

2ej. 2

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**ANTEPROYECTO PARA EL BENEFICIO**  
**DE MINERALES DE HIERRO**

**II Expansión de la Siderúrgica Lázaro Cárdenas Las Truchas, S.A.**  
**"SICARTSA"**

**T E S I S**

**Que para obtener el título de:**  
**INGENIERO EN MINAS Y METALURGISTA**

**P r e s e n t a**

**SALVADOR OLIVARES MIRANDA**

**México, D. F.**

**1985**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## INDICE

<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
INTRODUCCION	
CAPITULO PRIMERO	
I.- GENERALIDADES	1
I.1.- LOCALIZACION GEOGRAFICA	
I.2.- VIAS DE COMUNICACION Y ACCESO	
I.3.- CLIMA	
I.4.- ACTIVIDADES ECONOMICAS	
CAPITULO SEGUNDO	
II.- DESCRIPCION GEOLOGICA	4
II.1.- GEOLOGIA GENERAL	
II.2.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL	
II.3.- LITOLOGIA	
II.4.- GENESIS	
II.5.- MORFOLOGIA	
II.6.- MINERALOGIA	
II.7.- ZONIFICACION	
II.8.- RESERVAS DE MINERAL	
CAPITULO TERCERO	
III.- BREVE HISTORIA DEL HIERRO	9
CAPITULO CUARTO	
IV.- DESCRIPCION DEL METODO DE EXPLORACION	16
IV.1.- GENERALIDADES	

## INDICE

<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
IV.2.- CARACTERISTICAS DE LOS YACIMIENTOS MINERALES	
IV.3.- EXPLORACION	
IV.4.- EQUIPO DE OPERACION	
IV.5.- EXPLOTACION	
IV.6.- PARAMETROS DE DISEÑO	
CAPITULO QUINTO	
V.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE BENEFICIO	25
V.1.- GENERALIDADES	
V.2.- PARAMETROS DE OPERACION DE LA PLANTA	
V.3.- PARAMETROS DE PROCESO	
V.4.- CARACTERISTICAS DE LOS MINERALES DE HIERRO Y/O CONCENTRADOS DE HIERRO	
V.5.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE BENEFICIO	
V.5.a.- Proceso de beneficio Magnetitico Lineas " B " y " C "	
V.5.b.- Proceso Hematitico Linea " A "	
V.6.- PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS DE OPERACION DE LA PLANTA CONCENTRADORA	
CAPITULO SEITO	
VI.- CONCENTRACION DE MINERALES DE HIERRO POR EL SISTEMA DE FLOTACION	48
VI.1.- INTRODUCCION	
VI.2.- GENERALIDADES	
VI.3.- PRINCIPALES MAQUINAS DE FLOTACION	

## INDICE

<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
VI.4.- DESCRIPCION DEL SISTEMA DE FLOTACION DE MINERALES DE MAGNETITA Y HEMATITA	
VI.4.a.- Circuito de Magnetita	
VI.4.b.- Circuito de Hematita	
CAPITULO SEPTIMO	
VII.- EVALUACION ECONOMICA	79
VII.1.- INTRODUCCION	
VII.2.- TIPO DE CONTRATO PARA LA ADQUISICION DE LA PLANTA CONCENTRADORA	
VII.3.- COSTOS TOTALES DE INVERSION	
VII.3.a.- Inversión Nacional	
VII.3.b.- Inversión Extranjera	
VII.4.- CALENDARIO DE PAGOS	
VII.5.- ORGANIZACION DE LA GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS	
CAPITULO OCTAVO	
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
LISTA DE DIBUJOS	93
BIBLIOGRAFIA	94

## INTRODUCCION

El presente trabajo, es el desarrollo de la descripción de el proceso de obtención de concentrados de hierro apartir de los minerales de Magnétita y Hematita.

Dicho proceso de beneficio es de carácter Mecanico y Fisicoquímico, proporciona el concentrado de hierro, que es la materia prima a alimentar al Alto Horno y al Horno Electrico para de esta forma obtener hierro metalico en lingote, el cual pasará a los consecuentes procesos de Aceración, Colada Continua, y Lamiación, para finalmente llegar a productos terminados como: La varilla corrugada, alambros, alambre recocido, fierro estructural placa, etc. y que son necesarios para las diferentes industrias como la de la transformación, así como para la construcción de barcos, así como de muchas otras actividades relacionadas con la industria del hierro.

Dentro del proceso de beneficio de los minerales de hierro, se pueden observar las siguientes etapas: Reducción del tamaño de mineral por medio de los molinos semi-autógenos, la molienda llevada a cabo para la liberación de partículas minerales, realizándose esta liberación en molinos de bolas, la separación del mineral magnético del no magnético, llevada a cabo con equipos llamados, separadores magnéticos de baja y alta intensidad y la flotación, que consiste también en obtener concentrados de hierro libres de impurezas, que en este caso se usa " flotación inversa " la cual se lleva a cabo con reactivos catiónicos, representando este sistema, una innovación para el beneficio de los minerales de hierro

En los capítulos de este trabajo, se tratan aspectos tales como: La ubicación de los yacimientos ferríferos, origen

y forma de los mismos, características del área geológica, características mineralógicas del área de estudio, infraestructura, breve historia acerca de los orígenes del hierro, método de explotación de los yacimientos minerales de el Volcan y el Mango; posteriormente se hace una descripción de el recorrido de la pulpa de hierro a través de todos los equipos que integran el sistema de beneficio de los minerales de hierro, compuesta por los minerales de magnetita y hematita.

También se hace una descripción completa acerca de la recuperación de concentrados de hierro en las celdas de flotación en esta sección se ven los tipos de celdas más comunes, mencionando, sus ventajas y desventajas, así como el fenómeno de la flotación de dichos minerales por efecto de los diferentes reactivos, el tipo de flotación que se aplicara, así como balances metalúrgicos.

Ademas se incluye un capítulo de análisis económico y en el que se tratan aspectos tales como el tipo de contrato para la construcción de la planta de beneficio, las condiciones de pago que se tienen que realizar, calendario de pagos y por último se anexa un apartado de conclusiones y recomendaciones.

Es está la forma, en que se desarrolla el presente trabajo; del cual se piensa dá una idea clara en el proceso de obtención de concentrados de hierro apartir de sus minerales y que es el objetivo de este proyecto.

CAPITULO

PRIMERO



## CAPITULO PRIMERO

### I.- GENERALIDADES

#### I.1.- LOCALIZACION GEOGRAFICA

El área de estudio de la Planta de Beneficio de la - Siderúrgica Lázaro Cárdenas las Truchas, S.A. ( SICARTSA ), esta ubicada en la Costa del Océano Pacífico; en la desembocadura del Río Balsas, aproximadamente a 3 km. al Sur del Puerto de Lázaro Cárdenas, Estado de Michoacán. (ver croquis de localización).

#### I.2.- VIAS DE COMUNICACION Y ACCESO

El Puerto de Lázaro Cárdenas las Truchas, S.A., está localizado en el Estado de Michoacán, cuenta con instalaciones marítimas de alto calado para el embarque y desembarque tanto de productos elaborados, como de materias primas.

##### I.2.a.- Transportes Terrestres

Autobuses: - A México, D.F.; via Zihuatanejo-Acapulco  
- A México, D.F.; via Uruapan-Morelia  
- A Guadalajara; via Uruapan

Ferrocarril: A Corinto Michoacán desde donde se conecta con la red Nacional de Ferrocarriles

##### I.2.b.- Transportación Aérea

- Directamente desde Lázaro Cárdenas las Truchas, S.A., a México D.F., via Morelia por medio de aviones Turbo Hélice.

- Desde Zihuatanejo, Gro.; por medio de aviones Jet a México, D.F.

##### I.2.c.- Comunicaciones

- Comunicación telefónica a cualquier parte del mundo.

- Comunicación telegráfica

- Comunicación por medio de radio de onda corta

### I.3.- CLIMA

El clima que presenta la zona de estudio es del tipo tropical lluvioso típico, similar al que predomina en la región costera del pacífico. Es en extremo caluroso y húmedo con una temporada de lluvias bien definida, que comienza a mediados de Junio y se prolonga hasta el mes de Octubre incluso.

Las lluvias son del tipo torrencial y se precipitan generalmente por las tardes y noches, la precipitación anual de lluvias oscila entre los 800 y 1500 mm.

Enseguida se presenta una tabla en la que se indican las temperaturas en grados centígrados, que se registran en la Siderúrgica Lázaro Cárdenas las Truchas, S.A. ( SICARTSA ).

TABLA No. 1  
Temperatura en ( °C )

De Mañana		De Mediodía		Tarde y Noche
sombra	sol	sombra	sol	
19.5	33.0	30.0	35.0	23.0

Se observa que en el medio día, los vientos dominantes son del Sureste y por la noche del Noroeste; estos últimos son en general fríos y húmedos, lo que hace, que los días sean calurosos y las noches sean frescas, la brisa marina contribuye a refrescar las partes altas en las primeras horas de la noche.

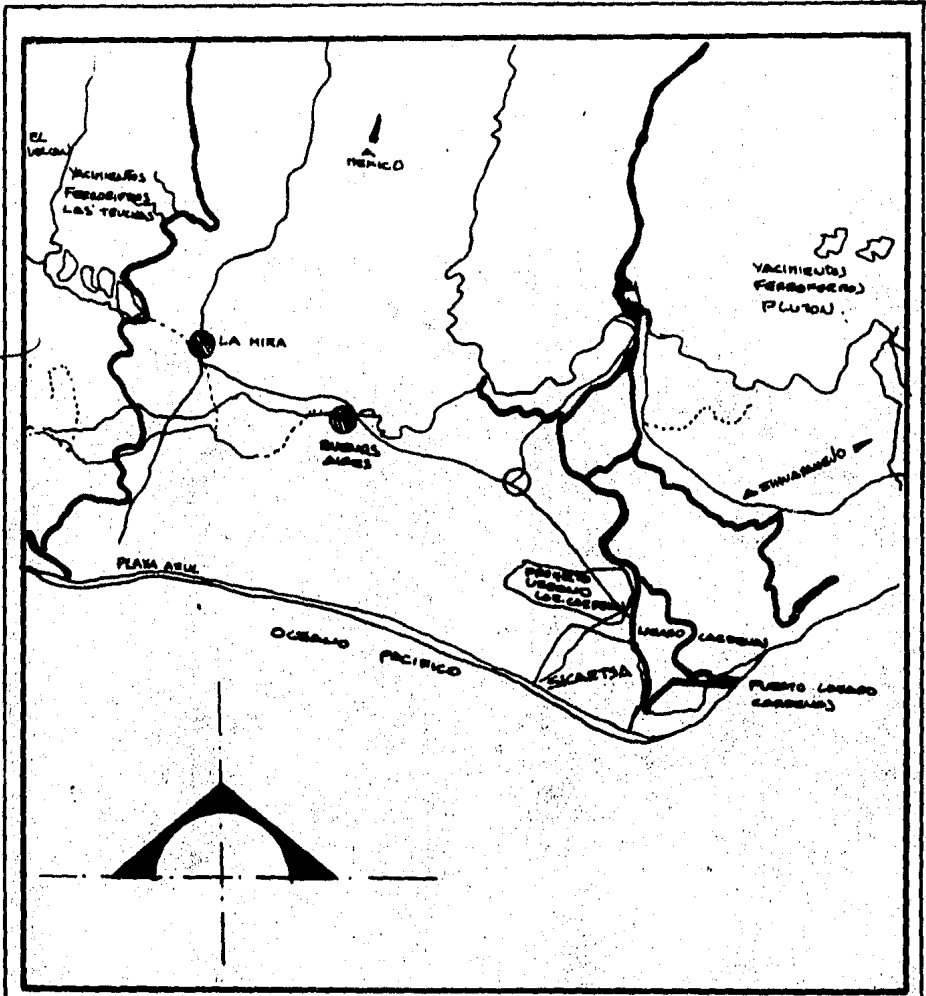
### I.4.- ACTIVIDADES ECONOMICAS

Los habitantes que viven en Lázaro Cárdenas las Tru-

chas, que es el poblado más cercano al área de estudio, son en su mayoría una población flotante, pues directamente ó indirectamente obtienen sus ingresos de los empleos que proporcionan las empresas como la Siderúrgica Lázaro Cárdenas las Truchas, - S.A. (SICARTSA).

También por lo que se puede observar, la región tiende a una mayor industrialización ya que, conjuntamente con - SICARTSA se han creado nuevos centros de producción, que ayudarán a elevar el nivel de vida de la población que vive en ese lugar.

Otras empresas que operan en el área de estudio son: N K S; F E R T I M E I; Empresas Navieras, etc., todas estas - empresas están relacionadas en alguna forma con la Siderúrgica.



FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM)		
CROQUIS DE LOCALIZACION		
SALVADOR OLIVERA M.	1965 TESIS PROFESIONAL	ESC. NO

CAPITULO

SEGUNDO

## CAPITULO SEGUNDO

### II.- DESCRIPCION GEOLOGICA

#### II.1.- GEOLOGIA GENERAL

De acuerdo a los estudios geológicos, realizados por las empresas DRAVO de México, S.A. y de la Siderúrgica Lázaro Cárdenas las Truchas, S.A.; se ha determinado que la mayoría de los yacimientos ferríferos en México se localizan en Los Estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca, los yacimientos de estas regiones por sus características forman una provincia metalogénica.

Como parte de la provincia metalogénica en la región costera Sur del Estado de Michoacán se encuentra el distrito ferrífero de Las Truchas.

Los yacimientos de hierro de Las Truchas, afloran en las partes altas de los cerros, los cuales son de forma redondeada y de poca altura.

El sistema hidrográfico de la región lo forman una red dendrítica de arroyos que se ajustan al drenaje y a la cañada principal; los principales son: los ríos de las Truchas y la Cañada; ambos efluentes del río Acalpican que a su vez descarga en el Océano Pacífico.

#### II.2.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La región de las Truchas como parte de la cadena Circumpacífica ha sufrido varios cambios geológicos en diferentes etapas.

La evidencia más directa de estos cambios, es una intrusión magnética sobre rocas sedimentarias con la sucesiva formación de zonas de metamorfismo.

Estos fenómenos causaron un fallamiento complejo en

las unidades lito - estructurales que influyeron para los procesos de mineralización, dislocamientos y desplazamientos.

En general los depósitos de Hierro pudieron haberse formado por muchos procesos diferentes como pueden ser procesos químicos, procesos hidrotermales, procesos de sedimentación ó bien por desgaste de rocas.

El distrito minero de las Truchas presenta dos fuentes de mineralización: Una de ellas con rumbo " E - O " y la otra - fuente que va de " NE - SO "; ambas convergen en el cerro de Santa Clara, estas dos fuentes definen lineamientos estructurales que dividen al distrito en dos zonas: La zona Norte y la zona Sur.

- Zona Norte: Comprende los yacimientos minerales de El Volcán, El Mango y El Santa Clara.

- Zona Sur: Comprende los yacimientos minerales de Ferrrotepec Sur y Norte, El Tubo, El Leopardo, El Venado, El Acalpácan y El Valverde.

### II.3.- LITOLOGIA

Está representada por rocas Igneas, rocas Sedimentarias y rocas Metamórficas, cuya distribución se presenta como sigue:

- ROCAS IGNEAS { Intrusivas.- Granodiorita, Monzonita  
Pórfidos Dioríticos.  
Extrusivas.- Existen manifestaciones Volcánicas y de rocas Andesíticas, formadas por Tobas, Brechas, Aglomerados y Derrames Volcanicos.

### - ROCAS SEDIMENTARIAS

Abarca una amplia gama litológica, las más importantes son: Caliza de origen químico; Calizas y Areniscas Bioclasticas,

Conglomerados, Dendritos Marinos, Lateritas no consolidadas y productos erosionados de los afloramientos.

#### - ROCAS METAMORFICAS

Las rocas más importantes son los marmoles, Brechas de falla, Hornfels y Skarns de Granate y Epidota.

#### II.4.- GENESIS

La hipótesis relativa al origen de los yacimientos de hierro no ha sido totalmente definida, sin embargo las condiciones geológicas en que se encuentran, permiten apreciar una estrecha relación entre las menas y las rocas intrusivas. Ante estas condiciones, se deduce que las soluciones mineralizantes fueron emanaciones de un magma intrusivo, ocasionando un desplazamiento del óxido de hierro dentro de dichas estructuras metamórficas formando de esta manera los yacimientos mencionados.

#### II.5.- MORFOLOGIA

Los yacimientos de hierro se presentan como una masa de formaciones discontinuas separadas entre sí por distancias que varían de algunas decenas de metros a varios kilómetros.

Los afloramientos de los cuerpos de hierro están constituidos por grandes masas aisladas de contornos irregulares, a profundidad son de igual forma pero conservan ciertas tendencias lenticulares con extensiones laterales y ramaleos difíciles de predecir.

#### II.6.- MINERALOGIA

Los minerales que componen las principales unidades litológicas y los yacimientos de hierro son principalmente:

- Minerales de Mena { Magnetita  
Hematita



- Minerales de  
Ganga

Cuarzo  
Pirita  
Calcita  
Epidota  
Granate

## II.7.- ZONIFICACION

La distribución de los minerales de hierro en el área de estudio es como sigue: La Hematita se encuentra únicamente en las zonas superiores de los cuerpos minerales y representa un 30% de las reservas totales, ésto en forma aproximada; el mineral de Hematita es un producto de la alteración de la magnetita.

Por otro lado el mineral de magnetita que en forma - aproximada representa el 70% del total de reservas, es el mineral más abundante en los yacimientos, se localiza principalmente en las partes más profundas del depósito mineral y en las zonas inferiores de los que afloran.

## II.8.- RESERVAS DE MINERAL

Las reservas de mineral probadas, están basadas sobre los estudios que realizó la empresa Dravo, S.A. en el año 1980. Estas fueron determinadas por el plan de minado de SICARTSA.

El mineral crudo que se tiene que alimentar tanto a la planta No. 1 como a la planta No. 2 es de aproximadamente de 7 millones de toneladas anuales; esto es con el objeto de obtener 4.5 millones de toneladas anuales de concentrados para los procesos de Reducción Directa y para el Alto Horno.

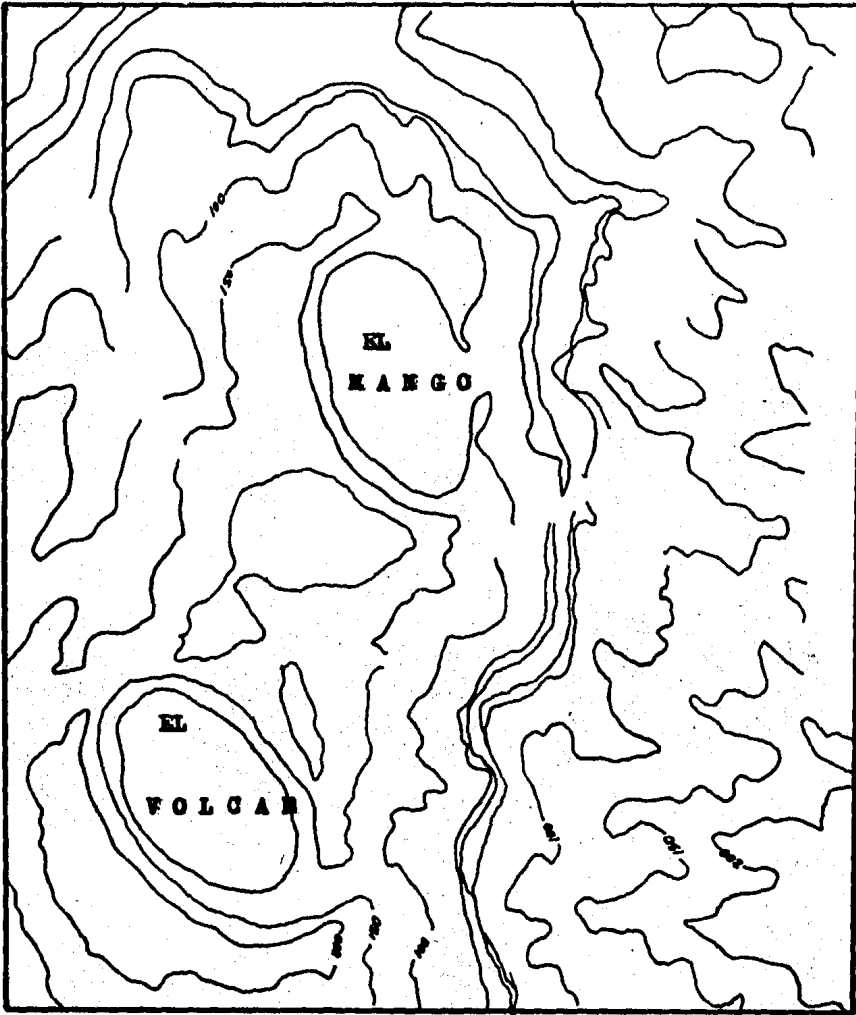
Enseguida se presenta una tabla en donde se muestran las reservas de mineral probadas en el año de 1980 en millones de toneladas.

T A B L A      D E      R E S E R V A S

<u>CUERPO</u>	<u>MAGNETITA</u>	<u>HEMATITA</u>	<u>L E Y E S</u>			
			<u>%Fe(M)</u>	<u>%Fe(T)</u>	<u>%P</u>	<u>%S</u>
Ferrotepec Ote.	3.47	---	47.2	53.3	0.08	2.3
Ferrotepec Central	1.44	---	47.1	52.6	0.10	1.7
Ferrotepec Pte.	<u>6.66</u>	---	<u>44.8</u>	<u>48.2</u>	<u>0.13</u>	<u>2.8</u>
Sub-total	11.57		45.8	50.3	0.11	2.5
Volcan	33.74	6.24	40.4	50.6	0.06	2.4
Mango	<u>16.31</u>	<u>8.02</u>	<u>36.2</u>	<u>52.7</u>	<u>0.11</u>	<u>2.1</u>
Sub-total	50.04	14.26	40.8	52.3	0.10	2.2
Venado	6.88	---	26.3	35.6	0.03	1.5
Ferrotepec Norte	1.62	---	26.0	37.3	---	4.1
Ferrotepec N(1)	2.09	---	25.8	36.6	---	3.9
Ferrotepec N(2)	<u>0.47</u>	---	<u>25.5</u>	<u>35.8</u>	---	<u>1.6</u>
Sub-Total	4.18		25.8	36.8		3.7

taza (1)

taza (2)



FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM)

CROQUIS DE LOS  
YACIMIENTOS DE  
HIERRO

SALVADOR	1985 TESIS	ESC. NO
OLIVARES R.	PROFESIONAL	

CAPITULO

TERCERO

## CAPITULO TERCERO

### III.-BREVE HISTORIA DEL HIERRO

El objetivo de este capítulo es, principalmente de hacer un desglose acerca de los orígenes del hierro:

Los minerales de hierro son:

- a.- Oxido Ferroso-Férrico ó Magnetita ( $Fe_3O_4$ )
- b.- Oxido Férrico ó Hematita ( $Fe_2O_3$ )
- c.- Oxido Férrico Hidratado ó Limonita ( $2FeO_3 \cdot 3H_2O$ )
- d.- Oxido Carbonato de Hierro ó Siderita ( $FeCO_3$ )
- e.- Sulfuro de hierro ó Pirita ( $FeS$ )

De acuerdo a la tabla periódica, se denota el hierro por el símbolo (Fe), su número atómico es 26, se localiza en el cuarto grupo y esta entre el Manganeseo y el Cobalto, tiene valencia de +2 ó +3 y combina rapidamente con otros elementos, tiene cuatro isótopos de masa, es el cuarto elemento más abundante en corteza terrestre, superado solamente por el Aluminio, el silice, y el oxígeno.

Aunque los metales como el Oro, Plata, Cobre, Laton, y Bronce fueron de uso común antes del hierro, esta mineral no fue útil al hombre sino hasta que se descubrió la forma de procesar dicho metal.

Apartir de esta las civilizaciones se desarrollaron rapidamente.

