerales de valor que era factible utilizar un método magnético-gravimétrico con el fin de obtener un concentrado (de alta densidad con todos los valores) "Bulk" que permitiera disminuir el tonelaje a manejar en los pasos siguientes. Para tal fin se eligió el separador magnético de intensidad permanente y la mesa Wilfley. Como método de separación selectiva, las alternativas fueron separación electromagnética y/o electrostática apoyándose en el proceso de flotación; sin embargo, se optó por la separación electromagnética-flotación tal y como se muestra a continuación:



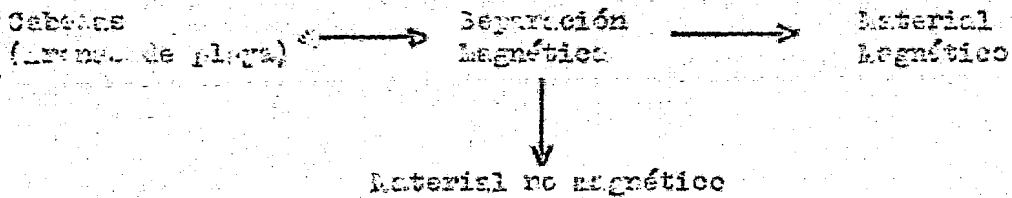




### 3.3.5.1 Separación magnética

La finalidad de la siguiente prueba fue separar la magnetita (contenida en la arena) de la ilmenita, cronita y zircón; a la vez disminuir el tonelaje de material para facilitar el manejo en los procesos siguientes.

Fijadas las condiciones de la separación magnética, se procedió a hacer una prueba de campo. Se obtuvo el material magnético y por el otro material no magnético como puede observarse en el diagrama que a continuación se muestra:



Para saber la efectividad de la prueba, se analizaron los productos obtenidos y se elaboró un balance metalúrgico, dándose buenos resultados de acuerdo al objetivo planteado en la prueba de separación magnética.

BALANCE METALURGICO  
SEPARACION MAGNETICA

Tamaño de muestra 171.980 Kg.			L E Y E S %			C O N T E N I D O S %		
			3.88	7.56	1.43			
Ley de cabezas								
	Peso Kg.	Peso %	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeTiO <sub>3</sub>	SiZrO <sub>4</sub>	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeTiO <sub>3</sub>	SiZrO <sub>4</sub>
Magnéticos	6.020	3.50	0.50	15.20	0.90	0.02	0.61	0.036
No Magnéticos	165.900	96.49	4.00	7.60	1.40	<del>3.88</del>	7.33	1.350
Ley calculada						<u>3.87</u>	<u>7.49</u>	<u>1.386</u>

### 3.3.5.2 Separación gravimétrica (Mesa Wilfley)

El objetivo trazado en esta prueba de separación fue el de obtener un concentrado "Bulk" conteniendo cromita, Ilmenita y zircón, partiendo del mineral no magnético obtenido en la separación magnética anterior. Otro de los objetivos trazados en esta prueba fue el de eliminar el material ligero que contenían las arenas como el granate, piroxenas, epidotas y sílice.

La separación gravimétrica se efectuó en una Mesa Wilfley de laboratorio de las siguientes características:

