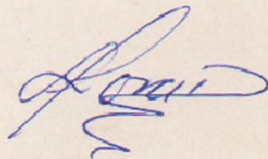


República de Cuba  
Instituto Superior Minero - Metalúrgico  
Moa - Holguín

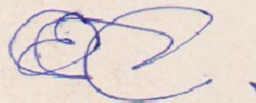
TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Estudio de la relación fase mineral, tamaño de partículas y su influencia en el proceso de sedimentación en los espesadores de la Emp. Cmdte "Pedro Sotro Alba".

Autor: Luis Antonio Mora Díaz.



Tutora: Lic. Elsy Ferrer.



1990

"Año 32 de la Revolución"

DEDICATORIA:

A quienes nos lo han dado todo, a quienes nos hicieron saludables, a quienes le debemos todo, a nuestros padres y familiares. A mi madre.

#### AGRADECIMIENTO:

Mi más sincero agradecimiento a la Revolución, por haberme dado la oportunidad de formarme como Técnico Superior y al socialismo, pues gracias a él existe con más fuerza nuestra revolución.

A todos los compañeros y profesores del Instituto, que de una forma u otra influyeran con sus constantes esfuerzos y enseñansa a que llegara hasta este máximo escalon.

RESUMEN:

En nuestro trabajo "Estudio de la relación fase mineral-tamaño de partículas y su influencia en el proceso de sedimentación en los espesadores de la Empresa Cmdte. "Pedro Soto Alba" se expone la caracterización mineralógica del material limonítico de la pulpa a diferentes clases de tamaños, basandonos fundamentalmente en análisis por difracción de rayos X a muestras tomadas a diferentes profundidades en los espesadores en un momento de sedimentación regular.

INDICE:

CAPITULO	I: PARTE INICIAL	PAG:
	I-1. Introducción .....	1
	I-2. Condiciones Minero Geológicas del Yacimiento. Características del mineral tratado. ....	3
	I-3. Breve descripción del flujo tecnológico de la Emp. Cmdte "Pedro Sotto Alba". ....	6
	I-4. Descripción del flujo de la Planta de Espesadores de Pulpa. Características de los espesadores. ....	12
CAPITULO	II: PARTE GENERAL	
	*II-1. Fundamentos Teóricos acerca de la sedimentación. ....	16
	*II-2. Factores que influyen en el proceso de sedimentación. ....	22
CAPITULO	III: PARTE ESPECIAL	
	*III-1. Resumen de trabajos realizados acerca de la sedimentación. ....	26
	III-2. Materiales y métodos de investigación utilizados. ....	32
	III-3. Trabajo realizado. ....	34
	*III-4. Resultados obtenidos y análisis de los mismos. ....	36
CAPITULO	IV: PARTE FINAL	
	IV-1. Conclusiones. ....	38
	IV-2. Recomendaciones. ....	40
	IV-3. Bibliografía. ....	41
	IV-4. Anexos. ....	42

**TRABAJO  
DE  
DIPLOMA**

**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO  
FACULTAD METALURGIA ELECTROMECHANICA**

*Hoja*  
*No. ———*

**CAPITULO I: PARTE INICIAL**

### I-1. INTRODUCCION

La Empresa Cmdte "Pedro Sotto Alba" está situada en la parte nordeste de la provincia Holguín. Esta industria fuè construida por Compañias Norteamericanas en el año 1958, debido a la gran cantidad de reservas minerales que posee esta zona y con el fin del enriquecimiento inmediato a partir de su extracción.

Con triunfo de la revolución el 1ro. de Enero de 1959 y debido a la leyes de la nacionalización de Empresas Extranjeras, ésta pasa a manos del pueblo y no es hasta dos años después que con el esfuerzo realizado por técnicos y trabajadores y a pesar del bloqueo implantado por los imperialistas, se logra su puesta en marcha.

Como la Industria Minero Metalúrgica está destinada a jugar un importante papel en el desarrollo y fortalecimiento de la economía, nuestro gobierno revolucionario realiza grandes esfuerzos en inversiones para la ampliación y modernización de las plantas existentes, así como la construcción de nuevas empresas con la cooperación de otros países.

Esta empresa posee un proceso hidrometalúrgico en la que se utiliza la lixiviación ácida a presión obteniendose como producto el sulfuro de níquel y cobalto que constituyen productos exportables

semielaborados.

Por ser el periodo de espesamiento de la pulpa complejo y depender de varios factores, además de no lograrse la estabilidad del proceso industrial, es que se viene realizando desde hace algún tiempo, distintos trabajos con el objetivo de determinar las causas que afectan este proceso y lograr así una mayor información desde el punto de vista científico - técnico sobre el proceso, pues cuando no se alcanza el porcentaje de sólido de diseño (47.8) se afecta la capacidad de la planta de Lixiviación consumiéndose mayor cantidad de reactivos, aparejado a pérdidas de vapor y consumo adicional de petróleo que representan 8 millones de pesos anuales.

Es por eso que en el presente trabajo nos trazamos como objetivo, estudiar y establecer criterios acerca de las posibles relaciones que puedan existir entre las fases minerales presentes en el material de estudio y la composición granulométrica del mismo y establecer una comparación con los resultados obtenidos en los análisis del mineral de yacimiento.



I-2. CONDICIONES MINERO-GEOLOGICAS DEL YACIMIENTO.  
CARACTERISTICAS DEL MINERAL TRATADO.

La Empresa Metalúrgica Cmdte "Pedro Sotto Alba"; utiliza como materia prima fundamental la Limonita para la producción del concentrado de Níquel y Cobalto.

El proceso lo comenzamos en la Mina, donde sus yacimientos se han formado durante un largo tiempo, sufriendo cambios de interperismo con elevadas temperaturas y abundantes precipitaciones propias de nuestro clima tropical, actuando sobre la serpentina donde el Magnesio (Mg) y el Azufre (S) se disuelven y se filtran dejando concentrados residuales de Oxidos menos solubles de Ni, Co, Fe, Cr, As, y otros. Este yacimiento es superficial (Limonita), encontrandose en la capa superior de la Serpentina y en la inferior de la capa de escombros; principalmente mineral de hierro con elevado contenido de Alúmina.

La profundidad de la capa promedio es 4.6 m y posee aproximadamente la siguiente composición química:

- 46.5 % de Hierro (Fe)
- 1.36 % de Níquel (Ni)
- 0.12 % de Cobalto (Co)

La fracción inferior de Serpentina tiene un elevado contenido de Magnesio (Mg) y bajo de Hierro (Fe) y algo más alto de Níquel (Ni) que la Limonita, sin embargo debido al elevado contenido de Mg que provoca un

elevado consumo de reactivo (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en la lixiviación, se almacena para su futura utilización.

COMPOSICION QUIMICA:

	<u>Ni</u>	<u>Co</u>	<u>Fe</u>	<u>Al</u>	<u>Mg</u>	<u>Ca</u>
ESCOMBRO	0.64	0.03	45.5	7.6	0.5	1.8
LIMONITA	1.37	0.125	47.5	4.2	0.62	1.6
SERPENTINA	1.53	0.04	15.8	3.1	14.6	0.37

COMPOSICION MINERALOGICA

GOETHITA	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O)	.....	70-75 %
ALUMINA	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .H <sub>2</sub> O)	.....	10 %
SERPENTINA	(3MgO <sub>2</sub> SiO <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O)	.....	2-5 %
CUARZO	(SiO <sub>2</sub> )	.....	2-4 %

Como se observa, el componente principal de estas Menas lo constituye la GOETHITA, que alcanza hasta un 75 %.

Una parte considerable del Aluminio se encuentra en forma de Alúmina hasta un 10 %. El resto es Serpentina y Cuarzo, con 2-5 % cada uno y un 10 % de inclusiones.

Características de los minerales tratados:

El mineral es una mezcla de Lateritas de carácter terroso y serpentinitas parcialmente descompuestas y duras.

El material laterítico se presenta como tierra suelta con terrones, mientras que el serpentinitico presenta toda la gama desde el material terroso hasta fracciones de roca dura.

La Laterita tiene un contenido de humedad que oscila

desde un 25 % cerca de la superficie hasta el 40 % en el fondo de la columna mineral. En el mineral las partículas que son aprovechadas en el proceso tienen un diámetro menor de 0.833 mm y el resto son acumuladas como material de rechazo.

Los valores metálicos del mineral influyen de forma diferente en los procesos metalúrgicos y excepcionalmente en la calidad del producto final, siendo objeto de control entre otros:

- Aluminio y Magnesio -> Por influir en el consumo de reactivo (Acido Sulfúrico) en Lixiviación y por tanto en la economía.
- Silice -> Puede afectar el proceso de sedimentación en las etapas de lavado.
- Contenido de Niquel y Cobalto -> En el mineral alimentado es inversamente proporcional al volumen del mineral que debe procesarse.

El mineral que llega a la Planta de Pulpa es de 2.250 mm, predominando el material en forma terroso, en el que tenemos tanto el serpentínico blando como el laterítico en abundancia, así como fracciones de roca duras y angulosas.

Entre otras características tenemos que la dureza varía en la escala de Mohs entre los rangos de 2 a 5; el material no es considerado abrasivo ni es

quimicamente activo y presenta tendencia a adherirse especialmente en la parte laterítica.

I-3. BREVE DESCRIPCION DEL PROCESO DE LA EMPRESA CMDTE  
"PEDRO SOTTO ALBA".

El Complejo Hidrometalúrgico de Moa, productor de Sulfuro de Níquel y Cobalto se encuentra ubicado en la parte nordeste de la provincia de Holguín.

Esta empresa utiliza un proceso de Lixiviación a presión con Acido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), obteniéndose como producto final un concentrado de Sulfuro de Níquel y Cobalto destinado a la exportación.