El hierro puro es de color blanco plateado, relativamente blando, que tiene una estructura molecular del tipo cuerpo cristalino cúbico centrado, a condiciones normales como son: Presión = 1 atmosfera; temperatura =  $25^{\circ}C$ ; Volumen = 22.4 lits. El hierro nativo raras veces se encuentra en la naturaleza ya que combina rapidamente con otros elementos como el oxígeno y -

el azufre, los óxidos de hierro son los que más prevalecen en la naturaleza.

El uso del hierro se inició probablemente hacia el año 2000 A.C., en Egipto, Asia Menor, China y la India; sin embargo los primeros utensilios de hierro no fueron hechos a partir de procesos químicos, sino que fueron obtenidos de fragmentos de hierro nativos, como los meteoritos.

Se cree que el hierro fué descubierto por el hombre primitivo en forma accidental, por lo que su empleo se generalizó bastante, desplazando a los metales preciosos y al cobre, a esta época se le llamo " EDAD DEL HIERRO ". Los Griegos usaron también el hierro desde el año 800 A.C. y se tienen noticias de que los Romanos explotaron minas de hierro, en España hace aproximadamente 2000 años.

Uno de los pocos lugares donde el hierro es encontrado en forma nativa, es en Groenlandia, donde por lo general el mineral se presenta en granos pequeños ó módulos en rocas basálticas de origen volcánico en capas de carbón.

En la antigüedad, el hierro se obtenía colocando el mineral junto con la leña en pequeños hornos llamados de lupa ó de montones, los cuales eran construidos en las colinas más elevadas, esto para aprovechar la acción de los vientos, los cuales avivan el fuego. Estos hornos rudimentarios tenían uno ó más orificios en la parte inferior por donde después de un prolongado proceso, se obtenía el hierro fundido pastoso y mezclado con las cenizas del carbón. Este hierro era limpiado por medio de una operación de martilleo y se observaba que dicho metal era bastante dúctil debido a que absorbía poco carbón de leña ya que no se alcanzaban en el proceso las temperaturas de reacción del hierro (ver fig. 1).

El horno primitivo de Montones se fue perfeccionando poco a poco; primero se forzó el tiro de aire con fuelles, más tarde se emplearon ventiladores centrífugos impulsados por ruedas hidráulicas. Esto permitió aumentar el tamaño de los hornos y obtener el hierro líquido en tiempos más cortos, pero entonces se observó que el hierro se fracturaba al golpearlo durante el modelado de los objetos, esto, debido a que el carbono disuelto por el contacto del hierro líquido con este elemento era mayor. Después de muchas pruebas se logra disminuir el contenido de carbono en el hierro mediante la inyección de oxígeno, por lo que - también; simultáneamente se logra disminuir el contenido de Silicio y Manganeso; obteniéndose el llamado hierro dulce que volvió a ser dúctil y maleable durante el proceso de pudelado en hornos de Reverbero (ver fig. 2).

Al comenzar la escasez de carbono vegetal en Inglaterra hacia el año 1600 D.C., se empezó a usar el carbono mineral y de este se elabora el coque, este tiene mayor dureza, comparado con el carbono de madera permitió seguir aumentando el tamaño de los hornos y su capacidad.

Al introducirse más tarde el empleo de compresores de émbolo, el tiro se aumentó considerablemente comenzando a construirse los primeros Altos Hornos, precursores de los actuales (ver fig. 3).

Mientras que en el siglo XIX la capacidad de un Alto Horno era de 200ton./día como máximo, en la actualidad en países industriales como Japón, E.U.A., U.R.S.S., Francia, y otros, construyen Altos Hornos con capacidades que varían desde 2000 ton/día hasta 10,000 ton/día de hierro fundido.

En 1747 se construyó el primer horno de Reverbero el cual se usó para transformar a los minerales de hierro en acero,

mismo horno que en 1864 fué notablemente modificado por Siemens en Alemania y Martin en Francia, permitiendo obtener temperaturas de hasta 1600°C que hicieron posible la obtención del acero en gran escala y a costos económicos.

Bessemer en 1857 inventa el proceso de aceración llamado del convertidor el cuál ha evolucionado hasta nuestros días y constituye uno de los procesos más comunes e interesantes para obtener acero, (ver fig. 4 ).

A principios del presente siglo se inventó el proceso electrolítico el cuál también ha evolucionado continuamente y constituye en nuestros días el medio más adecuado para la fabricación de numerosas clases de aceros y hierros de calidad especial, (ver fig. 5 ).

En nuestro país, la historia acerca del beneficio de los minerales de hierro comenzó propiamente con la llegada de los españoles a principios del siglo XVI, quienes exploraron los distintos yacimientos de hierro, además de beneficiar a los minerales de hierro en forma sistemática. Las regiones exploradas son: El cerro de Mercado, en el Estado de Durango; Los yacimientos de las Truchas como son el Volcan y el Mango, Ferrotepec y otros más.

Por otra parte, existen en México otras empresas Siderúrgicas como Fundidora de Hierro y Acero Monterrey, S.A., que fue la primer empresa formalmente constituida, que produjo hierro y acero en cantidades de importancia.

Posteriormente se fundaron otras empresas como Altos Hornos de México, S.A., Hojalata y Lamina, S.A.; Tubos de Acero de México, S.A., Aceros Ecatepec, S.A., y otros más, aunque solamente las dos primeras junto con Fundidora Monterrey benefician minerales de hierro; ya que los procesos de las demás empresas



parten de la chatarra (pedaceria de hierro ó acero de desperdicio), para la obtención de sus productos.

Se anexan unas tablas acerca de la producción de acero tanto a nivel local, como a nivel mundial; así como unos croquis en los que se representan algunos equipos para la fundición de los minerales de hierro, clasificándose estos dibujos de equipos más antiguos a los equipos más actuales.

PRODUCCION DE ACERO  
EN  
AMERICA LATINA

PAISES	ENERO 1985	FEBRERO 1985	Marzo/ Febrero (%) 85'	MARZO 1984	Enero/ Marzo (%)85/84
Argentina	540.9	129.9	89.0	518.7	4.3
Brasil	4596.0	1428.6	17.2	4363.7	5.3
CentroAmerica	28.3	8.7	17.2	25.6	10.5
Colombia	146.1 <sup>e</sup>	48.4	3.3	98.0	49.1
Chile	174.6 <sup>e</sup>	56.4	6.4	156.7	11.4
Ecuador	4.8	2.0	-80.0	5.6	- 14.3
México	1,797.7 <sup>e</sup>	603.1	1.1	1889.7	- 4.9
Perú	89.9	27.4	36.9	56.1	60.2
Trinidad. y Tobago	50.5 <sup>e</sup>	17.0 <sup>e</sup>	---	43.8	15.3
Uruguay	12.8	3.9	23.1	9.9	29.3
Venezuela	776.0	251.4	5.1	664.3	20.4
<b>Total</b>	<b>8217.6</b>	<b>2576.8</b>	<b>15.4</b>	<b>7812.1</b>	<b>5.2</b>

Fuente : ILAPA

e.-estimado

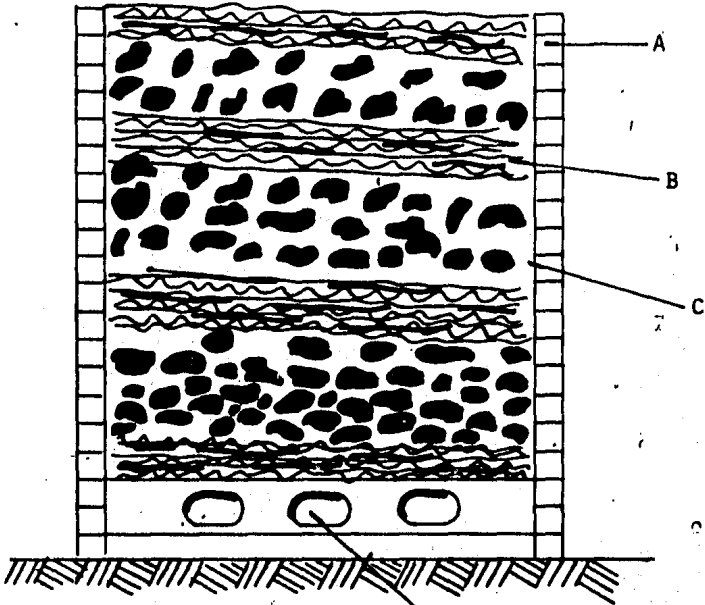
datos en miles de toneladas

PRODUCCION MUNDIAL  
DE ACERO

PAISES	Septiembre 1984	Septiembre 1983	Septiembre % 1983/1984
Belgica	911	751	+ 21.3
Dinamarca	42	52	- 19.2
Alemania R.F.A.	3,452	3,120	+ 10.6
Francia	1,684	1,559	+ 5.3
Italia	2,033	1,988	+ 2.3
Luxemburgo	364	302	+ 20.5
Congo Unido	1,343	1,385	- 3.0
Austria	413	396	+ 4.3
Finlandia	227	211	+ 7.6
Normandia	86	83	+ 3.6
Portugal	62	54	+ 14.8
España	1,205	1,026	+ 17.4
Suecia	425	408	+ 4.2
Turquia	348	268	+ 29.9
Yugoslavia	290 E	335	- 13.4
Canada	1,212	1,187	+ 2.1
Estados Unidos	5,625	6,472	- 13.1
Argentina	180	256	- 29.7
Brazil	1,515	1,285	+ 17.9
Chile	55 E	51	+ 7.1 E
México	585 E	567	+ 3.2 E
Venezuela	210 E	215	- 2.3 E
Australia	523	503	+ 4.0
India	825 E	790	+ 4.4 E
Japon	8,618	8,202	+ 5.1

Fuente: ILAFA; E= estimado; cifras en miles de tons. metricas

FIG. NO. 1

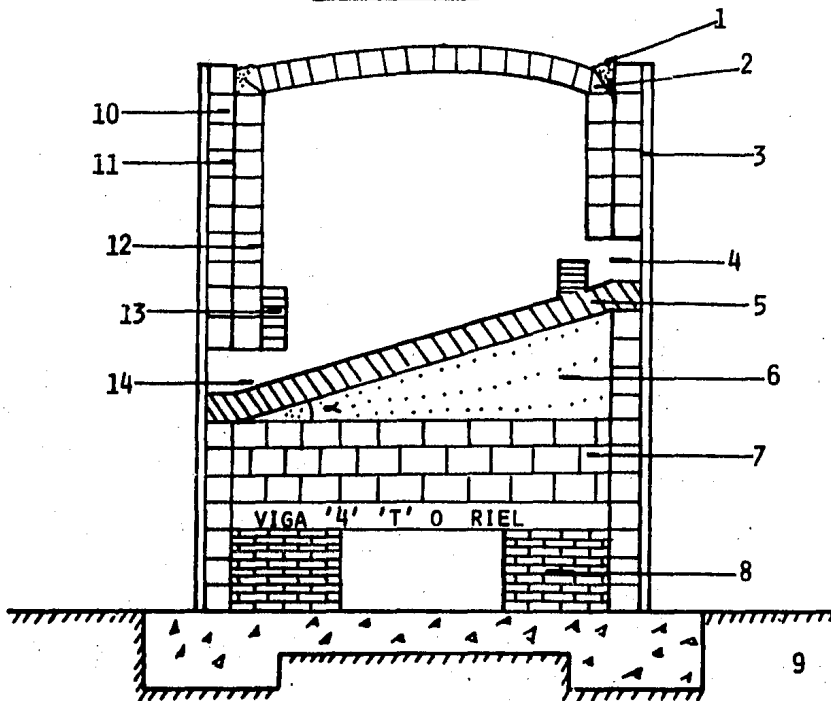


**LEYENDA**

- A.- PAREDES DE ADOS
- B.- CARGA DE LEÑA
- C.- CARGA MINERAL
- D.- ENTRADAS DE AIRE

FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM)		
CROQUIS DE UN HORNO RUDIMENTARIO		
SALVADOR	1969 TESIS	ESQ. NO
OLIVARES M.	PROFESIONAL	

FIG NO. 2



**LEYENDA**

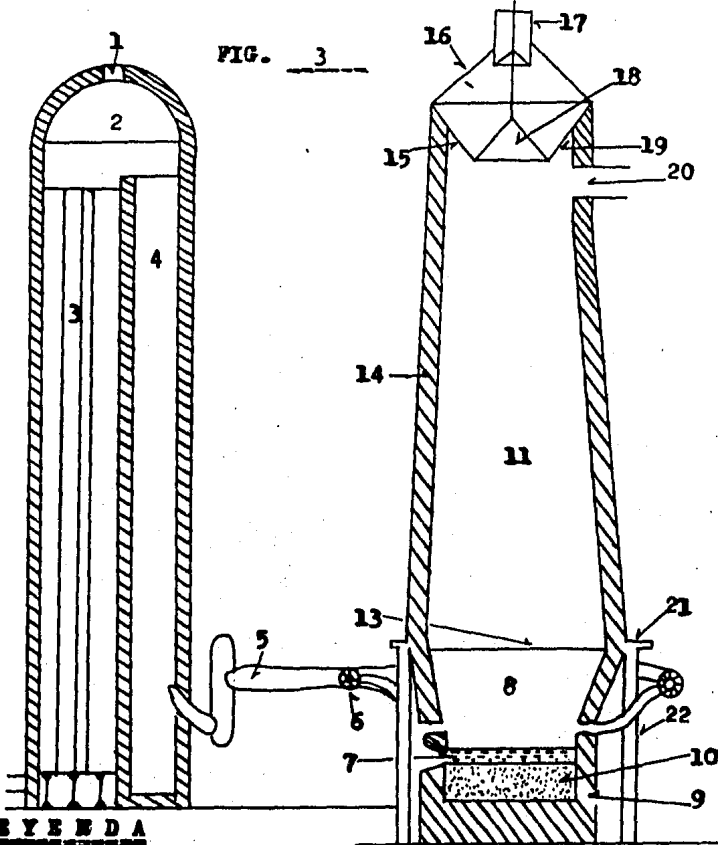
- 1- CAMA DE PERLITA
- 2- DOBELAS DE REFRACTARIO
- 3- VIGAS 'H' O 'T'
- 4- ALIMENTACION
- 5- BASE DE LADRILLO REFRACTARIO
- 6- CAMA DE MATERIAL BRASKE
- 7- PLANTILLA DE TABIQUE CON CEMENTO
- 8- PARED DE TABIQUE RECOCIDO
- 9- CIMENTACION DE CONCRETO
- 10- MAMPOSTERIA
- 11- AISLANTE (ASBESTO + BRASKE)
- 12- LADRILLO REFRACTARIO
- 13- PERFIL
- 14- DESCARGA

FACULTAD DE INGENIERIA (UNAH)

CROQUIS DEL  
HORNO DE  
REVERBERO

SALVADOR	1989 TESIS	ESC. NO
OLIVARES M.	PROFESIONAL	

FIG. 3



**LEYENDA**

- 1.-Recuperador
- 2.-Gaspula
- 3.-Empilado de ladrillo
- 4.-Camara de Combustión
- 5.-Tubo de viento
- 6.-Tobera
- 7.-Escoriadero
- 8.-Boquilla de Tobera
- 9.-Orificio de Colada
- 10.-Griseol
- 11.-Cuba
- 12.-Estalaje
- 13.-Vientre
- 14.-Revestimiento Refractario
- 15.-Fragante

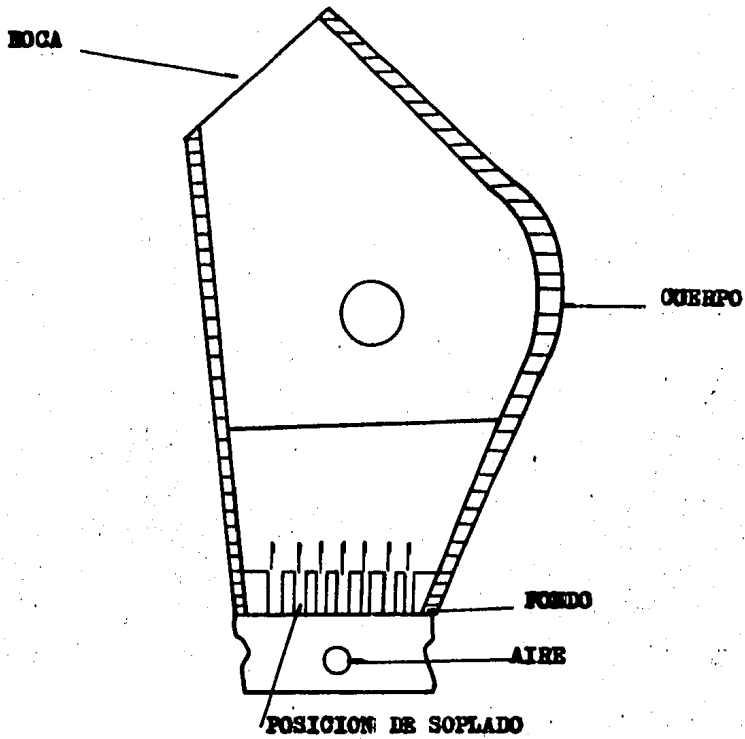
- 16.-Tolva de carga inferior
- 17.-Tolva de carga superior
- 18.-Campana pequeña
- 19.-Campana grande
- 20.-Toma de Gases
- 21.-Anillo de Soporte de la Cuba
- 22.-Columna de apoyo de la Cuba

FAACULTAD DE INGENIERIA (UNAM)

GRUPOS DE EL  
ALTO HORN

SALVADOR	1965 TESIS	ESC.NO
OLIVARES E.	PROFESIONAL	

**FIG. 4**

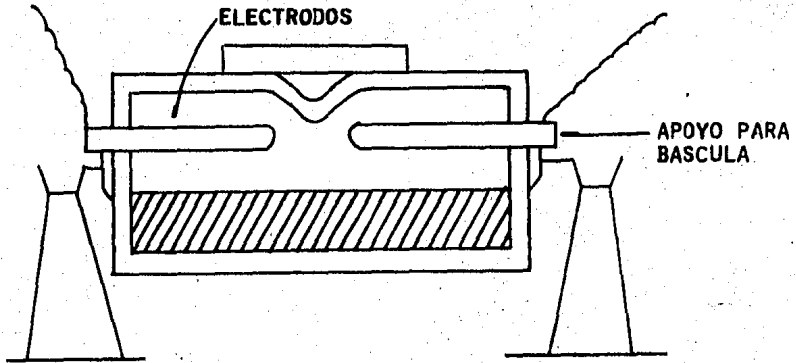


FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM)

CONVERTIDOR DE SOPLADO  
POR ABAJO

SALVADOR OLIVARES M.	1965 TESIS PROFESIONAL	ESC. NO
-------------------------	---------------------------	---------

FIG. 5



FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM)

HORNO ELECTRICO  
DE ARCO

SALVADOR 1985 TESIS ESC. NO  
OLIVARES M. PROFESIONAL



CAPITULO

CUARTO

## CAPITULO CUARTO

### IV.- DESCRIPCION DEL METODO DE EXPLOTACION

#### IV.1.- GENERALIDADES

De acuerdo a los estudios realizados por las empresas Dravo de México, S.A. y la Siderúrgica Lázaro Cárdenas las Truchas, S.A. (SICARTSA); se determinó que el sistema de minado - adecuado a los yacimientos minerales de las Truchas es por Tajo Abierto; las razones fundamentales para haber seleccionado este metodo fueron las siguientes:

a.- La relación total de descapote de 1.31:1 ó sea menor a la relación económica.

b.- Geometría masiva de los cuerpos mineralizados ó sea a la forma de desarrollo vertical con cierta inclinación.

c.- Seguridad, rendimiento y alta eficiencia de este sistema de minado, lo que permite usar equipo de alta productividad.

d.- Versatilidad en la operación, amplio campo para seleccionar los equipos de las minas.

En hojas posteriores se dara explicación más detallada a lo que se acaba de mencionar.

#### IV.2.- CARACTERISTICAS DE LOS YACIMIENTOS MINERALES

##### IV.2.a.- El Mango.

Esta formado por tres cuerpos principales, escalonados de Noroeste a Sureste. La falla principal conserva un rumbo al "N" con cierta tendencia al Noroeste.

##### IV.2.b.- El Volcan.

Se presenta en dos cuerpos principales de diferente importancia económica. Por su potencia, este deposito representa mayor volumen de reservas cuantificadas con relación a

Los demas.

IV.2.c.- Reservas de Mineral principales

(miles de toneladas)

CUERPO	MAGNETITA	HEMATITA	TOTAL
VOLCAN	33,740	6,240	= 39,980
MANGO	<u>16,310</u>	<u>8,020</u>	= <u>24,330</u>
TOTAL	<u>50,050</u>	<u>14,260</u>	<u>64,310</u>

IV.2.d.- Caracteristicas Geometricas de El Volcan y El Mango.

El MANGO

CUERPO	DIRECCION	INCLINACION	LONGITUD (max.)
Las Truchas	N 20° E	15° E	300 m.
El Volcan	N 45° E	40° E	500 m.
Campamento	N 45° E	70° E	200 m.

El VOLCAN

CUERPO	DIRECCION	INCLINACION	LONGITUD (max.)
VOLCAN	N 45° E	30° E	550 m.
VOLCANCITO	N 45° E	30° E	180 m.

IV.3.- EXPLORACION

Este proyecto está basado en los estudios de Geofísica y los programas de barrenación a diamante que se tienen a la fecha en SICARTSA; así como a la interpretación geológica efectuada.

Se continua explorando el área con barrenación a diamante y esta exploración debiera continuar conforme se avance en la explotación de los cuerpos ya conocidos.

#### IV.4.- EQUIPO DE OPERACION

A continuación se enuncia una lista en donde se incluyen los equipos empleados en este método de explotación.

<u>Cantidad</u>	<u>Descripción</u>	<u>Especificaciones</u>
5	Perforadora para canteras	Barras =(25') Brocas = (9") Empuje= 17 ton. Compresor=1000-150psi Transito = llantas
2	Perforadoras tipo Trac-Drill	Barras =(10') Brocas =(3,5") Transito= Orugas
3	Compresores para tipo Track - Drill	Gasto= 600 pcm. Presión= 150 psi. tipo= movil
4	Excavadoras Hidráulicas	Bote= 800 m <sup>3</sup> Levante= 18 a 23 Tm Altura Corte= 12.00m. Transito = Orugas
3	Botes Adicionales	Capacidad= 5.7 m <sup>3</sup>
2	Cargadores Frontales	Botes = 5.00 m <sup>3</sup> Levante = 9 T Transito= llantas
15	Camiones Fuera de Carretera	Capac. = 77 T. caja = revestida Transmision=Automatica
6	Bulldozer	Peso= 43 tons. HP = 420 Caseta= contravuelcos Transito= Orugas
1	Motoconformadora	Cuchilla = 4.27 m.
1	Pipa Aspersora	Capacidad= 30 m <sup>3</sup>
3	Camion Orquesta	Capacidad= 10 ton.
2	Camion Taller movil	Capacidad = 20 ton.
1	Camion General	Capacidad = 10 ton.

<u>Cantidad</u>	<u>Descripción</u>	<u>Especificaciones</u>
2	Camionetas taller movil	cap. = 3tons.
1	Camion para llantas	cap. = 10tons.
1	Camion de explosivos	capa.= 5tons.
2	Camion tolva para explosivos a granel	cap. =10tons.
2	Camion pipa para Diesel	cap.= 10,000 lts.
2	Camion pipa para agua	cap.= 10,000 lts.
1	Camion-Tractor de arrastre	cap.= 60 tons.
1	Plataforma	cap.= 60 tons.
9	Camionetas para personal	cap.= 0.75 tons.
3	Autobuses	Cap.= 40 pasajeros
3	Hombas para desaguar Tajos	descarga= (6")Ø
2	Sirenas	Alcance = 2kms.
2	Generadores Moviles	cap. = 10 kva
3	Perforadoras de Diamante	tipo Long-Year 38 y 44
3	Perforadoras Manuales	de 30 kgs. aprox.
1	Lote	Equipo de radio-comunicación.
1	Lote	Equipo de Taller
1	Lote	Herramienta de Taller
4	Hombas para Diesel	Caudal= 50 m <sup>3</sup> /hr.
2	Tanques para Diesel	200 m <sup>3</sup> c/u
2	Tanques para Agua	100 m <sup>3</sup> c/u
1	Silo para explosivos	500 tons. para 3 dias
1	Oficina para Tajos	para 8 personas
1	Local para servicio preventivo y lavado	para 2 camiones de 85 tons.