#### Mesa Wilfley Denver No. 13

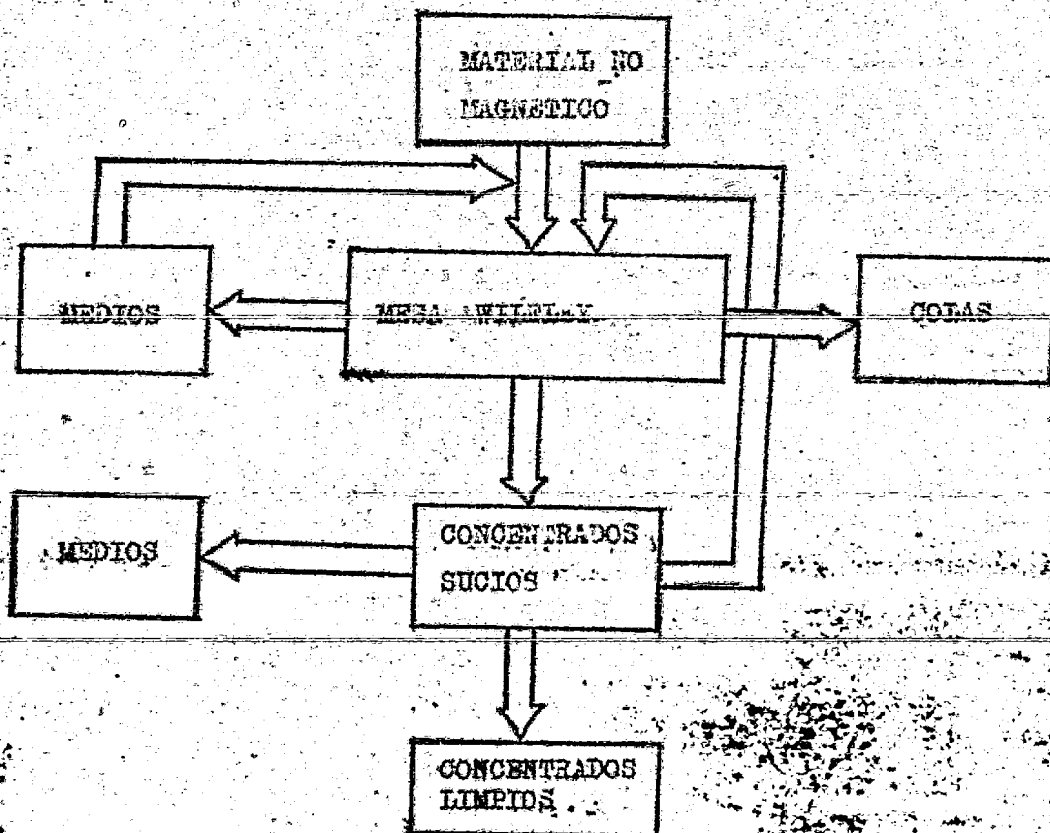
Capacidad	0-10 Kg/Hr
Motor	0.25 H.P.
Longitud	100 Cm
Ancho	36.5 Cm

Las variables de la mesa se ajustaron a las condiciones siguientes:

Angulo de inclinación	3°
Longitud de golpeo	1/2"
Número de golpes/minuto	220
Alimentación % de sólidos	10
Alimentación gramos/minuto	40

La prueba en la mesa se corrió con el producto no magnético obtenido durante la separación magnética de la forma siguiente:

El primer kilogramo se paso por la mesa wilfloy ob-  
 teniendo un concentrado sucio y colas. El concentrado su-  
 cio se limpio obteniendose un nuevo concentrado y medios.  
 Los medios se unieron al segundo kilogramo efectuando el  
 mismo procedimiento que el primero y los medios de esta se-  
 gundo Kg. se unieron al tercer Kg. y así sucesivamente con  
 los Kg. restantes, teniendo al final 3 productos: concentra-  
 dos, medios y colas. Con el análisis químico de los 3 pro-  
 ductos se efectuo el balance metalúrgico que a continuaci-  
 ón se presenta junto con el diagrama de flujo seguido.



BALANCE METALURGICO									
MESA WILFLEY									
Tamaño de muestra 165.900 Kg.	L E Y E S %					C O N T E N I D O S %			
Ley de cabezas						4.00	7.60	1.40	
	Peso Kg.	Peso %	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeTiO <sub>3</sub>	SiZrO <sub>4</sub>	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeTiO <sub>3</sub>	SiZrO <sub>4</sub>	
Concentrados	32.110	19.35	15.00	24.74	5.63	2.90	4.78	1.09	
Medios	10.100	6.04	5.28	10.64	0.26	0.31	0.64	0.01	
Colas	123.780	74.61	0.80	1.61	0.09	0.59	1.20	0.06	
Ley calculada						<u>3.80</u>	<u>6.62</u>	<u>1.16</u>	

