

Trabajo de
Diploma

Instituto Superior Minero Metalúrgico
Facultad Metalurgia-Electromecánica

Hoja
No. _____

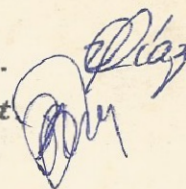
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
FACULTAD METALURGIA - ELECTROMECHANICA
VII Contingente "13 de Marzo"

TRABAJO DE DIPLOMA

*Título: Caracterización mineralógica de la pulpa
limonítica de los espesadores de la Empresa
"Comandante Pedro Sotto Alba"*

Autor: Gladis Macles Díaz.

Tutor: Pedro Beyris Mazart



MOA 1990

Trabajo de
Diploma

Instituto Superior Minero Metalúrgico
Facultad Metalurgia-Electromecánica

Hoja
No. _____

...A mis padres, hermanas e Ibeti

AGRADECIMIENTOS:

Quiero dejar constancia de mi agradecimiento por la ayuda prestada en la realización de este trabajo a: Ramón Figueredo, al Ing. Arturo Rojas Purón, las químicas de Geología Reyna y Moraima, además a la técnica del laboratorio central de la empresa "Ernesto Che Guevara" Benilde, a Santiago, Alfonso y al Ing. Beiris. En fin a los que cooperaron de una forma u otra en la realización del mismo que sin su ayuda no hubiera sido posible su culminación.

RESUMEN.

En este trabajo titulado "Caracterización mineralógica de la pulpa limonítica de los espesadores de la empresa "Pedro Sotillo Alba" (II) " se realiza un estudio acerca de la composición mineralógica de la pulpa limonítica, para esto realizamos el análisis a cinco muestras pertenecientes a diferentes profundidades en el espesador y dos que reflejan la entrada y salida de este. Para esto utilizamos el método por difracción de rayos X además análisis químicos parciales como por ejemplo: análisis espectral de emisión y espectrofotometría de absorción atómico. Se realizó también el análisis granulométrico con el objetivo de determinar la fracción que predomina en esta pulpa y conocer con la ayuda de los análisis químicos si existe un elemento químico predominante en una fracción dada. Por los resultados obtenidos puedo dar algunos criterios sobre el mismo.

INDICE

Pág

Capítulo I . Introducción

I.1 - Introducción	1
I.2 - Ubicación geográfica y vías de comunicación de la región	4
I.3 - Economía de la región	5
I.4 - Condiciones minero geológica del yacimiento ...	6
I.5 - Breve descripción del proceso de la fábrica ...	8
I.6 - Flujo de la planta de espesadores	12
I.7 - Características de los espesadores	15

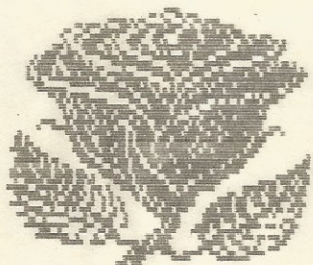
Capítulo II Parte general

II.1 - Condiciones teóricas sobre la sedimentación....	17
II.2 - Separación por sedimentación	21
II.3 - Factores que influyen en el proceso	25
II.4 - Estudio bibliográfico del trabajo realizado sobre el proceso de sedimentación	28

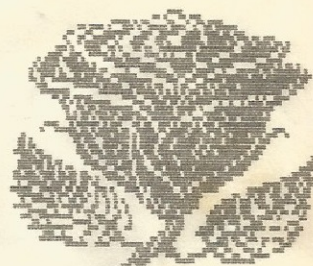
Capítulo III Parte Especial

III.1 - Materiales y métodos de investigación utilizados	31
III.2 - Trabajo realizado	37
III.3 - Discusión de los resultados	43
Conclusiones	49
Recomendaciones	50
Bibliografía	51

Anexos



Capítulo II



I.1 - Introducción

La empresa Comandante Pedro Sotelo Alba , se encuentra ubicada en la parte noroeste de la provincia Holguín , municipio Moa cerca de los yacimientos que se caracteriza por su alto contenido de Níquel .

Esta empresa fue construida por compañías norteamericanas en el año 1958 las cuales interesadas y aprovechando la amplia ventaja que le proporcionaba esta zona rica en yacimiento de Níquel y Cobalto comenzaron la extracción y explotación de estos yacimientos , principalmente la "Free Portsulphur Corp."

Debido a esto , esta zona al principio desconocida , poco poblada y sin ningún interés económico importante al país , empezó a convertirse rápidamente en uno de los principales puntos de atención de la Isla .

En 1960 la fábrica fué nacionalizada por nuestro gobierno revolucionario , y con esto se le cortaban las garras al imperialismo para que no se apoderaran de nuestras riquezas minerales .

En su retirada los yanquis se llevaron toda la documentación de la fábrica para que no pudiera ser explotada por nosotros "Los cubanos" ; pero en 1961 , por iniciativa de nuestro guerrillero heroico "Ernesto Che Guevara" y con el esfuerzo de los trabajadores , ingenieros y técnicos fue puesta en marcha para constituir hasta nuestro días una de las principales fuentes de divisa y vía fundamental para el desarrollo de la industria minera nacional .

En la plataforma programática y en las directivas de desarrollo de la economía se señala la necesidad de profundizar en el conocimiento de nuestros recursos niquelíferos para lograr un aprovechamiento racional y eficiente de los mismos, esto trae consigo la realización de estudios y trabajos encaminados al perfeccionamiento de los índices técnicos económicos de los procesos de producción y se realizan grandes esfuerzos e inversiones para la ampliación y modernización de las plantas existentes, así como la construcción y puesta en marcha de otras nuevas.

En la empresa "Pedro Sotro Alba" se emplea un proceso hidrometalúrgico para la obtención de productos finales de sulfuro de Níquel y Cobalto, empleando como proceso principal la lixiviación a presión con ácido sulfúrico.

El mineral desde que sale de la mena es sometido a varios procesos empezando con los procesos preparatorios del mismo como son el lavado con abundante agua y clasificación (cribado) donde las fracciones mayores de 0.833 mm contienen alto contenido de magnesio son separados del proceso, mientras que las fracciones menores, es decir, la fracción limonítica se envía a la planta de espesadores con 25% de sólidos con el objetivo de aumentarlo hasta un 47.5% de sólido, este valor en la práctica es difícil de lograr lo que trae consigo afectación en la capacidad de la planta de lixiviación elevando el consumo de ácido sulfúrico y aumentando las pérdidas de vapor y consumo adicional de petróleo que representan 8 millones de pesos anuales (\$ 8 000 000).

En la actualidad se continua el estudio para determinar los factores que afectan el proceso de sedimentación y esclarecer las causas que provocan que no se alcance el valor del por ciento de sólido deseado de acuerdo al proyecto.

Por todo esto , es objetivo del presente trabajo determinar las fases mineralógicas que componen la pulpa limonítica en los diferentes niveles de los espesadores en un momento de buena sedimentación, analizar la posible incidencia en el proceso de sedimentación; además conocer la distribución de Níquel y Cobalto en las diferentes clases de tamaño que forman la pulpa limonítica.

1.2-UBICACION GEOGRAFICA Y VIAS DE COMUNICACION DE LA REGION.

El yacimiento Moa está situado al noroeste de la provincia Holguín, en el municipio minero de Moa, el mismo abarca grandes dimensiones y posee una longitud de aproximadamente 40 Km en dirección este-oeste, limitado al norte por el océano atlántico, al oeste con el municipio Sagua de Tánamo, al este por el río Moa y al Sur por la coordenada de Lambert E 21 3000.

El Río Moa divide a dicho yacimiento en dos partes, una parte al noroeste y la otra al sureste. Localizándose en la parte noroeste cerca del 20% de las reservas de Niquel del yacimiento, que ha sido la mejor estudiada.

La región posee tres vías de comunicación: un aeropuerto, un puerto marítimo (donde se descargan equipos y materiales para la industria niquelífera, y se embarca el producto final al exterior) y una amplia red de terraplenes y carreteras que enlazan a Moa con los pueblos cercanos.

Existe una carretera al oeste que comunica con los pueblos de Sagua de Tánamo (36 Km); Mayarí (104 Km); Holguín (200 Km); además con Santiago de Cuba (230 Km) y en la actualidad esta en construcción una carretera, al sureste, que comunica al pueblo de Moa con Baracoa (80 km).

Además existen terraplenes que unen las diferentes áreas del yacimiento con la planta metalúrgica.

13.- ECONOMIA DE LA REGION.

La economía de la región está determinada fundamentalmente por la industria Minero-Metalúrgica del Níquel, representada por las empresas "Comandante Pedro Sotro Alba" y "Comandante Ernesto Che Guevara". La primera procesa la materia prima procedente del yacimiento Moa y la segunda del yacimiento Punta Gorda.

En la actualidad se trabaja en la construcción de dos complejos metalúrgicos uno situado en Quemado del Negro (C.A.M.E-1) y el otro en las camariocas.

También perteneciente a la minería se explotan las cromitas refractarias, perteneciente al yacimiento Merceditas en el poblado de Punta Gorda y Cayo Guan.

La agricultura se encuentra poco desarrollada por las condiciones propias de la región, su renglón principal es el café y frutos menores, además de la caña de azúcar.

Como proyecto se realizan esfuerzos con el fin de crear un complejo agropecuario para el auto abastecimiento de la región con productos cárnicos y de la rama del agro.

Como fuente de trabajo la mayor parte de la población se dedica a la minería y el resto a la pesca y la agricultura, además de las labores de construcción.

I.4.- CONDICIONES MINERO-GEOLÓGICAS DEL YACIMIENTO.

La empresa Comandante "Pedro Sotelo Alba" se encuentra situada al noroeste de la provincia Holguín considerándose un complejo hidrometalúrgico para la producción de sulfuro de Níquel más Cobalto que luego se envía para la Unión Soviética para continuar su tratamiento.

Según el trabajo [6] el proceso del mineral comienza en la mina cuyo yacimiento se ha formado durante un largo período de tiempo sufriendo procesos de intemperismo con altas temperaturas y abundantes precipitaciones fluviales propias del clima de la zona que han actuado sobre la serpentina que es roca madre, donde el magnesio (Mg) y la sílice se disuelven y filtran dejando concentrado residuales de óxido menos soluble de Níquel (Ni), Cobalto (Co), Hierro (Fe), Cromo (Cr) y Aluminio (Al).

Debemos decir que este yacimiento es superficial, o sea, que el mineral de limonita materia prima de la planta, se encuentra en una capa superior y la capa inferior la compone la serpentina. La capa superior es principalmente mineral de hierro con un alto contenido de alumina, la profundidad de la capa promedia aproximadamente a 2.0 m y es conocida como escombro.