El sistema de explotación minera se realiza a cielo abierto, donde por la poca dureza del material, este es arrancado por medio de excavadoras de arrastre de gran capacidad, como las Drag-Line. El mineral se transporta hasta la Planta de Preparación de Pulpa en camiones de 17 tns con su ulterior procesamiento, también con la ayuda de un transportador de banda que lleva el mineral hasta la Planta de Pulpa.

En la Planta de Preparación de Pulpa es donde el mineral alimentado alcanza un contenido de 25 % de sólido mediante clasificación y lavado. Esta pulpa se envía por gravedad a la Planta de Espesadores por medio de una tubería de 0.60 m (24") de diámetro.

La pulpa es alimentada a la Planta de Espesadores y recibida por una caja distribuidora de 7 compartimientos pasando luego a los espesadores de

114.604 m de diámetro y 11.7 m de profundidad con capacidad de almacenaje de la pulpa para tres o cinco días de operación de la planta. Aquí la pulpa se debe espesar alcanzando de un 45 - 47 % de sólido para preveer la alimentación a la operación de Lixiviación con una pulpa que cumpla los requerimientos técnicos para una correcta operación de Lixiviación.

En la Planta de Lixiviación, la pulpa de mineral crudo con una densidad máxima que pueda ser preparada y transportada se bombea desde los espesadores, donde se calienta en los precalentadores hasta una temperatura de 100 °C por absorción directa de vapor de 1.05 Kg/cm<sup>2</sup> (presión manométrica) y recibida en los tanques de almacenaje provistos de agitadores mecánicos para evitar la sedimentación y petrificación de la pulpa. La pulpa se recoge por bombas centrífugas con impelentes de goma para alimentar a las bombas de alta presión encargadas de alimentar los calentadores de cada tren, donde se eleva la temperatura hasta 250 °C, después llega a los reactores de Lixiviación dispuestos en sistemas de 4 reactores por cada trenes que se comunican por reboso, obteniendose la lixiviación del mineral.

El ácido sulfúrico utilizado como reactivo a una concentración de un 98 % se alimenta al primer reactor por medio de bombas de embolos. La agitación en las autoclaves se realiza mediante el empleo de vapor de

alta presión. La pulpa lixiviada que rebosa del último reactor de las etapas pasa a través de un intercambiador de calor donde se enfria, prosiguiendo su flujo por los estranguladores especiales de control, llegando a los evaporadores instantáneos o despresurizadores (FLASH-TANK), donde es generado el vapor de 0 Lb/pg<sup>2</sup> y eliminada la presión que trae la pulpa, donde es recibida por una caja distribuidora encargada de enviar la pulpa lixiviada a la sección de Lavado.

En la Planta de Lavado el sistema está formado por seis (6) etapas de decantación, donde el proceso ocurre por corriente contrariada y cuya función es separar un licor contenido de níquel y cobalto de un mineral lixiviado y el propio proceso de lavado. El mineral alimentado a este proceso (pulpa lixiviada) contiene un 33 % de sólido y es combinado con pulpa de yeso producido en Neutralización.

El agua de lavado es añadida en el tanque # 6 en una preparación igual a dos veces la cantidad de licor en el flujo inferior del mineral.

El sistema ha sido diseñado para operar con un 57 % de sólido del underflow o flujo inferior en los tanques, con la preparación de lavado 2:1; la recuperación de valores metálicos en la solución será de 99.5 % siempre que se obtenga una mezcla perfecta o

uniforme de las distintas etapas del proceso.

El producto de este sistema es el reboso del tanque espesador # 1, el cual normalmente contiene 5.29 g.p.l. de Niquel. Este producto es bombeado hasta el tanque de almacenaje del licor crudo en el sistema de cristalización. Las impurezas (contenido Fe, Cr, etc) obtenidas del lavado, son enviadas al tanque de cola donde se mezcla con agua y se mandan al almacenaje del mineral licuado.

La pulpa lixiviada y lavada del tanque de cola en el sistema de lavado es bombeada hacia el área de almacenaje, para ser utilizada en el futuro como mena rica de Fe.

La solución rica de níquel, que sale de la primera etapa de decantación y lavado se bombea a la sección de neutralización, donde la acidez libre se remueve por tratamiento con pulpa de coral.

El coral lavado que contiene más de un 90 % de carbonato de calcio ( $\text{Ca CO}_3$ ), reacciona rápidamente con el ácido libre contenido en el licor.

El licor crudo de neutralización es tratado con  $\text{H}_2\text{S}$  para eliminar el Cr (cromato) y reducir el Cu (cobre).  
Esta operación se lleva a cabo con 4 reactores con agitadores engomados.



El licor neutralizado se bombea a la sección de lixiviación, donde se precalienta hasta 80 °C. Después es bombeada a los calentadores del sistema de sulfuro.

Aquí el contacto directo con el vapor de 1.05 Kg/cm<sup>2</sup> calienta el licor a 120 °C y se bombea a los reactores de precipitación de sulfuro del tipo cilíndrico horizontal con agitación mecánica, se inyecta H<sub>2</sub>S altamente puro para mantener una presión total de 1.05 Kg/cm<sup>2</sup>, donde precipita el 99 % de níquel y 98 % de cobalto.

El precipitado se transfiere a los tanques de evaporización instantánea, donde se separa el H<sub>2</sub>S en exceso. El sulfuro espesado se lava en dos tanques con agua caliente que procede del enfriador de H<sub>2</sub>S.

El sulfuro lavado como una pulpa que contiene alrededor de un 65 % de sólido se traslada a un tanque de almacenaje, desde donde es transportado por carros concreteras hasta el puerto, los cuales poseen revestimientos especiales de goma (son interiores).

Una batería de tanques de 6.0 m (20') de diámetro y de alto se usa para el almacenaje, desde donde se embarca el producto hacia la Unión Soviética.

#### PLANTAS AUXILIARES:

Entre las plantas que influyen de forma indirecta en el proceso de producción se encuentran:

- Planta Eléctrica:

Se encarga de producir energía eléctrica para el uso de la fábrica, vapor de agua, comprimir el aire de servicio para el uso de todas las plantas, procesar el aire de instrumentos para los equipos de control de la fábrica, desmineralizar el agua, tanto para el uso de la planta como para la lixiviación, ácido sulfúrico y el laboratorio.

- Planta de Agua:

Es la encargada de tratar el agua del embalse con productos como: Cloro, Cal, Aluminato, a través de un proceso de coagulación y filtración.

- Planta de Hidrógeno:

Se encarga de producir Gas Hidrógeno ( $H_2$ ) a un 98 % de pureza a partir del L.P.G.

- Planta de Acido Sulfúrico:

Encargada de la producción de Acido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) utilizado como reactivo con un 98-99 % de pureza.

- Planta de Preparación de Coral:

Se encarga de preparar la pulpa acuosa de coral con 40-45 % de sólido.

I-4. DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE LA PLANTA DE ESPESADORES DE PULPA. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPESADORES.

Anteriormente se había hecho referencia a esta planta; pero por estar relacionada directamente con nuestro trabajo es que procedemos a realizar una explicación más detallada de la misma.

El mineral que se transporta por gravedad a través de una línea de concreto de 609.6 mm (24") de diámetro, se descarga en una caja distribuidora de 7 compartimientos encargada de distribuir dos flujos, el de la pulpa de alimentación para los espesadores y el de la pulpa espesada, la última puede ser transferida en tres flujos más: recirculación para el mismo espesador, recirculación de un espesador a otro y alimentación a la Planta de Lixiviación. EL esquema # 2 muestra el flujo de la planta.

Durante la operación normal las esclusas de la caja distribuidora están dispuestas de manera que la pulpa alimentada (con 25-30 % de sólido) sea distribuida en los tanques espesadores existentes, conjuntamente con la parte excesiva del producto final bombeado a Lixiviación.

La pulpa espesada se extrae de los espesadores por medio de bombas centrífugas, la cual es enviada a la Planta de Lixiviación. Esta operación puede hacerse directamente • pasarla por el compartimiento

correspondiente de la caja distribuidora.

El agua de reboso de los espesadores se succionan por bombas centrífugas y se envia por una tubería de acero al carbono de 18" (498.8 mm) de diámetro a la planta de preparación de pulpa. Para proteger cualquier golpe de agua que pueda ocurrir en el sistema referido, existe un tanque de amortiguamiento acoplado a un compresor, el cual tiene la función de mantener el 50 % de la capacidad del tanque ocupado por aire y el resto por agua en el que se logra el efecto de amortiguamiento. El aire en el amortiguador se suministra automáticamente y el nivel de agua se controla por un nivel de flota.

Este tanque está ubicado al principio de la línea para observar cualquier impacto que pueda ocurrir producto del retorno del agua, cuando el nivel de agua en los espesadores se encuentra por debajo del deseado se restablece mediante bombas. Estas bombas también pueden utilizarse con el fin de alimentar agua al cono de los espesadores en caso de sobrecargas (sólido excesivo) o en caso de obstáculos en la salida de los mismos, además para el agua de servicio doméstico.

En la planta las bombas que se utilizan tanto para el bombeo de la pulpa como para el agua de reboso son centrífugas y accionadas por motores eléctricos.

La planta está diseñada para recibir pulpa de la mina durante 16 horas de lunes a viernes y 8 horas los sábados y debía aumentar el % de sólido en la pulpa hasta un 47,8.

Como el sistema de operación ha sido alterado, la planta de preparación de pulpa trabaja las 24 horas de todos los días de la semana lo que trae consigo que la planta está en condiciones suficientes de recibir continuamente la pulpa.

Una cuestión importante es que todos los sistemas operacionales han sufrido variaciones debido a la imposibilidad de poder alcanzar el % de sólido de diseño.