CS

### 3.3.5.3 Separación Electromagnética

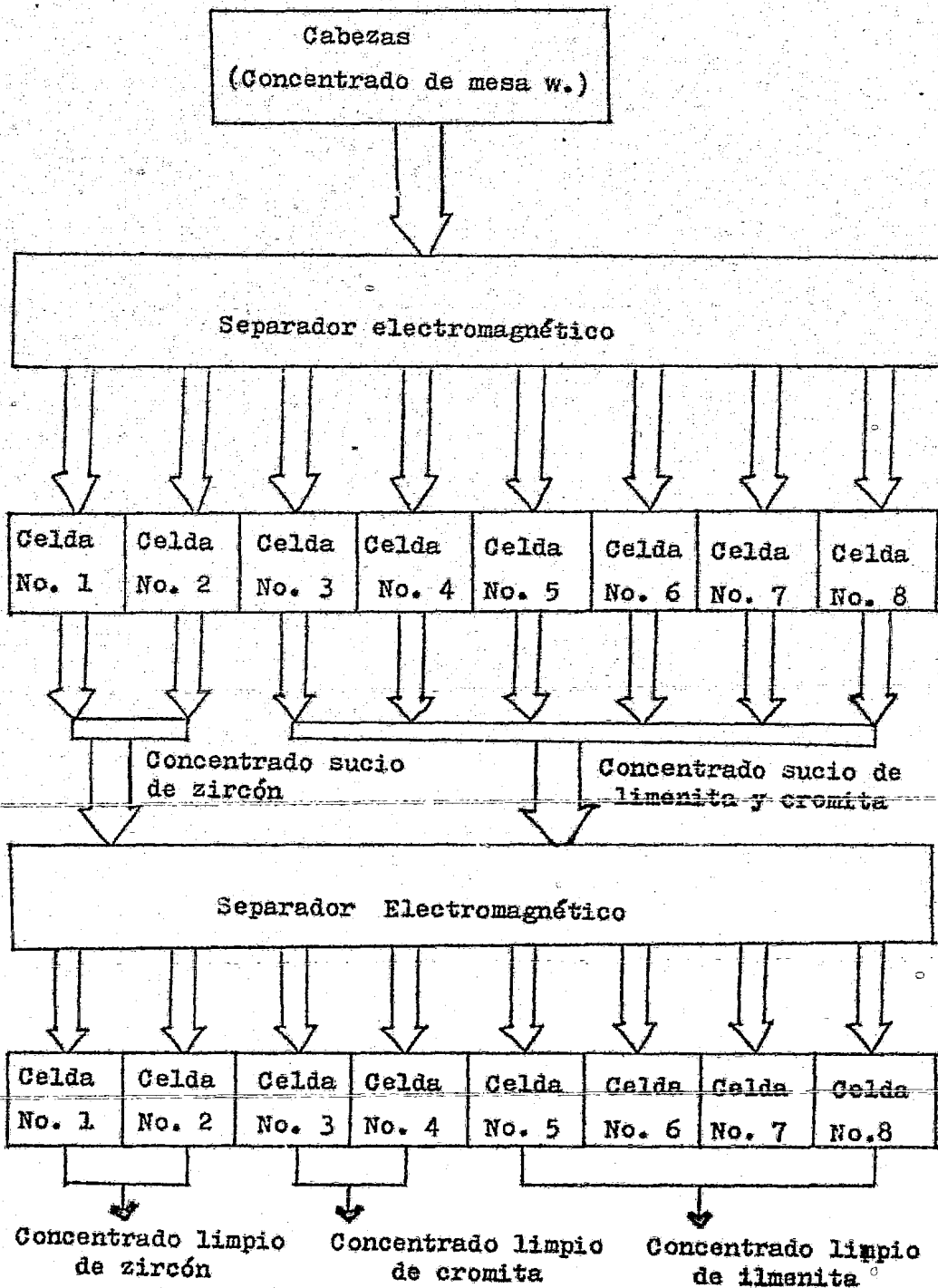
Obtenido el concentrado "Bulk" de cromita, ilmenita y zircón en la mesa wilfley, el siguiente paso fue separar completamente estos minerales, para lograr tal objetivo se usó el separador electromagnético de intensidad variable.

De las pruebas realizadas se tomó la de mejor resultados y las condiciones de operación fueron las siguientes:

- Velocidad de giro del tambor	3 R.P.M.
- Intensidad de corriente	24 AMP.
- Voltaje aplicado	83 VOLTS
- Velocidad de alimentación	10 Kg/Hr
- % de sólidos en la alimentación	20

La cantidad de material usado en la prueba de separación electromagnética fue de 32.110 Kg. Este material se pasó por el aparato obteniéndose concentrados sucios de zircón, Ilmenita y cromita por lo que fue necesario hacer una relimpia a ambos productos teniendo finalmente concentrados de zircón (principalmente), ilmenita y cromita tal y como se puede apreciar en el balance metalúrgico y diagrama siguiente.