La fracción de limonita inmediatamente inferior es de 2-6 metros en algunas ocasiones puede llegar a 15 metros y posee la composición química siguiente.

-45.5% de hierro.

-1.36% de níquel.

-0.12% de cobalto.

La fracción de serpentina presenta altos contenido de magnesio (Mg), bajo de hierro (Fe) y algo más alto de níquel que la capa de mineral limonítica, sin embargo, debido al alto contenido de magnesio (Mg) que provoca gran consumo de ácido sulfúrico (H_2SO_4) que perjudica el proceso de lixiviación se almacena para su uso futuro (ver fig 1).

Principales componentes mineralógicos.

Goethita	$Fe_2O_3 \cdot H_2O$	70-75%.
Hidrargilita	$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	10%.
Serpentina	$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$	2.5%.
Cuarzo	SiO_2	2.5%.

Además aparecen como ferritas el Ni, Co, Zn. Como podemos apreciar el mineral principal es la Goethita que alcanza hasta un 75%, una parte considerable de Aluminio se encuentra en forma de $Al_2O_3 \cdot H_2O$ hasta un 10%, el resto es serpentina y cuarzo en un 2.5% y un 10% de inclusiones.

El Ni y el Co están asociada a la Goethita donde sustituyen al hierro en las redes cristalinas de las mismas.

15.- BREVE DESCRIPCION DEL PROCESO DE LA FABRICA COMAN-
DANTE "PEDRO SOTTO ALBA".

El complejo niquelífero Comandante "Pedro Sotto Alba" comienza el proceso por el sistema de explotación minera a cielo abierto, extrayendose la materia prima por medio de excavadoras de gran capacidad debido a la poca dureza que presenta.

La materia prima se transporta hasta la planta de preparación de pulpa por dos vías:

- Mediante un transportador de banda ó
- Por medio de camiones Belaz; cuando existe rotura en el transportador.

Esta llega a la planta de preparación de pulpa con el objetivo de la obtención de una pulpa con un 25-28% de sólido, separando la fracción limonítica de la serpentina, mediante un lavado del mineral con abundante agua y un sistema de clasificación (cribado). El mineral llega a una criba estacionaria que permite separar la fracción 0.250 metros. La fracción -0.250 m pasan al triturador de rodillo con abertura de 0.127 m, el producto triturado pasa a la criba vibratoria con alimentación de agua, con el fin de separar las partículas finas de las rocas y desintegrar los aglomerados de arcilla; las partículas +0.127 se envían al triturador de rodillo y después de ser triturados son descargadas al tambor lavador con el objetivo de continuar el rompimiento de estos aglomerados; mientras la fracción -0.127 pasan a un lavador de paleta con el fin de homogenizar y producir una pulpa de un 25-30%.

La pulpa que rebosa de ambas lavadoras pasan a dos etapas de cribado la primera con abertura de 10 mm de superficie de cribado, sirve para proteger la criba secundaria con abertura de 0.833 mm; en las dos superficies se le adiciona agua por medio de rociadores planos para el lavado del material de rechazo que son descargados en los colectores de desecho.

De esta planta de preparación de pulpa caen en el colector final donde se envía a la planta de espesadores de pulpa por gravedad a través de una tubería de 0.61 m de diámetro y 4800 m de longitud, con el objetivo de aumentar el porcentaje de sólido de pulpa de un 45-47% de sólido.

La pulpa ya espesada llega a los precalentadoras de pulpa cruda en la planta de lixiviación para elevar la temperatura en un intervalo de 88,8-100°C por contacto directo con vapor de 109.9 Kpa; pero debido a las condiciones que se requieren para la dilución del mineral esta pulpa tiene que ser calentada hasta una temperatura de 240-250°C en los calentadores utilizando vapor de 253.4 Kpa.

Después pasa por gravedad a los reactores de lixiviación colocados en serie del A al D y es donde ocurre el proceso de dilución del metal.

El mineral lixiviado pasa a un sistema de lavado de contracorriente en 6 etapas; pues el licor además del sulfato de níquel y cobalto trae consigo ácido sulfúrico en pequeñas cantidades de otros elementos.

Este sistema de lavado desempeña las funciones de:

a).- Separar el licor de la fase sólida que es contenedora de hierro y otros elementos.

b).- Lavar el mineral sedimentado para extraerle la mayor cantidad de componentes útiles (níquel y cobalto).

El licor lavado rico en níquel se envía a la planta de neutralización para neutralizar el ácido libre que acompaña a la solución con la pulpa de coral pues la misma contiene más del 90% de CaCO_3 y debido a su naturaleza porosa reacciona con el ácido libre presente en la solución, este proceso se lleva a cabo en una serie de 4 tanques reactores, en un régimen conectado en forma de cascada.

El licor neutralizado se bombea a la sección de lixiviación con el objetivo de precalentarlo, de aquí pasa a los reactores de precipitación que son cilindros horizontales revestidos de ladrillos anti-ácidos, dividido en tres compartimientos por tabiques interceptores con agitadores de turbina en cada compartimiento, en el primer compartimiento se le alimenta el licor y se le inyecta H_2S altamente puro para mantener una alta presión ya que en estas condiciones casi el 99% de níquel y el 98% del cobalto se precipitan como sulfuros, el sulfuro pasa a los espesadores donde se separa el licor y el sulfuro espesado.

Luego el sulfuro espesado se lava en dos etapas y se traslada a un almacenaje en el área de embarque usando sulfateras para transportarlo.

Existen otras plantas llamadas auxiliares que tienen como objetivo apoyar y asegurar el proceso productivo de la

fábrica en este grupo podemos mencionar:

- Planta de H_2S .
- Planta de ácido sulfúrico.
- Planta hidrógeno.
- Planta de preparación de coral.
- Planta eléctrica.

Estas plantas aportan energías y productos intermedios, que son utilizados posteriormente en distintas operaciones a lo largo de todo el proceso.

I.6.-FLUJO DE LA PLANTA DE ESPESADORES.

Este constituye el proceso final de elaboración de la pulpa que será posteriormente sometida al proceso de lixiviación cuya función consiste en:

- Espesar la pulpa hasta una densidad óptima de acuerdo a los requerimientos técnicos de la planta de lixiviación.
- Servir como depósito de almacenamiento de pulpa de manera que siempre exista una reserva de mineral en la fábrica tal que garantice una operación ininterrumpida en la planta de lixiviación.

El proceso en la planta comienza cuando la pulpa ingresa con un 25% de sólido por medio de una tubería de concreto especial de 0.61 m a una caja distribuidora que esta dividida en varias secciones (siete) que le permite realizar las siguientes operaciones.

- Alimentar la pulpa a uno, dos o a los tres espesadores.
- Enviar la pulpa espesada del fondo de los espesadores a la sección de lixiviación y enviar el exceso a cualquiera de los espesadores, o a los tres a la vez.
- Recircular la pulpa espesada del fondo al respectivo espesador.

Durante la operación normal se colocan las esclusas de la caja distribuidora, de tal forma que la pulpa con un 25% de sólido y granulometría menor de 0.833 mm sea distribuida, ya sea en un espesador, o en los tres, conjuntamente con la parte excesiva del producto final bombeado a lixiviación.

El proceso de espesamiento ocurre en tres espesadores que presentan un mecanismo de rastrillo con dos brazos

que giran una vuelta completa cada 45 minutos.

La alimentación de los espesadores ocurre por medio de una línea soterrada que pasa por debajo del espesador y que sube por sus columnas para descargar en el plazo de alimentación que está de 30 a 100 cm por debajo de la superficie libre del líquido de forma que provoque una agitación mínima.

El sedimento se comprime en la parte inferior del depósito y es trasladado por el rastrillo hacia el orificio de descarga a través de la tubería, a la bomba donde es enviado a la planta de lixiviación o recirculado al espesador.

El agua clarificada producido en el espesamiento sube a la superficie del espesador y pasa al canal de reboso de donde es conducido por la línea a la bomba de agua, las cuales a través de la tuberías pasan a la planta de preparación de pulpa. En esta línea se ha instalado un tanque de amortiguamiento acoplada a un compresor que tiene la función de mantener un 50% de la capacidad del tanque ocupada por aire y el resto por agua, con lo cual se logra el efecto de amortiguamiento para evitar cualquier impacto producto al retorno de agua.

El aire en el amortiguador, se suministra automáticamente y el nivel de agua se controla por un nivel flotante.

Cuando el nivel de agua en los espesadores se encuentra por debajo del nivel que deseamos se establece con el empleo de bombas para la succión de esta, desde la planta de agua.

Estas bombas tienen también como función inyectar agua al

cono de los espesadores en caso de sobrecarga o en caso de obstáculos en la salida de los mismos.

Por diseño esta planta debe de ser capaz de incrementar los sólidos en la pulpa hasta el 48%, si se enviase a lixiviación mineral con un % de sólido menor a este incidiría en la eficiencia de la planta con el correspondiente aumento del consumo de ácido y pérdidas de vapor y petróleo ver fig. 3.

I.7.- CARACTERISTICAS DE LOS ESPESADORES.

Los dispositivos empleados en la planta de espesamiento se llaman espesadores, constituyen tanques de forma cilíndrica de diámetro $d=106.5$ m y fondo cónico de diámetro igual a 94.5 metros con un área de espesamiento de 7.85 m^2 y altura en su parte central de 11.7 m ver fig. 4.

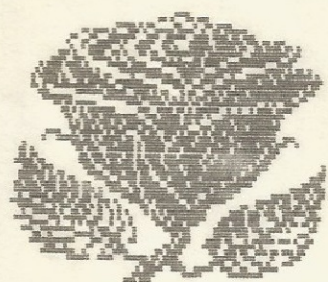
Dentro de los espesadores existen mecanismos que mueven a los rastrillos radiales cercano al fondo, donde se sedimenta y compacta la pulpa, los rastrillos se mueven lentamente a 2.6170×10^{-3} (o.025 r.p.m) y 11.5-12.5 A, es decir una vuelta cada 45 minutos. Su función es transportar el sólido espesado desde la periferia hacia el centro del tanque al mismo tiempo ayudar al espesamiento y por último empujar el sedimento hacia el cono de descarga donde fluye por gravedad a través de tuberías hacia las bombas, los cuales la llevan a la planta de lixiviación o lo recirculan a la caja distribuidora de los espesadores.

El agua liberada debido al espesamiento de la pulpa va a la superficie del canal de reboso donde es conducida por la succión de las bombas, las que retoman el agua por una tubería de 0.457 m, a la planta de preparación de pulpa para el lavado del mineral esta agua debe ser bombeada debido al desnivel tan grande que existe entre ambas plantas.