A consecuencia de esto se han adaptado sistemas de operaciones que no son estables donde se busca por todos los medios posible alcanzar el mayor % de sólido en la pulpa que se alimenta a lixiviación y es en el que por análisis del transverso podemos saber que espesor ofrece las condiciones más favorables para la extracción de una pulpa con mayor densidad. La pulpa que se envía a espesadores no posee un % de sólido de 25 a 26 porque trae afectaciones en la capacidad y existe un aumento de rechazo en la planta de preparación de pulpa.

La intensidad de la operación de la planta se debe a un mal trabajo característico del mecanismo y a las

variaciones de composición mineralógica que tiene gran influencia en lo que es la sedimentación del mineral aumentando el tiempo de retención o que el % de sólido se encuentre por debajo del exigido.

Es importante tener en cuenta que la pulpa inicial que se alimenta a esta planta posee un tamaño de partículas hasta 0.833 mm.

Característica de los espesadores:

Los espesadores son tanques de forma cilíndricas y fondo cónico, con diámetro de 114.604 m en la parte superior y 94.488 m en la parte inferior, con un área total de espesamiento de 7850 m<sup>2</sup> (18000 a 25000 tns) y altura en su parte central de 9.77 m. Dentro de los tanques existen mecanismos que mueven los rastrillos radiales cercanos al fondo. Su función es transportar el sólido espesado desde la periferia hacia el centro del tanque y al mismo tiempo ayudar al espesamiento por acción mecánica sobre la pulpa.

Los rastrillos giran muy lentamente (una vuelta en 45 minutos), pues la pulpa de los espesadores debe mantenerse en reposo relativo para que ocurra la sedimentación de las partículas, además posee un canal de reboso construido a todo lo largo de la periferia que debe asegurar un régimen hidrodinámico estable durante la extracción del reboso.

En el espesador la pulpa sedimenta y es arrastrada

hacia el cono de descarga por los brazos de los mecanismos del sedimentador. Desde el cóno, fluye por gravedad a través de tuberías hacia las bombas, las cuales la llevan de nuevo a la caja distribuidora o a lixiviación directamente.

El agua liberada debido al espesamiento es enviada a la planta de preparación de pulpa por medio de bombas debido al desnivel existente cuya agua es utilizada en el proceso de dicho taller.

CAPITULO II: PARTE GENERAL



## II-1. FUNDAMENTOS TEORICOS ACERCA DE LA SEDIMENTACION.

Desde tiempos remotos se conoce este proceso, pues en la antigüedad el hombre cuando el agua de los rios estaba turbia, antes de beberla dejaban que esta se decantara y se limpiara, actuando solamente la caída libre de las partículas.

Denominamos sedimentación a la operación consistente en separar de una suspensión un fluido claro que sobrenada y un lodo denso que tenga una elevada concentración de material sólido.

Desde el punto de vista industrial, la sedimentación es un proceso continuo que se realiza en los espeñadores, depósitos a los cuales llega por el centro o por un lado, la suspensión o lodo diluido y que permiten el reboso del líquido que sobrenada separandolo del lodo espeso que sale por el fondo del equipo.

También la sedimentación es la deposición de las partículas por la influencia de la acción gravitatoria en un medio fluido según la vertical.

En este proceso influye la fuerza de gravedad, fuerza centrífuga, magnética, eléctrica, entre otras. La deposición puede ser diversa, por ejemplo: la ascención de burbujas de gas en una masa estacionaria de agua del movimiento predominante horizontal de las

partículas en suspensión en un hidrociclón de eje vertical, siempre forman una fase distinta en el líquido suspendido.

Las velocidades creciente de la altura de la superficie que separa el líquido que sobrenada, de la capa que contiene el sólido en suspensión, se denomina VELOCIDAD DE SEDIMENTACION. Esta depende fundamentalmente del diámetro de la partícula, del peso específico de las partículas y del líquido, de la viscosidad, la variación del porcentaje de sólido, e. t. c.

#### Sedimentación Discontinua

Antes de estudiar la sedimentación continua puede tenerse una idea general del proceso considerando la sedimentación discontinua, tal como tiene lugar cuando un sólido finamente dividido se suspende en el agua que llena una probeta graduada, y se deja reposar. Este ensayo en pequeña escala debe realizarse a una temperatura uniforme para evitar movimiento de fluido o corrientes de convección originadas fundamentalmente por la diferencias de densidades que provoca los cambios de temperatura.

Las alturas observadas en la citada superficie de separación pueden representarse gráficamente en función del tiempo.

Al comenzar la sedimentación discontinua la

distribución de los sólidos es uniforme en toda la probeta. Posteriormente a esto las partículas comienzan a descender con una velocidad máxima en el seno del fluido bajo las condiciones reinantes de sedimentación retardada.

Para un sólido de partículas uniformes con velocidades aproximadamente iguales se puede observar una marcada línea de separación entre el líquido claro que sobrenada (zona A) y el lodo (zona B) durante todo el desarrollo del proceso, ver fig. 3-b.

Pero si la suspensión contiene partículas de diferentes tamaños donde existan incluso algunas muy finas, entonces las partículas mayores se despositarán más rápido y la línea de separación no aparecerá tan clara como el caso anterior, por lo que el líquido que sobrenada aparecerá turbio.

En cualquiera de los casos anteriores las partículas cercanas al fondo comienzan a amontonarse sobre el mismo formando un lodo concentrado (zona D) como se muestra en la fig. 3-c.

Es necesario señalar que puede darse el caso en que no aparezca una superficie de separación bien definidas entre las zonas B y D, pero en todos los casos la cantidad de lodo concentrado aumenta en el transcurso de la sedimentación.

La velocidad de sedimentación disminuye con el tiempo en un período llamado de transición, transcurrido el cual la zona de precipitación B habrá ya desaparecido y el lodo aparecerá en un aspecto uniforme de papilla concentrada (zona D), ver fig.3-e.

A partir de este momento el proceso de sedimentación consiste en un lento espelmazado de sólido de la zona D. Durante este espelmazamiento del lodo puede considerarse que el líquido fluye a través de una capa porosa de permeabilidad decreciente.

Finalmente se llega a una altura mínima de la suspensión que representa a la máxima capacidad del sólido cuando está rodeada por el fluido ver fig. 3-f.

#### Sedimentación continua

El trabajo de los depósitos de sedimentación continua, o espesador, depende de las características de la suspensión.

La diferencia entre la sedimentación continua y la sedimentación discontinua radica fundamentalmente en las diferentes concentraciones de los sólidos a distintas alturas del espesador.

En un espesador continuo la alimentación se realiza por el dispositivo central alimentador y es introducido a casi 30 a 100 cm por debajo de la superficie del líquido, de forma que provoque la mínima agitación. La

suspensión original fluirá hacia abajo y luego cambiará la dirección, tomando la radial desde el centro y hacia arriba buscando la zona de rebozo mientras que los sólidos tienden a sedimentar en el seno del líquido que se encuentra relativamente tranquilo aunque se mueve lentamente en sentido radial y para arriba, alejándose del lodo compacto. Este material sedimentado se comprime y espelmaza y es trasladado hacia el centro por el rastrillo donde se encuentra el orificio de descarga con su válvula.

La sedimentación continua se caracteriza por la ausencia de la zona B de igual composición que la alimentada.

Después de un continuo funcionamiento sin cambios en la distribución de las concentraciones fué detenido el espesador continuo y estudiada la velocidad de sedimentación discontinua de la misma suspensión en dicho aparato. Se pudo apreciar que la velocidad de sedimentación fué constante pero algo inferior a la que se tenía en la concentración de sólidos de la suspensión original.

La capacidad de los espesadores continuos depende de su aptitud para realizar dos funciones:

- 1- Clasificar el líquido rebosante por eliminación de las partículas en suspensión.
- 2- Espesar el lodo o descarga inferior por

eliminación de su contenido líquido.

## II-2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SEDIMENTACION

En el proceso de sedimentación influyen una serie de factores, a continuación ofreceremos algunos de ellos:

### Tamaño de partículas y su densidad:

De lo anteriormente expresado se deduce que cuando en una suspensión existen mayor cantidad de partículas pequeñas que grandes, entonces el proceso de sedimentación tardará más ya que las partículas pequeñas tienden a mantenerse en la superficie o en el seno del fluido.

Por otra parte si la densidad de las partículas es inferior a la del fluido en el cual se introducen, se elevarán flotando en el seno del líquido y si es más densa se hundirán en el mismo.

### Viscosidad:

Está vinculado al tamaño y concentración de las partículas. Cuando aumenta la concentración de los sólidos surge una interacción mecánica entre las mismas pareciéndose a los coloides ya que aparecen fuerzas de repulsión muy grandes, si aumenta mucho la concentración surge la fuerza de fricción dentro de las partículas comportándose la sustancia como plástica

Los flujos de líquidos pueden ser de tipo laminares, de transición y turbulentos.

En el laminar las partículas son pequeñas, así como

la velocidad de desplazamiento, en este caso la velocidad del flujo juega un papel importante como parte de la resistencia del fluido. Si el flujo es turbulento presenta tendencia a formar remolinos que se oponen al desplazamiento del mismo, aquí la viscosidad del flujo tiende a despreciarse.

#### Temperatura:

Esta influye sobre la velocidad de sedimentación de manera tal, que con un aumento de la temperatura se produce un incremento proporcional a la velocidad de caída.

#### Fluidez:

Es una de las propiedades reológicas más importante de la pulpa laterítica, considerándose el factor más influyente de la sedimentación de la misma. Esta depende en gran medida de la temperatura.