Terminada la prueba de separación electromagnética -- cuyo objetivo fue la separación selectiva de la cromita, ilmenita y zircón; se hicieron los análisis químicos correspondientes, encontrándose que los minerales antes mencionados no estaban -- completamente separados por lo que se pensó en auxiliarse en la flotación para separarlos completamente uno de otro y a la vez -- llegar al objetivo trazado en la separación electromagnética.



**BALANCE METALURGICO**  
**SEPARADOR ELECTROMAGNETICO**

Tamaño de muestra 32.110 Kg			L E Y E S %			C O N T E N I D O S %		
			15.00	24.74	5.38			
Ley de cabezas								
	Peso Kg	Peso %	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeTiO <sub>3</sub>	SiZrO <sub>4</sub>	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeTiO <sub>3</sub>	SiZrO <sub>4</sub>
Concentrados limpios	0.463	1.443	0.707	14.364	78.493	0.010	0.207	1.137
Concentrados sucios	0.933	2.907	0.232	18.544	63.086	0.006	0.539	1.833
Medios	1.057	3.294	19.49	17.480	6.158	0.642	0.576	0.203
Celda No. 3	4.117	12.831	22.92	17.784	4.112	2.940	2.281	0.527
Celda No. 4	1.258	3.926	20.30	24.016	3.307	0.796	0.942	0.133
Celda No. 5	7.745	24.139	15.85	33.44	3.307	3.826	2.076	0.798
Celda No. 6	10.882	33.917	16.56	15.20	2.264	5.615	5.155	0.767
Celda No. 7	1.418	4.419	10.50	27.36	2.235	0.463	1.209	0.098
Celda No. 8	4.211	13.124	6.76	38.00	1.192	0.887	4.987	0.156
Leyes calculadas						15.086	23.967	5.647



#### 3.3.5.4 Separación por flotación

Continuando con el proceso de separación del zircón, ilmenita y cromita contenidos en las arenas detríticas en estudio y de acuerdo a la dificultad que se tuvo en el separador electromagnético para concentrar la ilmenita de la cromita y el zircón de estos dos minerales, se optó por aplicar el método de flotación para hacer la separación selectiva de la ilmenita, cromita y el zircón; éste último casi concentrado con el separador electromagnético.

El objetivo de las pruebas de flotación fue obtener por separado la ilmenita, cromita y zircón mediante la flotación selectiva.

Para la obtención de un concentrado de cromita, ilmenita y zircón se realizaron varias pruebas de flotación partiendo del material obtenido en las celdas 1,2,3,4,5,6,7 y 8 del separador electromagnético.

Para las pruebas de flotación del zircón se tomaron los materiales contenidos en las celdas 1 y 2, puesto que en estas celdas se encontraba la mayor concentración de este mineral.

Teniendo en cuenta que la cromita y la ilmenita se encontraban distribuidas en las celdas 3,4,5,6,7 y 8 se tomó el material contenido en ellas para hacer las pruebas de flotación selectiva que a continuación se detallan:

De acuerdo a la pureza del zircón obtenida en el separador electromagnético (celda 1 y 2) se planearon 6 pruebas de flotación cambiando algunas condiciones en cada una de ellas para encontrar las optimas de flotación de zircón.

El objetivo de estas pruebas fue eliminar las impurezas que aún contenían los concentrados de zircón; estas impurezas están constituidas por ilmenita y cromita que en forma de arrastre mecánico se agregan a los concentrados de zircón.

Los análisis químicos y el balance metalúrgico nos muestran que las pruebas de flotación se llevaron a cabo con buen éxito, habiéndose conseguido un producto con 59.02 % de  $ZrO_2$  equivalente a 87.88 % de zircón.

Separado el zircón totalmente de las impurezas por medio de flotación se prosiguió a la separación de la cromita de la ilmenita por medio de una flotación selectiva, para ello se tomaron los productos obtenidos en las celdas No 3,4,5,6,7,y 8 del separador electromagnético.

Para hacer la separación selectiva por flotación de la cromita de la ilmenita se planearon un total de 9 pruebas cambiando condiciones con el fin de encontrar las más optimas en la separación.