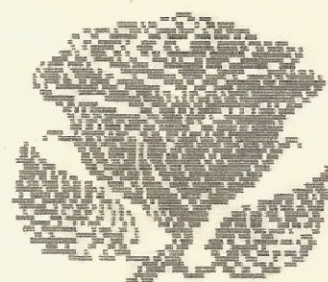
Como el envío de pulpa a lixiviación produce un déficit en la cantidad de agua del sistema, se añade agua al proceso a través de una tubería para restablecer el

balance.

Este tipo de trabajo de diploma consiste en analizar siete muestras escogidas del espesador para someterlas a la investigación donde cinco de ellas fueron tomadas a diferentes profundidades del espesador y dos que representan la entrada y salida del tanque. ver fig 5.



Capítulo III



II.1.- CONDICIONES TEORICAS SOBRE LA SEDIMENTACION.

Este proceso se utiliza desde eras muy antiguas, por ejemplo el hombre primitivo antes de beber agua turbia de los ríos por causa de tormenta u otros fenómenos naturales, esperaba que esta se aclarara y se limpiara bajo la acción de la caída libre de las partículas.

Como sedimentación entendemos a la operación de separación, donde las partículas sólidas suspendidas en líquido se separan de la fase continua mediante la acción de la fuerza de gravedad, es decir, separar de una suspensión un líquido clarificado y un lodo denso con alta concentración de material sólido.

En la práctica industrial este proceso se realiza en los tanques espesadores, que constituyen grandes depósitos a los cuales llegan, por el centro la suspensión y que al separarse las dos fases con ayuda de la fuerza de gravedad; el líquido sale por reboso mientras que el lodo espeso es descargado por el fondo del equipo producto del mecanismo de rastrillo que posee.

En el trabajo investigativo [3] el autor plantea que las partículas sólidas en un medio fluido en reposo tienden a caer por la acción de las fuerzas gravitacionales.

En el caso de que una partícula cae en un medio lo suficientemente extenso y sin considerar la acción de otras fuerzas que no sea la resistencia del medio la misma alcanzará una velocidad máxima, que se denomina "velocidad límite de caída libre", esta velocidad dependerá del tamaño y densidad de las partículas y de las propiedades del fluido.

Las mismas se ponen de manifiesto cuando la concentración de la fase dispersa (sólido) sea muy pequeña y que sus partículas durante el movimiento no choquen unas con otras.

Pero en la industria las operaciones de sedimentación frecuentemente se efectúan en un volumen limitado, siendo elevada la concentración de la fase dispersa, en este caso se precipitan no una partícula, sino muchas, a la resistencia del medio se le sumarán otras fuerzas que entorpecen la caída de las partículas, en este caso nos encontramos en régimen de caída contrariada.

El grado de contrariedad y por tanto, la disminución de la velocidad de caída se encuentran en dependencia directa con la concentración de las partículas muy pequeñas del orden de varios micrones, el peso de las partículas y la velocidad de caída resultan tan pequeñas que las fuerzas superficiales y las interacciones entre las partículas pueden mantener a estas en suspensión, este fenómeno es utilizado en el proceso de beneficio por medios densos, lodos de perforación y otros.

En el caso en que se combina una mezcla de partículas muy pequeñas (lanas) y otras de mayor tamaño, ocurre que las mayores para precipitar, tienen que vencer no solo la resistencia del líquido sino también desplazar las partículas más pequeñas que poseen una velocidad de caída libre menor.

Por todo esto, se deduce que las partículas pequeñas le comunican al medio fluido un aumento de densidad respecto al desplazamiento de las partículas grandes y estas

últimas resultan las causantes de la suspensión de tal forma que prácticamente se detiene la sedimentación. Para la determinación de la velocidad de caída contrariada de partículas de diferentes géneros no se cuentan con fórmulas suficientemente fundamentadas, en tales casos se puede utilizar la fórmula de Gaudin.

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

$$\gamma = 1-M.$$

Donde:

- V_{ct} : Velocidad de caída contrariada.

- V_o : Velocidad límite de caída libre (determinada por fórmula de Stoke).

γ : Concentración volumétrica del sólido, o sea parte de la pulpa ocupada por el sólido.

M : Coeficiente llenado.

Esta fórmula solo se utiliza cuando las partículas son pequeñas y su concentración son menores de 30% de sólido por volumen (si la concentración es de 40% o mayor, la $V_{ct}=0$).

En el caso de las partículas relativamente grandes en presencia de pequeñas (100 o más veces mayores que estas), puede considerarse el líquido con una determinada densidad y viscosidad dada por las partículas pequeñas que le comunican sus propiedades.

Según el instituto Mejano de la URSS puede determinarse la velocidad de caída libre de estas partículas por:

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

Donde:

- ρ_s : Densidad del sólido.

ρ_{pc} : Densidad de la suspensión.

ρ_{pct} : Densidad de la pulpa compuesta.

Solo en aquellas partículas cuya velocidad se determina por la concentración volumétrica e igual a la concentración de las partículas en suspensión.

La sedimentación de la pulpa limonítica, que en este trabajo esta sometido a estudio, se encuentra en el rango en que pueden tener luz los dos fenómenos explicados anteriormente.

II.2.- SEPARACION POR SEDIMENTACION.

En la práctica se conocen dos tipos de sedimentación:

1).- Sedimentacion discontinua.

Ocurre el proceso de sedimentación discontinua a escala de laboratorio; la probeta graduada se llena con pulpa que se desea espesar en la que previamente se agita y se deja en reposo.[7].

La velocidad decreciente 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 sedimentación".

Al inicio de la sedimentación la concentración de sólido es uniforme en toda la probeta, muy poco después de iniciado el proceso, todas las partículas del sólido en suspensión caen en el seno del fluido con su velocidad máxima.

Para una suspensión que posee partículas uniforme, todas estas caen con una velocidad bastante similar y puede verse una marcada línea de separación entre el líquido claro que sobrenada, zona a y el lodo zona b durante todo el desarrollo del proceso.

Pero si la suspensión contiene partículas de diferentes tamaños incluso algunas muy finas entonces las partículas mayores se depositan más rápido, y en la línea de demarcación no resultará tan clara como en el caso anterior por lo que el líquido aparecerá turbio por poseer en su seno a las partículas más finas debido a que estas últimas tienen una menor velocidad de caída.

En cualquier caso, las partículas próximas al fondo del

recipiente comienzan a compactarse sobre el mismo formando un lodo espeso zona d, puede que no aparezca una superficie de separación bien definida entre las zonas b y d; pero en todos los casos la cantidad del lodo espeso aumenta durante el desarrollo de la sedimentación, las partículas sólidas de la zona b, continúan cayendo a su velocidad máxima constante, y no se observarán variaciones en la velocidad de sedimentación puesto que la densidad o concentración de los sólidos en las proximidades de la interfase superior permanece constante.

La zona b mantiene una composición constante hasta que la superficie de separación entre las zonas a y b se aproxima a la superficie de separación entre la zona b y d.

La velocidad de sedimentación decrece durante el período de transición, transcurrido este, la zona de precipitación b habrá desaparecido y el lodo ofrecerá un aspecto uniforme zona d.

A partir de este momento el proceso de sedimentación consiste en un lento compactamiento del sólido en la zona d, en este proceso puede considerarse que el líquido fluye a través de una capa porosa de permeabilidad decreciente, finalmente llega a una altura mínima de la suspensión, que representa la máxima capacidad del sólido de compactarse cuando está rodeado por el fluido. Ver fig 6.

En la figura 6 se observa el comportamiento de la suspensión que presenta las zonas siguientes.

a.-Situada en la parte superior de la probeta graduada, corresponde a una zona que va aumentando en espesor en función del tiempo, presenta un líquido claro sin partículas en suspensión.

b.-Zona en que existe un conjunto de partícula tal que puede considerarse que su concentración no varia, porque su espectro de velocidad es el mismo en toda la zona y su densidad va a disminuir con el tiempo.

c.-Es la zona inmediata posterior puede no presentarse o ser muy estrecha, crecerá en tamaño al principio de la sedimentación y al final desaparecera.

d.-Es la cuarta y última zona, es la que recoge las partículas sedimentadas que forman un lodo compacto que aumenta en densidad con el tiempo.

2.- Sedimentación continua.

El trabajo de los depósitos de sedimentación continua depende de las características propia de la suspensión.

La diferencia entre los dos tipos de sedimentación vienen dada en las distintas concentraciones de los sólidos a diferentes alturas en el espesador.

En el proceso de sedimentación discontinua se inicia con una columna de suspensión que posee una concentración uniforme.

Mientras que de forma continua la suspensión se introduce en un depósito a 30-100 cm por debajo de la superficie libre del líquido de forma que provoque una agitación mínima, el líquido claro rebosa por la parte superior y el lodo espesado se hace desplazar mediante un rastrillo adecuado sobre el fondo del depósito, que suele ser

cónico, hacia su centro de donde se succiona mediante una bomba de lodo.

Después de un funcionamiento continuo, se toma un régimen estacionario, distinguiéndose las zonas siguientes.

a).- Zona de clarificación, comprende desde la entrada de la suspensión y el rebosadero del líquido claro.

b).- Zona inferior a esta o zona de sedimentación, cuya concentración de sólido permanece constante con la altura.

c).- Zona de compactación : la concentración del sólido aumenta al aproximarse al fondo.

En ella el movimiento del rastrillo que lleva los sólidos hacia el centro, al romper la masa sedimentada, facilita la salida del líquido que corresponde al que en la experiencia discontinua formaba canal. En la fig. 4 se observa un equipo que corresponde a este tipo de sedimentación.

La sedimentación continua dentro de la operación de separar sólido-fluido puede resolver los casos posibles entre dos situaciones extremas.

1^{er} caso. La proporción de sólido en la alimentación es baja, en este caso, se llama clarificación que consiste como su nombre lo indica clarificar el líquido rebosante por eliminación de las partículas en suspensión.

2^{do} caso. Cuando la concentración de sólido en la alimentación es alta, denominándose espesamiento pues su función consiste en espesar el lodo por la eliminación de su contenido líquido.

II.3- FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SEDIMENTACION.

1.- Tamaño y densidad de las partículas.

Cuando en una suspensión existen mayor cantidad de partículas pequeñas en relación con las cantidad de partículas grandes el proceso de sedimentación se tardará más; debido a que las mismas tienden a mantenerse en suspensión, frenando el proceso.

Este factor y el de la densidad de las partículas se encuentran en estrecha relación, si la densidad de la partícula es inferior a la del fluido en el que se encuentran las partículas se elevaran en el seno del fluido, si sucediera que las densidades fueran iguales la partícula se mantendra flotando en el fluido, por el contrario si la densidad de la partícula es mayor que la del fluido las partículas se hundirán en el fluido.