#### Efecto de pared:

El área proyectada de la partícula que se sedimenta disminuye el área de la sección transversal del recipiente, provocando que el fluido se desplace a una velocidad mayor; lo que trae consigo un aumento de la resistencia lo cual hace disminuir la velocidad máxima.

Las partículas sólidas en un fluido caen bajo la acción de la fuerza de gravedad. Considerando que una partícula cae en un medio lo suficientemente amplio y no se tiene en cuenta la acción de otras fuerzas, que



no sean las resistencias al medio, entonces la misma alcanzará una velocidad máxima llamada velocidad límite de caída libre, esta depende del tamaño de las partículas, densidad y fluido.

Estaremos en presencia de un régimen de caída contrariada cuando precipitan varias partículas y a la resistencia del medio se le adicionan otras fuerzas que entorpecen la caída libre de las mismas.

En el caso de lamas con tamaño del orden de los micrones, el peso de las partículas y la velocidad de caída libre resultan pequeños en comparación con las fuerzas superficiales y pueden mantener a éstas en suspensión. Este fenómeno se aplica en el beneficio por medios densos.

En el caso de una mezcla de lamas y partículas más grandes, ocurre que estas últimas para sedimentarse no sólo tienen que vencer la resistencia del líquido, sino también desplazar a las partículas más pequeñas que poseen menor velocidad de caída, por tanto estas partículas pequeñas o lamas en el fluido provocan que aumente la densidad con respecto a las partículas de mayor tamaño, siendo estas últimas causante de la suspensión de las pequeñas.

Para determinar la velocidad de caída contrariada de partículas de diferentes tamaños se utiliza en el mayor

de los casos las fórmulas de Gaudin .

$$V_{ct} = V_o (1-\tau) (1-\tau)^{2/3} (1-2.5\tau)$$

$V_{ct}$  -> Velocidad de caída contrariada

$\tau$  -> Concentración Volumétrica del Sólido

$V_o$  -> Velocidad Límite de caída libre (según Stoke)

Esta fórmula es utilizada para partículas pequeñas y concentraciones menores de 30 % de sólido.

Según el Instituto Mejanoover de la URSS puede determinarse la velocidad de caída libre de las partículas grandes en suspensión por:

$$V = V_{ct} \frac{\sqrt{\rho_s - \rho_p}}{\sqrt{\rho_s - \rho_{pet}}} \frac{\sqrt{\rho_{pet}}}{\sqrt{\rho_p}}$$

$\rho_s$  -> Densidad del sólido

$\rho_p$  -> Densidad de la suspensión

$\rho_{pet}$  -> Densidad de la pulpa que posee velocidad determinada por la concentración de las partículas en suspensión.

TRABAJO  
DE  
DIPLOMA

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO  
FACULTAD METALURGIA ELECTROMECHANICA

Hoja  
No. -----

CAPITULO III: PARTE ESPECIAL

III-1. RESUMEN DE TRABAJOS REALIZADOS ACERCA DE LA  
SEDIMENTACION

Para tratar de lograr mejoría acerca de la sedimentación de pulpa cruda, diferentes especialistas han realizado trabajo teniendo en cuenta diferentes factores.

-En el trabajo (1) se comienza a estudiar la pulpa como un sistema coloidal y ésta se analiza por el método de macro-electroforesis con determinados potenciales. Se estableció dos puntos isoeléctricos con  $\text{pH} = 2.5 - 7$ , en el intervalo de 2 a 7 las partículas tienen carga positiva, y fuera de este rango es negativo. Se plantea que la variación de cargas de dichas partículas es producido por la absorción de contraiones y por la formación de complejos oxidantes de pulpa cruda ( $\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3$ ) en dependencia del pH. Además se hace referencia de que en el intervalo de pH 2 a 7 la velocidad de sedimentación disminuye de 3 a 4 veces, fenómenos análogos ocurren para 2 y 7, el pH 3.3 - 10.3 influye entre las propiedades de estructura mecánica de la pulpa.

La estructura más fuerte de las partículas se forman cuando el pH oscila de 6.6 a 7. Cuando se inclina hacia uno de esos dos rangos disminuye la fortaleza.

Por primera vez se ha determinado que los ensayos sobre los espesamiento de pulpa cruda con el objetivo

de determinar los datos iniciales óptimos para el cálculo de los espesadores, es necesario hacerlo teniendo en cuenta el pH del medio.

Se ha establecido que el espesamiento en la empresa Cmdte " Pedro Sotto Alba ", a lo largo de estos años se ha realizado con pH más bajo que el punto isoeléctrico (pH = 7), o sea, (con pH = 6.6 a 7), lo que aclara que sistemáticamente no se obtiene el % de sólido proyectado en la capa inferior y la velocidad de sedimentación es menor.

- En el trabajo (2) se estudio la influencia de la composición iónica de la pulpa en la velocidad de sedimentación, pues como se sabe este proceso presenta dificultades en la empresa cmdte. " Pedro Sotto Alba ", donde se ha llevado a efecto la realización de ensayos con diferentes tipos de agua y de electrolitos para comprobar su efectividad, en este trabajo se llegó a las siguientes conclusiones:

a) La composición iónica del agua tiene una influencia siginificativa en la sedimentación de las partículas porque al tratar el mineral con diferentes tipos de agua se obtienen resultados diferentes, y los mejores resultados se obtubieron con el agua de mar.

b) La adición de los electrolitos antes de la agitación tienen una mayor influencia en la velocidad

de sedimentación de la pulpa, que cuando se adiciona después de agitada la pulpa.

c) La adición del cloruro de Magnesio y del Silicato de Sodio ejercen influencia favorable en el proceso de sedimentación en pequeñas concentraciones.

d) El pH óptimo conque se obtiene los mejores resultados en la sedimentación se encuentra entre 6.5 y 7.2.

e) A medida que disminuye el pH de la pulpa se empeoran los resultados de la sedimentación y cuando aumenta por encima del valor óptimo este efecto contrario a la sedimentación es en menor escala.

f) La agitación es inversa a la sedimentación a medida que aumenta, en la primera se produce un mayor rompimiento de las partículas y el número de partículas pequeñas (lamas) aumenta, por lo que la sedimentación de la pulpa disminuye, ya que tienen que vencer la fuerza de la resistencia del medio así como la que provoca la aparición de esta pequeña.

- En el trabajo (3) se realizó con el fin de analizar el proceso de espesamiento en si y encontrar las medidas para mejorar sus índices, así como la influencia de la composición granulométrica sobre la sedimentación de la pulpa.

Las conclusiones a la que se llegó son:

a) En los ensayos realizados para las fracciones -841+44 y -44 Mm con una agitación de 45 mts, el nivel de la pulpa desciende menos que para 15 mts dado por el grado de rompimiento.

b) El proceso de sedimentación de la pulpa para las fracciones -841+44, -841+30 y -841+20 Mm, tiene lugar en forma similar observandose una velocidad de proceso elevado, obteniendose porcentajes de sólidos altos.

c) El proceso de sedimentación de las fracciones de -44, -30 y -20 Mm resulta similar, obteniendose alrededor de un 35 % de sólidos después del proceso.

d) La fracción -841+20 no afecta sustancialmente el proceso de sedimentación.

e) En los ensayos realizados se pone de manifiesto que la fracción más influyente de forma negativa en el proceso de sedimentación resulta la de -20 Mm.

f) En la medición del pH en los ensayos con la fracción -841+44 Mm se nota una alteración en la disminución del mismo, dado por el cambio de agua realizado antes del proceso de sedimentación.

- En el trabajo (4) se plantea que la influencia del Magnesio y Aluminio en la velocidad de sedimentación ha sido probada por métodos estadísticos, ya que por otros sería prácticamente imposible. Se construyó un gráfico

de Magnesio en % de sólido contra velocidad de sedimentación durante un año; por el método de correlación se obtuvo que  $r=0.243$ , lo que significó que no existe relación alguna entre ambos.

Luego durante un mes con datos diarios se obtuvo un coeficiente de correlación  $r=0.065$ , por lo tanto decidieron correlacionar directamente contra el % de sólido de la pulpa cruda. Este cambio indujo a tomar datos de Magnesio y Aluminio en F.S. y no en % sólido para probar la relación entre esos tres parámetros en un mismo punto.

Para el gráfico de Aluminio contra % de sólido quedó como incógnito el comportamiento que tendría para valores de 5 %. En el gráfico Magnesio contra % sólido se observa una disminución del % sólido a medida que aumenta el Magnesio hasta que en éste último alcanza valores de 0.7, de ahí hacia arriba esta tendencia desaparece.

- En el trabajo (5) se resume la influencia de las características coloidales del sistema, compuesto por más de 50 % en peso de fracciones  $-5$  Mm y su relación directa con las variaciones del índice de acidez (pH). Además, se informa del efecto que ejerce el incremento de la cantidad total de sólidos contenidos en el sedimentador y de la composición mineralógica de las soluciones que provocan en el pH de la fase líquida,



agua específicamente. Se presentan las posibilidades de utilización de los factores analizados en el control industrial de la producción.

Como conclusiones se expone que: el mejoramiento de las características mecánicas ofrecen posibilidades de lograr altos índices tecnológicos. Las perturbaciones en el régimen hidrodinámico fueron totalmente eliminadas mediante soluciones constructivas en el sistema de extracción del reboso. Las pruebas realizadas señalan que la pulpa disminuye su índice de acidez en dependencia del tiempo. Quedó establecido que el pH en condiciones normales de operación oscila de 5.4 a 5.8.

III-2. MATERIALES Y METODOS DE INVESTIGACION  
UTILIZADOS.

Los trabajos de investigación fueron realizados a muestras tomadas a distintas profundidades de los espesadores de la empresa Cmdte. "Pedro Soto Alba", en un momento considerado de sedimentación regular, cuyos datos se exponen en la tabla # 1.