<u>Cantidad</u>	<u>Descripción</u>	<u>Especificaciones</u>
1	Taller para servicio Correctivo	con 8 cubículos
1	Descapote para los 2 primeros años y caminos conexos	36 millones de tepetate y 10 kms. de caminos aproximadamente.

#### IV.5.- EXPLOTACION

Se resumen en la siguiente tabla los datos correspondientes a la operación de explotación de los Tajos en conjunto con los últimos 6 años

<u>AÑO</u>	<u>MAGNETITA</u>	<u>HEMATITA</u>	<u>TEPETATE</u>	<u>RELACION</u>
1975	251,832	-----	3'582,172	14.22:1
1976	819,416	50,000	3'157,427	3.63:1
1977	1'254,822	234,757	1'390,435	0.93:1
1978	1'333,858	208,748	997,675	0.65:1
1979	1'498,235	297,133	1'331,251	0.74:1
1980	<u>1'554,368</u>	<u>82,853</u>	<u>1'375,324</u>	<u>0.84:1</u>
<b>TOTAL</b>	<b>6'712,531</b>	<b>873,491</b>	<b>11'834,284</b>	<b>1.56:1</b>

#### IV.6.- PARAMETROS DE DISEÑO

##### IV.6.a.-Profundidad Total de Los Tajos

Se ha determinado como profundidad total del tajo el Volcan de 156 m. y para el Mango de 218 m., lo cual hace costoso su explotación con el equipo adecuado, aplicando el metodo de "TAJO ABIERTO".

Las profundidades determinadas están basadas en las exploraciones geológicas efectuadas a la fecha y a la interpre-

tación geológica inferida de los datos de la exploración por -  
barrenación a diamante.

Para el desarrollo de futuras operaciones mineras, -  
deberán hacerse exploraciones adicionales y calcularse las nue-  
vas expansiones de nuevas reservas, equipos disponibles en el -  
mercado y estudios económicos pertinentes.

#### IV.6.b.- Angulo de Diseño.

En virtud a la disposición de las masas de mineral, a  
las pruebas contratadas por SICARTSA de mecanica de rocas y a  
la economía en el descapote, tomo un angulo de diseño de  $56^{\circ}$ .

Resulta evidente, que por cada grado que se varie en  
el ángulo de diseño, se podra ahorrar en los costos ó bien estos  
se incrementarán en el tumba de mineral - tepetate, por lo que  
se justifica en las primeras obras, efectuar un estudio comple-  
to de estabilidad de taludes y la posibilidad de tomar un ángu-  
lo de diseño ya sea mayor ó menor al propuesto.

#### IV.6.c.- Angulo Final.

El ángulo final del tajo será de  $55^{\circ}$ , considerando la  
rampa principal descendente y las porciones más críticas del Ta-  
jo del Volcan.

#### IV.6.d.- Equipo de Perforación

Para los volúmenes que se proyecta mover tanto de mi-  
neral como de tepetate, es necesario utilizar maquinaria como  
son perforadoras de alto rendimiento y esta en general usan -  
barras de 7.62 m., por lo que dos barras serán suficientes; di-  
chas perforadoras darán barrenos de 13.5 m. a 14.5m., que son -  
suficientes para bancos de 12 m. a 13 m.

Por razones de seguridad y por las palas mecanicas -  
que se usarán tambien, serán de alta movilidad, se estima que  
un banco de 12 m. de alto es de lo más económico posible y seguro.

#### IV.6.e.- Angulo de Trabajo

Se considera, que si la carga tumbada asume un ángulo de reposo de  $37^{\circ}$  y que para el libre acceso por el camino se necesita un mínimo de 24 m. de ancho, el banco de trabajo debe tener un ángulo máximo de  $17^{\circ}$  (40 m. de ancho).

#### IV.6.f.- Ancho de Terrazas

Al tener los bancos una altura de 12 m. y un ángulo de diseño de  $56^{\circ}$ , por medio de la tangente trigonométrica se determina que las terrazas tendrán 8.10 m. de ancho.

#### IV.6.g.- Ancho de las Rampas

Se estima que una rampa de 20 m. de ancho es suficiente para camiones de hasta 100 tons. cortas; pues cumple con la especificación de que los caminos deben tener un mínimo de 3.5 veces el ancho del vehículo cuando transita en ambos sentidos.

Es necesario hacer notar que por cada metro que se amplie la rampa se genera un total aproximado de 820,000 tons. de tepetate a un costo de 12.3 millones de pesos; esto a razón de \$ 15 pesos/ton.

#### IV.6.h.- Longitud Final de la Rampa

En general las rampas principales de acceso tendrá una pendiente de 8% para facilitar el descapote y asegurar una operación satisfactoria de los camiones fuera de carretera. La rampa tendrá una longitud total de 1086 m.

#### IV.6.i.- Recomendaciones

Para poder tener un buen timbre de mineral es necesario que se tomen en cuenta los siguientes aspectos:

a.- Dar buen uso a el equipo de las minas como son: las palas mecánicas, esto es con el objeto de alargarla vida del equipo, así como tener una buena eficiencia.

b.-Eficiencia en el cargado de explosivos a los barre-



nos, esto es con el fin de obtener una buena cantidad de mineral.

c.- Eficiencia de la trituración; este aspecto es muy importante, ya que en la mina se obtiene un mineral con una granulometría que varía en tamaño desde un metro de diámetro a menor, por lo que dicho mineral debiera ser reducido de tamaño por la trituradora primaria obteniéndose de esta un producto con una granulometría de 10 pulgadas y menor, por lo que se puede observar que la trituración primaria es una función importante para obtener mineral de hierro con una granulometría adecuada y tener eficiencia en los pasos siguientes.

d.- Tener precaución con el equipo que da mantenimiento a los caminos de acceso que es por donde circulan los camiones fuera de carretera, que son los que transportan el mineral de hierro.

#### IV.6.j.- Características de los Cuerpos Minerales.

A continuación se mencionan las características de los bancos de explotación tanto de mineral como de tepetate.

DESCRIPCION	TEPETATE	MINERAL
Altura	12.00 m.	12.00 m.
Sub-barrenación	1.50 m.	1.50 m.
Separación de barrenos	6.50 m.	6.00 m.
Horde Fronsde	5.50 m.	5.00 m.
Profundidad de Barrenos	13.50 m.	13.50 m.
Densidad Media	2.80 Ton/m <sup>3</sup>	3.81 Ton/m <sup>3</sup>
Desarrollo/día	41,700 tons.	41,100 tons.
Tumbe/barreno	1,200 tons.	1,370 tons.
Barrenos/día	35	30
Longitud de banco/día	221 m.	180 m.
Diámetro de la broca	23 cm. (9")	23 cm. (9")

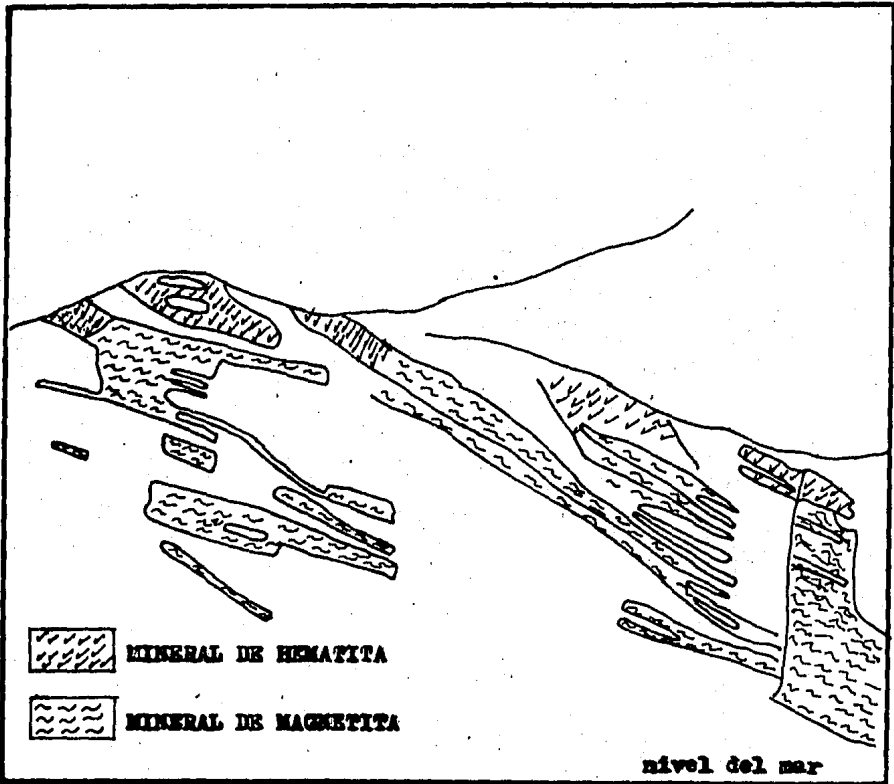
#### IV.6.j.- Parametros de Diseño

Enseguida se muestra una tabla, en la que se indican los parametros de diseño de los yacimientos minerales del Volcan y El Mango.

DESCRIPCION	VOLCAN	MANGO
Profundidad Total del Tajo	156.00 m.	218.00 m.
Altura de los Bancos	12.00 m.	12.00 m.
Ancho de Terrazas	8.10 m.	8.10 m.
Ancho de las Rampas	20.00 m.	20.00 m.
Longitud final de las Rampas	1086.00 m.	1086.00 m.
Angulo de Diseño	56°	56°
Angulo final crítico	55°	55°

Enseguida se anexan varios croquis relativos a este capitulo y que sirven para ilustrar lo que se acaba de mencionar.

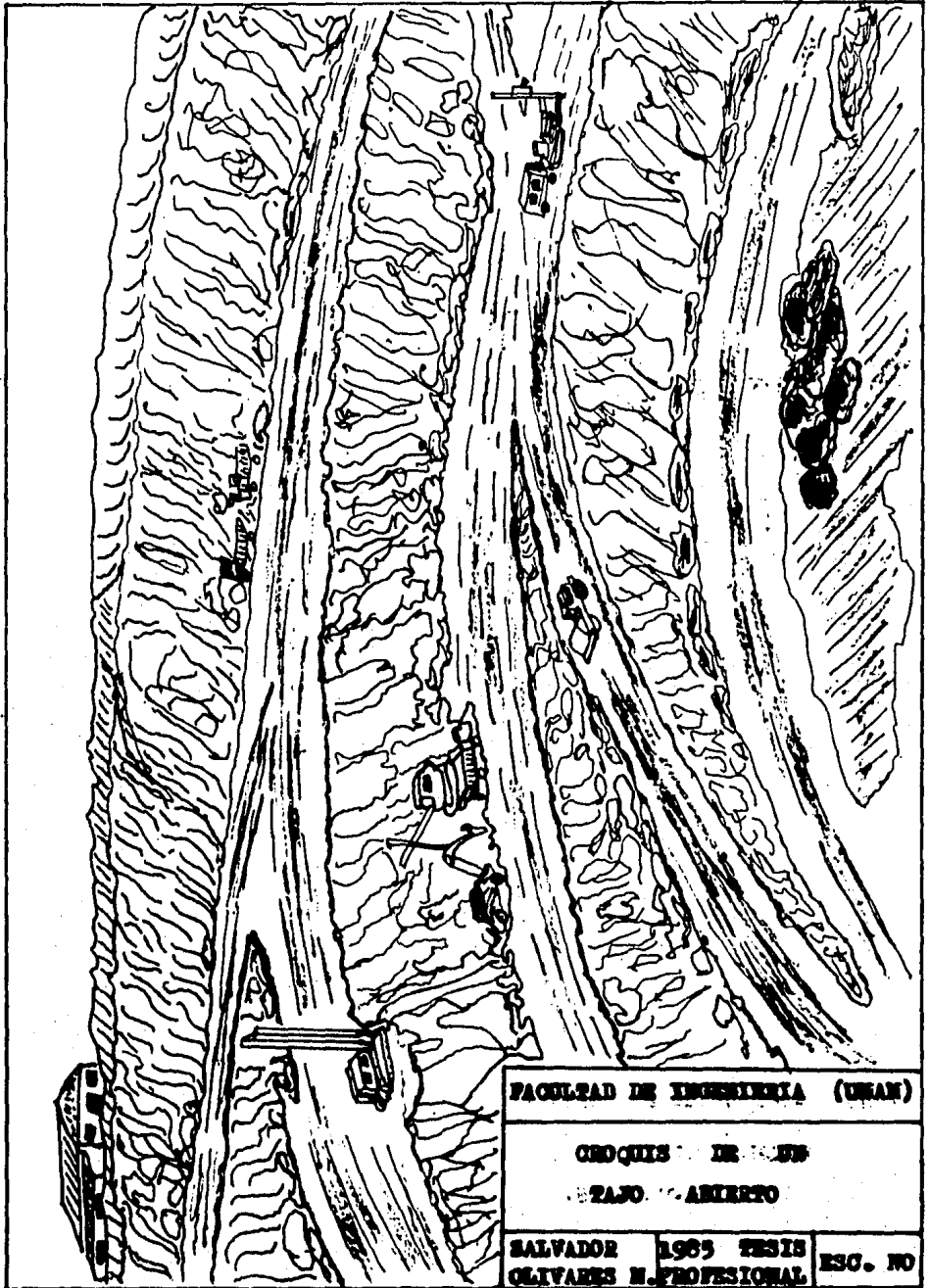
De esta manera se ha hecho un breve bosquejo acerca del sistema de explotación, llevado a cabo en los yacimientos de Ferrotepec, actualmente en explotación y tambien de los yacimientos que inician su inmediata explotación como son El Volcan y El Mango.



FACULTAD DE INGENIERIA (URAM)

SECCION GEOLOGICA TIPICA  
EL VOLCAN

SALVADOR	1965	TESIS	ESC. NO
OLIVARES M.	PROFESIONAL		



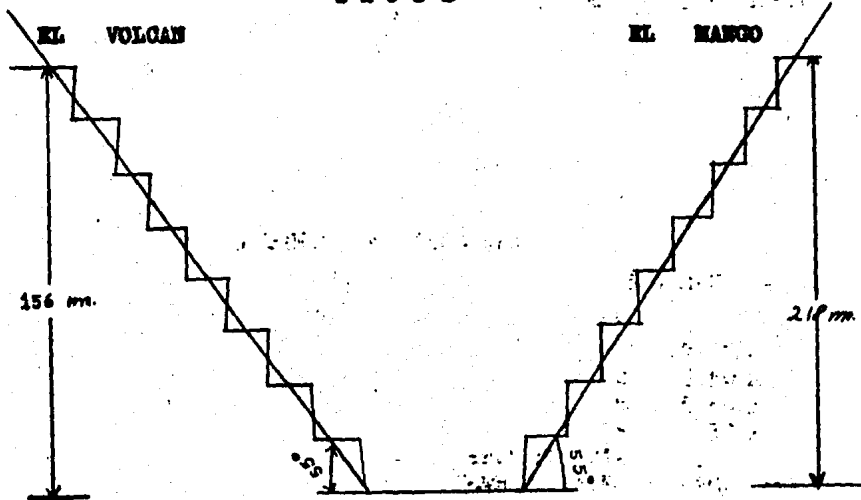
FACULTAD DE INGENIERIA (UNAN)

DISEÑO DE UN

PUENTE ABIERTO

SALVADOR 1965 TESIS ESC. NO  
OLIVARES H. PROFESIONAL

**CROQUIS DE LOS  
TAJOS**



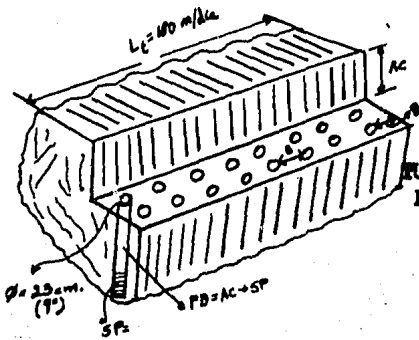
**FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM)**

**CROQUIS DEL ANEJO**

**FINAL CRITICO**

<b>SALVADOR</b>	<b>1983</b>	<b>TESIS</b>	<b>ESC. NO</b>
<b>OLIVARES N.</b>	<b>PROFESIONAL</b>		

**BANCO DE MINERAL**



**LEYENDA**

PB = 13.5 m.

AC = 12.0 m.

E = 6.0 m.

B = 5.0 m.

SP = 1.5 m.

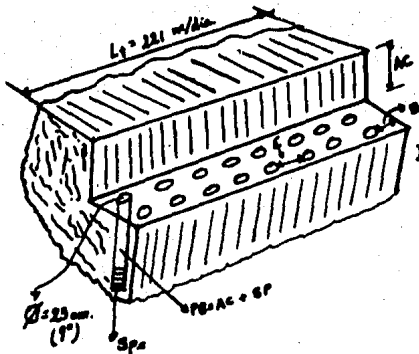
BARRENOS/DIA = 30

TUMBE/BARRENO = 1,370 tons.

DESARROLLO/DIA = 41,100 tons.

DENSIDAD MEDIA = 3.81 Ton/m<sup>3</sup>

**BANCO DE TEPETATE**



**LEYENDA**

PB = 13.50 m.

AC = 12.00 m.

E = 6.50 m.

B = 5.50 m.

SP = 1.50 m.

BARRENOS/DIA = 35

TUMBE/BARRENO = 1,200 tons.

DESARROLLO/DIA = 41,700 tons.

DENSIDAD MEDIA = 2.60 Ton/m<sup>3</sup>

**FAULTAD DE INGENIERIA (UNAM)**

**CROQUIS DE LOS BANCOS  
DE EXPLOTACION**

**SALVADOR 1985 TESIS** | **ESO. NO**  
**OLIVARES N. PROFESIONAL**

CAPITULO

QUINTO

## CAPITULO QUINTO

### V.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE BENEFICIO

#### V.1.- GENERALIDADES

La segunda expansión para la planta de beneficio de minerales de SICARTSA; llamada Planta No. II; ha sido diseñada para producir 3° 000,000 TM/año de concentrados de hierro para Reducción Directa (RD) y 1° 500,000 TM/año de concentrados para el Alto Horno (AH); es decir un total de 4.5 millones de toneladas por año de concentrados de hierro.

La Planta No.1 ; que actualmente procesa minerales de hierro (magnetita); utilizando el sistema de separación magnética principalmente; por lo que este proceso va a ser modificado para acoplarse a la Planta No. 2 y poder de esta manera obtener los 3 millones de TM/año de concentrados de hierro; dando una producción promedio para cada línea de 1.5 millones de TM/año , de concentrados; por lo que en el proceso de beneficio se van a utilizar tanto la separación magnética de baja intensidad, así como la flotación, representando ésta una variante innovadora dentro del proceso de beneficio de los minerales de hierro.

Para poder adaptar la Planta No.1 con respecto a la planta No.2; es necesario hacer las siguientes modificaciones.

V.1.a.- Sustituir la trituración secundaria y terciaria por los molinos semi - autogenos; la razón de esto, es que los minerales en los molinos semi - autogenos se reducen de tamaño en una sola etapa, esto en comparación con el sistema de trituración.

V.1.b.- Modificación de los Molinos de Barras a Molinos de Bolas; el objetivo de esta modificación es principalmente - obtener una pulpa con una granulometría uniforme, ya que estos



molinos a la planta No. 1 y es necesario adecuarlos a la etapa No. 2 y poder cumplir con los requerimientos de los concentrados de hierro.

En hojas posteriores se daran los parametros necesarios al respecto, de lo que se acaba de mencionar.

Para poder lograr este nivel de producción de concentrados en la nueva planta de beneficio, se debera obtener el mineral de alimentación de dos yacimientos minerales, El Volcan y El Mango. Las características que presentan éstos yacimientos, es que en sus capas superiores consiste principalmente de mineral de Hematita y representa el 30% de las reservas totales; por otro lado, en las capas inferiores de estos yacimientos se tiene el mineral de Magnetita y representa el 70% de las reservas totales de mineral.

#### V.2.- PARAMETROS DE OPERACION DE LA PLANTA

<u>DESCRIPCION</u>	<u>CANTIDAD</u>
<b>Planta de Beneficio:</b>	
días operando/año	300 días
turnos operando/año	3 turnos de 8 hrs.c/u.
<b>Edificio de los Molinos Semi-Autogenos:</b>	
días operando/año	300 días
turnos operando/año	3 turnos de 8 hrs. c/u.
<b>Pilas de mineral para el Almacenamiento y/o alimentación:</b>	
Pila de mineral de Hematita	100,000 ton.metrica
Pila de mineral de Magnetita	31,000 ton.metrica
<b>Características del Índice de Trabajo de los minerales de SICARTSA:</b>	
Hematita	8.1 KWH/TM
Magnetita	6.7 KWH/TM
<b>Granulometria del producto de los molinos Semi-Autogenos</b>	el 80%pasando a -4mm.

DESCRIPCIONCANTIDAD

Granulometría del producto de los Molinos de Bolas:

el 80% pasando a  
- 325 mallas

**V.3.- PARAMETROS DE PROCESO**

Se muestra la siguiente tabla en la que se indican los resultados de los análisis químicos y el índice de trabajo de los minerales de Hematita y Magnetita.

NOMBRE DE LA MUESTRA	INDICE DE TRABAJO KWH/T.CORTA	Fe% TOTAL	SiO <sub>2</sub> TOTAL	S% AZUFRE
Hematita del Volcan	12.4	62.38	5.80	0.89
Magnetita del Volcan	7.0	52.50	12.40	2.80
Hematita del Mango	15.3	56.97	10.70	0.68
Magnetita del Mango	11.4	60.94	8.10	0.80

Con base a lo que muestra la tabla se puede concluir que:

- Las muestras de Hematita son más duras para moler que las muestras de Magnetita.
  - Las muestras de mineral provenientes de el yacimiento El Mango, son más duras para moler que las muestras de El Volcan.
- Para la producción de concentrados de Reducción Directa (RD); el diagrama de flujo incluye lo siguiente:
- Separación Magnética de Baja Intensidad.
  - Flotación de Silicatos.
  - Remolienda y limpieza de las espumas de la flotación por medio de los Separadores Magnéticos de Baja Intensidad.
- Para la producción de concentrados para el Alto Horno

(AH); el diagrama de flujo incluye lo siguiente:

- Deslamado en tres etapas.
- Sistema de Flotación para minerales de sulfuros y - para minerales de silicatos.
- Limpieza por Separación Magnética de Alta y Baja - Intensidad.

V.4.- CARACTERISTICAS DE LOS MINERALES DE HIERRO Y/O CONCENTRADOS DE HIERRO

V.4.a.- Minerales de Hierro

COMPOSICION	MINERAL MAGNETITICO Porcentaje	MINERAL HEMATITICO Porcentaje
% Fe <sub>total</sub>	45% - 50%	50% - 55%
% S	4.5% - 4.5%	6.5% - 6.5%
% SiO <sub>2</sub>	15% - 15%	14% - 14%
% Fe <sub>total</sub> % Fe <sup>++</sup>	cuando se presenta esta característica " $\leq 4$ " el mineral es magnetita	15 ± 10 - 15 ± 10 cuando se presenta esta característica se considera al mineral hematita
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.5% - 2.5%	2.25% - 2.25%
% CaO	5.7% - 5.7%	3.5% - 3.5%
% Gangas	42.9% - 36.0%	29.6% - 23.7%

V.b.- Concentrados de Hierro

COMPOSICION	REDUCCION DIRECTA	ALTO HORNO
% Fe <sub>total</sub>	68.5% (minimo)	63% - 66%
% SiO <sub>2</sub>	2.5% (maximo)	4% - 6%
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5% (maximo)	-----
% S	0.25% (maximo)	0.25% (max.)
% P	0.05% (maximo)	-----
% Grado Blein cm <sup>2</sup> /gr.	1600 - 1800	1600 - 1800

La obtención de concentrados, apartir de mineral crudo consiste basicamente en tratar el mineral en un sistema compuesto de equipos para el beneficio de minerales, como son: molinos Semi-Autogenos y de Bolas, Separadores Magnéticos de Alta y Baja Intensidad, Sumideros, Tanques de Almacenamiento y preparación de reactivos, asi como de concentrados, celdas de flotación, - etc.; los cuales tienen la función, entre otras las de triturar moler, separar, clasificar y finalmente flotar y de esta manera poder obtener un concentrado lo más limpio posible, librandolo de la mayor cantidad de impurezas como son: La Silice, La Calci-ta, La Pirita, La Ganga y otras más.