Por otra parte en este proceso ocurre un fenómeno que es muy negativo a la sedimentación, que es el llamado fenómeno de Isodronomía, que relaciona a estos dos factores y plantea que partículas de diferentes diámetros y densidades pueden tener igual velocidad de caída.

2.- Viscocidad.

Este factor esta muy relacionado a la concentración de sólidos en el fluido y a su tamaño.

Cuando las partículas se encuentran muy alejadas unas de otras el líquido se comporta igual que el agua; pero cuando aumenta la concentración de estos sólidos aparece una interacción mecánica pareciendose estas partículas a los coloides porque aparecen fuerzas de repulsión muy grandes.

Si sigue aumentando la concentración de sólidos aparece la fuerza de fricción entre las partículas, comportándose la sustancia como plástica.

Los flujos de los fluidos pueden ser tipos laminares, de transición y turbulentos.

-En el caso del flujo laminar tanto el tamaño de las partículas como la velocidad de desplazamiento son pequeños y la viscosidad constituye un factor esencial como resistencia del medio.

-En el flujo turbulento la velocidad de desplazamiento tiende a formar torbellinos que le ofrecen gran resistencia al flujo, en este caso la viscosidad tiende a desaparecer.

3.-Floculación.

La intensificación de la sedimentación puede ser alcanzada añadiendo a la suspensión sustancia que disminuyan la estabilidad de esta y que conducen a la formación de agregados, cada uno de estos agregados se comporta del mismo modo que una simple partícula, como se han unido varios granos, el tamaño es mucho mayor y con formas diferentes.

Por todo esto el floculante favorece el proceso haciendo que la velocidad de caída aumente, debido a que con el aumento de tamaño aumenta también su peso y por ende la precipitación ocurre más rápido.

4.- Temperatura.

Este factor está relacionado con la densidad, al aumentar la temperatura la densidad del fluido disminuye, por lo tanto aumenta la velocidad de sedimentación.

5.- En el trabajo [3] se plantea que entre los factores que más influyen en el proceso de sedimentación se encuentran:

a).- La composición granulométrica del material sólido en la pulpa.

b).- La composición iónica de la fase líquida en la pulpa.

El primer factor se explica debido a que más del 60% de las partículas tienen un tamaño menor de 10 micrones, explicándose que en el yacimiento, estas partículas junto con las de mayor tamaño forman concreciones los cuales comienzan a desintegrarse en el proceso de lavado a que es sometido el mineral en la planta de preparación de pulpa.

El rompimiento de estos terrones, hasta lograr toda la separación de las partículas, depende del tiempo de contacto del mineral con el agua y de la agitación mecánica a que esta sometida la pulpa; por lo que se plantea que el proceso de preparación de pulpa (lavado), el tiempo de contacto del mineral con el agua y también las condiciones naturales del mineral deben resultar factores de gran influencia en el grado de rompimiento de los terrones y por lo tanto en la composición granulométrica de la pulpa que llega a espesadores.

Por otra parte, la composición iónica de la pulpa, o sea, la presencia de los diferentes iones en una u otra concentración, van a influir decisivamente en el fenómeno de dispersión (repulsión) y coagulación (adhesión) de las partículas muy pequeñas entre si o con las partículas

mayores.

II.4.- ESTUDIO BIBLIOGRAFICO DE TRABAJOS REALIZADOS SOBRE EL PROCESO DE SEDIMENTACION DE LA FABRICA "COMANDANTE PEDRO SOTTO ALBA".

En el trabajo [8] se dan resultados preliminares de las investigaciones mineralógicas de la pulpa cruda, tomando tres muestras en distintos lugares.

- Una en la planta de preparación de pulpa.
- Otra a la salida de esta planta.
- Y la tercera de la pulpa que entra a los tanques de sedimentación.

Se realizó el análisis granulométrico por vía húmeda a cada una de las muestras, por la separación en 4 clases de tamaños: $+0.10$ mm; -0.10 mm + 0.074 mm, -0.074 + 0.044 y -0.044 mm. Destacándose un aumento apreciable de los por ciento en peso de la clase -0.044 mm en todas las muestras observándose un aumento de 8.28% de esta misma clase del mineral a la pulpa.

Luego la fracción -0.044 mm se sometió a la clasificación microgranulométrica, experimentamos el predominio de la fracción 0.044 mm + 0.030 mm en cada una de las muestras. Por medio del análisis mineralógico les permitieron determinar los minerales presentes en las mismas: Goethita, Magnetita, Gibbsita, Cromo-espinelas, Serpentina, minerales manganoso, Cuarzo, y Pirita.

En la investigación realizada por el trabajo [5] se llega a importantes conclusiones las cuales nos da una idea de los diferentes factores que inciden en la velocidad de sedimentación y el % de sólido final, podemos ver que en

este trabajo el autor plantea que la composición iónica del agua tiene una influencia significativa en la sedimentación de las partículas sólidas porque en sus ensayos al tratar el mineral con distintos tipos de agua, los resultados más favorables correspondió a los ensayos realizados con el agua de mar, no comportándose igual los realizados con el agua de reboso de los espesadores, que es el agua utilizada en el proceso.

Se comprobó que la adición del electrolito se debía realizar antes de la agitación pues los resultados son más satisfactorios, entre los electrolitos de mejores resultados fueron el Silicato de Magnesio, Silicato de Sodio y el Cloruro de Sodio, siempre que se añadan en pequeñas concentraciones.

Además se comprobó que el PH óptimo para lograr buenos resultados en la sedimentación es de 6,5-7,2 a medida que disminuye el PH empeora los resultados de la sedimentación y el % de sólido final, y cuando aumenta este efecto, tampoco favorece la sedimentación; pero en menor escala.

En otro trabajo realizado posteriormente [1] se utilizaron estos mismos electrolitos incluyendo el w_1 ; pero los ensayos se realizaron a escala semi-industrial, obteniéndose también resultados favorables, llegando a la conclusión que con la adición de electrolitos a concentraciones óptimas se pueden lograr resultados altamente favorables no solo a escala del laboratorio ni semi-industrial; sino a escala industrial.

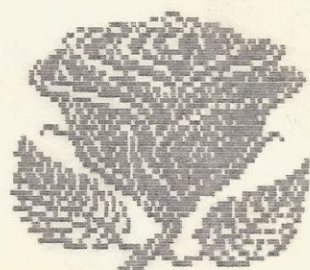
En el trabajo [7] el autor analiza la influencia de

diferentes fracciones llegando a conclusiones importantes como por ejemplo:

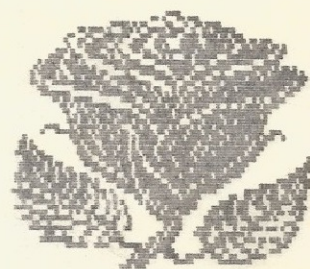
Al realizar ensayos para la fracción $-0.83 + 0.044$ y -0.044 mm con diferentes tiempos de agitación (de 45 min y 15 min) se comprobó que el nivel de pulpa descendió menos para el tiempo de 45 min, que para los 15 min de agitación, debido al grado de desintegración de los concreciones y rompimiento de las partículas.

Para las fracciones $-0.83 + 0.044$ mm, $-0.83 + 0.030$ m y $-0.83 + 0.020$ mm los resultados obtenidos son similares, obteniéndose un porcentaje de sólido alto, al igual que la velocidad de sedimentación.

En el trabajo [4] se basa en la realización de ensayos con diferentes frentes de extracción de la mina para analizar su comportamiento en la velocidad de sedimentación y porcentaje de sólido final llegando a la conclusión que las características del mineral tiene una influencia significativa en estos dos factores.



Capítulo III



III PARTE ESPECIAL

III.1.-MATERIALES Y METODOS DE INVESTIGACION UTILIZADOS.

El muestreo fue realizado en el tanque sedimentador TK-1C de la planta de espesadores de la fábrica "Pedro Sotillo Alba", por poseer el mayor porcentaje de sólido en el nivel (0,0) o descarga que según los análisis periódicos realizados en la planta en cada turno es de 46,43%, fueron tomados siete muestras, dos correspondientes a la entrada y salida del espesador, y las restantes a diferentes niveles de profundidad, no se le pudo realizar el muestreo en todos los niveles de toma de muestra debido al buen porcentaje de sólido que se alcanzó en el momento de tomar la muestra, que los dos niveles superiores en el tanque no contenían sólido en suspensión. En la tabla #1 se recogen los datos iniciales del muestreo.

Nº muestra.	Profundidad.	% sólido.
1	0.0	46.43
2	2.35	45.66
3	3.125	42.97
4	3.425	42.63
5	4.925	40.86
6	6.425	33.61
7	7.925	25.05.

Los métodos de investigación utilizados para el análisis de las muestras son:

- 1.-Difracción de rayos X.
- 2.-Análisis espectral de emisión.
- 3.-Análisis químico por espectrofotometría de absorción

atómica.

En el primer caso "Difracción de rayos X" en la actualidad es uno de los métodos más utilizados para la identificación de los minerales, y tienen gran aplicación en las partículas menores de $1\ \mu\text{m}$, o sea, partículas criptogranulares; el método empleado es el policristalino, basado en la ley de Bragg [2], cuya ecuación es:

$$N\lambda = 2d \sin(\phi).$$

Donde:

N.- Orden de difracción o interferencia.

λ .- Longitud de onda de los rayos X.

d.- Distancia interplanar donde ocurre la difracción () (distancia con que se suceden paralelamente una serie de planos reticulares).

ϕ .- Angulo de incidencia del haz de rayos X respecto a un determinado plano reticular (ángulo de Bragg).

El equipo empleado es el goniómetro HZG-4, con generador de alto voltaje TUR-M-62, el régimen de trabajo fue CoK , 40KV, 30 MA, 2 /min, ángulo de Bando 3-36, 1.09/1.09.

Preparación de las muestras para el difractómetro.

Para una correcta interpretación de los difractogramas es necesario elegir de antemano las condiciones particulares que se ha de realizar cada análisis y la preparación adecuada de las muestras.

En la preparación de las muestras deben de tenerse en cuenta varios factores para obtener resultados los más

fiable posible algunos de estos son:

a).-Perfecta trituración del mineral, hasta obtener un polvo fino.

b).-Colocación adecuada del material ya pulverizado en el portamuestras del difractómetro.

c).-Eliminación máxima del efecto de orientación que el mineral pueda poseer por su propia estructura interna, con la mezcla de la muestra (antes de pulverizada) con una cantidad proporcional($1/4$, $1/3$, $1/2$) de polvo de vidrio o corcho pues son sustancias amorfas que no producen picos en el difractométrico.