El principal método de investigación utilizado fue la difracción de rayos X, que se realizó en el equipo TUR-M-62 con radiación Co K $\alpha$  y el difractómetro empleado fue el HZG-4C.

También se sometieron las muestras a una separación granulométrica por el método de Tamiz (según diámetros 0.8 mm, 0.4 mm, 0.1 mm, 0.09 mm y 0.04 mm), además de realizada una separación magnética a las fracciones obtenidas.

ANALISIS DE DIFRACCION DE RAYOS X:

El análisis por difracción de rayos X constituye un método idóneo para la identificación y caracterización de los minerales y especialmente para aquellos que se presentan en fracciones pequeñas en el orden de los micrones. El método de análisis de difracción empleado en el trabajo fue el policristalino basado en la ley de Bragg, cuya expresión matemática es:

$$LN = 2 d \operatorname{sen} \theta$$

Donde:

N → Orden de difracción

d → Distancia interplanar donde ocurre la difracción  
( $\text{A}^\circ$ )

$\theta$  → Angulo de incidencia o de reflejo ( $^\circ$ )

L → Longitud de ondas de la radiación difractiva  
( $\text{A}^\circ$ )

III-3. TRABAJO REALIZADO.

Luego de obtenidas las muestras, estas fueron sometidas a un proceso de secado con temperatura de 40 °C para evitar posibles modificaciones de las fases a causa de elevadas temperaturas. Las muestras secas y libres de humedad se trituraron de forma leve para evitar que productos de fuerzas mecánicas mayores se afectaran las estructuras cristalinas del material analizado. Obtenido el material triturado se procedió a clasificarlos en clases de tamaños, donde según los tamices (expuestos en la sección III-2) se obtubieron fracciones: +0.8 mm; -0.8 +0.4 mm; -0.4 +0.1 mm; -0.1 +0.09 mm; -0.09 +0.04 mm; -0.04 mm, teniendo así muestras lo más monominerales posibles, facilitando esto que en los análisis se obtengan difactoramas de buena calidad y sencillos de interpretar, además de encontrar una relación entre las diferentes fases minerales en una fracción específica.

A las fracciones clasificadas se le realizó una separación magnética y posteriormente fueron sometidas a los análisis de rayos X.

Como parte de nuestro trabajo fue necesario la lectura e interpretación de los difractogramas obtenidos, los cual de forma sencilla explicaremos a continuación.

Después de enumerar los picos representados y sus respectivos ángulos se procedió al cálculo de las intensidades de los mismos ( $I/I_0$ ), donde para dicho procedimiento se tomó el pico de mayor altura como el de máxima intensidad (100) y por regla de tres se determinaron las demás intensidades.

Con las intensidades definidas y los ángulos conocidos determinamos mediante tablas las distancias interplanares correspondientes a cada pico en dependencia de ángulo de difracción y por patrones conocidos (A.S.T.M.) se obtuvieron las fases que representan los valores de las distancias interplanares (D) por picos. Ya con estos resultados pudimos referir criterios en cuanto a las fases presentes en las muestras analizadas, lo que nos permitió el análisis mineralógico deseado.

Los resultados producto de las interpretaciones de los difractogramas se representan en las tablas (4, 5, 6, ..., 17).

III-4. RESULTADOS OBTENIDOS Y ANALISIS DE LOS MISMOS.

En los análisis realizados se observa que la composición mineralógica de las muestras limonítica analizadas responden en gran medida a resultados ya obtenidos en análisis anteriores, donde se expresan la presencia mayoritaria del Hierro, lo cual se explica por la supremacía de la Goethita, Hemhatita y Magnetita en la muestra.

El Magnesio tiene su representante mineral básicamente en la fase Clorita y el Aluminio está muy bien representado en la Hidrargilita.

El mineral principal encontrado con los análisis de rayos X es la Goethita, también aparecen como minerales secundarios la Hematita, Magnetita, Hidrargirita y Maghemita. Junto con las fases minerales de oxidróxidos de Hierro y Aluminio aparecen reflejos medianamente intensos y en ocasiones muy poco intensos, atribuibles a fases de Cloritas que van desde Thuringita, Leudenbergita (variedad de clinocloro) hasta Schuchardita, los cuales se encuentran en paragènesis con Goethita, Magnetita, Hematita, respondiendo al hecho de ser las Cloritas los minerales a partir de los cuales surge el material limonítico de Hierro y Aluminio.

Todo esto necesita un cuidadoso trabajo de

investigación, independientemente que se debe velar por un esmerado trabajo de preparación de muestras para la obtención de fases monominerales de Clorita y el consecuente procesamiento por rayos X, microscopio electrónico y ensayos térmico para determinar las distintas fases de Cloritas, pues suponemos que existen más de un tipo de Clorita, las cuales puedan portar pequeñas cantidades de Níquel y Cobalto.

En una muestra patrón de Hematita se detectó perfectamente la Clorita Thuringita, que es muy parecida al material limonítico presente en la corteza de interperismo del yacimiento Moa.

En cuanto a los análisis químicos realizados en otros trabajos quedó demostrado que no se detectan diferencias notables en las muestras totales (L1, L2, L8)

De aquí que no exista aumento o disminución en el contenido de algún elemento o porcentaje de fracción, y en cuanto a la composición mineralógica podemos decir que no se observan cambios en las fases minerales, excepto pequeñas variaciones en el valor de las intensidades de los picos en el orden de los 3 %, lo cual puede estar dado por el efecto de solapamiento de los reflejos a causa de la mayor o menor concentración de un elemento dado en cada una de las fracciones de cada nivel.

**TRABAJO  
DE  
DIPLOMA**

**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO  
FACULTAD METALURGIA ELECTROMECHANICA**

*Hoja*  
*No. -----*

CAPITULO IV: PARTE FINAL



IV-1. CONCLUSIONES:

- 1) Se determinó que la fase mineral primaria en las muestras analizadas lo constituye la Goethita, con una mayor frecuencia de aparición en los difractogramas y las fases secundarias están formadas por Hematitas, Magnetitas, Maghemitas, Clorita y con poca intensidad de reflejo aparece también la Espinela Fèrrica.
- 2) Se pudo comprobar que la composición mineralógica de la pulpa limonítica permanece constante en todos los niveles y diferentes fracciones analizadas, lo que indica la no marcada influencia de la granulometría en las características de las fases minerales presentes.
- 3) La fase mineral principal es la Goethita, siendo éste, de acuerdo a estudios anteriores, el mineral de Hierro mayor portador de níquel y esto parece justificarse con el análisis químico (ver tabla # 2), cuando vemos que los porcentajes de Hierro son elevados, observando que cuando el níquel alcanza su mayor valor (1.41 %) en la pulpa de entrada, el Hierro tiene su menor valor (43.93 %).
- 4) A partir de los resultados obtenidos los análisis mineralógicos de las muestras de los espesadores y comparandolas con muestras analizadas del frente de

explotación, excepto pequeñas diferencias en el valor de las intensidades de los picos, aparecen los mismos reflejos, sólo que los valores de intensidades son mayores en las primeras (muestras de los espesadores) justificado por el proceso de enriquecimiento experimentado por el mineral hasta ser espesado.

IV-2. RECOMENDACIONES:

- 1) Realizar el muestreo para trabajos futuros de forma tal que sea representativo de los tres tanques espesadores y de buena, mediana y mala sedimentación.
- 2) Realizar para el análisis de difracción de rayos X la separación electromagnética de las muestras, lo cual disminuiría la posibilidad de obtener fracciones combinadas del tipo magnético-no magnético, debido al fenómeno de arrastre que se puso de manifiesto en la separación magnética realizada.
- 3) Realizar un estudio de la influencia iónica que ejercen las partículas de granulometrias menores de 0.004 mm, fundamentalmente las de clase -0.02 mm, que como se ha demostrado en investigaciones anteriores, son las que más influyen negativamente en el proceso de sedimentación.
- 4) Continuar el trabajo de caracterización físico-química del proceso de sedimentación aplicando las técnicas de Microscopía Electrónica y análisis térmico diferencial.

BIBLIOGRAFIA:

- 1) Ing. Peña E. "Estudio de la Sedimentación Fraccional".
- 2) Ing. Hernández, Alberto "Influencia de la Composición Iónica de la pulpa en la velocidad de sedimentación".
- 3) Ing. Peña, E. "Estudio de la Sedimentación Fraccional".
- 4) Ing. Palencia, T. "Influencia de la composición de Magnesio y Aluminio en la sedimentación".
- 5) Ing. Novoa Ortega, R. "Influencia del pH y otros factores en la sedimentación de la pulpa".
- 6) Ing. Ronda Oro, Alexis. "Caracterización de la limonítica de los espesadores de la Emp. Cmdte. Pedro Soto Alba".
- 7) Minería y Geología 1/1985: Quintana R. "Estudio Mineralógico de la pulpa cruda del mineral laterítico del yacimiento Moa".
- 8) Cdto. Dr. Falcón Hernández, Jos: "Consideraciones sobre la sedimentación de la pulpa limonítica en la Emp. Cmdte. Pedro Soto Alba".