De acuerdo a los resultados obtenidos se consiguió separar bastante estas dos minerales (cromita e ilmenita); así pues, obtuvo un producto con 20.80% de  $TiO_2$  equivalente a 39.52 % de ilmenita ( $FeO.TiO_2$ ) y un producto con 14.63 % de  $Cr_2O_3$  equivalente a 21.59 % de cromita.

Con los resultados obtenidos en este proceso de flotación se elaboró un balance metalúrgico que a continuación se-

BALANCE METALURGICO								
FLOTACION								
T.M. 250 g			LEYES %			%CONTENIDOS		
Ley cabezas			0.707	14.36	78.36			
	Peso g	% Peso	FeCr2O4	FeTiO3	SiZrO4	FeCr2O4	FeTiO3	SiZrO4
PF - 1								
Concentrados	185.8	75.55	0.50	12.46	68.93	0.38	9.41	51.64
Colas	60.1	24.44	1.41	22.80	30.64	0.34	5.57	7.48
L.calculada						0.72	14.98	59.12
PF - 2								
Concentrados	205.1	83.03	0.70	12.16	78.00	0.58	10.00	65.00
Colas	41.9	16.96	1.31	25.53	49.95	0.22	4.32	4.32
L.calculada						0.80	14.41	69.38
PF - 3								
Concentrados	162.9	66.57	0.80	10.33	80.11	0.53	6.87	53.32
Colas	81.8	33.42	0.90	38.30	42.45	0.30	12.78	14.18
L.calculada						0.83	19.66	67.50
PF - 4								
Concentrados	217.3	90.66	2.02	12.76	83.27	1.83	11.58	75.57
Colas	22.1	9.23	1.01	28.12	50.58	0.09	2.58	4.76
L.calculada						1.92	14.17	80.23
PF - 5								
Concentrados	205.4	86.84	0.40	11.24	87.76	0.35	9.76	75.63
Colas	31.1	13.15	1.01	45.60	48.80	0.13	5.99	6.75
L.calculada						0.48	15.75	82.38
PF - 6								
Concentrados	161.2	65.82	0.30	4.00	87.76	0.19	2.63	57.76
Colas	83.7	34.17	0.90	24.80	48.80	0.31	8.47	16.67
L.calculada						0.50	11.10	74.43

REACTIVOS Y CANTIDADES USADAS

EN LAS PRUEBAS DE FLOTACION DE Zr

PRUEBAS FLOTAC.	TIEMPO ATRICION.	COLECTOR	ESTUMANT.	DEPRESO.	TIEMPO ACONDIC.	FLOTAC. PH	REGULAD.	TIEMPO FLOTAC.	TIEMPO HELINT.	R.P.M. ATRIC.	R.P.M. FLOTAC.
PF-1	10 Min. 60% Sól.	Aerop825	Ac.Crec.	Silic.Na	5 Min.	3.9	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Sol.10%	1 Min.	1 Min.	600	900
		#/250g.	#/250g.	#/250g.							
		1	0.5	0.5							
		Sol.20%	S/D	Sol.20%							
PF-2	10 Min. 60% Sól.	Aerop710	Ac.Crec.	Dext.120	5 Min.	4.0	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Sol.10%	1.5 Min.	1 Min.	600	900
		1	0.5	1							
PF-3	10 Min. 60% Sól.	Aerop710	Ac.Crec.	Dext.120	5 Min.	5.0	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Sol.10%	1.5 Min.	1 Min.	600	900
		1	0.5	0.5							
PF-4	15 Min. 60% Sól.	Aerop710	Ac.Crec.	Dext.120	5 Min.	6.0	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Sol.10%	1.5 Min.	1 Min.	600	900
		1	0.5	0.8							
PF-5	15 Min. 60% Sól.	Aerop710	Ac.Crec.	Dext.120	5 Min.	7.5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Sol.10%	1.5 Min.	1.5 Min.	600	900
		2	0.9	1.5							
PF-6	15 Min. 60% Sól.	Aerop710	Ac.Crec.	Dext.120	5 Min.	8.5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Sol.10%	1.5 Min.	1.5 Min.	600	900
		2	1.5	2.0							

luetra, y que nos permite observar que en la concentración de crocota e ilmenita (proveniente de las celdas 3,4,5,6,7 y 8 del separador electromagnético) por flotación, los resultados no fueron del todo satisfactorios debido probablemente al magnetismo remanente procedente del separador electromagnético y las características muy semejantes entre ellos.