Lectura de los difractogramas.

El equipo de registro gráfico consta de dos agujas: una marca el diagrama en dependencia de los impulsos que recibe y la otra señala los valores de ϕ .

Los métodos de registro pueden ser:

- Fotográfico.

- Difractométrico: se registra un pico detrás de otro en la medida que se produce la difracción, desde los ángulos (ϕ) menores a los mayores.

El difractométrico fue el método utilizado.

Ahora bien la primera aguja o aguja deslizante consta de tres características generales:

-Fondo: es la mayor o menor altura de la base gráfica, está condicionada por las sustancias amorfas mezcladas con el mineral.

-Separación de picos: es el valor de la abcisa de cada reflejo, y para su medida se traza una perpendicular desde el vértice superior de cada tipo hasta que corte la

greca inferior en la que quedará determinado el valor en grados de ϕ .

Luego de medir la abcisa de cada reflejo se traducen los valores de ϕ (en grados) a valores de d (en Å) mediante la ecuación de Bragg o las tablas confeccionadas en que para las distintas radiaciones tabulan los valores de ϕ con los correspondientes que va tomando d .

Numerado en la primera columna de la tabla cada reflejo en un diagrama, se anotan luego los valores de d .

-Intensidad de picos: Es el valor de la ordenada de cada tipo a partir de la línea media del fondo.

Para realizar los cálculos se ha atribuido el valor de 100 al reflejo de mayor altura (mayor intensidad) dando a los demás reflejos una intensidad relativa según su altura con respecto al máximo. Ejemplo

$$H_1 - 100 \quad I_o = \frac{H_o * 100}{H_1}$$

$$H_o - I_o$$

Donde:

H_1 - Altura del pico más intenso.

H_o - Altura de un pico al que se desea determinar su intensidad.

100- Intensidad máxima.

I_o - Intensidad relativa al pico.

Estos valores de intensidad se anotan en una tercera columna de la tabla que anteriormente se habló, quedando así realizada la lectura del difractograma tabla #3.

Por último se busca por patrones ya elaborados las fases minerales presentes en las muestras y se completa la identificación mineralógica de las muestras.

2^{do}.—Análisis espectral de emisión.

Este método es un análisis químico cualitativo se basa en la obtención de espectro de la muestra analizada mediante el método de evaporación en el crater del electrodo, empleandose electrodo de grafito de 4 mm de diámetro con crateres de 3 mm de diámetro por 4 mm de profundidad.

El equipamiento utilizado para la obtención de los espectros fue el espectrometro STE-1, con cámara de evaporación SHT-9 y un generador de arco DG-2 de fabricación Soviética, para el desciframiento de los espectros se utilizó un proyector de espectro Carl Zeiss-Jena.

Los espectros se fotografiaron en placas espectrales Wv-3 de dimensión 13x18 cm, el tiempo de exposición fue de 1m con una intensidad de corriente de 10 A.

Para la determinación cualitativa de los espectros se siguió el método de aparición e intensidad de las líneas espectrales.

En cada espectro se determina la presencia de los elementos Fe, Ni, Co, Al, Mg, Mn que son elementos esenciales en este trabajo.

3^{ra} Espectrofotometría de absorción atómica:

Este análisis fue realizado en el laboratorio central de la fábrica "Ernesto Che Guevara" con el objetivo de determinar los porcentos de los elementos en la solución, consiste en que la muestra líquida se pulveriza y el aerosol así producido se conduce a una llama de acetileno-aire.

Los elementos contenidos en la solución se transforman en

la llama ampliamente en el estado base atómico, los átomos absorben con preferencia la radiación de la longitud de onda que corresponde al paso al estado base. La raya de resonancia necesaria para la absorción se suministra por una lámpara de cátodo hueco, de ancho de banda extremadamente pequeña, cuyo elemento catódico se compone del elemento a determinar.

El flujo luminoso del radiador de fondo, atenuado por la absorción atómica llega a través del monocromador de red al receptor, después de ampliación realizada la señal llegará a promediarse por medio de una constante de tiempo y se indicará.

El método para la preparación de las muestras es el que sigue a continuación:

El sólido se tritura y se lleva a una estufa a $t = 110^{\circ}\text{C}$, a secar durante 2 horas con el objetivo de eliminarle toda la humedad, posteriormente pesamos 0.5 g y la disolvemos en una mezcla de ácido nítrico HCl y clorhídrico HNO_3 concentrado.

Luego llevamos hasta sequedad y rediluimos con ácido clorhídrico HCl 1:1, llevada volumen exacto de 250 ml, se filtra, se toma 25 ml y se lleva a 100 ml.

Ya disuelta se realiza el análisis.

III.2.- TRABAJO REALIZADO.

Como anteriormente se señaló, fueron estudiadas 7 muestras tomadas en un momento de buena sedimentación, las mismas se sometieron a un trabajo de investigación con el fin de esclarecer las distintas fases minerales y elementos químicos presentes. Ver Fig 7

1^{ro} Primeramente a las muestras iniciales se le extrajo una pequeña porción que las denominamos muestras totales (L-1, L-2, L-3, ..., L-7). A estas muestras totales se le realizaron análisis por difracción de rayos X, con la metodología descrita ya anteriormente, los resultados de dicho análisis se exponen en la tabla N^o 3 y a continuación procedemos a la interpretación de los difractogramas.

Muestra total L-1.

La fase mineral principal de esta muestra es la Goethita, cuya distancia interplanares en Å e intensidades relativas (), (de esta forma denotaremos las características roentgenométrica de los minerales) son: 4.15(100); 2.43(85.28); 2.68(49.06); 1.70(32.4); 2.57(28.2); 2.19(24).

Existe como fase secundaria la magnetita y maghemita con reflejos 2.50(79.24); 1.604(16.98); 2.95(20.75); 2.08(11.1); hematita 2.68(49.09); 1.70(32.4); hidrargilita 4.84(50.9); 3.35(22.64); cuarzo 3.35(22.64); 1.55(18.86); antigorita 7.2(20.75)

Muestra total L-2.

Fase mineral principal: Goethita con reflejos 4.16(100); 2.44(72.73); 2.68(47.27); 2.186(29.09); 2.243(29.09);

1.707(25.45); 2.57(20).

Fase Secundaria: Magnetita y Maghetita 2.508(80.00);
2.94(32.73); 1.605(29.09); 2.08(16.36); hidrargilita
4.84(52.73); 4.37(28.93); 1.79(16.36); Hematita;
2.68(47.27); 1.68(25.45); 1.707(25.45); Cuarzo
3.336(14.55).

Muestra total L-3.

Fase minerales principales: Goethita: 4.166(100);
2.43(83.33); 2.68(58.93); 1.77(29.63); 2.24(27.78);
2.18(25.93); 2.57(24.32).

Fases secundarias: Magnetita y maghemita 2.51(85.18);
2.94(24.07); 1.608(18.52); 2.08(13.89); Hematita
2.68(50.93); 1.71(29.63); Hidrargilita 4.84(48.15).

Muestra total L-4.

Fase mineral principal: Goethita 4.16(100); 2.44(83.67);
2.68(58.98); 1.705(36.33); 2.24(30.61); 2.186(30.61);
2.57(19.59); 3.39(20.41).

Fases Secundarias: Magnetita y Maghemita 2.51(79.59);
2.94(20.41); 1.604(18.36); Maghemita 2.12(77.55);
Hematita 2.68(58.98); 1.70(36.33); Hidrargilita
4.82(41.84); 3.39(20.41); Cuarzo 3.39(20.41);
1.55(20.41).

Muestra total L-5.

Fase mineral principal. Goethita 4.17(100); 2.44(80.75);
2.68(50.94); 1.707(30.18); 2.24(26.32); 2.18(26.41).

Fase secundaria Magnetita y Maghenita 2.51(81.13);
2.95(26.41); 2.08(17.23); 1.606(13.2); Hidrargilita
4.86(45.28); 3.37(16.98); Hematita 2.68(56.94);
1.707(30.18); Cuarzo 3.37(16.98); 1.55(16.98).

Muestra total L-6.

Fase mineral principal: Goethita con 4.16(100);
2.44(79.24); 2.68(47.17); 1.71(33.96); 2.19(31.13);
2.24(28.39); 2.52(24.58).

Fase secundaria Magnetita y Maghemita 2.508(64.15);
2.95(18.87); 2.04(16.98); 1.604(15.09); Hematita
2.68(47.17); 1.71(33.96); Hidrargilita 4.86(30.18);
3.38(15.09); Cuarzo 3.34(15.09); 1.56(18.86).

Muestra total L-7.

Fase mineral principal: Goethita con 4.16(100);
2.44(83.64); 2.68(51.27); 1.71(30.9); 2.24(29.09);
2.19(27.27); 2.56(25.45).

Fase mineral secundario: Magnetita y Maghemita
2.508(63.99); 2.95(21.82); 1.604(12.73); Hematita
2.68(51.27); 1.71(30.9); Hidrargilita 4.86(50.90);
3.35(21.82); Cuarzo 3.35(21.82); 1.56(14.55).

2^{do} Análisis granulométrico.

Luego de extraer la muestra total, se toma el resto y se realiza el análisis granulométrico por vía húmeda, mediante el tamizado de las mismas en n cribas obteniendo n+1 productos. Este se realiza con el objetivo de separar los minerales por clases de grosor y determinar cual es la fracción que se encuentra en mayor proporción.

Para la separación granulométrica utilizamos tres tamices (90µm, 71µm y 45 µm) obteniendo de esta forma las clases +90; -90+71; -71+45; -45.

Las fracciones obtenidas se secan en la estufa a temperatura inferior de 60°C y se pesan con el objetivo de determinar el porcentaje en peso de cada fracción.

Este se determina por la expresión:

$$\gamma_n = \frac{Q_n}{Q_t} * 100.$$

Donde:

Q_t : Cantidad de muestra inicial (g).

Q_n : Cantidad de muestra en cada fracción (g).

γ_n : Porcentaje en peso en cada fracción.

La separación microgranolumétrica se realizó por el método levigación separando las fracciones (μm): -45 + 10; -10.

Para realizar este tipo de análisis se siguió la siguiente metodología.

En un recipiente de 17 cm de alto y 12 cm de diámetro, se marca hasta 15 cm, se toma de la fracción -45 μm , 24 gramos que es la cantidad de muestra que se va a someter al análisis y se deposita en el recipiente, luego se rellena con agua hasta la marca de 15 cm, posteriormente se agita fuertemente 2 minutos y se deja en reposo.