**TRABAJO  
DE  
DIPLOMA**

**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO  
FACULTAD METALURGIA ELECTROMECHANICA**

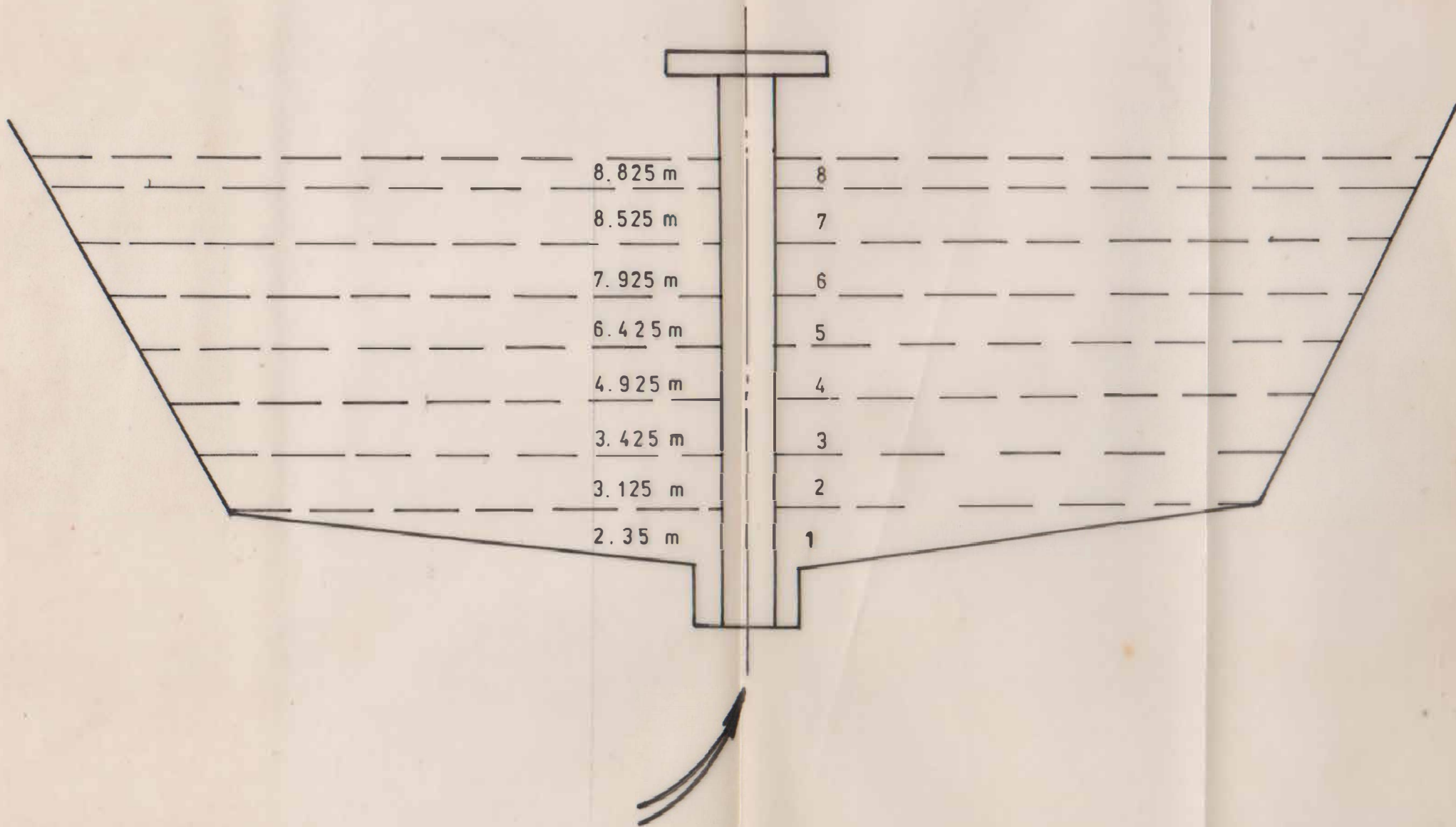
Hoja **42**  
No.     

ANEXOS:

**TRABAJO  
DE  
DIPLOMA**

**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO  
FACULTAD METALURGIA ELECTROMECHANICA**

**Hoja**  
**No. ---**



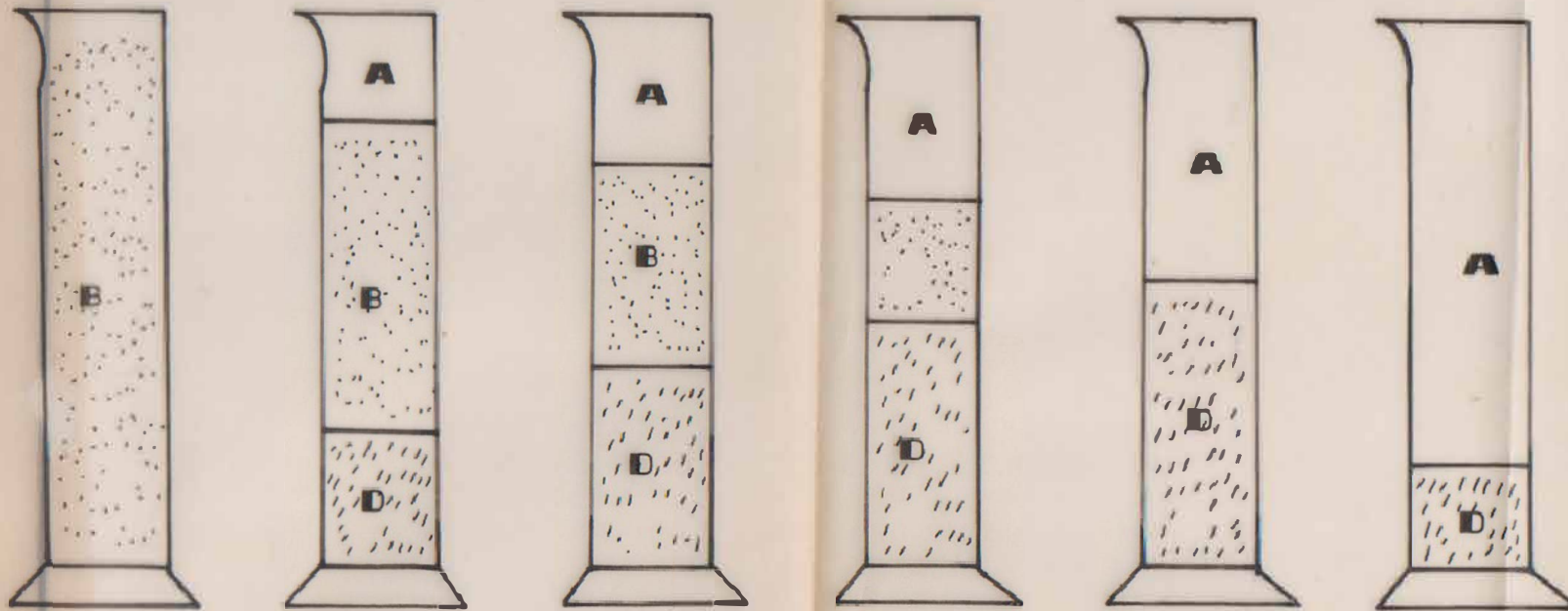


FIG - 3



TABLA # 1:  
DATOS INICIALES DE LA MUESTRA

No. DE MUESTRA	FECHA: 20/03/90	
	ALTURA (m)	SOLIDO (%)
1	0.0	44.22
2	2.35	42.23
3	3.125	41.62
4	3.425	40.7
5	4.925	32.56
6	6.425	27.32
7	7.925	23.6
8	8.525	21.14

TABLA # 2: ANALISIS QUIMICO

Nº MUESTRA	Ni %	Co %	Fe %	Mn %	Zn %	Mg %	Na %	K %	Ca %	Cu %	Cr %	Si %
1	1.41	0.153	43.93	1.00	0.072	0.44	0.035	0.013	0.006	0.019	3.341	1.01
2	-	-	-	-	-	0.07	0.016	0.007	0.006	-	-	-
3	-	-	-	-	-	0.08	0.018	0.001	0.002	-	-	-
4	1.40	0.102	49.02	0.72	0.076	0.321	0.033	0.013	0.006	0.018	2.466	3.87
5	1.39	0.103	48.18	0.77	0.076	0.317	0.035	0.014	0.006	0.018	2.466	3.93
6	1.37	0.127	46.60	0.86	0.074	0.389	0.035	0.001	0.006	0.018	2.511	4.01
7	1.35	0.141	46.90	0.91	0.072	0.384	0.035	0.001	0.006	0.018	2.631	4.00
8	1.34	1.138	47.11	0.91	0.071	0.337	0.034	0.001	0.006	0.018	2.588	3.92
9	1.33	0.146	46.04	0.93	0.07	0.328	0.03	0.001	0.005	0.018	2.673	22.11
10	1.33	0.141	46.12	0.93	0.07	0.327	0.032	0.008	0.006	0.018	2.66	1.9

\* Elementos dados en g/l.