La planta concentradora está constituida por tres líneas principales: Las líneas " B " y " C ", que se utilizan para la producción de concentrados de Magnetita y la línea " A " que se utiliza para la producción de concentrados de Rematita; estas tres líneas se diferencian entre si en cuanto al procesa-

miento de mineral, que a continuación se describe:

#### V.5.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE BENEFICIO

##### V.5.a.- Proceso Magnetico lineas " B " y " C "

El mineral que proviene de la mina, el cuál tiene una granulometria del 80% a -200 mm. como máximo y que es descargado en un sistema de almacenamiento y alimentación de mineral de hierro y que esta compuesto por unas pilas de mineral, alimentadores de placa y sistema de bandas transportadoras, las cuales, dosifican de mineral a el edificio donde se localizan los molinos Semi-Autogenos; el sistema de almacenamiento y alimentación antes mencionado deberá alimentar de 860 TM/hr. de mineral a las lineas " B " y " C ", por lo que, en cada linea se tiene una alimentación de 430 TM/hr.

Cada transportador que alimenta a el molino Semi-Autogeno no tiene integrada una bascula, la cuál registra el flujo y la cantidad acumulativa de mineral que se alimenta.

Los molinos Semi-Autogenos, reducen de tamaño al mineral por medio de impacto y atrición en un sistema humedo; por lo que el producto obtenido, es una pulpa con un contenido de solidos del 40% y la granulometria del 80% a -4 mm. ; ésta pulpa es bombeada a un distribuidor de gravedad, el cuál homogeniza la pulpa y alimenta a una bateria de cinco separadores magneticos de baja intensidad de doble tambor; en estos equipos, se lleva a cabo la primer limpieza de la pulpa y separa el mineral estéril del mineral considerado como concentrado.

El material estéril, es enviado a dos Clasificadores de Espiral, que tienen la función de recuperar el agua en el sobreflujo de dichos equipos y enviar dicha agua a el espesador de colas y en el bajoflujo se obtienen los esteriles ó arenas gruesas, las cuales se envían a la presa de jales.

La pulpa magnetica que se obtiene en el sobreflujo de los separadores magneticos de baja intensidad, es enviada a un circuito cerrado, compuesto de sumideros los cuales reciben y distribuyen la pulpa a una bateria de 13 hidrociclones, estos tienen la función de clasificar a la pulpa en particulas gruesas y en particulas finas, enviando a las primeras a el molino de bolas en donde despues de un cierto tiempo de molienda se obtiene un producto con una granulometria de el 80% pasando a -325 mallas y cuando se ha hecho la molienda, la pulpa regresa a los hidrociclones en donde se realiza la clasificación de las particulas, llevando en el sobreflujo la pulpa con la granulometria deseada a un distribuidor de gravedad, que alimenta en forma igual a una bateria de seis separadores magneticos de baja intensidad de triple tambor, llamados FINISHER, en donde se realiza la otra depuración al mineral magnetico, para obtener un concentrado a razon de 220 TM/hr.

En esta área se mezclan las pulpas magneticas tanto de la línea " B " así como de la línea " C ", en la que circula la pulpa a un flujo de 230 TM/hr., por lo que esta línea trabaja en forma semejante a la línea " B ". Por lo tanto la cantidad total de concentrado de las dos líneas es de 460 TM/hr. de solidos.

Si el concentrado magnetico de las dos líneas tiene la calidad suficiente para la Reducción Directa, entonces será enviado directamente al sistema Dewatering consistente de tres separadores de un solo tambor, los cuales eliminan la mayor cantidad de agua y la pulpa deseada es enviada a los tanques de almacenamiento de concentrados, pasando previamente por las bobinas desmagnetizadoras, sin pasar dicho concentrado magnetico a el sistema de flotación. De lo contrario si dicho concentrado magnetico

contiene muchas impurezas como son silice, calcita, sulfuros y otros más, por lo que será necesario enviar la pulpa a el sistema de flotación.

La pulpa magnetica que se obtiene en el sobreflujo de los separadores magneticos de baja intensidad FINISHER, es descargada en un sumidero con sus bombas las que dosifican la pulpa a dos tanques acondicionadores con sus agitadores, los cuales mantienen en movimiento a la pulpa; junto con la adición de reactivos, los cuales hacen acondicionar a las particulas ó sea la preparación de la pulpa mineral para el siguiente paso que es la flotación.

En el primer tanque se adiciona el almidon e hidroxido de sodio y en el segundo tanque se agrega la amina y el xantato.

La pulpa acondicionada fluiira por gravedad del primero al segundo acondicionador y de este a una bateria de doce celdas de flotación; las que tienen integradas una caja de alimentación una caja de descarga y cajas intermediarias. En esta bateria de celdas de flotación se agregan reactivos de espumante y amina.

En las celdas de flotación se obtienen dos productos que se manejan de la siguiente manera:

En la parte superior de las celdas de flotación se recolectan las espumas que contienen mineral de hierrocon una mezcla de ganga en una misma partícula, por lo que es necesario hacer una liberación por molienda para recuperar más hierro para esto es necesario que dichas espumas sean enviadas a diferentes equipos como son: separadores magneticos dewatering y en los cuales se obtiene una pulpa espesa, enviandose esta a un sumidero con sus bombas, las cuales dosifican a el molino de barras, el cual va a ser modificado a molino de bolas ó sea se haran los

trabajos necesarios como cambio de blindaje, adición de las bolas, cambio de motor, en este molino modificado se va a obtener un producto con una granulometría de el 80% pasando a -500 mallas

La pulpa obtenida en el molino de remolienda es llevada a unos separadores magnéticos de baja intensidad de doble tambor los cuales dan la última limpieza a la pulpa, obteniendo por un lado concentrado magnético el cual es llevado a los tanques de almacenamiento de concentrados y por la parte inferior de los separadores se obtienen los esteriles que son llevados a el Espesador de sales.

En el bajo flujo de las celdas de flotación, se obtiene el concentrado magnético, el cual también es llevado a los tanques de almacenamiento de concentrados finales, pasando antes - por unas bobinas demagnetizadoras, las cuales eliminan las influencias magnéticas de la pulpa, lo que permite que circule la pulpa con más rapidez a los tanques de almacenamiento.

Finalmente el concentrado magnético, obtenido de las dos líneas ( " B " y " C " ), es de 430 TM/hr. y dicho concentrado es enviado a la estación de bombeo de Ferroduto, en dicha estación se realizan los muestreos físicos y químicos; para despues enviar dichos concentrados a la planta peletizadora.

#### V.5.b. - Proceso Hematítico Línea " A "

Esta línea ha sido diseñada para procesar minerales de Hematita; estará integrada por equipos especiales para el beneficio de dichos minerales como son los separadores magnéticos de alta intensidad y baja intensidad, esto es con el fin de captar toda la hematita y magnetita que están contenidas en la pulpa, también aquí se encuentra el sistema de flotación.

Esta línea está constituida por tres sublíneas, las



cuales operarán en forma independiente; ésto será de acuerdo a las características metalúrgicas que presente el mineral.

1.- Con Hematita usando separación magnética de baja intensidad junto con flotación.

2.- Con Hematita usando separación magnética de baja intensidad, separación magnética de alta intensidad y flotación.

3.- Con magnetita usando separación magnética de baja intensidad.

Para explicar las tres sublíneas, se inicia con la descripción de la segunda, esto es, debido a que se usarán todos - los equipos representados en el diagrama de flujo, es decir, - esta sublínea representa el camino más largo que recorrerá la pulpa de Hematita. Posteriormente se hará la descripción de las otras dos alternativas.

El mineral de Hematita con una granulometría de -200  $\mu$ m. es alimentado a el molino semi-autógeno por medio de alimentadores de placa y de un sistema compuesto por bandas transportadoras, las cuales están equipadas con básculas automáticas que registran la cantidad de mineral que se alimenta a el molino - semi-autógeno, que debe ser de 320 TM/hr. en promedio.

En los molinos semi-autógenos se obtiene una pulpa con un contenido de sólidos del 40% y una granulometría del 80% pasando a -4mm. realizando este trabajo por impacto y atrición, auxiliado por tres toneladas de bolas, en promedio y que son - agregadas al molino.

La descarga de los molinos semi-autógenos, es llevada a un sumidero con sus bombas, estas dosifican a un circuito cerrado compuesto otro sumidero con bombas, una batería de trece hidrociaciones y un molino de bolas, dicho circuito trabaja de la siguiente manera.

La pulpa con una granulometría del 80% pasando a -4mm. es bombeada del sumidero hasta la batería de hidrociclones, los que tienen la función de hacer una clasificación de partículas; las partículas gruesas descargan en el bajo flujo alimentando al molino de bolas, el cuál muele la pulpa a una granulometría del 80% pasando a -325 mallas, esta pulpa se hace recircular a los hidrociclones. Mientras que el producto obtenido en el sobreflujo, alimenta a un distribuidor de gravedad, el cuál por derrame alimenta en forma igual a una batería de diez separadores magnéticos de baja intensidad, de doble tambor, en los que se obtienen dos productos; un sobreflujo y un bajo flujo.

En el sobreflujo se capta un producto considerado como concentrado, el cual se pasa por unas bobinas desmagnetizadoras y finalmente a el espesador de concentrados.

Por el bajo flujo es descargada una pulpa hematítica con impurezas y va a dar a un sumidero con bombas, las que dosifican a el primer deslave compuesto por 768 hidrociclones, que son equipos más pequeños y que tienen la misma función de clasificar las partículas que en este caso son lamas ya que las granulometrías son más reducidas, por lo que en el sobreflujo de estos equipos se obtienen partículas muy finas consideradas como lamas por lo que son llevadas a el espesador de colas.

En el bajo flujo del primer deslave, descarga una pulpa con una granulometría del 80% pasando a -325 mallas y que es llevada a el primer separador magnético de alta intensidad, en donde se obtiene concentrado de hematita. En general, estos equipos son usados para minerales de baja susceptibilidad magnética, para eliminar minerales paramagnéticos, así como para separar impurezas débilmente magnéticas. El equipo consta de las siguientes partes: Estructura, Imanes, Bobinas Magnéticas, Flecha del

Rotor, Cajas de placa, Tubos de Alimentación, Transmisión, Discos del Rotor, cajas Colectoras, Tubos de descarga de productos magnéticos y no magnéticos, Tubo para la descarga de los medios mecanismo de lavado y de recorrido.

Este equipo trabaja con una intensidad de campo de - 10,000 gauss, contiene además las siguientes tres descargas, las cuales trabajan de la siguiente manera:

La primera de las descargas contiene pulpa denominada Medios, que estan constituidos por concentrado impuro, dicho concentrado se hace recircular otra vez al separador magnético de alta intensidad para lograr su adecuada concentración.

La segunda de las descargas contiene una pulpa considerada como concentrado con impurezas por lo que es enviado a el Tercer Deslame, del cual se hablara posteriormente.

La tercer descarga contiene una pulpa a la que es necesario limpiar aún más, por lo que se procesa en un segundo deslame, en una batería de 384 hidrociclones, en los cuales se obtienen dos productos: pulpa de sobreflujo, pulpa de bajo flujo.

La pulpa obtenida en el sobreflujo es considerada como material estéril por lo que es enviada a el espesador de estériles.

En tanto que la pulpa obtenida en el bajo flujo, es - una pulpa que tiene una granulometria del 80% pasando a -325 mallas, la que es llevada a un segundo separador magnético de - alta intensidad, el que trabaja en forma semejante al descrito anteriormente.

Dos de las descargas de este equipo transportan material esteril, el que se bombea a el espesador de estériles . La tercer descarga contiene material valioso, ó sea pulpa hematítica que se descarga en un sumidero con bombas, de donde se bombea a los

tanques acondicionadores de pulpa, pasando la pulpa por un sumidero previamente.

El tercer deslame esta integrado por una batería de - 125 hidrociclones, de la que se obtienen dos productos que son los siguientes:

La pulpa que se obtiene en el sobreflujo de estos equipos, es considerada como concentrado por lo que se bombea directamente a el espesador de concentrados.

La pulpa obtenida en el bajo flujo de este tercer deslame, es bombeada a el circuito de flotación, el cual esta integrado de la siguiente manera:

La pulpa bombeada del sumidero llega primeramente a dos acondicionadores en donde se agregan los reactivos como son el Xantato, el cuál por medio de agitación se mezcla homogéneamente con la pulpa, la cual despues de cierto tiempo queda lista para la flotación; la pulpa acondicionada alimenta por derrame de un tanque a otro tanque por medio de un canalón hasta las celdas de flotación. Esta sección esta dividida en dos partes; una de ellas es la flotación de sulfuros, constituida por una caja de alimentación y ocho celdas; la otra parte, está integrada por seis celdas acondicionadoras para silicatos, caja intermediaria y diez celdas para la flotación de silicatos. Una vez realizada la flotación, se obtienen dos productos los cuales se manejan de la siguiente manera: En el sobreflujo de las celdas de flotación, se tiene un material considerado como estéril por lo que dicho producto es enviado a el espesador de esteriles.

El producto que sale en el bajo flujo de las celdas de flotación es considerado concentrado de Hematita y es enviado por medio de sumideros con bombas a el espesador de concentrados.

En el bajo flujo del espesador de concentrados de Hematita, se tiene un mecanismo denominado "Desviadero" el cuál opera de la siguiente forma.

El concentrado que tiene una granulometría adecuada - que es de 80% pasando a -500 mallas; que es la característica para el Alto Horno; dicho concentrado es enviado directamente por el desviadero a el área de almacenamiento.

Por otro lado, cuando el concentrado de Hematita, que no reúne las condiciones ideales antes mencionadas, es enviado a una remolienda llevada a cabo en un molino que va a ser modificado de barras a bolas, por lo que una vez que la pulpa ha obtenido su granulometría adecuada, es descargada en el área de almacenamiento.

El área de almacenamiento consiste de dos tanques en donde se recolecta todo el concentrado de las tres sublineas, - posteriormente dicho concentrado es enviado a la estación de Ferroaducto. En esta área se realizan muestros para controlar la ley del mineral, ejecutando para esto, analisis quimicos y analisis fisicos y una vez realizada esta operación, el concentrado hematítico se envia por el ferroaducto hasta la planta peletizadora.

El funcionamiento de esta sublinea, que se ha descrito, así como el de las otras dos sublineas será independiente y dependera de las características del mineral de hematita; por lo que la descripción de las otras dos alternativas es como sigue:

Sub-linea 1.- Separación Magnética de Baja Intensidad  
junto con flotación.

La pulpa inicia su recorrido con los molinos semi-autógenos, luego pasa al circuito cerrado compuesto por los sumi-

deros, ciclones y molino de bolas, trabajando este circuito cerrado con las mismas granulometrias de la sublinea anterior, de aqui la pulpa hematitica es enviada a el primer deslame y la pulpa obtenida en el sobreflujo es llevada a una bateria de diez separadores magnéticos de baja intensidad, en donde tambien se obtienen dos tipos de productos: uno de ellos es el concentrado magnético, enviandose éste a el espesador de concentrados y el producto restante se considera material esteril y descarga en el espesador de colas.

El producto obtenido en el bajoflujo del primer deslame va a alimentar a el segundo deslame, en el cual tambien se obtienen dos productos: La pulpa que se obtiene en el sobreflujo es material esteril por lo que es enviado a el espesador de esteriles.

Por otro lado en el bajoflujo se obtiene la pulpa de hematita con impurezas y dicha pulpa es descargada a un sumidero con sus bombas las que dosifican a el sistema de flotación, aqui se hara una descripción breve acerca de este sistema y en el siguiente capitulo se describira en forma completa la flotación de los minerales de hierro.

El sistema de flotación consiste principalmente de dos tanques acondicionadores en donde se agrega la pulpa y el reactivo Kantato y despues del acondicionamiento la pulpa pasa de un tanque a otro tanque por medio de un canalon hasta el banco de celdas de flotación, el cual está diseñado para flotar a los minerales de sulfuros y minerales de silicatos. Dicho circuito tiene la finalidad de producir un concentrado hematitico libre de impurezas; el concentrado de hematita es enviado a el espesador de concentrados y el material esteril a el espesador de colas y como en la sublinea anterior si es necesario se le da una

remolienda, esto será de acuerdo a las características de granulometría que presente la pulpa.

Sub-línea 3.- Obtención de magnetita usando separación magnética de baja intensidad.

Esta sublínea, representa la tercer alternativa y en la que se puede observar el uso de la separación magnética de -baja intensidad, esto es con el objeto de captar toda la magnetita contenida en el mineral de hematita y el recorrido que hace la pulpa es igual a lo descrito anteriormente ó sea que el mineral se reduce de tamaño en los molinos semi-autógenos, llegando a un tamaño del 80% pasando a -4mm., posteriormente la pulpa es enviada a el circuito cerrado, en donde la pulpa con una granulometría del 80% pasando a -325 mallas, que es la pulpa deseada y que es enviada a una batería de diez separadores magnéticos de baja intensidad, obteniendose aqui también dos productos diferentes.

El material obtenido en el labio superior de los separadores magnéticos es considerado como concentrado magnético y - que es llevado a el espesador de concentrados , pasando previamente por tres bobinas desmagnetizadoras.

Por otro lado, la pulpa obtenida en el bajo flujo es material estéril, el cual es enviado a el espesador de esteriles.

#### V.6.- PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS DE OPERACION DE LA PLANTA CONCENTRADORA

En los siguientes párrafos se darán algunas características de los equipos que integran la planta concentradora, dentro de estas características se mencionarán la capacidad, el objeto del uso del equipo, potencia del motor, dimensiones y otras más.

**ALIMENTADORES DE PLACA.-** Estos equipos consisten de una polea conducida y una polea motriz, con un sistema de trans-

misión por cadena, tienen una capacidad de 356 tons./hr., se utilizan para alimentar de mineral a las bandas transportadoras, de estos equipos se usaran 9 en total, 6 equipos para alimentar mineral de magnetita y 3 para alimentar mineral de hematita.

**TRANSPORTADORES DE BANDA.**- Existen dos tipos uno llamado "reversible" que trabaja en uno y otro sentido y el otro que se mueve en una sola dirección, tienen la función de alimentar de mineral a los molinos semi-autógenos, consisten de una - polea conducida, polea motriz, rodillos de carga, rodillos de impacto, rodillos de retorno, banda 8 mm. de espesor, se tienen 3 transportadores reversibles y 3 transportadores normales, estos tienen una longitud de 24m. y los primeros tienen una longitud de doce metros, la potencia del motor es de 11KW. para los de 24 m. y de 7 KW.

**BASCULAS DEL TRANSPORTADOR.**- Estos equipos están integrados en el transportador y registra el flujo de mineral que va circulando por la banda transportadora, la capacidad de estos equipos es de 447 tons./hr.

**SUMIDEROS.**- Estos equipos sirven para almacenar la pulpa en poco tiempo, se tienen varias capacidades, esto es en relación a el flujo de pulpa que se maneja.

**BOMBAS.**- Se tienen varias clases como son: Bombas Centrifugas horizontales, Bombas verticales, Bombas Volumétricas, Bombas con variador de velocidad, todos estos equipos tienen diferentes capacidades, para diferentes flujos.

**OIDOS ELECTRONICOS.**- Sirven para detectar las condiciones anormales en el molino.

**DISTRIBUIDORES.**- Se tienen dos clases, el primero es tipo gravedad y el segundo que se denomina de presión, estos equipos no utilizan motor para su funcionamiento y la forma de



operar de estos equipos es la siguiente: El distribuidor tipo - gravedad, es un tanque cilindrico con varias descargas en su periferia, las cuales van conectadas a los separadores magnéticos - el tanque se llena de pulpa y por derrame alimenta a dichos separadores magnéticos.

Los distribuidores de presión trabajan con la fuerza que trae la pulpa impulsada por las bombas, la pulpa bombeada va a alta velocidad chocando con la pared del distribuidor y saliendo la pulpa por las diferentes salidas las cuales se comunican con los separadores magnéticos.

**MUESTREADORES.**- existen dos clases unos son muestreadores manuales, que son dispositivos sencillos para la toma de muestras, en una cantidad minima, ó sea que dichos muestreadores manejan volúmenes pequeños de pulpa. Por otro lado se tienen muestreadores con motor y estos a su vez tienen muestreadores secundarios, este tipo de equipos son instalados en puntos donde el caudal de pulpa es muy grande y ademas es necesario tomar muestras de la pulpa en forma constante, la capacidad de los muestreadores varia de acuerdo a las necesidades del proceso, la potencia del motor es de 0.55 KW. , en promedio.

**SEPARADORES MAGNETICOS DE BAJA INTENSIDAD.**- Estos equipos por tienen la función de captar toda la magnetita, las capacidades varian y esto es de acuerdo a las necesidades del proyecto los tambores son hechos de acero inoxidable con imanes permanentes con una intensidad de campo de 1800 gauss, dichos tambores tienen una longitud de 900 mm. y un ancho de 400 mm. y se utiliza un motor para cada tambor con sistemas de transmisión por - cadena. La potencia de cada motor es de 5.5 KW ; con un reductor de velocidad.

**CLASIFICADORES DE ESPIRAL.**- Estos equipos tienen la -

finalidad de hacer una separación del agua con lamas y de las partículas gruesas consideradas como material estéril, los Clasificadores tienen una espiral, la cual tiene un diámetro de 1.98 m., que gira y va arrastrando a las partículas gruesas en el fondo, hasta la descarga, que esta en el lado superior, ya que el clasificador espiral tiene una posición inclinada; en la parte inferior del clasificador se recupera el agua con lamas, la cual va a descargar en el espesador de colas, la capacidad promedio de procesamiento de pulpa es de  $763 \text{ m}^3/\text{hr.}$ ; el tamaño del tanque es de 10.77 m. de largo por 2.30 m. de ancho, estos equipos usan motores con reductores de velocidad integrados, por lo que la potencia de estos motores es de 0.75 KW.

**CICLONES.** - Existen dos clases de estos equipos como son ciclones deslamadores y ciclones normales; la diferencia entre estos dos clases de equipos, es el tamaño, ya que los deslamadores son más pequeños, presentando las siguientes características:

- longitud interna total = 458 mm.
- longitud parte cilíndrica = 253 mm.
- diámetro sobreflujo = 75 mm.
- diámetro de alimentación = 22 mm.
- válvula de sobreflujo = fija

Por otro lado los ciclones normales son más grandes - en comparación con los que se acaban de mencionar, por lo que sus características son:

- longitud interna total = 1.6 m.
- diámetro interno = 37.5 cm.
- diámetro del tubo de sobreflujo = 18.5 cm.
- válvula de bajo flujo = ajustable.

La finalidad de estos equipos es la de hacer una sepa-

ración de partículas ó sea que las partículas de granulometría deseada son descargadas en el sobreflujo y las partículas pesadas son decargadas en el bajo flujo.

**MOLINO DE BOLAS.** - Este equipo es usado para obtener una liberación de las partículas minerales y de esta manera tener buena recuperación de concentrado en las etapas posteriores la capacidad de molienda es de 622 ton./hr.; sus dimensiones son diámetro exterior = 5.40 m. y longitud entre ejes = 11.50 m. tienen dos motores con reductor de velocidad integrado, aparte de que tienen un sistema de avance lento, el cual sirve para poner en posición a el molino de bolas; las bolas usadas son de dos pulgadas de diámetro; la potencia de cada motor es de 2900 KW. el producto terminado tiene una granulometría de el 80% pasando a - 325 mallas.