Finalmente y tomando en cuenta que en cada proceso de concentración se genera un flujo, se pensó en integrar cada uno de ellos para obtener al final el diagrama general del proceso seguido en la concentración de los minerales de valor económico contenidos en las arenas de playa por métodos físicos y fisicoquímicos.

BALANCE METALURGICO						
FIOTACION DE ILMENITA Y CROMITA						
Tamaño muestra: 500 g			L E Y E S %		C O N T E N I D O S %	
Ley cabezas			38.3	14.96		
Pruebas de flotación	Peso g	% Peso	FeTiO <sub>3</sub>	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeTiO <sub>3</sub>	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
PF - 1						
Concentrados	433.0	86.6	39.52	15.58	34.22	13.49
Medios	7.5	1.5	35.26	6.33	0.53	0.09
Colas	59.5	11.9	31.92	6.33	0.53	1.56
Ley calculada					38.55	15.14
PF - 2						
Concentrados	107.2	21.44	29.79	16.966	6.38	3.63
Medios	128.0	25.60	37.70	16.503	9.65	4.22
Colas	264.8	52.96	38.91	8.945	20.60	4.73
Ley calculada					36.63	12.58
PF - 3						
Concentrados	75.0	37.5	29.49	19.28	11.05	7.23
Medios	65.0	32.5	34.05	12.64	11.06	4.10
Colas	60.0	30.0	38.00	15.11	11.40	4.53
Ley calculada					33.41	15.83
PF - 4						
Concentrados	68.4	34.2	30.40	19.28	10.39	6.59
Medios	80.0	40.0	30.40	12.64	12.16	5.05
Colas	51.6	25.8	39.52	7.88	10.19	2.03
Ley calculada					32.74	13.67
PF - 5						
Concentrados	0.0	35.0	31.92	20.20	11.17	7.07
Medios	0.0	10.0	29.49	17.12	2.95	1.71
Colas	1.0.0	55.0	34.04	15.73	18.72	8.65
Ley calculada					32.84	17.43
PF - 6						
Concentrados	123.0	61.50	31.92	19.12	19.63	11.75
Medios	26.5	12.25	24.49	9.87	3.00	1.20
Colas	50.5	26.25	33.11	15.58	8.69	4.08
Ley calculada					31.32	17.03

BALANCE METALURGICO

FLOTACION DE CROMITA E ILAENITA

Tamaño muestra: 500 g		LEYES %		CONTENIDOS %		
Ley cabezas		38.3	14.96			
Pruebas de flotación	Peso g	% Peso	FeTiO <sub>3</sub>	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeTiO <sub>3</sub>	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
PF - 7						
Concentrados	66.00	33.00	29.49	18.81	9.73	6.20
Medios	30.00	15.00	31.92	18.66	4.79	2.79
Colas	104.00	52.00	34.04	18.35	17.70	9.54
Ley calculada					32.22	18.53
PF - 8						
Concentrados	51.50	25.75	30.40	20.66	7.83	5.32
Medios	30.50	15.25	33.13	18.35	5.04	2.79
Colas	118.00	59.00	38.00	14.65	22.42	8.64
Ley calculada					35.29	16.75
PF - 9						
Concentrados	97.00	48.50	29.49	21.59	14.30	10.47
Medios	46.50	23.25	37.08	10.95	8.62	2.54
Colas	56.50	28.25	41.04	16.34	11.59	4.61
Ley calculada					34.51	17.62