Existen condiciones experimentales para la separación microgranolumétrica por levigación estas son:

Deg(μm)	10 cm	15 cm.
-1	12h 59 min 5 s	19h 28min 30 s.
-5	31min 10s	46min 44s.
-10	7 min 47s	11min 41s.
-20	6 min 29s	no se ha determinado.

Como el objetivo del trabajo es la separación de -10 μm en 15 cm de altura de suspensión, empleamos un tiempo de reposo de 11 minuto 41 segundos, luego se recoge el líquido que es donde se encuentra la fracción antes mencionada.

COMIENZO DE LA SEDIMENTACION.

Según se explica anteriormente para obtener las fracciones de $-10 \mu\text{m}$ se necesita un tiempo de reposo de 11.41 minutos, que es el tiempo que se deje reposar el recipiente de sedimentación luego de ser agitado, después de transcurrir este tiempo se comienza a extraer el líquido que es el portador de la fracción ($-10\mu\text{m}$); luego se rellena nuevamente el recipiente hasta la marca de 15 cm, se agita durante 2 minutos y se repite la operación de sedimentación.

Después de extraer el líquido (fracción- $10\mu\text{m}$) en el sedimento que queda en el fondo del recipiente se obtiene la fracción (μm)- $45+10$.

El líquido extraído se deja en reposo hasta que quede una solución clarificada sin sólidos en suspensión, se decanta el líquido y el sólido obtenido se deja secar a temperatura menor de 60°C y se pesa para determinar el porcentaje en peso; mientras que el sedimento ($-45+10\mu\text{m}$) también se recoge y se le realiza la misma operación que a la fracción $-10 \mu\text{m}$.

Los resultados obtenidos en la separación granulométrica por tamización y análisis microgranulométrico por levigación se recogen en la tabla #4.

3° A las fracciones (micrones) $+90$; $-71 + 45$; -45 de cada nivel, exceptuando los niveles 3 y 5, se le realizarán análisis magnéticos con el objetivo de determinar en que proporción se encuentra la fracción magnética y por sus características apreciar que mineral es mayoritariamente predominante al igual que la fracción

no magnetica. Los resultados de los análisis magneticos se exponen en la tabla #5.

4^{to} Estas mismas muestras se sometieron al análisis espectral de emisión con el fin de determinar cualitativamente los elementos químicos presentes.

5^{to} Por los resultados obtenidos en este último análisis, que no fueron muy aceptables realizamos análisis químicos parciales cuantitativo a todas las fracciones obtenidas de todos los niveles (en total 42 muestras en fracciones) para esclarecer en realidad cuales eran los porcentos de los elementos químicos presentes en cada muestra. Los resultados de este análisis estan situados en la tabla #6.

III-3 DISCUSION DE LOS RESULTADOS.

Se detectó por análisis por difracción de rayos X que en la composición mineralógica de la limonita, mineral estudiado en este trabajo, la fase mineral predominante es la goethita y como fases secundarias se encuentran la magnetita, maghemita, hematita, hidrargilita y antigorita.

En el nivel L-1 (ver Fig 5) existe un incremento del cuarzo con reflejos 3.35 (33.9), sin embargo en el nivel L-3 no predomina esta fase mineral.

La fase mineral de hidrargilita, existe en mayor contenido en el nivel L-7 con reflejos en el cuadro difractométrico de 4.84 (50.90).

mientras que existe un incremento de la goethita en los niveles L-2 y L-7, y el nivel L-4 es el que presenta menor contenido.

Por otra parte el nivel correspondiente a la muestra L-4, el cuadro difractométrico indica, que existe mayor concentración de la fase mineralógica de hematita con reflejo de 28.9 (58.98), sin embargo, esto mismo ocurre con la fase mineralógica de magnetita y maghemita en el nivel L-3 que presenta reflejo mas intenso de 2.51 (85.18).

Debemos significar que el nivel L-4 se detectó la presencia de la fase maghemita con alta concentración la cual es muy parecida a la magnetita (de color negro, fuertemente magnetica), tanto macroscopicamente como difractometricamente, los reflejos se acercan más a la maghemita, además estudios anteriores ya establecieron

esta fase mineral en muestra de esta industria.

La fases mineralógicas de antigorita se evidencia con mayor fuerza en los niveles L-1 y L-2 con reflejos en el cuadro difractométrico de 7.2 (19.8) y 7.3 (20) respectivamente, mientras que en los restantes niveles existe pero en reflejo menos intenso, casi no apreciable.

COMPARACION ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN UN MOMENTO DE BUENA SEDIMENTACION CON UN MOMENTO DE MALA SEDIMENTACION.

Tomando como base los resultados obtenidos de, Ronda Oro, 1989 [9] de un momento de mala sedimentación y nuestro resultados actuales se ha podido establecer las siguientes consideraciones.

_ No existe una marcada diferencia cualitativa en cuanto a la composición mineralógica entre ambos momentos de sedimentación.

_ Cierta diferencia podía estar dada en que el trabajo [9] se estableció fase mineralógica de clorita con reflejo de 7.09 (1.3); 4.73 (2.5); 4.69 (1.7), mientras que en nuestro trabajo no se detectó esta fase mineralógica.

_ Otra diferencia puede estar dada en que la hidrargilita se presenta con valores más intenso en el cuadro difractométrico en todos los niveles en el trabajo realizado con mala sedimentación, que en nuestro trabajo.

_ El el nivel L-5 de trabajo realizado con un momento de mala sedimentación se concentro la fase mineralógico de la magnetita con valores en el cuadro difractométrico de

2.51 (57.0), mientras que en el trabajo con buena sedimentación la magnetita está, en mayor concentración en el nivel L-3 de 2.51 (85.18), es decir que esta fase mineral se concentra en los niveles intermedios.

La presencia en una mayor cantidad de clorita e hidragilita se ha de tener en cuenta como presunto responsable que no sedimentan las partículas presentes en la pulpa limoníticas.

De los resultados del análisis granulométricos (según en la tabla 4) vemos que al separar por medio del cribado en las fracciones (μm) +90; -90+71; -71+45; -45 existe un predominio de la fracción fina -45 μm variando entre 82 - 87 % en peso de esta fracción y la misma va aumentando relativamente desde los niveles L-1 al L-7; mientras la fracción mas gruesa presenta un % mucho menor que la fracción fina, enriqueciéndose los niveles inferiores en esta fracción.

En la separación microgranulométrica por el método de levigación se comprobó que la fracción -45+10 μm el contenido de la misma es elevado variando este valor entre 93 - 97%.

Los resultados del análisis se corresponden con los trabajos realizados anteriormente [8].

Se detecto que en los trabajos de preparación de la muestra que en las fracciones más fina -45 μm se concentra una fase mineral fuertemente magnetica que alcanza valores por encima del 90% en peso para esa fracción que al parecer es la fase mineral de magnetita, y en la fracción más gruesa +90 μm la parte magnetica no es tan

abundante, la mayor presencia del material es no magnética (ver tabla 5).

Como resultado del análisis espectral realizado a las fracciones (μm) +90;-71+45;-45 se comprobó:

- a) Que el níquel está presente en mayor concentración en la fracción -45 μm mientras que los menores contenidos se encuentran en la fracción +90 μm .
- b) El comportamiento del Co era diferente pues el mismo se concentra en la fracción +90 μm y -71+45 μm fundamentalmente en la primera, mientras que sufría una disminución significativa de su contenido en la fracción -45 μm .
- c) El Mn se concentra mayoritariamente en la fracción -71+45 pues según el espectro se encontraba en esta fracción de la mayor intensidad de la línea espectral de este elemento.
- d) Se detectó que el Fe se concentra en la fracción -45 μm , mientras que en las demás fracciones no se puede valorar su comportamiento, lo mismo le sucede al Al.
- e) El Mg, por su parte, se concentra en la fracción +90 μm , la fracción que contiene menor es -45 μm .

Los resultados del análisis Químicos cuantitativos se deben enfocar de dos formas diferentes:

1)_ El enfoque granulométrico, se determina si existe concentración de un elemento en una fracción dada, por este podemos emitir ciertos criterios:

_ Al igual que en el análisis espectral, el níquel se concentra en un mayor % en la fracción fina encontrándose de 1.26 - 1.41 % en esta fracción; mientras que en las

fracciones gruesas existe una disminución del contenido de este elemento. (Ver tabla 6).

_ El Co también presenta un comportamiento similar a los resultados del análisis espectral debido a que en las fracciones gruesas existe una mayor concentración de este elemento variando aproximadamente de 0.20 - 0.58 %, sin embargo en las fracciones finas el Co sufre una significativa disminución en su contenido presentandose entre los valores de 0.046 - 0.088 %.

_ El Mn se comprobó que este elemento se concentra en la fracción -71+45 μ m con valores de 1.07 - 1.52 %; sin embargo se aprecia que en la fracción +90 μ m existe el mayor contenido de este elemento de 3.15 - 3.30 %.

_ Existe un alto contenido de Fe en las fracciones finas lo que indica que los resultados del análisis mineralógico se corresponden a esos resultados, pues el gran contenido de hierro en la muestra esta dado por la presencia de gran cantidades de minerales de hierro como son: goethita, magnetita maghemita y hematita.

2)_ Enfoque por niveles, determinar si existe enriquecimiento según la granulometría del Ni,Co en un nivel determinado.

Nivel L-1.

_ El contenido de Ni tiende a aumentar con la disminución de la granulometría existiendo una alta concentración en la fracción -45+10 μ m; mientras que el Co presenta un comportamiento contrario al Ni pues se concentra en la fracciones gruesas.

Nivel L-2.

_ En la fracción -90+71 el Ni presenta una disminución en su contenido igual a 0.42 % y sus valores elevados en su concentración aparecen en la fracción fina; el Co sufre un incremento en la fracción -90+71 disminuyendo su contenido hacia las fracciones finas.

Nivel L-3.

_ En este nivel el contenido de Ni no varia en las fracciones más finas mientras que el Co sigue su tendencia a disminuir.

Nivel L-4.

_ El Ni no sufre cambios con respecto a los demás niveles y el Co se comporta parecido al nivel L-2.

Nivel L-6.

_ En este nivel no existe una distribución no uniforme del Ni por fracciones mientras que el Co se comporta parecido al nivel L-1.

CONCLUSIONES.

1.- Las fases mineralógica de la pulpa limonítica son la goethita que constituye el mineral principal y que como fase secundaria aparece la magnetita, maghemita, hidrargilita, hematita, antigorita y cuarzo; esta composición es homogénea para casi todos los niveles en el espesador.