**MOLINO SEMI-AUTOGENO** .- Estos equipos se han instalado con el fin de sustituir al sistema de trituración en dos etapas que son secundaria y terciaria ó sea que se quiere reducir de tamaño de mineral en un solo paso, reduciendo de tamaño al mineral por impacto y atricción, además de contener una cantidad pequeña de bolas, las cuales tienen un diámetro de 8 a 10 pulgadas; sus dimensiones son: diámetro exterior = 8.06 m.; longitud entre ejes = 6.56 m.; la capacidad de molienda de estos equipos es de 450 tons./hr. la potencia del motor usado es de 4,100 KW. aparte de tener su reductor de velocidad y también su sistema de avance lento ó sea que la finalidad de esta clase de equipos es principalmente la de reducir de tamaño de mineral en un sistema húmedo.

**TANQUES ACONDICIONADORES DE PULPA.** - En estos equipos se recibe la pulpa hematítica o magnetítica, por lo que las partículas minerales son acondicionadas con los diferentes reactivos

que son diluidos en la pulpa por agitación, los tanques tienen una capacidad de 450 tons./hr.; sus dimensiones son: diametro exterior = 5.40 m.; altura = 5.40 m.; el volumen del tanque es de  $130 \text{ m}^3$ ; el tiempo de acondicionamiento es de 15 minutos aproximadamente; el motor que tiene integrado un reductor de velocidad es de una potencia de 30 KW. 6 sea en pocas palabras, los tanques sirven para que se acondicionen las particulas minerales de la pulpa y esten listas para la flotación.

**CELDA DE FLOTACION.**- Cuando la pulpa mineral ya esta acondicionada pasa a la seccion de flotación la cual tiene la función de dar varias limpiezas a la pulpa mineral con el objeto de obtener concentrados libres de impurezas, dichos equipos consisten de caja de alimentación, celdas de flotación, caja intermediaria, celdas de flotación, así como caja de descarga de concentrados, la capacidad para estos equipos es para 450 tons./hr. sus dimensiones son: 2.75 m. X 3.40 m. X 1.60 m. por cada celda el volumen de la bateria de celdas es de  $169.3 \text{ m}^3$ ; el tiempo de flotación es de 11 minutos; son auto-aereables, por lo que su consumo de aire es de 108 a  $168 \text{ m}^3/\text{hr.}$  en la bateria de celdas.

**BOBINAS DESMAGNETIZADORAS.**- Estos equipos tienen una capacidad de 161 tons./hr.; tienen un diametro de 590 mm.; diametro de la tuberia de 150 mm.; y su número de espiras es de 832.

**SEPARADORES MAGNETICOS DE ALTA INTENSIDAD.**- Estos equipos son usados para coleccionar a la hematita, que son minerales de baja susceptibilidad magnetica, además estos equipos eliminan los minerales paramagnéticos y separan impurezas debilmente magnéticas y consta de las siguientes partes: Estructura, Imanes, Bobinas magnéticas, flecha del rotor, cajas de placa, tubos de alimentación, transmisión, discos del rotor, cajas colectoras, descarga de productos magnéticos y no magnéticos, descarga de los medios

mecanismo de lavado y de recorrido, trabaja con una intensidad de campo de 10,000 gauss, tienen una capacidad de 130 tons./hr., las cajas tienen 300 mm. por 169 mm.; dos rotores de 3170 mm. de diámetro; la lubricación es automática, la adición de agua es en alta y baja presión, la potencia del motor principal es de 22 KW con un reductor de velocidad integrado.

**ESPESADOR DE ESTERILES.**.- Este equipo es fabricado de concreto, sus dimensiones son: 77.5 m. de diámetro por 28.0 m. de altura, tiene un motor de rotación de las aspas, que tiene una potencia de 8.5 KW., un motor para el levantamiento de las aspas con una potencia de 8.5 KW., la capacidad del espesador de esteriles es de 339 m<sup>3</sup>/hr.; la finalidad de tener este equipo, es principalmente de recuperar el agua, en el sobreflujo y hacer deprimir a las partículas finas (lamas) por medio de floculantes.

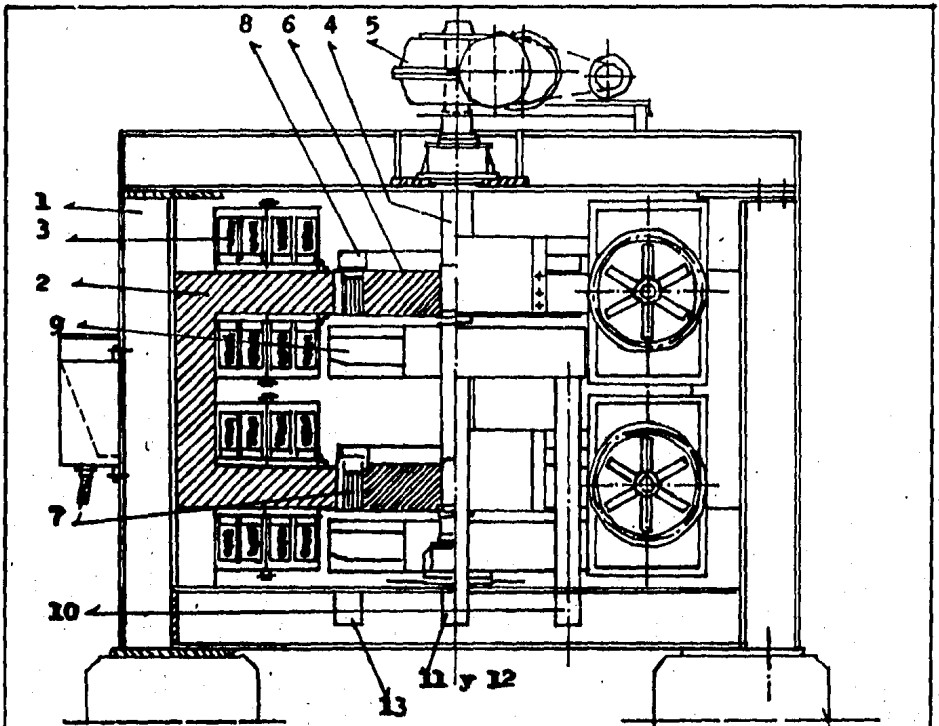
**ESPESADOR DE CONCENTRADOS.**.- Este equipo tiene una capacidad de 200 tons./hr.; sus dimensiones son: 40 m. de diámetro, por 17.0 m. de altura, además tiene un motor de rotación de los brazos con las aspas de 4.6 KW., y un motor para el levantamiento de los brazos de aspas de 4.6 KW de potencia, el objetivo de estos equipos es la de recibir el concentrado final y el de mantenerlo en constante movimiento, para que pueda ser descargado con facilidad.

**TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE CONCENTRADOS.**.- Estos equipos también sirven para el almacenamiento de los concentrados finales, realizándose aquí las verificaciones de las propiedades físicas y químicas de las pulpas hematítica y magnetita ó sea se controla la ley del mineral.

Sus características principales son: la capacidad es de 123 m<sup>3</sup>/hr.; sus dimensiones son: 14.6 m. de diámetro por 13.8 m. de altura, el volumen es de 2150 m<sup>3</sup>; tienen un agitador y por

medio de un sistema de transmisión por banda y polea, está conectada el motor que tiene una potencia de 90 KW.

A continuación se anexa un diagrama de bloques en el se muestra el proceso de beneficio de los minerales de hierro - que se ha descrito, así como también se anexa un croquis referente a el separador magnetico de alta intensidad.



**SEPARADOR MAGNETICO DE ALTA INTENSIDAD**

**LEYENDA**

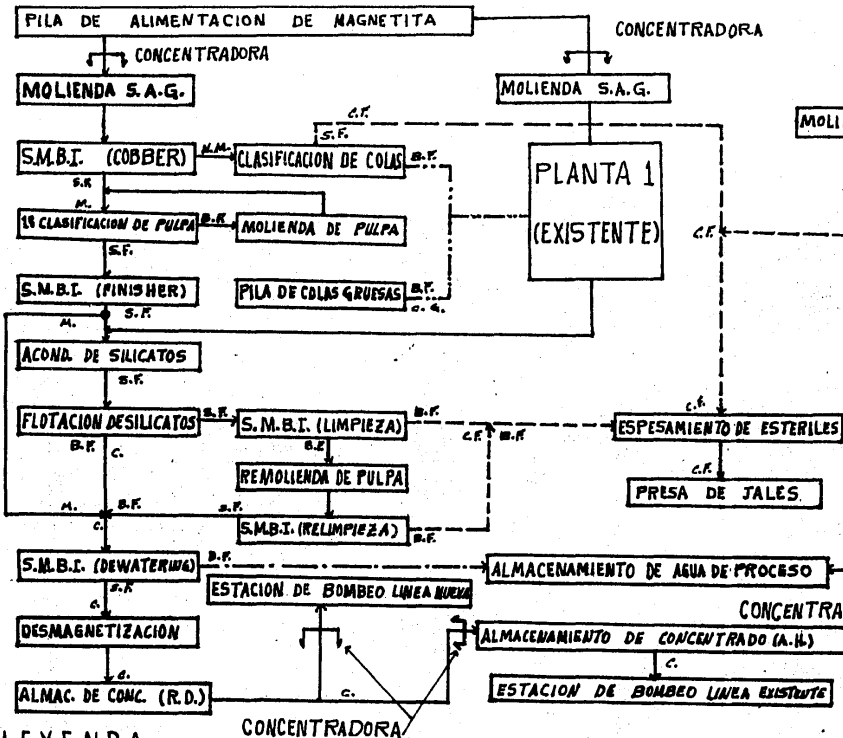
- 1.- Estructura
- 2.- Insa tipo Yunque
- 3.- Bobinas Magnéticas
- 4.- Flecha del Rotor
- 5.- Sistema de Transmisión
- 6.- Disco del Rotor
- 7.- Cajas
- 8.- Tubo de Alimentación
- 9.- Cajas Colectoras
- 10.- Tubería de descarga
- 11.- Descarga de Productos no magnéticos
- 12.- Descarga de Productos magnéticos
- 13.- Descarga de productos Medios

<b>FACULTAD DE INGENIERIA (UNAN)</b>		
<b>CROQUIS DE UN</b>		
<b>S. M. A. I.</b>		
<b>SALVADOR</b>	<b>1985 TESIS</b>	<b>ESC. NO</b>
<b>OLIVARES E.</b>	<b>PROFESIONAL</b>	

CIRCUITO DE MAGNETITA

LINEA 'B'

LINEA 'C'



LEYENDA

- 1- CON HEMATITA USANDO S.M.B.I. + FLOTACION
- 2- CON HEMATITA USANDO S.M.B.I. + S.M.A.I. + FLOTACION
- 3- CON MAGNETITA USANDO S.M.B.I.

S.F. = SOBREFLUJO

B.F. = BAJOFLUJO

C.F. = COLAS FINAS

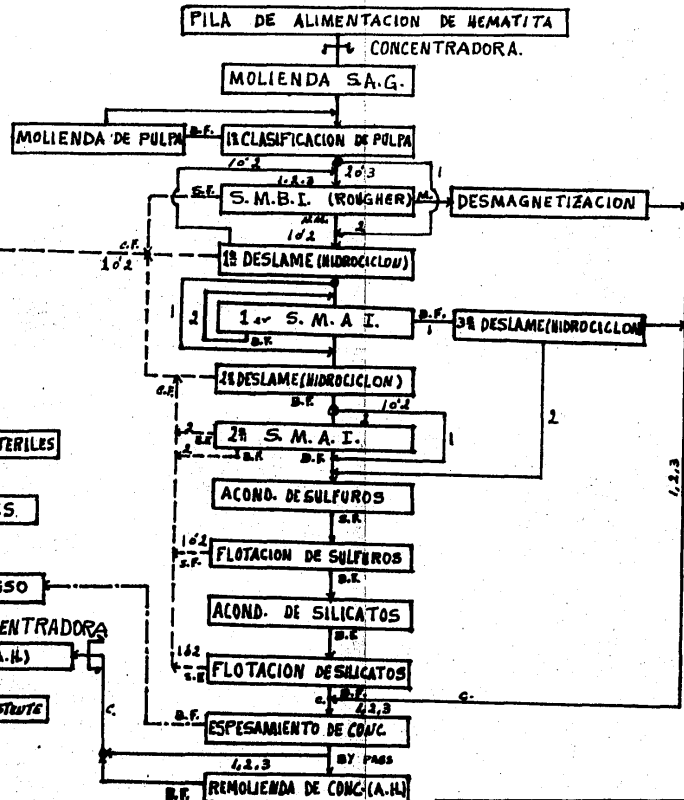
C. = CONCENTRADO

M. = MAGNETICO

N.M. = NO MAGNETICO

CIRCUITO DE HEMATITA

LINEA 'A'



FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM)

DIAGRAMA DE BLOQUES  
PLANTA CONCENTRADORA  
ETAPA II

SALVADOR OLIVARES M. 1985 TESIS PROFESIONAL ESC. NO



CAPITULO

SEXTO

## CAPITULO SEXTO

### VI.- CONCENTRACION DE MINERALES DE HIERRO POR EL SISTEMA DE FLOTACION

#### VI.1.- INTRODUCCION

En el capítulo anterior se hizo una descripción del proceso de beneficio de los minerales de hierro (Hematita y Magnetita) así como también se tienen unas tablas, en las que se indican las características que deben reunir dichos concentrados ( ver paginas 28 y 29 ).

En el proceso de beneficio se pudo observar, que se tienen varias etapas importantes dentro del mismo proceso como son: La trituración ó reducción del mineral, que en este caso se realiza en húmedo, la molienda, la cual permite la liberación de las partículas minerales, posteriormente la clasificación de partículas realizada en hidrociclones, la separación magnética tanto en Alta y Baja Intensidad y por último la flotación, esto es de acuerdo a la Concentradora No. II; aún cuando también intervienen el Ferroaducto, la Paletización, Proceso de Endurecimiento, reducción de los minerales en el Alto Horno ó en el reactor de Reducción Directa, para después pasar a el sistema de aceración y de aquí enviar el producto a la sección de Colada Continua y de aquí a Laminación y de esta forma poder obtener productos terminados como son: varilla corrugada, alambres, perfiles estructurales y tubulares, placas y muchos otros productos (ver cuadro sinoptico No. 1).

En este capítulo se hará un análisis del método de Flotación que se aplicará en la Concentradora No. II; del que se analizan aspectos tales como: Características de las Celdas de Flotación, así como las particularidades del tipo de flotación

a ser empleado, los reactivos que serán usados, la recuperación calculada en dichas celdas y otros datos más.

#### VI.2.- GENERALIDADES

La flotación es un proceso utilizado para la separación de partículas finamente divididas. En general la flotación puede aplicarse para la concentración de minerales metálicos así - como de minerales no metálicos; en los equipos empleados en este proceso, se pueden separar dos productos distintos, uno de ellos considerado como concentrado y que contiene sustancias de valor económico, el otro producto separado contiene material estéril que no tiene ningún valor económico, por lo que es desechado.

El método de flotación espumante se realiza en un sistema húmedo, en el que se logra que una cierta cantidad de partículas de la pulpa sean suspendidas en la parte superior de la celda sobre espumas, las que en la mayoría de los casos contienen el concentrado valioso. Por otro lado, la pulpa que permanece en el fondo de la celda y que es considerada como material estéril es enviado a un espesador de colas, en donde se agregan reactivos floculantes, los que hacen que se asienten las partículas - finas más rápidamente, así, la mayor parte del agua es recuperada, para alimentar de nuevo a el proceso.

Uno de los pasos importantes previos a la flotación - es el acondicionamiento de la pulpa, dicho acondicionamiento tiene la función de preparar a las partículas minerales para una - adecuada separación en la celda. Para esto, se agregan varios - reactivos a la pulpa junto con la puesta en marcha de un agitador durante un determinado tiempo necesario para realizar la reacción química con mayor efectividad. En una flotación normal ó directa, se trata de que el material estéril se haga afín a el agua, esto es con el fin de que se humedezca, se precipite y se

quede en el fondo de la celda, por otro lado, para hacer flotar al material valioso, es necesario que sus partículas sean impregnadas de una capa grasosa que las hace repelentes al agua y de esta forma se adhieran a las burbujas ascendentes, quedando finalmente flotando en una espuma sobre la superficie de la pulpa. Una que se ha terminado el acondicionamiento, la pulpa es enviada por el sobreflujo a las celdas de flotación.

### VI.3.- PRINCIPALES MAQUINAS DE FLOTACION

En el transcurso de los últimos cuarenta años; han predominado tres máquinas de flotación de minerales en el mundo.

Una de ellas fue desarrollada por A.W. Fahrenwald durante la década de los veinte en la zona de plomo - zinc en Idaho en Estados Unidos de Norteamérica; esta unidad fue primeramente ofrecida en el mercado como la máquina de flotación Fahrenwald. Posteriormente se conoció como la máquina de flotación Denver.

Las otras dos máquinas fueron desarrolladas en el Estado de Utah durante la década de los treinta; una por Fagergren y la otra por el equipo de Lionel Booth y John Thompson. La máquina Booth - Thompson fue primeramente conocida como la máquina B - T y posteriormente hasta la fecha como Agitair (Galigher).

La unidad Fagergren se vendió siempre bajo el nombre de su inventor. Sin embargo su fabricante WEMCO, ha diseñado, desarrollado y patentado una máquina completamente nueva que se ofrece en el mercado bajo la marca "WEMCO". Asimismo aproximadamente el 90% de las máquinas Fagergren han sido convertidas al nuevo diseño WEMCO de rotor y dispersor (1 + 1).

La máquina de flotación WEMCO siempre ha sido una unidad del tipo sub - aeración; auto - inducida, mientras que Denver se ha unido con Agitair como una máquina que requiere un siste-

ma externo de soplador para la aereación.

Se han empleado otras maquinas similares a las descritas, por ejemplo: Algunas características de la máquina " Mineral Separation " son inherentes en la unidad Fahrenwald (Denver) y algunas características de la máquina de flotación Janey se observan en las máquinas Fagergren (WEMCO). La máquina B - T (Agitair) tiene algunas características de la unidad de flotación - WEMCO.

Otras máquinas de flotación se usan en la industria minera y Siderúrgica, pero más bien en áreas locales y que a continuación se enuncian:

- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| a.- Máquina Booth    | e.- Máquina Sala     |
| b.- Máquina Maxwell  | f.- Máquina Davera   |
| c.- Máquina Nagah    | g.- Máquina Flotaire |
| d.- Máquina Outkumpu |                      |

Se hace notar también que para la flotación se tienen dos clases de máquinas, según su principio de operación:

a).- Máquinas mecánicamente agitadas: En las que la -  
diseminación del aire y la agitación de la pulpa se realiza por alguna forma de impulsor revolvente ó giratorio.

b).- Máquinas sin partes móviles: En las que los mismos efectos son producidos por medio de un elevador de pulpa por aire.

En las siguientes páginas se hará una descripción, acerca de las características principales que presentan los tres tipos de celdas de flotación que son: La Denver, la Agitair y la Fagergren; así como la celda de flotación que será usada en la Concentradora No. II, que es la WEMCO, la cual es una derivación de la Fagergren.

VI.3.a.- Máquina de Flotación DENVER

Se tienen las siguientes clases: DENVER Sub-A (estandar) y DENVER Sub-A, tipo abierto; la estándar que es la clase de celda más difundida, esta constituida de un banco con una serie de celdas de sección cuadrada construidas de lámina ó madera, teniendose un impulsor en cada celda, la alimentación cae por gravedad a la celda primera por un tubo alimentador y a las celdas posteriores por un compartimiento que aloja un vertedor.

El impulsor tiene 6 álabes verticales fijados a un disco ligeramente abondado, la velocidad del impulsor varía de 8,418 a 10,733 r.p.m., de acuerdo con el grado de aereación requerido, para minerales que requieren el máximo de aereación, se tiene un impulsor de 12 álabes, equipado con una plancha de desgaste estacionaria y ajustable provista de una serie de pequeñas aletas en todo su derredor, ésto para producir una dispersión homogénea de las burbujas menudas y bien formadas.

En la cubierta, se localiza un tubo vertical que tiene la función de columna reguladora de alimentación a la celda, complementandose la regulación con otra tubería que sirve de retorno a los medios.

Dicha alimentación es distribuida a las celdas por gravedad. Las partes de desgaste estan reforzadas con placas de fierro, aunque en modelos más recientes se emplea con éxito el hule. El sistema es por banda-polea del motor, siendo característico el que los impulsores de las celdas sean accionados en pares, es decir un motor para cada dos impulsores.

La pulpa que se desprende de la canal de alimentación a la primer celda del banco, es succionada pasando a través de la tubería de alimentación, dirigiendose hacia el impulsor, de donde es proyectada hacia afuera por los álabes giratorios más allá de

la plancha de desgaste. Simultáneamente se presenta un flujo de aire a través de la tubería central vertical hacia el fondo de la celda, a causa de la succión que provoca el impulsor, quebrándose la corriente en pequeñas burbujas en su paso hacia la zona más baja de agitación de donde se diseminan a toda la pulpa. En caso de necesitarse una aereación extra, la máquina puede sobrecargarse. A través de la pulpa contenida en la celda, las burbujas ascienden, sin coleccionar ó adherir partículas de ganga, reuniéndose en la superficie en forma de espuma, la cual rastrillada por medio de paletas ó simplemente rebalsada cayendo a la canal de concentrados, colocado justamente debajo del labio de la celda. El resto de la pulpa tiende a circular hacia abajo girando alrededor del impulsor. Bajo la presión de la alimentación que entra, la pulpa fluye continuamente sobre un vertedor colocado lateralmente en la celda pasando a la tubería de alimentación de la siguiente celda en donde se repite la misma secuela. De este modo, la fracción estéril de la pulpa pasa a todo lo largo de la máquina hasta que finalmente es descargada sobre el vertedor de la última celda cayendo a la canal de colas. Los vertedores son dotados de compuertas ajustables que permiten que el nivel en cualquier celda se regule independientemente del resto.

Enseguida se presentan las ventajas y desventajas que distinguen a este tipo de celdas.

#### VENTAJAS

- Existe buena agitación y por tanto mejor acción de los reactivos.
- La cubierta sobre el impulsor lo protege en el caso de un paro, impidiendo que la arena se asiente alrededor de los álabes.
- Tiene buena aereación, lo que redundará en una espuma

consistente y productiva.

- El nivel de la pulpa se controla en cada celda por medio de compuertas de ajuste independiente.

- Los reactivos pueden agregarse en cualquier punto del banco de celdas, lo que permite reforzar oportunamente la acción de algunos de ellos.

- Se tiene flexibilidad de operación a causa de los ajustes que es posible introducir en cualquier punto y en todo momento.

- Tiene reciclaje de la pulpa, esto es con el objeto de dar varias limpiezas a la pulpa y de esta forma optimizar la recuperación.

- Presenta buena recuperación de material estéril.

- La alimentación es por gravedad.

- Permiten tratar una granulometría gruesa ( por ejemplo en 80 $\mu$  pasando a -150 mallas ); en comparación con otras celdas.

#### DESVENTAJAS

- Son equipos costosos.

- El mantenimiento tiene costos comparativamente altos.

- No hay control preciso en la alimentación de aire al agitador.

#### VI.3.b.- Máquina de Flotación Agitair (Galigher)

Consiste de una serie de celdas de sección cuadrada, con un impulsor circundado por placas deflectoras llamadas estabilizadores y que están en el fondo de la celda, el impulsor corresponde a un disco plano con barras de acero que se extienden hacia abajo alrededor de la periferia, estando el conjunto recubierto de hule. Su velocidad de giro varía de 5,808 a 8,132 r.p.m. la cámara de aire se encuentra a lo largo de la flecha pasando por la chumacera estando conectada por medio de una valvula de



control a un distribuidor de aire colocado sobre la celda, el - cual a su vez, esta conectado a un soplador de baja presión. Agujeros perforados en la flecha donde la cámara de aire la rodea, permiten que el aire penetre a la porción hueca proyectándose hacia abajo hasta llegar al impulsor. Las flechas son accionadas por separado ó en pares, con motores verticales y con un sistema de transmisión por banda y poleas. Los estabilizadores guardan una distancia de 1" ó 2" con el fondo de la celda para que la pulpa pueda circular por debajo de ellos. Los bancos de dos, cuatro y más celdas tienen caja de alimentación, vertedor de descarga de pulpa y una ramura de transferencia en las paredes divisorias entre las celdas para el paso de la fracción estéril de la pulpa a través de toda la máquina.