75

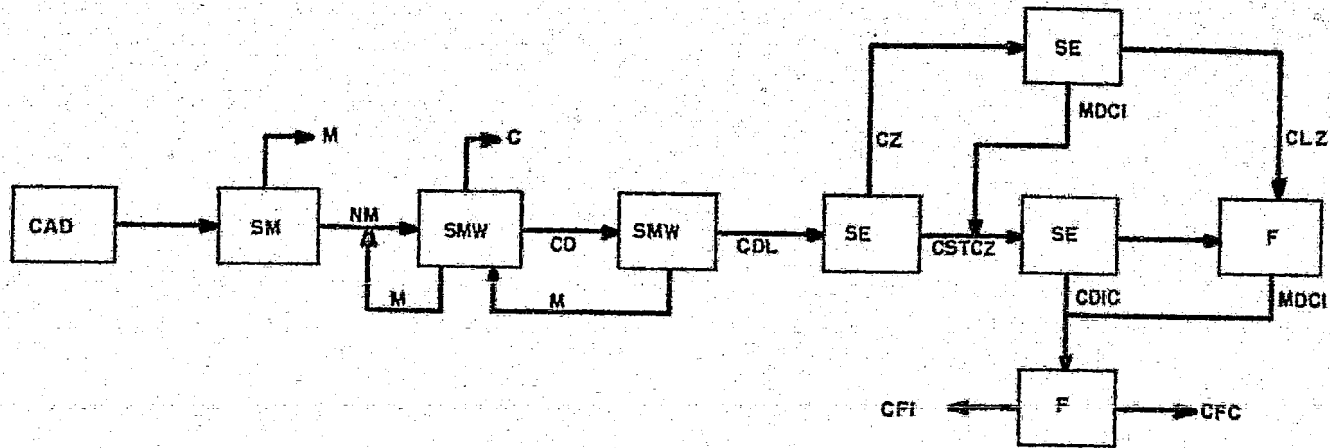
CONDICIONES Y REACTIVOS USADOS PARA LA FLOTACION DE Ti y Cr

PRUEBA FLOTAC.	TIEMPO FLOTAC. (Min.)	COLECTOR g/200g.	ESPUMANTE g/200g.	A. Auxil. g/200g.	TIEMPO ACONDIC. (Min.)	pH FLOTAC.	REGULAD. pH	TIEMPO FLOTAC. (Min.)	TIEMPO RELIMP. (Min.)	R.F.m. FLOTAC.	R.F.m. RELIM.
PF-1	10 Min.	Aerop. 825 0.15-0.3	Ac. Píno .05-0.1	Disel. .75-1.5	6 Min.	4	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5 Min.	3 Min.	900	600
PF-2	10 Min.	0.15-0.3	.015-0.1	NaF .17-.33	10 Min.	4.5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	5 Min.	3 Min.	900	600
PF-3	10 Min.	.06-0.3	.02-0.1	Disel 0.3-0.5	6 Min.	5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	5 Min.	3 Min.	900	600
PF-4	10 Min.	Aerop. 801 .14-0.27	Aerof65 0.1-0.3	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	6 Min.	4.0	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	5 Min.	3 Min.	900	600
PF-5	10 Min.	Aerop. 801 .27-0.40	Aerof65 .01-.04	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	6 Min.	5.0	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	5 Min.	3 Min.	900	600
PF-6	10 Min.	Aerop. 710 0.2-1.0	Aerof65 .01-.04	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	6 Min.	3.5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	5 Min.	3 Min.	900	600
PF-7	10 Min.	Aerop. 801 .27-.54	Aerof65 .01-.04	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	6 Min.	5.0	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	5 Min.	3 Min.	900	600
PF-8	10 Min.	Aerop. 801 .3-1.5	Aerof65 .01-.04	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	6 Min.	5.5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	5 Min.	3 Min.	900	600
PF-9	10 Min.	Aerof 801 .20-.40	Aerof65 .01-.04	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	6 Min.	5.0	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	5 Min.	3 Min.	900	600

Se trabajó con estas cantidades



# DIGRAMA DE FLUJO DE LA EXPERIMENTACION



NOMENCLATURA DEL DIAGRAMA DE FLUJO

CAD	Cabezas de las arenas detríticas
SM	Separación Magnética
M	Medios
MM	Material Magnético
G	Colas
NM	No Magnéticas
SMW	Separación por Mesa Wilfley
CD	Concentrado Denso
CDL	Concentrado Denso Limpio
SE	Separador Electromagnético
CSTCZ	Concentrado Sucio de Cromita, Ilmenita y Zircón
CZ	Concentrado de Zircón
MDCL	Material con Cromita e Ilmenita
CDLC	Concentrado de Cromita e Ilmenita
F	Flotación
CFZ	Concentrado Final de Zircón
CLZ	Concentrado Limpio de Zircón
CFC	Concentrado Final de Cromita
CFI	Concentrado Final de Ilmenita

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al análisis de resultados del presente estudio, se concluye de que sí es factible la concentración de los minerales de cromita, ilmenita y zircón (contenidos en las arenas de playa) usando métodos físicos y fisicoquímicos.