2.- En el trabajo realizado en un momento de mala sedimentación se determinó que la fase mineralógica hidrargilita se encuentra en mayor intensidad que en nuestro trabajo por lo que podemos predecir que constituye un obstáculo en el proceso de sedimentación.

3.- En la composición granulométrica de la pulpa existe el predominio de la fracción $-45+10 \mu m$ hallándose los valores por encima del 90% de la muestra.

4.- Existe diferencia en cuanto a la granulometría del material que se sedimenta por nivel ya que existe un empobrecimiento de las fracciones gruesas de niveles inferiores a los superiores; mientras que la fracción fina se encuentra concentrada en los niveles superiores del espesador.

5.- El níquel se concentra generalmente en los niveles superiores mientras que el cobalto se concentra en los niveles inferiores de la fracción gruesa.

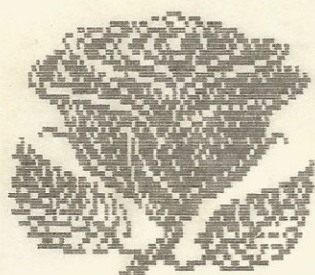
6.- El níquel se encuentra en mayores proporciones en las fracciones más finas entre 1.26 a 1.41%, sin embargo el cobalto se presenta concentrado en las fracciones gruesas.

RECOMENDACIONES:

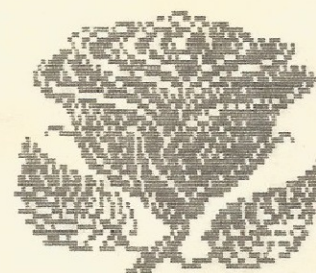
- 1.- Realizar un estudio más detallado de las fracciones magnéticas.
- 2.- Para este problema de sedimentación se hace necesario estudiar las muestras con otras técnicas además de la difracción de rayos X y análisis químicos normales como son: microscopía electrónica, método que determine la composición iónica de la pulpa y el pH entre otros.
- 3.- Realizar análisis químico por métodos especiales que me determine el contenido de aluminio en ambos momentos de sedimentación pues por el método que se realiza el análisis químico en la actualidad no se determina el contenido de este elemento que al parecer tiene una influencia negativa en la sedimentación.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.-Alvarez Gutierrez Heriberto. Estudio de la sedimentación a escala semi-industrial. Trabajo de Diploma. Biblioteca. I.S.S.M.
- 2.-Díaz Mauriño C. Inicialización práctica de la mineralogía. Editorial Alhambra, 1976.
- 3.-Falcón Hernández José. Consideraciones sobre la sedimentación de la pulpa limonítica en la planta "Pedro Sotta Alba". Minería y Geología. 2/1983. 224 p.
- 4.-García Sanchez José. Influencia de la Preparación de la pulpa en la velocidad de sedimentación. Trabajo de Diploma. Biblioteca. I.S.S.M.
- 5.-Hernández Alberto. Influencia de la composición iónica de la pulpa en la velocidad de sedimentación. Trabajo de Diploma. Biblioteca. I.S.S.M.
- 6.-Metalurgia Extractiva de los minerales oxidados de níquel. CIPIM.
- 7.-Otero J.L. Operaciones de separación en metalurgia extractiva, editorial alhambra. 1976.
- 8.-Peña Sillero Enríques. Estudio de la sedimentación fraccional. Trabajo de Diploma. Biblioteca. I.S.S.M.
- 9.-Ronda Oro A. Caracterización mineralógica de la pulpa limonítica de los espesadores de la "Pedro Sotta Alba". Trabajo de Diploma. Biblioteca I.S.M.M.



Anexo



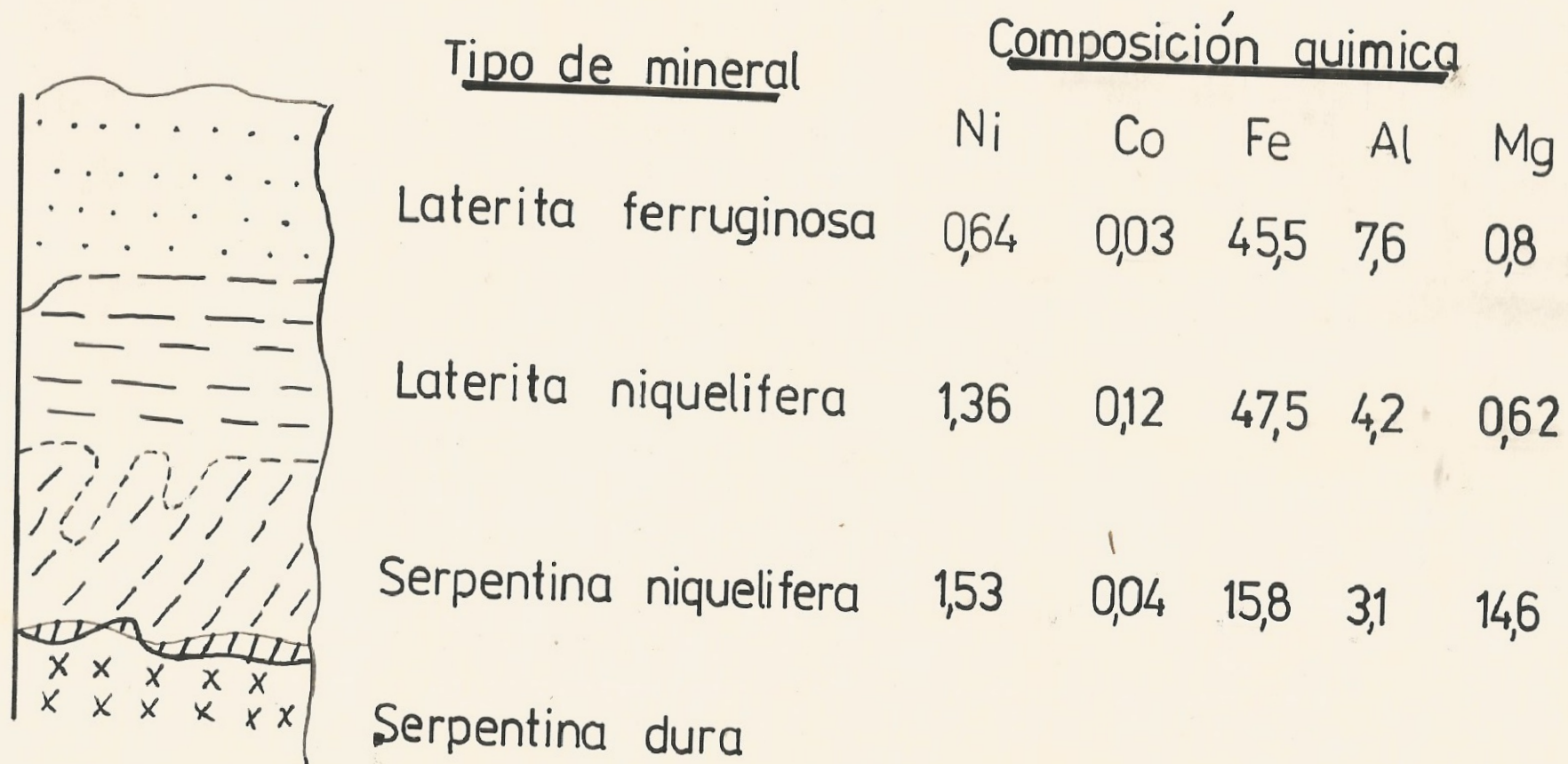
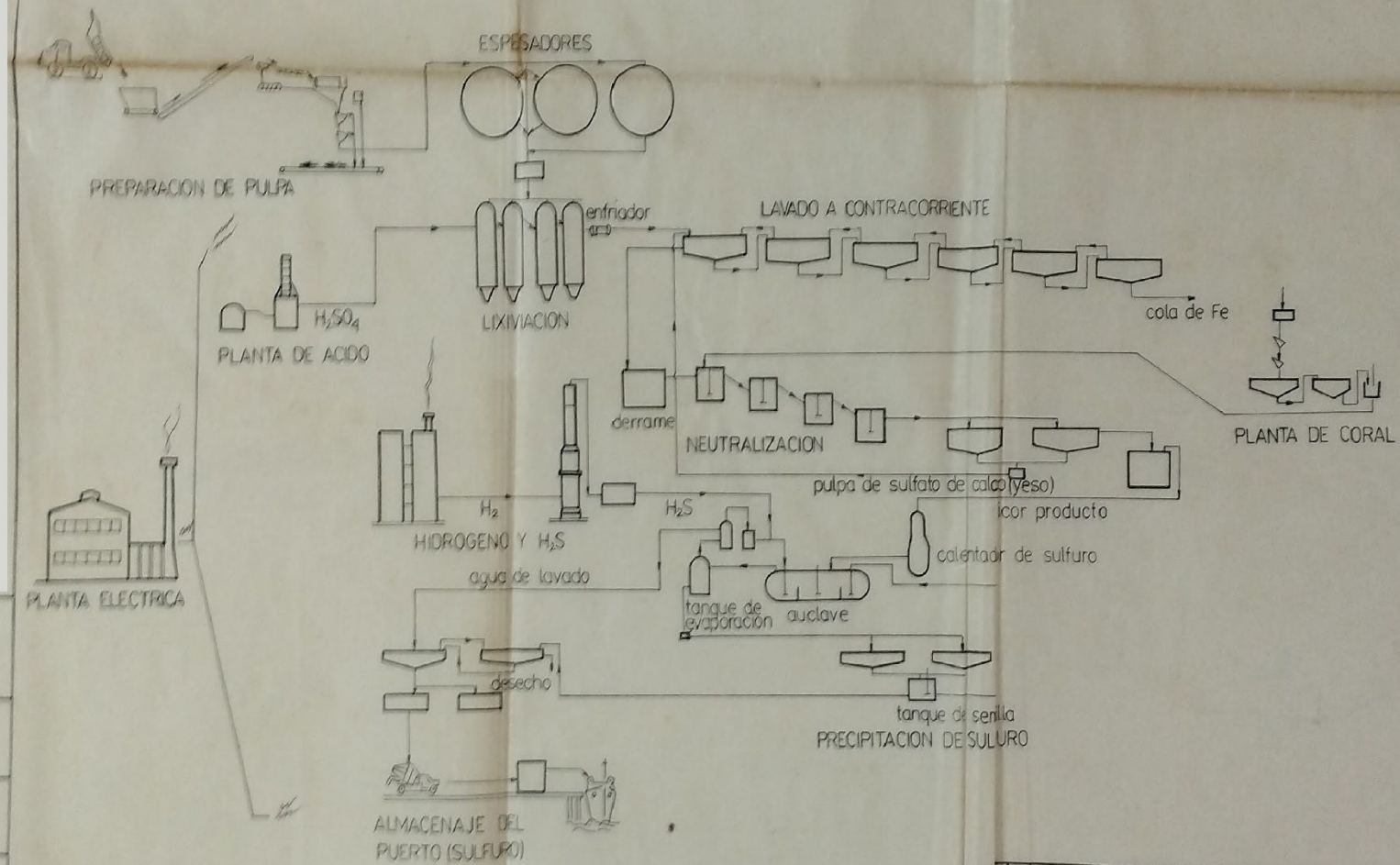