TABLA # 3:  
MUESTRA AE - C - 23/4 (FRENTE)

PICO	I	D	FASE
1	38.29	4.863	Hi, M
2	21.28	4.752	Cl
3	100	4.198	G
4	14.89	3.353	Hi, Q
5	25.53	2.95	M, Mh, Cl
6	51.06	2.627	G, H, Mh
7	12.77	2.579	G, Cl
8	74.47	2.519	M, H, Mh
9	63.83	2.457	G, Hi, M
10	70.21	2.440	G, Hi, M
11	14.89	2.036	H, M, Mh
12	12.77	1.729	G, Mh, M
13	31.91	1.712	G, Mh, M
14	27.66	1.7	G, Mh, M
15	1.606	14.89	M, Mh
16	12.77	11.562	G, Q, Cl

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)  
- Magnetita (M)  
- Magnetita (Mh)  
- Clorita (Cl)  
- Cuarzo (Q)

TABLA # 4:  
MUESTRA L1 FNM (-0.1 +0.09)

PICO	I	D	FASE
1	16.023	3.200	
2	40.98	4.843	Hi, M
3	19.67	4.732	Cl
4	100	4.159	G
5	18.03	3.636	L, H
6	14.75	3.414	
7	18.03	3.351	H, Q
8	11.48	3.092	
9	21.31	2.950	M, Mh, Cl
10	9.84	2.902	
11	11.48	2.847	
12	47.54	2.691	G, H, Mh
13	9.99	2.575	G, Cl
14	72.13	2.516	H, M, Mh
15	77.05	2.439	G, Hi, Mh
16	26.23	2.243	G, Q
17	24.43	2.185	G, H, L
18			
19	16.39	2.086	H, M, Mh
20	4.92	2.042	
21	29.50	1.714	G, M, Mh
22	25.41	1.703	G, M, Mh
23	8.36	1.695	
24	16.43	1.606	M, Mh
25	9.84	1.584	
26	13.93	1.553	G, Q, Cl
27	18.03	1.475	Cl
28	16.43	1.456	

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)  
- Magnetita (M)  
- Magnetita (Mh)  
- Clorita (Cl)  
- Cuarzo (Q)

TABLA # 5:  
MUESTRA L1 FMM (-0.09 +0.04)

PICO	I	D	FASE
1	17.35	3.200	
2	28.26	4.843	Hi, M
3	10.87	4.732	Cl
4	63.04	4.159	G
5	8.69	3.636	L, H
6	9.78	3.414	
7	100	3.351	H, Q
8	6.52	3.092	
9	15.11	2.950	M, Mh, Cl
10	10.87	2.902	
11	4.35	2.847	
12	17.28	2.691	G, H, Mh
13	15.22	2.575	G, Cl
14	40.22	2.516	H, M, Mh
15	44.56	2.439	G, Hi, Mh
16	15.21	2.243	G, Q
71	15.21	2.185	G, H, L
18	5.43		
19	8.15	2.086	H, M, Mh
20	54.35	2.042	
21	19.57	1.714	G, M, Mh
22	18.4	1.703	G, M, Mh
23	4.34	1.695	
24	9.78	1.606	M, Mh
25	6.52	1.584	
26	10.87	1.553	G, Q, Cl
27	13.04	1.475	

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)  
- Magnetita (M)  
- Maghemita (Mh)  
- Clorita (Cl)

TABLA # 6:  
MUESTRA L1 FMM (-0.04)

PICO	I	D	FASE
1	15.52	3.200	
2	49.99	4.843	Hi, M
3	22.41	4.732	Cl
4	100	4.159	G
5	13.96	3.636	L, H
6	13.96	3.414	
7	17.41	3.351	H, Q
8	12.07	3.092	
9	24.14	2.950	M, Mh, Cl
10	9.48	2.902	
11	8.62	2.847	
12	46.55	2.691	G, H, Mh
13	25.86	2.575	G, Cl
14	77.59	2.516	H, M, Mh
15	81.03	2.439	G, Hi, Mh
16	29.31	2.243	G, Q
71	28.45	2.185	G, H, L
18			
19	32.76	2.086	H, M, Mh
20	8.62	2.042	
21	33.62	1.714	G, M, Mh
22	27.59	1.703	G, M, Mh
23	6.89	1.695	
24	16.38	1.606	M, Mh
25	6.89	1.584	
26	18.96	1.553	G, Q, Cl
27	19.83	1.475	Cl
28	21.55	1.456	

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)  
- Magnetita (M)  
- Maghemita (Mh)  
- Clorita (Cl)  
- Cuarzo (Q)

TABLA # 7:  
MUESTRA L1 FM (-0.09+0.04)

PICO	I	D	FASE
1	26.66	3.200	H, M
2	28.33	4.843	Hi, M
3	19.99	4.732	Cl
4	100	4.159	G
5	16.66	3.636	L, H
6		3.414	
7	18.33	3.351	H, Q
8	24.99	2.950	M, Mh, Cl
9	46.66	2.691	G, H, Mh
10	26.66	2.575	G, Cl
11	69.99	2.516	H, M, Mh
12	74.99	2.439	G, Hi, M
13	33.33	2.243	G, Q
14	48.17	2.185	G, H, L
15	16.67	2.086	H, M, Mh
16		2.042	Cl, H
71	38.33	1.714	G, M, Mh
18	34.99	1.703	G, M, Mh
19	24.99	1.606	M, Mh
20	28.33	1.553	G, Q, Cl

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)
- Magnetita (M)
- Magnetita (Mh)
- Clorita (Cl)
- Cuarzo (Q)

TABLA # 8:  
MUESTRA L1 FM (-0.1 +0.09)

PICO	I	D	FASE
1	14.75	3.200	H, M
2	40.98	4.843	Hi, M
3	27.87	4.732	Cl
4	100	4.159	G
5	16.39	3.636	L, H
6	11.48	3.414	
7	16.89	3.351	H, Q
8	9.36	3.092	
9	20.49	2.950	M, Mh, Cl
10	9.48	2.902	
11	8.19	2.847	
12	42.62	2.691	G, H, Mh
13	26.23	2.575	G, Cl
14	68.85	2.516	H, M, Mh
15	50.82	2.439	G, Hi, Mh
16	29.51	2.243	G, Q
71	14.75	2.185	G, H, L
18			
19	16.39	2.086	H, M, Mh
20	11.48	2.042	
21	27.87	1.714	G, M, Mh
22	24.59	1.703	G, M, Mh
23		1.695	
24	13.11	1.606	M, Mh
25		1.584	
62	18.96	1.553	G, Q, Cl
27	16.39	1.475	
28	14.75	1.456	

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)
- Magnetita (M)
- Magnetita (Mh)
- Clorita (Cl)
- Cuarzo (Q)

TABLA # 9:  
MUESTRA L1 FM (-0.04)

PICO	I	D	FASE
1	23.81	3.200	H, M
2	42.85	4.843	Hi, M
3	22.22	4.732	Cl
4	100	4.159	G
5	15.87	3.636	L, H
6		3.414	
7	11.11	3.351	H, Q
8	23.40	2.950	M, Mh, Cl
9	49.21	2.691	G, H, Mh
10	23.81	2.575	G, Cl
11	77.78	2.516	H, M, Mh
12	69.84	2.439	G, Hi, Mh
13	28.57	2.243	G, Q
14	30.16	2.185	G, H, L
15	14.29	2.086	H, M, Mh
16	2.56	2.042	Cl, H
71	31.75	1.714	G, M, Mh
18	34.92	1.703	G, M, Mh
19	17.46	1.606	M, Mh
20	19.05	1.553	G, Q, Cl

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)  
- Magnetita (M)  
- Maghemita (Mh)  
- Clorita (Cl)  
- Cuarzo (Q)

TABLA # 10:  
MUESTRA L2 FM (-0.1 +0.09)

PICO	I	D	FASE
1	33.23	3.200	H, M
2	35.09	4.843	Hi, M
3	15.70	4.732	Cl
4	100	4.159	G
5	8.77	3.636	L, H
6	11.48	3.414	
7	10.53	3.351	H, Q
8	19.29	2.950	M, Mh, Cl
9	40.35	2.691	G, H, Mh
10	19.29	2.575	G, Cl
11	80.7	2.516	H, M, Mh
12	71.93	2.439	G, Hi, Mh
13	22.81	2.243	G, Q
14	17.54	2.185	G, H, L
15	19.29	2.086	H, M, Mh
16	5.26	2.042	Cl, H
71	38.59	1.714	G, M, Mh
18	33.33	1.703	G, M, Mh
19	24.56	1.606	M, Mh
20	22.81	1.553	G, Q, Cl

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)  
- Magnetita (M)  
- Maghemita (Mh)  
- Clorita (Cl)  
- Cuarzo (Q)

TABLA # 11:  
MUESTRA L2 FM (-0.09+0.04)

PICO	I	D	FASE
1	25.92	3.200	H, M
2	44.44	4.843	Hi, M
3	29.37	4.732	Cl
4	100	4.159	G
5	3.7	3.636	L, H
6		3.414	
7	18.52	3.351	H, Q
8	24.07	2.950	M, Mh, Cl
9	92.57	2.691	G, H, Mh
10	48.15	2.575	G, Cl
11	92.59	2.516	H, M, Mh
12	92.59	2.439	G, Hi, M
13	29.63	2.243	G, Q
14	29.63	2.185	G, H, L
15	12.96	2.086	H, M, Mh
16		2.042	Cl, H
17	37.04	1.714	G, M, Mh
18	33.33	1.703	G, M, Mh
19	18.52	1.606	M, Mh
20	20.37	1.553	G, Q, Cl

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)  
- Magnetita (M)  
- Maghemita (Mh)  
- Clorita (Cl)  
- Cuarzo (Q)

TABLA # 12:  
MUESTRA L2 FM (-0.04)

PICO	I	D	FASE
1	19.64	3.200	H, M
2	44.64	4.843	Hi, M
3	16.07	4.732	Cl
4	100	4.159	G
5	14.50	3.636	L, H
6		3.414	
7	17.86	3.351	H, Q
8	19.64	2.950	M, Mh, Cl
9	19.64	2.691	G, H, Mh
10	23.21	2.575	G, Cl
11	66.07	2.516	H, M, Mh
12	71.43	2.439	G, Hi, M
13	24.99	2.243	G, Q
14	23.21	2.185	G, H, L
15	8.93	2.086	H, M, Mh
16	7.14	2.042	Cl, H
17	19.49	1.714	G, M, Mh
18	19.49	1.703	G, M, Mh
19	12.49	1.606	M, Mh
20		1.553	G, Q, Cl

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)  
- Magnetita (M)  
- Maghemita (Mh)  
- Clorita (Cl)  
- Cuarzo (Q)

TABLA # 13:  
MUESTRA L2 FNM (-0.1 +0.09)