El nivel de la pulpa se controla por un vertedor de - descarga siendo por tanto uniforme en todo el banco, el volumen de la espuma se controla por medio de la válvula de aire y el - espesor de la capa de espuma se controla con el ajuste del vertedor de derrame.

La alimentación es por gravedad a través de la abertura de alimentación circulando de celda a celda a través de las ramuras practicadas en las paredes divisorias hasta que la fracción estéril es descargada sobre el vertedor de la última celda.

En su paso a través de la máquina, la pulpa penetra a una celda por la ramura de transferencia, circula alrededor del impulsor donde se mezcla con la corriente de aire que es despedida de las barras que giran a alta velocidad. La intensa agitación en el espacio comprendido entre el impulsor y los estabilizadores disgregan el aire en pequeñas burbujas diseminándolas en la pulpa. Esta pulpa se moverá hacia arriba primero y hacia abajo después, cerrándose este circuito en la zona de agitación, -

circulando la pulpa de este modo, el remanente que no flotó a través de la ranura a la siguiente celda y eventualmente derrama sobre el vertedor de la última celda.

Un circuito completo de flotación está compuesto de unidades de flotación primaria, de recuperación de desechos y de limpia de concentrados primarios trabajando por separado. Los reactivos pueden ser añadidos a cada unidad, como el caso particular lo requiera, y el nivel de la pulpa en cada unidad puede controlarse por separado.

Enseguida se anotan una serie de ventajas y desventajas que se observan en este tipo de celdas.

#### VENTAJAS

- La flotación es rápida.
- La regulación del caudal de aire es precisa.
- Presenta buena cantidad de burbujas, esto es debido a la presencia de estabilizadores; incrementándose de esta manera la recuperación de concentrados.
- Comparativamente tiene un bajo consumo de energía.
- Presenta una espuma consistente, activa y puede variarse el espesor de la pulpa sin pérdida de concentrado.

#### DESVENTAJAS

- La agitación en el fondo se ve disminuida debido a la presencia de los estabilizadores, aún cuando la admisión del aire esté a su máxima capacidad y esto esta en detrimento de la efectividad de la acción de los reactivos y del proceso en general.

#### VI.3.c.- Máquina de Flotación Fagergren

Consiste de una serie de celdas, de poca profundidad - cada una de ellas equipada con un sistema " rotor - estator ";

este sistema consiste en una jaula compuesta por determinado número de barras de acero cubiertas de hule, cercanamente espaciadas entre sí, sujetas con pernos entre dos anillos, la velocidad del rotor es de 11,612 r.p.m., se tiene un impulsor con 4 álabes, éstos están diseñados para succionar el aire a manera de que pase por la tubería central; el motor vertical acciona a un sistema de transmisión por banda y polea.

Las máquinas Fagergren están construidas en unidades - formadas de 1 a 6 celdas ó más, teniendo cada una su correspondiente, caja de alimentación y vertedor de descarga. Las celdas están separadas por paredes divisorias con una ramura ancha colocada verticalmente en la parte media. En operación, la alimentación penetra a la primer celda a través de la abertura ramurada en el fondo de la caja de alimentación y pasa de celda a celda a través de las ramuras hasta que alcanza la última celda que es por donde salen las colas, los álabes impulsan la pulpa hacia arriba pasando por el espacio del rotor dejado y succiona el aire hacia abajo a través del tubo central. El aire y la pulpa se mezclan en el interior siendo lanzados horizontalmente hacia afuera por la fuerza centrífuga de la masa en rotación a través de las barras del rotor y del estator hasta llegar al cuerpo de la celda, la fuerte agitación produce pequeñas burbujas que se distribuyen en la pulpa, la pulpa que está en las paredes de la celda regresa otra vez al centro de agitación, teniéndose un amplio espacio para la formación de la espuma de flotación, que es de apreciable espesor y muy homogénea rebosando por ambos lados de la celda sin necesidad de usar paletas.

Enseguida se presentan las ventajas y desventajas que se observan en este tipo de celdas.

#### VENTAJAS

- El sistema de agitación es más efectivo en comparación con otras máquinas.
- Tiene buena aereación
- Con el movimiento del rotor - estator se produce una nube de burbujas finas, homogéneamente distribuidas.
- La flotación es más rápida que en otras máquinas.
- La espuma de la flotación es gruesa y uniforme.
- No requiere de paletas para recuperar las espumas.
- El nivel de la pulpa es el mismo en toda la máquina.
- Comparativamente tiene bajo consumo de energía.
- Comparativamente tiene bajo costo de mantenimiento
- Se puede controlar la ley del concentrado, gracias a los ajustes que acepta la máquina.

#### DESVENTAJAS

- Tener cuidado con la penetración de impurezas en el rotor - estator.
- Puede presentarse asentamiento de la pulpa en las esquinas de la celda.
- Los reactivos no pueden ser agregados en las cajas - intermediarias.
- El volumen de aire puede tener fallas en el control.

#### VI.3.d.1.- Máquina de Flotación WEMCO

Enseguida se hace la descripción de las características de la máquina de flotación que va a ser usada en la Concentradora No. II la que, como se ha hecho notar en párrafos anteriores; es una variante ó modificación de la máquina de flotación Fagergren, debido a las características que a continuación se mencionan, se ha escogido dicha máquina para que beneficie los minerales de hierro, en cuestión.

La máquina de flotación WEMCO consiste de un original

mecanismo impulsor y difusor tipo jaula de ardilla, autoaereable; fué desarrollado por William Fagergren en el año de 1930; esta - unidad fue durante cuarenta años el mecanismo auto-aereable predominante en la flotación de minerales. Durante los últimos cinco años, WEMCO ha desarrollado una nueva combinación de rotor profundo tipo estrella de una pieza y dispersor, protegidos por nuevas patentes. Estas nuevas partes se registran como (1 + 1).

La máquina básicamente consiste (ver fig. A), en una serie de celdas, unidas entre sí para formar un banco de flotación, estos bancos de celdas están comunmente conectados a otros bancos por medio de cajas de empalme para formar circuitos de flotación tiene miembros angulares longitudinales, que se integran a la fabricación de la parte superior de los tanques, estos angulos estructurales sostienen los mecanismos de flotación; por otro lado el mecanismo total esta montado en una placa base y sobre esta se localiza el conjunto de la unidad de baleros, que esta montado sobre un pedestal con la transmisión de bandas y poleas y el motor vertical, teniendo las poleas una cubierta de protección.

En la parte inferior de la placa base se encuentra una sección cilíndrica forrada de hule la que sostiene al dispersor del polímero y que está sujeto con un anillo metálico. Esta sección cilíndrica soporta también los faldones, que son placas - circulares, el rotor que está hecho de hule, se encuentra montado en la flecha. El fondo falso consiste de una placa perforada sujeta al fondo del tanque y forma el eslabón de flujo con el rotor a través del tubo de succión forrado de hule.

En operación la pulpa mineral se alimenta continuamente a la cabeza de la máquina por la caja de alimentación de donde la pulpa es alimentada a la celda de flotación; al girar el rotor es succionada la pulpa del fondo del tanque a través del

fondo falso y el tubo de succión, por lo que la pulpa se distribuye radialmente a través del dispersor y el flujo producido en los orificios del dispersor es impulsado hacia a las paredes del tanque, formando ciclones múltiples con ejes verticales en un patrón radial.

Esta pulpa mineral altamente aerada fluye verticalmente al fondo de la celda de flotación de acuerdo a la acción de bombeo del rotor y repite el ciclo de circulación del patrón de flujo. Los faldones del estator modifican este flujo de tal manera que la superficie de la pulpa es tranquila. La velocidad del rotor esta predeterminada para lograr la máxima inducción del aire requerido, cuando se desea reducir el flujo de aire, se utiliza una placa deslizante sobre el ducto de entrada del aire.

Los rotores originales tipo jaula de ardilla trabajan de 1650 a 2000 pies/min. de velocidad periférica, mientras que el nuevo rotor (1 + 1) normalmente trabaja a 1,200 r.p.m., esto se debe al diseño de hoja profunda y de desplazamiento positivo del nuevo rotor; ambos mecanismos se ilustran en la figura B.

El diseño estándar WEMCO para el cajón conector y el de descarga, es una combinación de válvula dardo y de derrame. La figura C ilustra el flujo normal y la fig. D ilustra también el flujo alterno a través de la válvula dardo.

Es más usual además de conveniente el controlar la porción mayor de carga por las válvulas que derraman volúmenes mayores.

La mayoría de las nuevas instalaciones WEMCO usan control automático de nivel, ya que las válvulas dardo son adecuadas para este fin, con este diseño, el derrame es el control grueso para el nivel y la válvula dardo es la variable para control fino. El diseño ilustrado en la figura C, ha sido el más común has-

ta ahora. Sin embargo, el flujo invertido está ganando popularidad debido a la mayor estabilidad de operación resultante de las fuerzas balanceadas del peso de la valvula dardo y flecha contra la presión de la carga.

Para servicio especial con carga muy gruesa, WEMCO ofrece una máquina de diseño especial con una pendiente de 20° a 30° con respecto a la horizontal en el fondo.

Por razones de economía en la flotación de minerales, la carga se muele lo más grueso posible hasta a un grado que no afecte la adecuada liberación de valores. De esta manera, al problema de la flotación se agrega el del manejo de las partículas gruesas. El croquis ilustra un banco especial de doce celdas - WEMCO diseñadas con tanques que incluyen fondos inclinados. Este diseño tiene los mismos flujos hidráulicos que proporcionan los cajones conectores entre bancos de celdas. La pendiente en el fondo es más adecuada para transportar partículas gruesas que las máquinas con fondo plano.

La aereación en el sistema WEMCO es auto-inducida y puede controlarse aumentando ó disminuyendola velocidad del rotor, la construcción de la celda permite la entrada de aire por un solo ducto (d).

Para la mayoría de las aplicaciones en flotación primaria ó secundaria se recomienda operar con el ducto completamente abierto. Para la operación de limpiadoras, la flotación es más selectiva si se reduce la entrada de aire.

Debido al éxito del sistema de alimentación de aire, - auto-inducido, WEMCO incorpora una placa ajustable en el ducto de aire para controlar la aereación en la celda. Por diseño las nuevas máquinas de flotación WEMCO operan con ligero vacío aún con el ducto de aire totalmente abierto, pues generan una área de ba-

ja presión en la celda.

La potencia requerida usando las celdas de flotación WEMCO por tonelada de mineral metálico ó no metálico procesada varia de 1.0 a 1.5 caballos de fuerza por tonelada corta.

La cantidad de celdas por hilera promedian doce unidades para minerales sulfurados. Los minerales no metálicos como el carbon, la roca fosforica, la fluorita y la potasa normalmente requieren de bancos de cuatro a seis celdas. Los bancos de celdas entre cajas conectoras promedian cuatro máquinas. De manera que un banco de doce celdas normalmente consistirá de una caja de alimentación, cuatro celdas de flotación, caja conectora, cuatro celdas de flotación, caja conectora, cuatro celdas de flotación y caja de descarga, en este orden.

La posición del rotor elevado en el nuevo diseño WEMCO evita la abrasión del fondo de la máquina eliminando la necesidad de instalar forros de desgaste metálicos o de hule. Como ventaja adicional al presentarse problemas de clasificación que implican la presencia de partículas gruesas en la flotación, el rotor elevado no recibe impactos directos ni se atasca con las arenas gruesas.

Con el sistema (1 + 1) el mantenimiento en las celdas se ha reducido significativamente. Esto se debe a una combinación de baja velocidad angular del rotor (1200 r.p.m.) y partes moldeadas de hule resistente a la abrasión.

En el nuevo diseño (1 + 1), el rotor puede operar en cuatro posiciones: derecha, izquierday en posición vertical invertida, para obtener máxima duración. Datos estadísticos indican una duración de seis años para el rotor y dispersor fabricados de hule natural.

Una característica única del diseño WEMCO, es la faci-



lidad para remplazar un mecanismo con el circuito en operación. El diseño permite desmontar el mecanismo de una celda incluyendo el motor y transmisión sin ser necesario interrumpir la operación del banco. De esta manera se reduce el tiempo perdido para mantenimiento y se evita parar la planta.

Enseguida se presentan las ventajas y desventajas que se observan en este tipo de celdas de flotación.

#### VENTAJAS

- Tiene alta recuperación metalúrgica en comparación con otras máquinas.

- Presenta alta producción por celda.

- Es de sistema auto - inducido.

- Menor consumo de reactivos.

- Bajo requerimiento de potencia.

- Bajo costo de Mantenimiento.

- Puede tratar pulpas con diferente granulometría.

- En el fondo del tanque no se presenta asentamiento de pulpa.

- Esta máquina es apropiada para circuitos con operación flexible.

- Es un equipo de bajo costo y fácil de instalar.

- Puede usarse para beneficiar una gran variedad de minerales metálicos y no metálicos.

#### DESVENTAJAS

- Exactamente no se puede decir cuáles son sus desventajas, para cada caso específico, sino solamente cuando esten en operación, dichos equipos. Únicamente se pueden mencionar algunas desventajas, en general como pueden ser las siguientes:

- Introducción de impurezas en el ducto de succión de

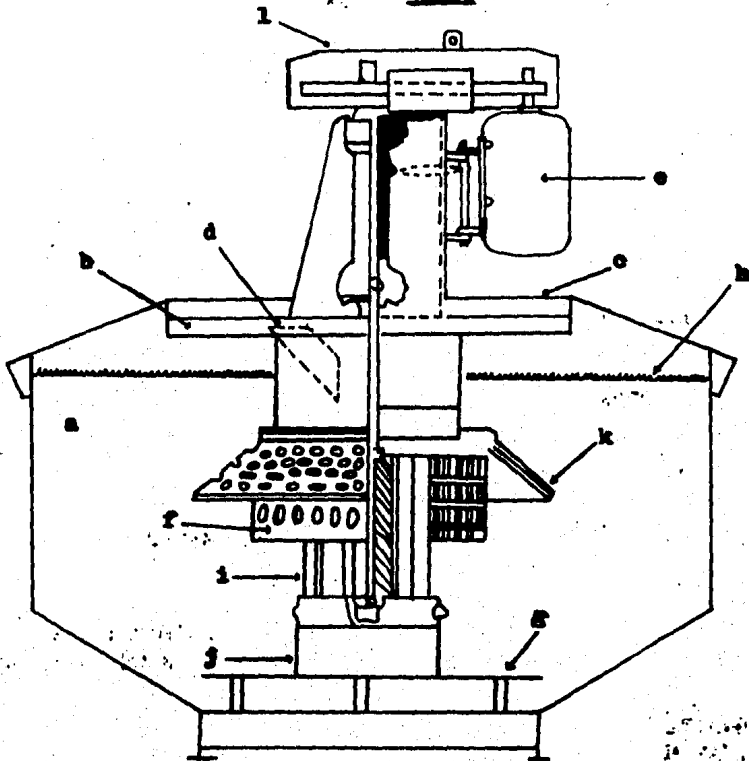
aire.

- Una parte menor del concentrado valioso se queda atrapado en las cajas intermediarias y en la caja de descarga.

- Las zonas de flotación se ven un poco restringidas.

Enseguida se anexan algunos croquis referentes a las celdas de flotación de minerales, que se acaban de describir, por lo que dichos croquis presentan las partes importantes de las celdas, diferencia entre los rotores, tipos de cajas colectoras arreglos de los bancos de celdas de flotación los cuales dan una idea de como es el equipo para la flotación de minerales de hierro (Magnétita y Hematita).

FIG. A



LEYENDA

- a.- Tanque de Flotación
- b.- Barras Angulares de Guía
- c.- Base de Flaca
- d.- Ducto de Entrada de aire
- e.- Motor
- f.- Dispersor
- g.- Fondo falso
- h.- Nivel de la Pulpa
- i.- Rotor
- j.- Tubo de carga
- k.- Falcones
- l.- Cubierta

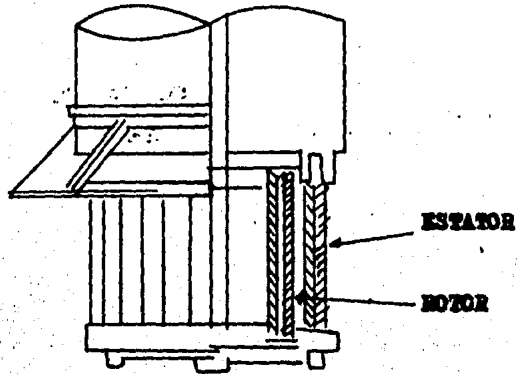
FACULTAD DE INGENIERIA (URAM)

GRUPOS DE UNA CELDA DE  
FLOTACION TIPO (WEMCO)

SILVANO	1995	TRINIS	
OLIVIERO E.	PROFESIONAL		REC. NO

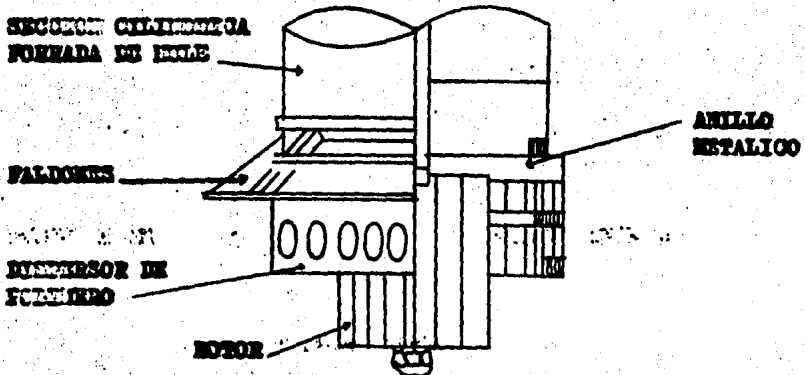
FIG B

MECANISMO DE AGITACION CAJA  
DE ARDILLA FAGERSHIV



MECANISMO DE AGITACION (1 + 1)

WIKCO

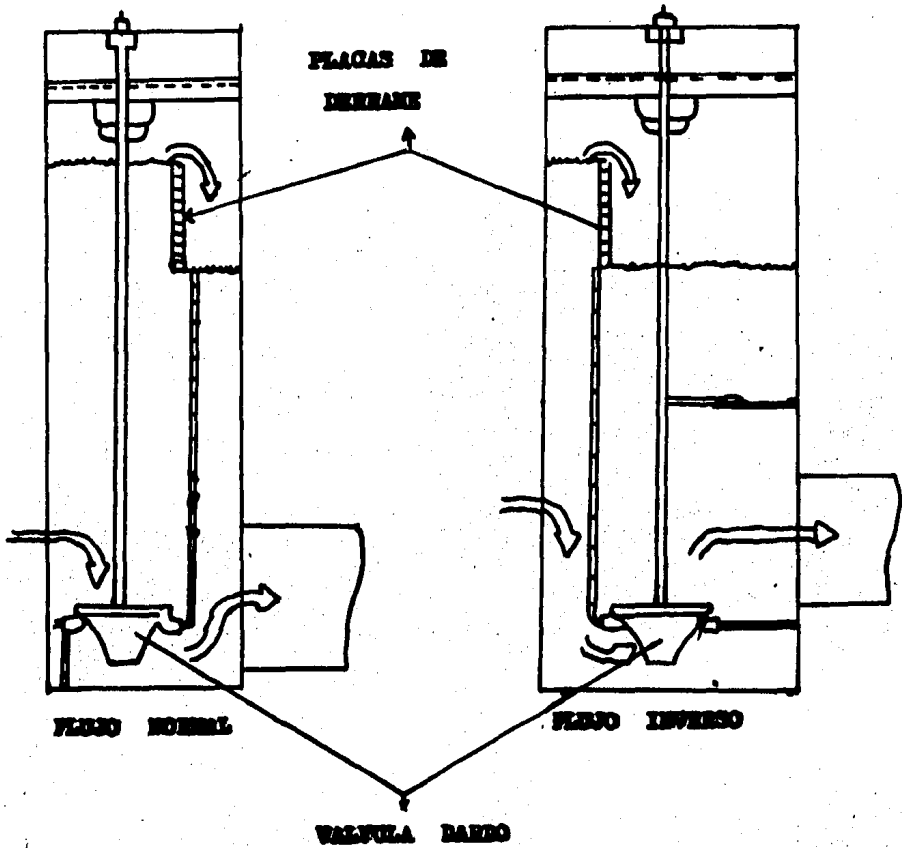


FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM)

CURSOS DE MECANISMOS  
DE AGITACION

SALVADOR 1969 TERCER  
OLIVARES E. PROFESIONAL ESC. NO

**FIG C**



**ESCUELA DE INGENIERIA (URAM)**

**CRUCES DE CASAS  
INTERMEDIARIAS "VENCO"**

**SILVANO 1965 TESIS ESC. IN  
OLIVARES M. PROFESIONAL**

#### VI.4.- DESCRIPCION DEL SISTEMA DE FLOTACION DE MINERALES DE MAGNETITA Y HEMATITA

Para el desarrollo de esta sección, se considera que es conveniente dividirla en dos partes: Una de ellas en circuito de Magnetita y la otra en circuito de Hematita.

Como ya se ha explicado en hojas anteriores, el sistema de flotación de minerales de hierro; consiste principalmente en la obtención de concentrados de Magnetita y Hematita respectivamente, para ello es necesario que, de la pulpa mineral se separen todas las impurezas como son: pirita, calcopirita, cuarzo, calcita y otros; dado que éstas impurezas representan un problema para la obtención de dichos concentrados, además de que es necesario someter a la pulpa a uno o varios pasos de limpieza.

##### VI.4.a.- Circuito de Magnetita

De acuerdo a el diagrama de bloques de la planta Concentradora No. II, presentado en la parte final del capítulo V y en dicho diagrama de bloques se puede observar como resultado la final obtención de concentrado de mineral magnético. Dichas pulpas proceden de los separadores magnéticos de la planta No. I así como de los separadores magnéticos Finisher, que se localizan en la planta No. II.

La pulpa magnética es alimentada por bombeo a dos acondicionadores de pulpa fluyendo esta por gravedad a los tanques - por lo que, una vez llenos dichos tanques, se agregan los reactivos, esto con el fin de preparar a las partículas minerales para la flotación.

En el primer acondicionador con la pulpa magnética se agregan primeramente la Dextrina en una cantidad de  $3.55 \text{ m}^3/\text{hr}$ . de pulpa y casi al mismo tiempo se alimenta también el hidroxido de Sodio, en una cantidad de  $0.82 \text{ m}^3/\text{hr}$ .; la función que realizan

estos reactivos sobre la pulpa, se detallan a continuación.

El hidroxido de Sodio es agregado con el fin de crear las condiciones favorables para la flotación ó sea regular el PH que se fija en 9.5, por otro lado la Dextrina agregada es una mezcla de Almidon e Hidróxido de Sodio, que tiene una relación del 75% de Almidon y 25% de Sosa; entonces el coloide obtenido es rediluido durante 30 minutos aproximadamente con agua y se usan unicamente 5 gr./l.; para la flotación.

El almidón caustificado, en esta forma, sirve para hacer la separación de particulas es decir, una vez que se agrega el reactivo de Dextrina se separa la ganga del concentrado manteniéndose en suspensión el material esteril en tanto que al concentrado lo precipita hacia el fondo de la celda, al deprimirlo.

El tiempo de acondicionamiento en este primer tanque es de nueve minutos, por lo que una vez transcurrido este tiempo la pulpa acondicionada es alimentada al segundo acondicionador por rebose en el cual se adicionan los reactivos siguientes.

La Amina (Primary Etheramine) usada como colector cationico (valencia positiva) cuya función es la de colectar a todos los silicatos que están contenidos en la pulpa, la cantidad de Amina que se alimenta al acondicionador es de aproximadamente de 3 m<sup>3</sup>/hr. y este reactivo también es agregado en las celdas de flotación.

Otro reactivo que se agrega a este segundo acondicionador es el Xantato cuya función es modificar la superficie de todos los sulfuros y poderlos colectar en las celdas de flotación como material esteril.