La presente investigación también permite concluir que es factible obtener productos de ilmenita, cromita y zircón cuya pureza casi iguala a la de los productos del mercado. Sin embargo, queda la alternativa de purificar más estos productos, optimizando los procesos de concentración usados en este estudio, con el fin de aumentar la recuperación de la ilmenita, cromita y zircón, y como consecuencia de esto, disminuir la relación de concentración. Esto es factible tomando en cuenta que en los productos de desecho (colas y medios de la mesa wilfley) quedan valores.

Tomando en cuenta que en un principio se consideró únicamente la concentración de cromita, ilmenita y zircón, no se descarta, sin embargo, la posibilidad de considerar a la magnetita como una posible mena de hierro; la cual se encuentra presente en cantidades considerables para su beneficio, así como la sílice y el feldespatos.

Los trabajos a futuro que podríamos numerar principalmente son los siguientes:

- 1.- Estudio para la optimización del proceso.
- 2.- Estudio del beneficio de minerales de hierro, sílice y feldespatos contenidos en los productos de desecho.

3.- Estudio para la implementación de un proceso integrado.

4.- Estudio para la transferencia de la tecnología a nivel laboratorio a nivel planta piloto.

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

- 1.- GUIA SOBRE EL EMPLEO DE MINERALES O DIAGRAMAS DE ROBERTSON  
R.H.S. Robertson  
Comisión de Fomento Minero  
1965
- 2.- MANUAL DE PRODUCTOS QUIMICOS PARA MINERIA  
Cyanamid International  
1970
- 3.- ANUARIO ESTADISTICO DE LA MINERIA MEXICANA  
Consejo de Recursos Naturales no Renovables  
1969-1979
- 4.- HANDBOOK OF MINERAL DRESSING  
Arthur F. Taggart  
John Wiley & Sons, Inc.  
1949
- 5.- PRINCIPLES OF MINERAL DRESSING  
A.M. Gaudin  
John Wiley & Sons, Inc.  
1939
- 6.- REACTIVOS PARA LA CONCENTRACION DE MINERALES EN LA FASE DE  
FLOTACION  
Industrias Químicas de México, S.A.  
1960
- 7.- REACTIVOS PARA FLOTACION  
Cyanamid  
1960

- 
- 8.- CHEMICAL ENGINEERS HANDBOOK  
Robert H. Perry  
Mc Graw-Hill  
1973
- 9.- TRATADO DE MINERALOGIA  
Edward Salisbury Dana  
C.E.C.S.A.  
1975
- 10.- ARMANDO GARCIA DE LEON LOZA  
"Determinación de titanio en las arenas de mar en las  
costas mexicanas"  
Tesis-Fac. Química  
1978
- 11.- ENRIQUE APIQUIAN NAVA  
"Aprovechamiento de arenas titaníferas de la costa occi-  
dental de México"  
Tesis-Fac. Química  
1968
- 
- 12.- LUDLOW Y E. LANDERO CARLOS  
"Operaciones unitarias en plantas concentradoras de mine-  
rales"  
Tesis-Fac. Química  
1944
- 
- 13.- ARREOLA C. VICTOR  
"Concentración de menas por flotación"  
Tesis- Fac. Química  
1936
-

## 14.- PANIAGUA ALVARES ALVARO

"Estudio preliminar de concentración de arenas cuarcíferas"

Tesis-Fac. Química

1958

## 15.- ALBARRAN LUNA J. RICARDO

"Estudio y determinación de zircón de arenas de las costas de México"

Tesis-Fac. Química

1971

## 16.- ENRIQUE MACIAS EDUARDO

"Estudio Experimental de concentración de arenas cuarcíferas como subproducto de flotación"

Tesis-Fac. Química

1960

## 17.- CANDIDO E. GUZMAN FELIX

"Elaboración de un separador magnético para beneficio de minerales en laboratorio"

Tesis-Fac. Química

1976

## 18.- MOTA MONTIEL ROBERTO

"Control de laboratorio de arenas de moldeo para vaciado de aceros"

Tesis-Fac. Química

1939

19.- OSCAR MENDOZA LUNA

ALBERTO OBREGON PEREZ

"Separadores magnéticos"

Artículo

20.- JOAQUIN ROLANDO CHAVEZ GONZALEZ

"Estudio por flotación y mesa wilfley de arenas detrí-  
ticas provenientes del estado de Campeche"

Tesis-Fac.Química

1980