PICO	I	D	FASE
1	24.19	3.200	H, M
2	41.94	4.843	Hi, M
3	43.80	4.732	Cl
4	100	4.159	G
5	17.74	3.636	L, H
6		3.414	
7	20.97	3.351	H, Q
8	16.13	2.950	M, Mh, Cl
9	41.93	2.691	G, H, Mh
10	27.42	2.575	G, Cl
11	62.90	2.516	H, M, Mh
12	72.58	2.439	G, Hi, Mh
13	30.65	2.243	G, Q
14	55.81	2.185	G, H, L
15	11.29	2.086	H, M, Mh
16	2.56	2.042	Cl, H
71	29.03	1.714	G, M, Mh
18	25.81	1.703	G, M, Mh
19	16.13	1.606	M, Mh
20	17.64	1.553	G, Q, Cl

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)  
- Magnetita (M)  
- Magnetita (Mh)  
- Clorita (Cl)  
- Cuarzo (Q)

TABLA # 14:  
MUESTRA L2 FNM (-0.09+0.04)

PICO	I	D	FASE
1	27	3.200	H, M
2	69.09	4.843	Hi, M
3	32.73	4.732	Cl
4	100	4.159	G
5	25.45	3.636	L, H
6		3.414	
7	32.73	3.351	H, Q
8	39.99	2.950	M, Mh, Cl
9	50.91	2.691	G, H, Mh
10	29.09	2.575	G, Cl
11	83.64	2.516	H, M, Mh
12	78.18	2.439	G, Hi, M
13	30.9	2.243	G, Q
14	29.09	2.185	G, H, L
15	18.18	2.086	H, M, Mh
16		2.042	Cl, H
71	30.9	1.714	G, M, Mh
18	32.43	1.703	G, M, Mh
19	19.99	1.606	M, Mh
20	21.82	1.553	G, Q, Cl

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)  
- Magnetita (M)  
- Magnetita (Mh)  
- Clorita (Cl)  
- Cuarzo (Q)

TABLA # 15:  
MUESTRA LB FM (-0.1+0.09)

PICO	I	D	FASE
1	24.99	3.200	H, M
2	42.31	4.843	Hi, M
3	17.31	4.732	Cl
4	100	4.159	G
5	15.38	3.636	L, H
6		3.414	
7	19.23	3.351	H, Q
8	28.85	2.950	M, Mh, Cl
9	46.15	2.691	G, H, Mh
10	23.08	2.575	G, Cl
11	78.85	2.516	H, M, Mh
12	78.80	2.439	G, Hi, M
13	28.86	2.243	G, Q
14	28.85	2.185	G, H, L
15	32.69	2.086	H, M, Mh
16	7.69	2.042	Cl, H
17	36.54	1.714	G, M, Mh
18	36.53	1.703	G, M, Mh
19	19.23	1.606	M, Mh
20	21.15	1.553	G, Q, Cl

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)  
- Magnetita (M)  
- Magnetita (Mh)  
- Clorita (Cl)  
- Cuarzo (Q)

TABLA # 16:  
MUESTRA LB FM (-0.1+0.09)

PICO	I	D	FASE
1	23.21	3.200	H, M
2	49.99	4.843	Hi, M
3	19.64	4.732	Cl
4	100	4.159	G
5	14.20	3.636	L, H
6		3.414	
7	16.07	3.351	H, Q
8	17.85	2.950	M, Mh, Cl
9	44.64	2.691	G, H, Mh
10	23.21	2.575	G, Cl
11	33.57	2.516	H, M, Mh
12	71.43	2.439	G, Hi, M
13	7.14	2.243	G, Q
14	26.78	2.185	G, H, L
15	32.69	2.086	H, M, Mh
16	12.50	2.042	Cl, H
17	30.36	1.714	G, M, Mh
18	28.57	1.703	G, M, Mh
19	16.07	1.606	M, Mh
20	21.43	1.553	G, Q, Cl

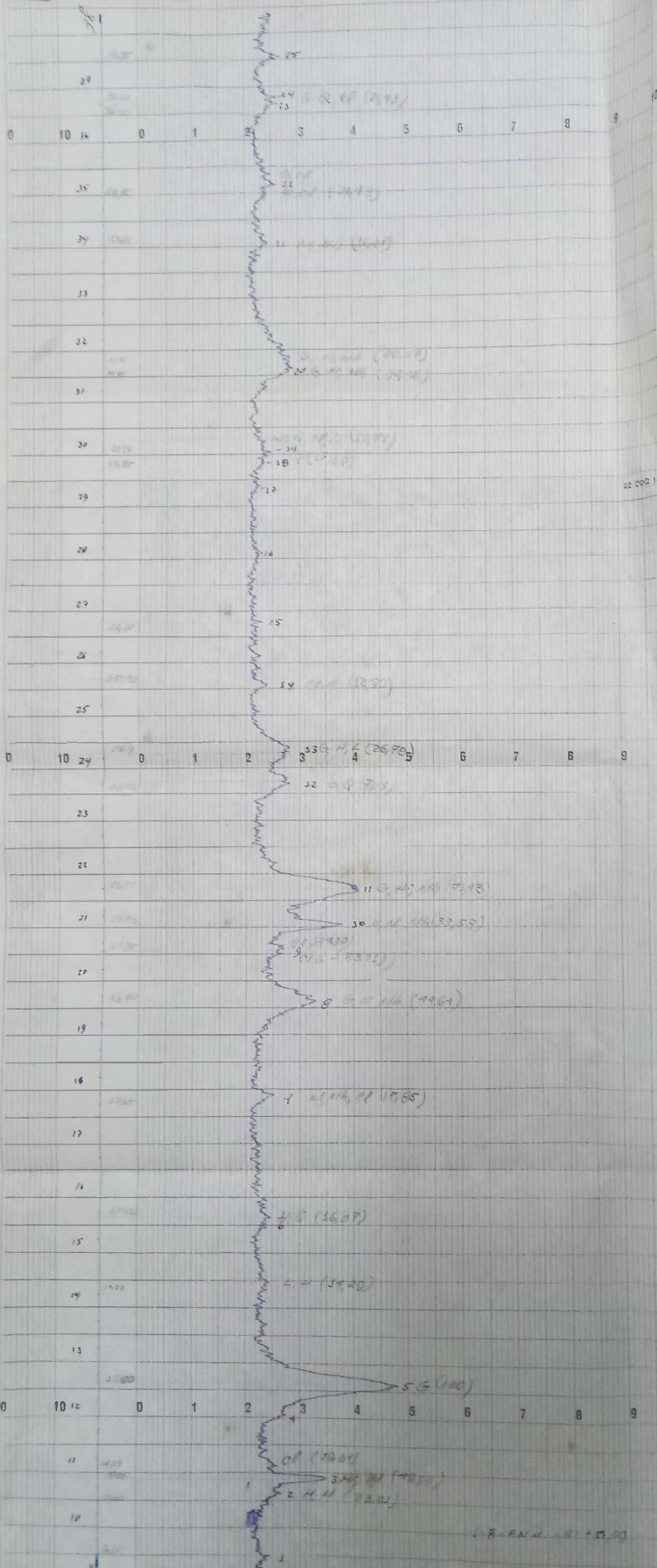
Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)  
- Magnetita (M)  
- Magnetita (Mh)  
- Clorita (Cl)  
- Cuarzo (Q)





22 000 140

1-8-F.N.M. - 31 + 0,00

TABLA # 17:  
MUESTRA LB FNM (-0.09+0.04)

PICO	I	D	FASE
1	22	3.200	H, M
2	60	4.843	Hi, M
3	62	4.732	Cl
4	100	4.159	G
5	18	3.636	L, H
6		3.414	
7	22	3.351	H, Q
8	24	2.950	M, Mh, Cl
9	46	2.691	G, H, Mh
10	24	2.575	G, Cl
11	62	2.516	H, M, Mh
12	80	2.439	G, Hi, M
13	30	2.243	G, Q
14	26	2.185	G, H, L
15	16	2.086	H, M, Mh
16	20	2.042	Cl, H
71	30	1.714	G, M, Mh
18	26	1.703	G, M, Mh
19	20	1.606	M, Mh
20	20	1.553	G, Q, Cl

Fase Mineral Principal:

- Goethita (G)

Fase Mineral Secundaria:

- Hematita (H)
- Magnetita (M)
- Maghemita (Mh)
- Clorita (Cl)
- Cuarzo (Q)

PATRONES UTILIZADOS

GOETHITA (ASTM)	
D	I
4.98	12
4.18	100
3.38	10
2.69	35
2.58	12
2.49	10
2.45	50
2.25	14
2.19	18
1.71	20
15.6	10

HEMATITA (ASTM)	
D	I
3.66	25
2.64	100
2.51	50
2.28	2
2.20	30
2.07	2
1.83	40
1.69	60
1.48	33

HIDRARGILITA (ASTM)	
D	I
4.82	100
4.34	40
4.30	20
3.35	10
3.31	6
3.17	8
2.44	16
2.37	20
2.63	12
1.98	10
1.79	10

CUARZO (ASTM)	
D	I
4.26	35
3.34	100
2.45	17
2.20	17
2.23	6
2.12	9
1.98	6
1.81	17
1.34	11

MAGNETITA (ASTM)	
D	I
4.85	8
2.96	30
2.53	100
2.42	8
2.10	20
1.71	10
1.61	30
1.48	40

FE DE ERRATA.

(1) En la Pág. No. 1, 2do párrafo: debe leerse

- Con el triunfo de la revolución el lro. de Enero de 1959 y debido a las leyes de Nacionalización de empresas...

(2) En la pág. No. 7, 2do. párrafo: línea 12: debe leerse.

- donde se eleva la temperatura hasta 250°C, después...

(3) En la pág. No. 36, 1er párrafo: línea 4 debe leerse

- donde se expresan...