Cabe hacer notar que para la recuperación de minerales de magnetita, que se está describiendo, se aplicará el metodo de flotación llamado " FLOTACION INVERSA " y que es llevado a cabo

con reactivos del tipo catiónico (de valencia positiva), los que colectan a las impurezas manteniendolas en suspensión en la pulpa. Y esto únicamente para los silicatos que son difíciles de flotar; ya que el reactivo Amina es el colector catiónico que colecta ó junta a las impurezas que están en suspensión en dicha pulpa, junto con el Almidon Caustificado (Dextrina), por lo que dicho reactivo tiene la función de hacer deprimir a los óxidos de hierro.

El sistema de flotación que se ha propuesto tiene varias razones que son las siguientes:

- La diferencia de pesos específicos entre el mineral magnético y el de la ganga es evidente siendo así más fácil hacer flotar al material estéril cuyo peso específico es variable de 3 a 4; por otro lado el peso específico del material magnético tiene una variación de 5.2 a 5.3 en promedio.

- La razón del empleo de la flotación inversa, es la relación del contenido de impurezas respecto al contenido de mineral de hierro que es la mayor parte del peso sólido de la pulpa.

Al sistema de flotación se alimentan 450 tons./hr. de pulpa obteniéndose al final de dicha flotación 380 tons./hr. de concentrado magnético, que representa el 85% en peso de dicha alimentación, en tanto que las 70 tons./hr. de pulpa restantes son las espumas de flotación, las cuales están constituidas por partículas que son parte mineral magnético y parte material estéril, dichas espumas de flotación son enviadas a remolienda y a una posterior separación magnética, en donde todavía se recuperan 53 tons./hr. de concentrado magnético.

La flotación inversa da como producto en espumas a los silicatos como son: La sílice, calcita y otros; mientras que la



la fracción precipitada al fondo de la celda y extraída como co-  
las, es en realidad el concentrado de hierro, de color negro.

La fracción de la pulpa que se precipita al fondo de las celdas es llevada de celda a celda a través de todo el banco por efecto de la turbulencia producida por la agitación conjuntamente con la presión generada por la alimentación de pulpa magnética que se introduce constantemente por lo que dicho concentrado es empujado a través de todo el sistema de flotación siendo descargado por medio de la caja de descarga a un sumidero que es el que recibe los concentrados, tanto del sistema de flotación así como de los separadores magnéticos, para después bombear el concentrado a dos tanques de almacenamiento y finalmente, también por bombeo, alimentar de concentrado a la Estación de Ferroaducto.

#### VI.4.b.- Circuito de Hematita

Para la flotación de los minerales de Hematita, se puede observar en el diagrama de bloques, que está incluido en la parte final del capítulo anterior, que la pulpa ha hecho un recorrido por una serie de equipos que tienen la función de ir eliminando las impurezas contenidas en dicha pulpa, en etapas sucesivas y de esta manera poder obtener un concentrado hematítico de alta ley.

Los pasos a seguir para el beneficio de los minerales de hematita son: la molienda que se lleva a cabo con molinos - semi-autógenos y de bolas, interviene también la separación magnética realizada con equipos llamados separadores magnéticos de alta y baja intensidad, la clasificación de partículas que se realiza en hidrociclones en varias etapas y por último la flotación, la cual es el objeto de este trabajo.

Los pasos que se acaban de describir son muy semejantes a los del proceso de beneficio de los minerales de magnetita. En

este circuito se elimina la separación magnética de alta intensidad y únicamente se somete al mineral a una sola clasificación de partículas.

En la descarga de los equipos importantes ó en los puntos importantes del recorrido de la pulpa como son: tuberías, - separadores magnéticos, clasificadores de espiral, se colocan muestreadores que son de dos clases: muestreadores manuales que se usan para tomar muestras en forma no periódica como por ejemplo el muestreo de la pulpa que contiene material estéril, por otro lado se tienen los muestreadores eléctricos los cuales llegan a tener en algunas partes estos muestreadores tienen integrados muestreadores secundarios, esto es porque el flujo de pulpa que circula es grande y por lo tanto se necesita reducir este flujo, el objeto de instalar estos muestreadores de motor eléctrico es porque deben operar en forma continua.

La función principal de los muestreadores (manuales y accionados por motor), es la de obtener cantidades variables de pulpa, dichas muestras son llevadas al laboratorio para que se realicen las pruebas físicas y químicas y se pueda controlar y determinar la ley del concentrado, además de determinar el grado de blain que consiste en la granulometría del concentrado, también determinar el contenido de impurezas. Llevándose de esta forma el control de calidad del proceso.

La pulpa de hematita contiene minerales muy variados como son sulfuros y silicatos, por lo que la flotación se ajustará de acuerdo al modo en que se presenten estos minerales.

El sistema de flotación para los minerales de hematita está compuesto por dos acondicionadores de pulpa, en uno de ellos se llena de pulpa de hematita agregándose aquí el Xantato, que es el reactivo que va a acondicionar a los sulfuros compuesto

de piritas, calcopiritas principalmente, realizandose este acondicionamiento por medio de la agitación turbulenta durante diez minutos, transcurrido este tiempo, la pulpa acondicionada pasa de los tanques de acondicionamiento a la caja de alimentación - por gravedad y ésta a su vez distribuye a las ocho celdas de flotación en donde se agrega el espumante (AT 250), que es el agente espumante empleado tanto para flotar a los sulfuros como para los silicatos.

La forma de operación de las celdas de flotación es - semejante al circuito de magnetita, ya que en cada celda se tiene un rotor que gira y a la vez succiona el aire rompiendose éste en la pulpa para formar las burbujas que son las que atrapan a las partículas minerales, llevandolas hasta la superficie, formandose la capa de espuma compuesta de sulfuros, descargandose esta por ambos lados de la celda.

El reactivo Xantato (POTASSIUM AMYLXANTHATE), es un colector de alta efectividad, por lo que ya no es necesario agregar el sulfato de cobre para activar o sensibilizar a los sulfuros. Se envia la pulpa hematítica a las celdas de flotación, en donde aparte del reactivo ya agregado, se adiciona también el espumante que como ya se ha mencionado, genera burbujas que en su trayectoria ascendente, a lo alto de la celda van atrapando a los sulfuros acondicionados con el Xantato que en este caso representan las impurezas del mineral de Hematita, el PH se regula con hidroxido de sodio en 8.5 esto con el fin de favorecer la acción de los reactivos adicionados.

El tiempo necesario para hacer flotar a los sulfuros presentes como son las piritas, calcopiritas y otros más es aproximadamente de 15 minutos, por lo que una vez transcurrido ese lapso de tiempo dicha pulpa es enviada a seis celdas acondiciona-

doras, en donde se van a preparar a las partículas minerales de silicatos, ya que en la pulpa de hematita se tienen aparte de los sulfuros, a los silicatos, por lo que es necesario acondicionar a dichas partículas.

Se puede decir que, para la flotación de los minerales de magnetita y hematita se emplea el sistema de flotación inversa, esto es llevado a cabo con reactivos del tipo catiónico ó sea el uso de reactivos de valencia positiva y que como ya se ha mencionado anteriormente, el concentrado valioso se hace circular por el fondo de todas las celdas de flotación y el material estéril que viene con las espumas se obtiene en la parte superior de las celdas, uno de los problemas que se tiene con este tipo de flotación es el de coleccionar y mantener en la superficie a los silicatos, los cuales son difíciles para flotar y esta es la razón de usar reactivos catiónicos, en lo que se refiere a los sulfuros no son tan difíciles ya que el colector propuesto es de alta efectividad y puede coleccionar a los sulfuros con más facilidad, en lo que se puede llamar una flotación normal pero aún así se usa la flotación inversa y esto es debido para manejar con más eficiencia al concentrado de hematita.

Continuando con la descripción del mineral de hematita se tiene que, dicha pulpa hematítica es enviada a seis celdas acondicionadoras en donde se agregan los reactivos de Dextrina la cual tiene la función de separar a las partículas minerales, haciendo deprimir al concentrado y mantener aislado al material estéril, por otro lado el hidróxido de Sodio se usa para regular el PH que es de 9.5; el tiempo de acondicionamiento de dicha pulpa es de 9 minutos, por lo que una vez transcurrido este tiempo la pulpa es alimentada a una batería de diez celdas de flotación para flotar a los silicatos.

Ya, en las celdas de flotación se tiene la pulpa de hematita a la cual se le agregan por una parte el reactivo Amina (FARMIN E2E) que es un reactivo de acción específica para los Silicatos. Se agrega también el espumante (AT 250), para generar - las burbujas que en acción conjunta con el reactivo químico previamente agregado, captará a la mayor cantidad de los silicatos contenidos en la pulpa hematítica, que serán recuperados en el derrame por ambos lados de la celda, mientras que la hematita - queda como cola en el fondo de la celda, aunque en realidad es el concentrado de hematita.

Los silicatos recuperados, por su pequeño volumen y baja calidad para los diferentes usos industriales, no tienen mercado alguno por el momento, por lo que se envían a al espesador y posteriormente a una prensa de jales.

Regresando al concentrado obtenido en el fondo de las celdas de flotación, este va recorriendo a través de todas las celdas, cajas intermediarias hasta que dicho concentrado llega a la caja de descarga de concentrados, de donde dichos concentrados fluyen para depositarse en un sumidero con bombas las que dosifican al tanque espesador de concentrados. Es aquí donde se analizan las características de dicho concentrado como son de granulometría, para poder determinar si se procede a una remolienda ó no para finalmente después de esto, alimentar de concentrado de hematita a la estación de Ferroduto.

Enseguida se presenta la siguiente tabla, en la que se muestran las diferentes fases del proceso de beneficio como son la Separación Magnética en Alta y Baja Intensidad y el sistema de flotación.

TABLA DE TECNICAS

TECNICA	M I N E R A L E S				
	MAGNETITA	HEMATITA	SULFUROS	SILICE FELDESPATOS	OTROS SILICATOS
<b>BAJA INTENSIDAD</b>	SI	SI	NO	NO	NO
<b>ALTA INTENSIDAD</b>	IMPOSIBLE	SI	NO	NO	NO
<b>FLOTACION INVERSA</b>	DIFICIL	DIFICIL	SI	SI	SI

Puede observarse en la tabla de técnicas, que para el beneficio de los minerales de hierro son aplicables las separaciones magnéticas de alta y baja intensidad, obteniendo concentrados de magnetita y hematita; mientras que con la flotación se recuperan, en el sobreflujo de las celdas, concentrados de minerales como son los sulfuros entre los que están la pirita, calcopirita y otros; también se obtienen la sílice, calcita y otros silicatos. Todos estos minerales representan la parte no útil - (ganga) de los minerales de magnetita y hematita. Es claro que este mineral estéril puede ser aprovechado con fines económicos como por ejemplo la sílice que puede usarse como fundente ó agregado de los minerales sulfurosos pueden obtenerse concentrados de cobre, zinc y otros metales.

La Planta Concentradora No. II producirá 10,320 TM/día de concentrados de Magnetita y 4,800 TM/día de concentrados de Hematita que como ya se ha mencionado anteriormente se deberán producir 3 millones de toneladas de concentrado de hierro para Reducción Directa y 1.5 millones de toneladas de concentrado de

hierro para el Alto Horno, todo esto por año; pero el ritmo de producción de concentrados no se lograra de inmediato sino que se seguirá un programa gradual de producción de concentrados.

Este programa se inicia con una cantidad base de concentrados en el primer año, la que se ira incrementando en cada uno de los años sucesivos, a continuación se presenta una tabla de producción de concentrados, que detalla lo anterior.

TABLA DE PRODUCCION DE CONCENTRADOS

" MAGNETITA Y HEMATITA "

AÑO	TONELADAS ( MAGNETITA )	TONELADAS ( HEMATITA )
1987	375,000	187,500
1988	1'500,000	750,000
1989	2'100,000	1'050,000
1990	2'400,000	1'200,000
1991	2'700,000	1'350,000
1992	3'000,000	1'500,000

De acuerdo a las pruebas metalúrgicas realizada sobre los minerales de hierro llevadas a cabo por las empresas FIVES CAIL BARCOOK, Comisión de Fomento Minero, la Siderúrgica, Lázaro Cárdenas Las Truchas, S.A. ( SICARTSA ); dichas empresas llevaron a cabo estudios (aproximadamente 1 ó 2 ) completos de los minerales de hierro.

En dichos estudios de análisis de los minerales de hierro, se ha determinado que dichos minerales pueden ser beneficiados por los sistemas de separación magnética de baja y alta -

intensidad y también por el sistema de flotación.

Para calcular las recuperaciones de los minerales de hierro, las formulas que se aplican, son las siguientes:

- Para conocer el contenido de mineral valioso

$$\text{Contenido} = (\text{Peso}) \times (\% \text{ Analisis})$$

- Para conocer la ley promedio del lote mineral

$$\text{Ley Media} = \frac{\text{Sumatoria de Contenidos}}{\text{Peso Total}}$$

- Para conocer la recuperación de mineral

$$(\%) \text{ Recuperación} = \frac{\text{Contenido Parcial}}{\text{Sumatoria de Contenidos}} \times 100$$

Enseguida se anexan dos tablas referentes a los balances metalúrgicos acerca de la flotación inversa y el balance general de la planta; los datos de estos balances son obtenidos de las pruebas metalúrgicas hechas por la Comisión de Fomento Minero y en dichas tablas se indican las recuperaciones que se obtienen de estos concentrados; también se incluye una tabla de consumibles.

Por último se anexa la siguiente tabla en la que se indican los costos de producción de concentrados de hematita y magnetita, y en la que se da un costo promedio para la producción de dichos concentrados, así como también se incluye un croquis de circuitos de flotación y en el que se muestra el manejo de reactivos y para hacer mención a la diferencia de los procesos de Reducción Directa y Alto Horno, se presenta una tabla al respecto.

De esta manera se da por terminado el presente capítulo, y en el que se trato de dar una idea clara acerca del beneficio de los minerales de hierro por el sistema de flotación.



# Balance Metalúrgico de la Flotación Inversa

- 76 -

DESCRIPCION	% PESO	ANALISIS			CONTENIDO			RECUPERACION		
		% Fe <sub>t</sub>	% SO <sub>2</sub>	% S	% Fe <sub>t</sub>	% SO <sub>2</sub>	% S	% Fe <sub>t</sub>	% SO <sub>2</sub>	% S
Alimentación	100.00	65.3	5.7	0.12	65.30	570	12	100	100	100
ESPUMA (S ; SO <sub>2</sub> )	7.06	57.1	12.6	1.19	402.8	589.5	7.77	6.18	17.08	68.17
CONCENTRADO	92.94	65.9	5.2	0.09	6124.7	902.35	2.71	73.81	82.96	31.80

# Balance General

- 76 -

DESCRIPCION	% Peso	ANALISIS			CONTENIDO			RECUPERACION		
		% Et	% SiO <sub>2</sub>	% S	% Et	% SiO <sub>2</sub>	% S	% Et	% SiO <sub>2</sub>	% S
ALIMENTACION	100.00	50	15	30	5000	1500	5000	100	100	100
CONCENTRADO FINAL	43.80	67.1	5	0.25	2939	219	10.94	98.1	20.25	0.39
ECULAS	56.20	56.4	15.36	99	3172.5	263.2	2733.8	51.9	79.76	99.60

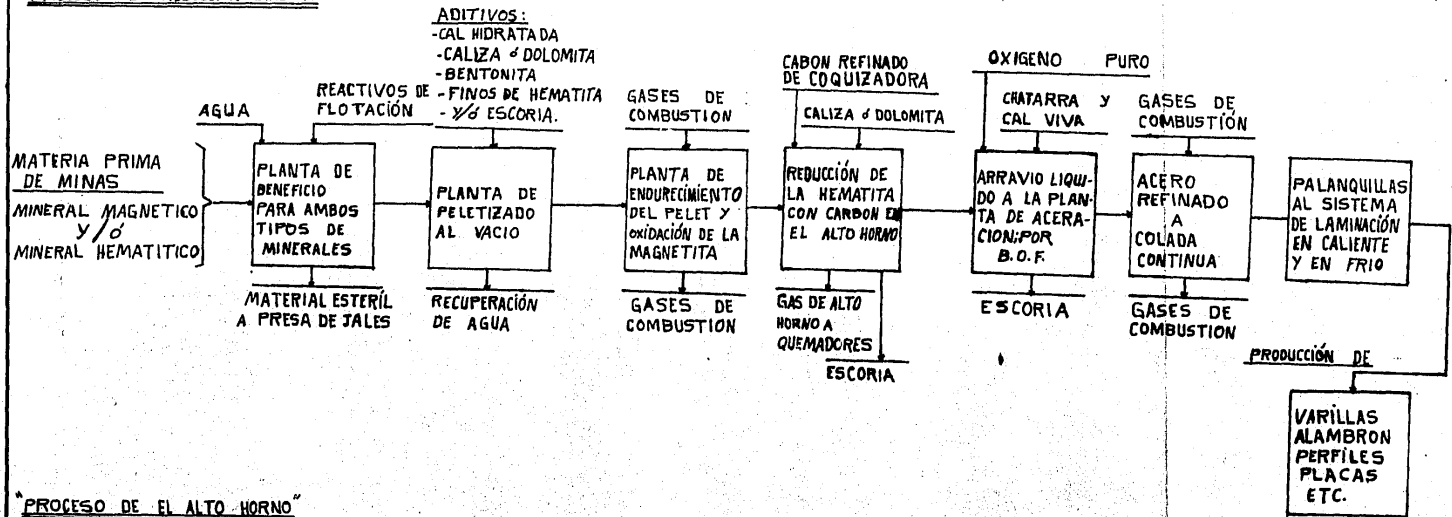
**TABLA DE  
CONSUMIBLES**

<b>CONCEPTO</b>	<b>CONSUMO</b>
BOLAS	2.8 kg/ton de Concentrado
LAINAS	45 gr/ton de Concentrado
AMINA	168 gr/ton de Concentrado
KANTATO	22 gr/ton de Concentrado
SOSA	174 gr/ton de Concentrado
ALMIDON	118 gr/ton de Concentrado
FLOCULANTE	9 gr/ton de Concentrado
ESPUMANTE	40 ml/ton de Concentrado
POZENCIA (KW)	47.6 KWH/ton de Concentrado
Agua	1.27 m <sup>3</sup> /ton de Concentrado
SOSA D/DETRINA	19 gr/ton de Concentrado

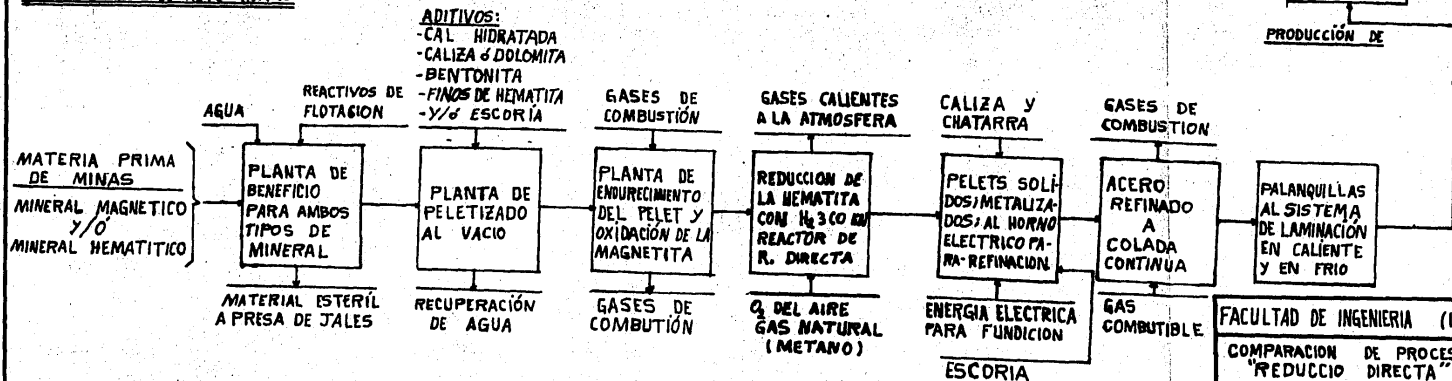
**TABLA**  
**COSTOS DE PRODUCCION DE CONCENTRADOS**  
**DE LOS MINERALES (MAGNETITA Y HEMATITA)**

CONCEPTO	UNIDAD	CONSUMO UNITARIO UNIDAD/TON. P.	COSTO UNITARIO USD/UNIDAD	COSTO TOTAL USD/TON.
<b>INSUMOS DIRECTOS:</b>				
Mineral	Ton.	1.89	5.033	9.512
Azina	Kg.	0.41	1.479	0.606
Xantato	gr.	20.60	0.004	0.081
Dextrina	gr.	423.00	0.0002	0.082
Floculante	gr.	20.00	0.0032	0.064
Sosa	gr.	1052.91	0.0003	0.316
Espumante	gr.	81.98	0.0476	3.902
Agua Grada	m <sup>3</sup>	1.27	0.0041	0.0052
Energia Electrica	KWH	47.61	0.024	1.142
<b>INSUMOS INDIRECTOS</b>				
Bolas	Kg.	2.22	0.349	0.7763
Revestimiento	Kg.	0.03	10.165	0.304
Refacciones	DSD	—	—	0.4735
Grasas y Lubricantes	Kg.	0.28	1.341	0.377
<b>TOTAL PARA PRODUCIR UNA TONELADA DE CONCENTRADO</b>				<b>= 17.641</b>

PROCESO DE REDUCCION DIRECTA



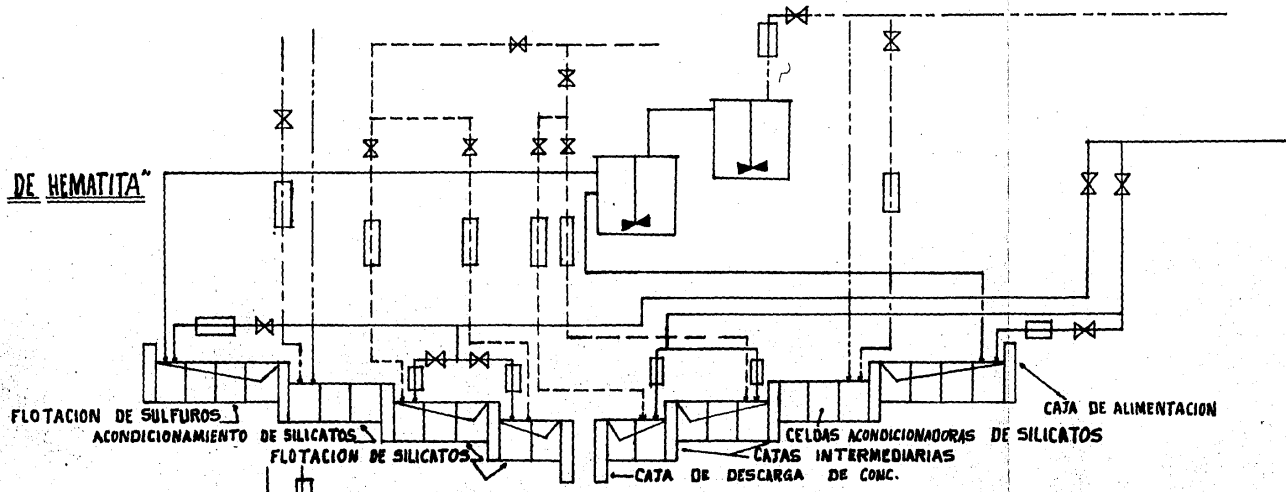
PROCESO DE EL ALTO HORNO



FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM)  
 COMPARACION DE PROCESOS  
 "REDUCCION DIRECTA"  
 "ALTO HORNO"

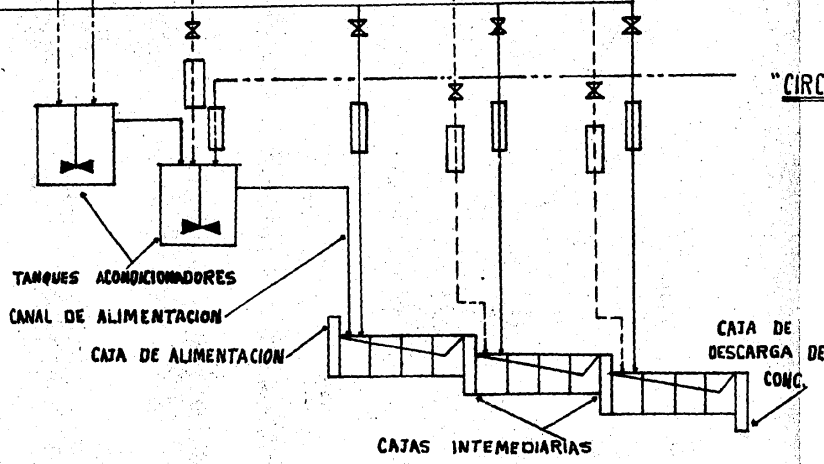
SALVADOR OLIVARES M. | 1885 TESIS PROFESIONAL | ESC. NO

"CIRCUITO DE HEMATITA"



LEYENDA

- ESPUMANTE
- - - XANTATO
- - - AMINA
- - - HIDROXIDO DE SODIO
- - - DEXTRINA
- ▬ MEDIDOR DE CANDAL
- ⊗ VALVULA DE BLOQUEO



"CIRCUITO DE MAGNETITA"

FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM)		
CIRCUITOS DE FLOTACION HEMATITA Y MAGNETITA		
SALVADOR OLIVARES M.	1985 TESIS PROFESIONAL	ESC. NO

C A P I T U L O

S E P T I M O

## CAPITULO SEPTIMO

### VII.- EVALUACION ECONOMICA

#### VII.1.- INTRODUCCION

En el presente capítulo, se va hacer un breve análisis económico de la planta de beneficio, la cual va a procesar minerales de hierro en Lázaro Cárdenas, Estado de Michoacan. En dicho análisis económico, se trataran aspectos tales como: El tipo de contrato que se usa para la adquisición de dicha planta de beneficio, costos totales de inversión, calendario de pagos, y se incluye un apartado acerca de la organización de la gerencia que lleva el control del proyecto " PLANTA No. 2 ".

Se piensa que con esta descripción se cubra en lo posible con la cuestión económica, por lo que.

#### VII.2.- TIPO DE CONTRATO PARA LA ADQUISICION DE LA PLANTA CONCENTRADORA

Para la construcción de la planta de beneficio que va a procesar minerales de hierro; se va a utilizar un sistema de contrato, que se denomina " LLAVE EN MANO " de dos pasos; por lo que dicho contrato tiene la característica de suministrar la ingeniería, obra civil, montaje, instalación, pruebas y puesta en operación industrial, dicha planta comprendera de manera emunciativa sin ser limitativa lo siguiente.

I.- Equipo Mecanico para los circuitos ó sistemas de beneficio de mineral y en los que se involucran.

- Sistema de Molienda (molinos semi - autogenos)
- Sistema de equipos para el mineral de Magnétita
- Sistema de equipos para el mineral de Hematita
- Circuitos de celdas de flotación para ambos concentrados.



- Sistema de sedimentación de lodos (espesador de esteriles y espesador de concentrados)
- Tanques de Almacenamiento de Concentrados
- Sistema de equipos para el dosificado de reactivos químicos
- Servicios para el suministro del aire comprimido y agua para uso domestico
- Equipos de laboratorio para el control del proceso
- Gruas y equipos especiales para el mantenimiento de equipos
- Sistema de protección contra incendio
- Sistema de Ventilación y Aire Acondicionado

II.- Equipo Electrico y de Control

III.- Instrumentación del Sistema

IV.- Estructuras del Edificio

V.- Obra Civil de cimentaciones y construcción de la planta

VI.- Montaje y pruebas de todos los equipos incluidos

VII.- Puesta en operación industrial de la planta

VIII.- Entrenamiento del personal de SICARTSA

En cada oferta se incluirán los detalles de los precios y los tiempos normales de entrega de refacciones que deban mantenerse en inventario con base a los requerimientos anticipados, para la operación normal de la planta por un periodo de dos años segun lista de aquellas refacciones que recomienda el concursante asi mismo debera señalar la forma en que garantizara el suministro de refacciones, asi como el tiempo de entrega.

Durante el arranque de operaciones de las instalaciones objeto de este concurso, el concursante deba sugerir el número de personas, especialidad, periodo de estancia en la plan

ta y experiencia previa para ayudar al de operación y al de mantenimiento en caso de requerirlo.

El concursante deberá cotizar especificando la cantidad y calidad de entrenamiento que el personal de SICARTSA deba recibir, esto con el fin de capacitarlo para proporcionar una correcta operación y mantenimiento del equipo y de la misma planta de beneficio.

#### VII.3.- COSTOS TOTALES DE INVERSION

El costo total que se tiene que pagar para la construcción de la planta de beneficio, se ha dividido en dos partes que son las siguientes:

##### VII.3.a.- Inversión Nacional

##### VII.3.b.- Inversión Extranjera

##### VII.3.a.- Inversión Nacional

El costo por el suministro de esta área en la cual se involucran trabajos generales, edificaciones, miscelaneos, ingeniería, coordinación, equipo mecánico, y varios otros, es de \$ 1068' 456,986 pesos 00/100 M.N.; quedando este precio sujeto a escalación; en este costo se incluyen todos los costos monetarios directos e indirectos de esta parte nacional. La cantidad antes mencionada será pagada de la siguiente forma:

- 10% del precio, en concepto de anticipo, el cual ser invertido en el proyecto.
- 80% del precio, en pagos sucesivos de acuerdo al calendario de pagos.
- 5% del precio, contra presentación del acta de recepción provisional de la planta.
- 5% del precio, contra presentación del acta de recepción definitiva de la planta.

Aparte se tiene que pagar los siguientes conceptos como son: EL IVA; los impuestos municipales; todos los incrementos a las tasas de impuestos aplicables al 10.º de Enero de 1982, así como nuevos impuestos que impongan las autoridades.

#### VII.3.b.- Inversión Extranjera

El costo por el suministro de esta área en la cual se involucran equipos que no son fabricados en México, por lo cual se hace necesario la importación de dichos equipos; entre los equipos que se encuentran de importación están los molinos semi-autógenos, molinos de bolas, separadores magnéticos de alta y baja intensidad, celdas de flotación, sistema de automatización y otros equipos que están en el suministro de importación.

Por lo que el monto de la parte extranjera asciende a 397\* 382,400 Francos Franceses; esta cantidad va a ser pagada en forma semejante al de la parte Nacional, así es que:

- 10% de anticipo, el cual debe ser invertido en el objeto del contrato.
- 80% del precio, en pagos sucesivos de acuerdo con el calendario de pagos.
- 5% del precio, contra presentación del acta de recepción provisional de la planta de beneficio.
- 5% del precio, contra presentación del acta de recepción definitiva de la planta de beneficio.

En esta parte se tiene un financiamiento que es otorgado por un banco francés, en lo que se denomina un crédito blando que está dado a una tasa de interés del 2%, con periodo de gracia de 7 años y un periodo de pago de 13 años.

Debido a qué parte del equipo eléctrico, equipo mecánico, así como la totalidad de la estructura va a cambiar a la parte Nacional y está es debido a que es posible obtener dichos servi-

cios en México y es la razón de agrupar a estos equipos en una modalidad llamada " COSTO + Fee ", por lo que debido a esto el costo del suministro extranjero se reduce de la cantidad antes mencionada en párrafos anteriores a la cantidad de 370' 000,000 de Francos Franceses y sigue conservando el mismo financiamiento.

#### VII.4.- CALENDARIO DE PAGOS

Enseguida se presenta una tabla en la que se indican los pagos sucesivos para la parte extranjera y que están sobre las siguientes bases: (1)397' 382,400P.F. y (2)370' 000,000 P.F.

TABLA VII.1

PERIODO	% AVANCE		% ACUMULADO		IMPORTE P.F. MES		P.F. ACUMULADO	
	(1)	(2)	(1)	(2)	GENERADO	PAGADO	GENERADO	PAGADO
1983			17.27	18.55			68,652	68,652
1984								
Enero	1.67	1.79	18.94	20.34	6,636	-----	75,288	-----
Febrero	0.92	0.99	19.86	21.34	3,656	-----	78,944	-----
Marzo	2.33	2.50	22.19	23.84	9,259	13,155	88,203	81,807
Abril	2.71	2.91	24.90	26.74	10,769	-----	98,972	-----
Mayo	2.06	2.21	26.96	28.96	8,186	-----	107,158	-----
Junio		2.21		31.16	8,160		115,318	
Julio		0.90		32.07	3,330		118,648	
Agosto		0.90		32.96	3,330		121,978	
Septiembre		0.70		33.66	2,590		124,568	
Octubre		0.60		34.26	2,220		126,788	
Noviembre		0.80		35.07	2,970		129,758	
Diciembre		0.92		35.99	3,409		133,167	
TOTAL		17.43		39.99	64,515		133,167	

#### VII.5.- ORGANIZACION DE LA GERENCIA DE MATERIAS PRIMAS

La Gerencia de Materias Primas, en la que se trabaja, inicio sus actividades el 15 de Septiembre de 1981, siendo ésta una de las varias Gerencias que pertenecen a la Siderúrgica Lázaro Cárdenas, Las Truchas, S.A. ( SICARTSA ).

En esta gerencia se llevan los proyectos de Planta de Cal, Ferroaducto, Manejo de Materiales y la Planta de Beneficio de los minerales de hierro (Concentradora). Siendo esta última el objetivo de este trabajo.

El proyecto para la construcción de la planta de beneficio, salió a concurso en la fecha antes mencionada; entre las empresas que concursaron están: FIVES CAIL BABCOCK, BRAVO de México, KURIMOTO IRON WORKS, la empresa FOX, LURGI, KEMISA; todas las empresas que concursaron, presentaron sus cotizaciones tanto técnicas como comerciales, las cuales fueron evaluadas por los departamentos de Ingeniería y de Planificación respectivamente, dando se el acto de fallo, el 15 de Mayo de 1962 y en la que resulto como empresa ganadora a FIVES CAIL BABCOCK, debiéndose ésto, a que dicha empresa ofreció un precio razonable, el cual ha sido mencionado en párrafos anteriores (ver VII.3), tanto para la parte Nacional como para la parte Extranjera, además de que ofreció un Crédito Fluido, para el equipo extranjero.

Como se ha mencionado en el principio de este capítulo se tiene un contrato "LLAVE EN MANO" y qué como se ha dicho, la empresa ganadora, se compromete a suministrar todos los trabajos y servicios para la edificación de la planta concentradora, ésto es, de acuerdo a las normas que presenta SICARTSA y que sirven de base para chequear toda la información que suministre el proveedor. Dentro de este tipo de contratos existen, cláusulas que tratan acerca de las obligaciones y derechos que se presentan para SICARTSA y para la empresa ganadora y que es importante para determinar las características de como se debe entregar el trabajo ó actividades que se tengan que realizar, dentro del área de trabajo y decidir a quien le toca ejecutar dichas actividades.

Para poder llevar, el control en forma correcta del -

proyecto de la Planta Concentradora; tanto del punto de vista técnico como financiero, se ha dividido dicho proyecto en áreas ésto para tratar de facilitar el trabajo; las áreas en que esta dividida la Gerencia son: Area Civil, Area Mecánica, Area de Proceso, Area de Instrumentación, Area Eléctrica, Area de Programa General y Area Financiera.

La finalidad de esta clasificación de áreas es, principalmente llevar un control de la información técnica, planos así como reportes de avance y toda la información inherente al proyecto y que dicha información es generada por la empresa ganadora, que en este caso es FIVES CAIL BABCOK; por lo que la información recibida es distribuida a las diferentes áreas, las cuales analizan y chequean la información recibida y una vez realizada esta operación, se toma una decisión y que es enviada al gerente para que de su autorización final y de esta manera pueda regresar la información a él proveedor, para que éste realice todas las modificaciones necesarias ó bien haga la adquisición de los equipos, así como también se disponga a ejecutar todas las edificaciones necesarias para ir montando todos los equipos, del edificio en sí, también se tienen juntas técnicas, en las que se ponen de acuerdo ambas partes, acerca de la marcha del proyecto. Enseguida se da una descripción breve de la forma de trabajar de cada área y poder dar una idea de la integración del proyecto.

#### VII.5.a.- Area Mecánica.

La finalidad de esta área es principalmente recibir información acerca de planos de equipo mecánico, así como información técnica, la información que se recibe es de arreglos generales de la planta de beneficio, arreglos de molinos de bolas y semi-autógenos, bombas, celdas de flotación, separadores magnéticos, etc., esta información es revisada y evaluada por ingenieros

del área respectiva y dan su veredicto de aprobado, rechazado ó con comentarios; para poder revisar dicha información, es necesario que se tenga un buen conocimiento del proyecto, como son normas, especificaciones, conocimiento del arreglo de la planta de beneficio, experiencia de la persona que revisa ó sea criterio y tener cuidado de observar bien todos los detalles que presente dicha información. Se realizan también juntas entre los ingenieros de ambas partes y en los que se discuten todas las posibles fallas ó defectos que se tengan en la información suministrada.

Una vez que ha sido revisada y evaluada toda la información enviada, es regresada a la empresa ganadora, la cual hace todas las correcciones pertinentes. La importancia de realizar dicha revisión es, principalmente la de escoger los equipos adecuados, que tengan la mayor duración y ver que se hagan en el menor tiempo posible, se escogan la mejor calidad de los materiales y se cuiden todos los detalles para poder integrar una planta de beneficio de buena calidad.

#### VII.5.b.- Area Civil.

Esta área es importante al proyecto ya que da las bases para la cimentación tanto en estructura como en concreto y también el proveedor suministra información de arreglos generales de la planta, planos de cimentaciones de los distintos edificios de la concentradora, listas de materiales, memorias de cálculo de dichos edificios tanto en concreto como en estructura, también se realizan juntas técnicas, entre los representantes de ambas partes y en las que se ven los problemas que se presentan en la construcción de los edificios de la planta de beneficio.

Como en el caso anterior, toda la información recibida es revisada por los ingenieros de dicha área en cuestión y es regresada a el proveedor según sea el caso como emitida para

construcción, emitidos con comentarios, emitidos para información por lo que toda la información ya sea técnica ó de planos tiene que ser modificada y corregida por sus ingenieros de áreas respectivas y de esta forma iniciar todos los trabajos necesarios.

#### VII.5.c.- Area de Proceso.

Se reciben en esta área principalmente planos que se dividen en diagramas de agua de proceso, diagramas de agua clara diagramas de redes de tubería que conectan a todos los equipos, así como también información técnica referente a el agua de proceso, también especificaciones de tuberías, que son las que van a manejar los distintos fluidos, todas estas tuberías están diseñadas de acuerdo al uso indicado, además de la ubicación de los diferentes equipos.

Estas tuberías también son revisadas de acuerdo a las normas de SICARTSA, al diagrama de flujo, a las necesidades del proceso, por lo que también son revisadas de acuerdo al proceso en forma cuidadosa. También esta información es emitida al concursante según sea el veredicto como: Aprobada, con Comentarios, ó Rechazada.

#### VII.5.d.- Area de Instrumentación.

Los encargados de esta área reciben también planos de instrumentación y información técnica referente a el sistema de Control Distribuido, así como de todos los instrumentos instalados en todos los equipos, estos instrumentos tienen la función de detectar las condiciones anormales de operación de dichos equipos los planos de esta área tienen representados a los equipos con sus instrumentos unidos entre si, por cableado, los cuales tienen sistemas de alarmas tanto de luz como de chicharra y a su vez se interconectan a el interloc, todos estos instrumentos unidos van a dar a un cuarto de control y en el que se localiza dicho sis-



tema de Control Distribuido, compuesto por tableros, pantallas y que sirve para llevar un control por circuitos de la planta de beneficio y poder de esta manera llevar a dicha planta con buena eficiencia. El sistema de control distribuido viene representando el cerebro de la planta de beneficio ya que se hace operar la planta por circuitos en los que se involucran sistemas de equipos conectados entre si y cuando existe alguna falla de operación, es detectada con facilidad en el lugar exacto.

Como se ha visto anteriormente, la información suministrada es revisada minuciosamente, llevándose a cabo también juntas con el concursante y de esta manera poder obtener lo más conveniente para el proyecto.

#### VII.5.e.- Area Electrica

Las personas encargadas de esta área trabajan sobre información técnica, que tratan principalmente de transformadores de corriente directa y alterna, de la subestación eléctrica, así como también trabajan sobre planos referentes a lo que se acaba de mencionar.

La finalidad de tener equipos como son transformadores de corriente, la subestación eléctrica y otros más, es principalmente la de suministrar energía eléctrica en cantidad suficiente a la planta de beneficio que se va a construir.

#### VII.5.f.- Area Financiera

Esta área es la más importante, ya que da la autorización para el pago del proyecto, tomando como base la información suministrada por el concursante, que consiste de reportes mensuales de avance y que tratan estos del desarrollo de la ingeniería de las estructuras, de edificaciones y otras áreas más, así como el envío de las facturas, en las que se incluye el cobro por el trabajo que estan realizando.

Una de las formas que se usan para evaluar, si la información dada por el concursante es correcta, es qué en el lugar de la obra se llevan controles reales de la obra y en base a esto se determina lo que debe pagarse, también se solicita a el concursante toda la información pertinente, la cual es revisada muy minuciosamente y una vez realizado este procedimiento se puede autorizar el pago de la factura correspondiente.

En cada junta que se realiza entre el concursante ganador integrado por sus representantes que son los gerentes principales, por otro lado, los representantes de SICARTSA son; el gerente junto con los representantes de cada área y al final de cada junta se levanta una minuta en la que se anotan todos los puntos que se trataron en dicha junta.

De ésta manera, en pocas palabras se ha hecho un breve bosquejo acerca de la forma de trabajar y la organización que se tiene en la gerencia de materias primas.

CAPITULO

OCTAVO

## CAPITULO OCTAVO

### VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- Se considerará que la construcción de la planta de beneficio de mineral de hierro, es conveniente debido a que contribuirá con más cantidad de hierro y del cual se obtendrán productos terminados como son: varilla corrugada, alambros, placa, fierro estructural entre otros y que dichos productos tienen una infinidad de usos y de esta manera incrementar el mercado con estos materiales, vendiendolos a su precio real y esperando que por la gran demanda que tengan se puedan vender a bajo costo en el futuro, esto siempre y cuando los costos de producción se vean abatidos; ya que a pesar de la crisis y de muchos otros problemas por los que atraviesa el país, la demanda de estos productos no ha sido duramente castigada y sí en cambio en el futuro puede incrementarse dicha demanda.

Los muchos beneficios que traería la construcción de la planta de beneficio, son entre otros, que se incrementaría considerablemente la fuente de trabajo en todos los ordenes; así como el nivel de vida de sus habitantes en toda el área del lugar de trabajo tendría un gran auge.

2.- El presente trabajo, tiene la finalidad de dar una idea clara, acerca del proceso de beneficio de los minerales de hierro (magnetita y hematita) y que de acuerdo a el diagrama de bloques presentado se observan las etapas de Reducción de mineral la molienda, la clasificación de partículas, la separación magnética de baja y alta intensidad, siendo esta la más importante ya que de acuerdo a las características del mineral se tendría una recuperación de mineral magnético ó mineral hematítico de

el 60% en promedio, también esta la flotación la cuál representa una innovación en México, en este tipo de beneficio, ya que presenta la flotación inversa para poder flotar a los minerales de los silicatos, los cuales son difíciles de flotar, así como también para flotar a los sulfuros que también se usa la flotación inversa, pero que debido a la buena eficiencia del reactivo que capta con facilidad a los sulfuros como son piritas y otros más pero que se puede considerar una flotación normal.

El tipo de flotación que se propuso se tiene que usar ya que al parecer no existe ningún reactivo en el mercado que haga flotar a los minerales de hierro y es por eso que se hace flotar a el material estéril, cabe mencionar que todos los equipos de la planta de beneficio han sido diseñados en base al índice de trabajo, por lo que presentan buena operación de trabajo como son las celdas de flotación, estos equipos tienen su propio sistema de aeración, no requiriendo sistema de inyección de aire también el mecanismo (1+1) que consiste de rotor y estator y en el que éste sistema crea las condiciones necesarias de turbulencia y poder de esta manera mantener a las partículas minerales en suspensión, para que con la adición de los reactivos se obtenga la mayor recuperación de concentrado de hierro, también están los tanques y espesador de concentrados de hierro y por último esta el espesador de jales por lo que la función de este equipo es la de recuperar el agua para el proceso y que se hace circular por todos los equipos.

3.- El trabajar en un proyecto de gran alcance como - este, da mucha e interesante experiencia ya que se ven variados aspectos en un gran alcance y es conveniente para estudiantes que dan su servicio social ó para quienes quieren hacer practicas profesionales.

4.- Desafortunadamente, debido a la situación actual por la que atraviesa el país, la construcción de la planta de beneficio corre el riesgo de no concluirse, ya que por la falta de presupuesto, este proyecto fue aplazado por tiempo indefinido por lo que las consecuencias negativas que traera esta suspensión serán considerables y de difícil solución como son la terminación completa de los espesadores, los cuales tienen un porcentaje de avance del 70% en promedio, por otro lado el porcentaje de avance de la planta de beneficio es de aproximadamente de 40% y que existe equipo que no ha sido armado y que esta sujeto a las fuerzas de la naturaleza, así como a un mal almacenamiento.

En conclusión se puede decir que es más conveniente terminar un proyecto que se ha iniciado, aunque a la larga sea oneroso, pero que al final de cuentas deberá ser redituable. Por otro lado, el no continuar con el proyecto vendría a traer consecuencias negativas y se tendrían más pérdidas por todo lo que se ha invertido. Se recomienda buscar alternativas como la eliminación de proyectos que se inicien, para que de esta forma se de por terminado este proyecto.

## LISTA DE DIBUJOS

### CAPITULO PRIMERO

- CROQUIS DE LOCALIZACION

### CAPITULO SEGUNDO

- CROQUIS DE LOS YACIMIENTOS DE HIERRO  
EL " VOLCAN " Y EL " MANGO "

### CAPITULO TERCERO

- CROQUIS DE UN HORNO REDUCTIVO
- CROQUIS DEL HORNO DE REVERBERO
- CROQUIS DE EL ALTO HORNO
- CONVERTIDOR DE SOPLADO POR ABAJO
- HORNO ELECTRICO DE ARCO

### CAPITULO CUARTO

- SECCION GEOLOGICA TIPICA EL VOLCAN
- CROQUIS DE UN TAJO ABIERTO
- CROQUIS DEL ANGULO FINAL CRITICO
- CROQUIS DE LOS BANCOS DE EXPLOTACION

### CAPITULO QUINTO

- CROQUIS DE UN SEPARADOR MAGNETICO DE ALTA INTENSIDAD
- DIAGRAMA DE BLOQUES - PLANTA CONCENTRADORA - ETAPA II

### CAPITULO SEXTO

- CROQUIS DE UNA CELDA DE FLOTACION TIPO ( WEMCO )
- CROQUIS DE LOS MECANISMOS DE AGITACION
- CROQUIS DE CAJAS INTERMEDIARIAS ( WEMCO )
- COMPARACION DE PROCESOS " REDUCCION DIRECTA " Y " ALTO HORNO "
- CIRCUITOS DE FLOTACION " HEMATITA " Y " MAGNETITA "

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

- CONCENTRACION DE MINERALES POR FLOTACION  
PHILIP RAHONE. COMISION DE FOMENTO MINERO 1975.
  
- PROYECTO DE EXPANSION DE LA MINA " LA NEGRA "   
MUNICIPIO DE CADEREYTA; ESTADO DE QUERETARO  
Tesis Profesional: Ing. Rafael Trigueros Padilla
  
- ELEMENTOS BASICOS DE SIDERURGIA Y METALOGRAFIA PARA  
LA CARRERA DE INGENIERO DE MINAS Y METALURGISTA, POR  
EL ING. FRANCISCO DIAZ COBARRUBIAS
  
- FLOTATION (second edition) OF A. M. GAUDIN  
Editorial McGraw - Hill BOOK COMPANY INC.
  
- VOLUMEN 1 DE LA ESPECIFICACION TECNICA  
( SICARTSA ) PARA LA PLANTA DE BENEFICIO  
DE MINERAL DE HIERRO
  
- ESPECIFICACION TECNICA DE SICARTSA  
PARA EL DESARROLLO DE MINAS