Fig 1. Corte geológico de la zona de explotación



																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

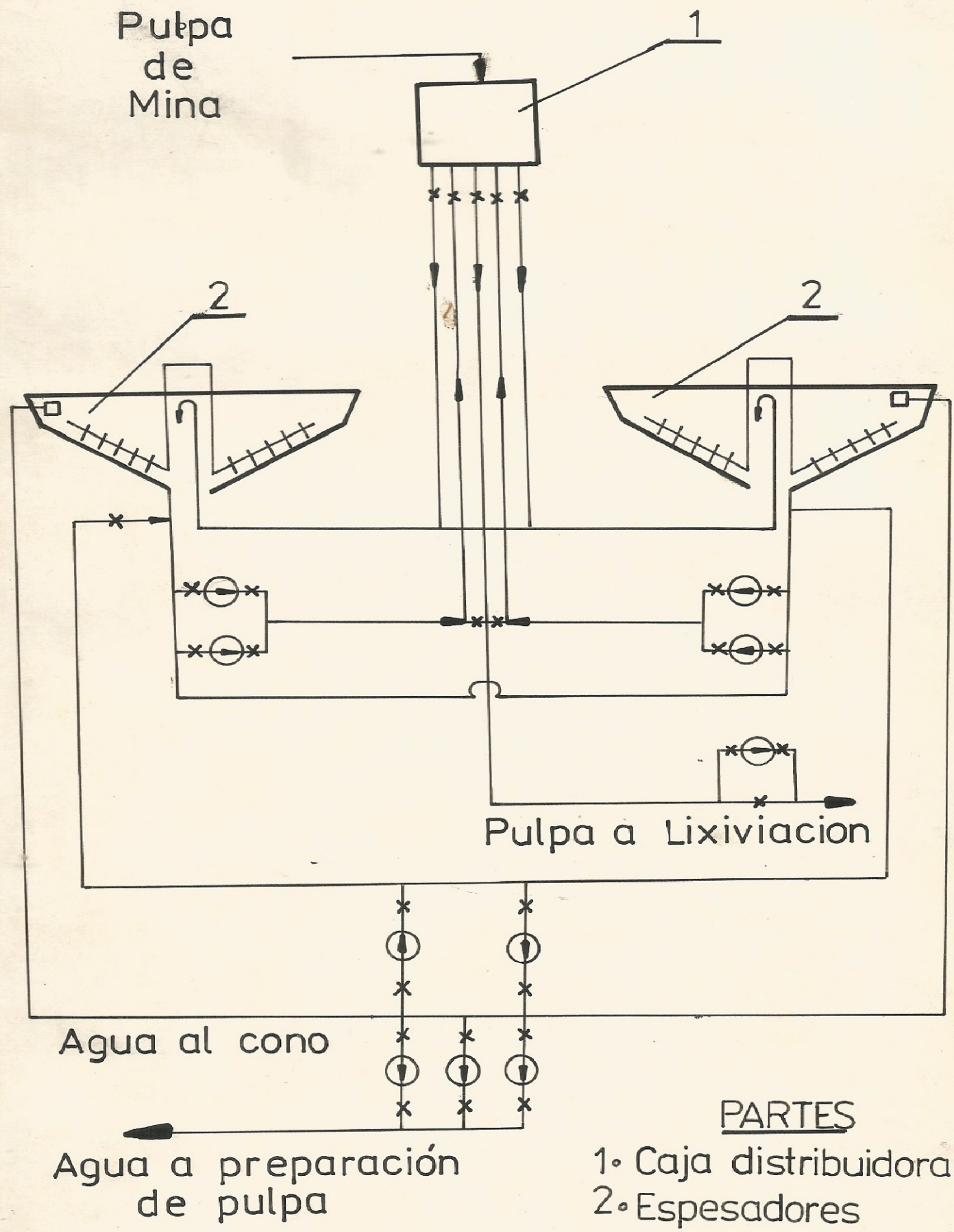


Fig 3. Flujo tecnológico de Espesadores de pulpa

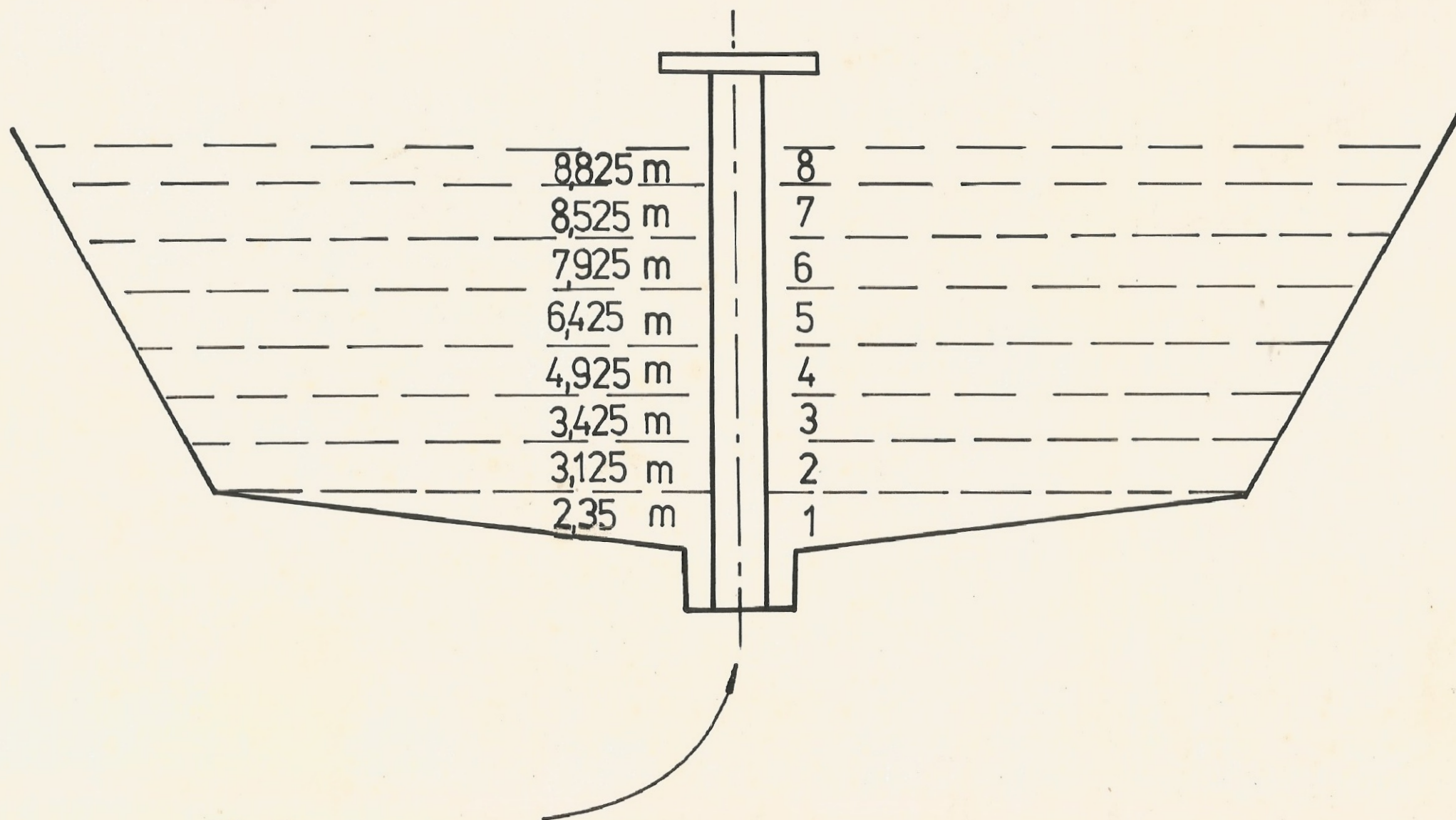


Fig 5 Niveles de toma de muestra en el espesador.

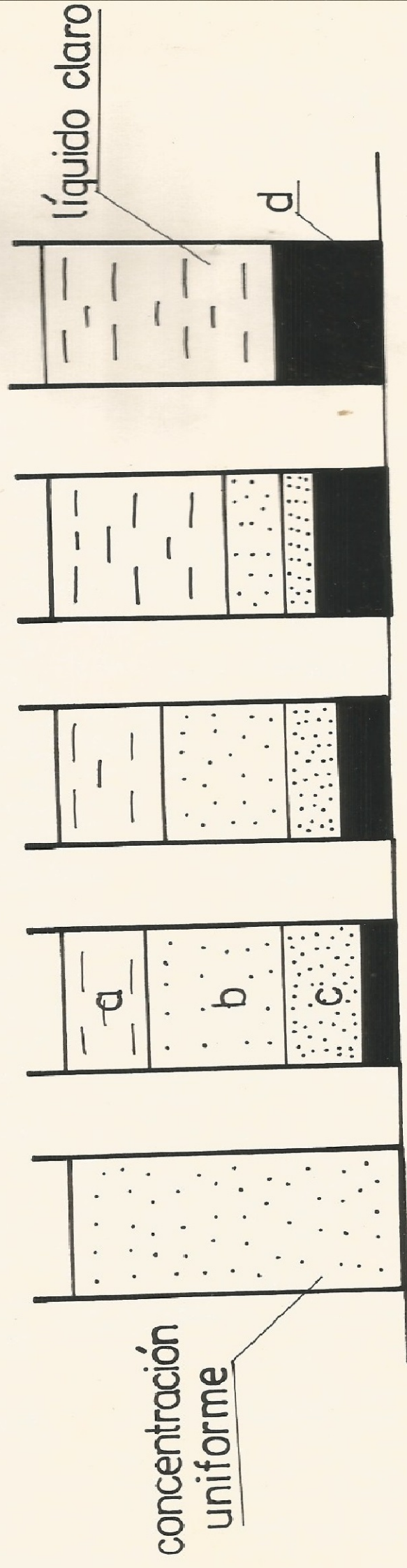


Fig 6 • Caso típico de la sedimentación discontinua

FIGURA 7
ESQUEMA UTILIZADO
PARA EL DESARROLLO DEL
TRABAJO

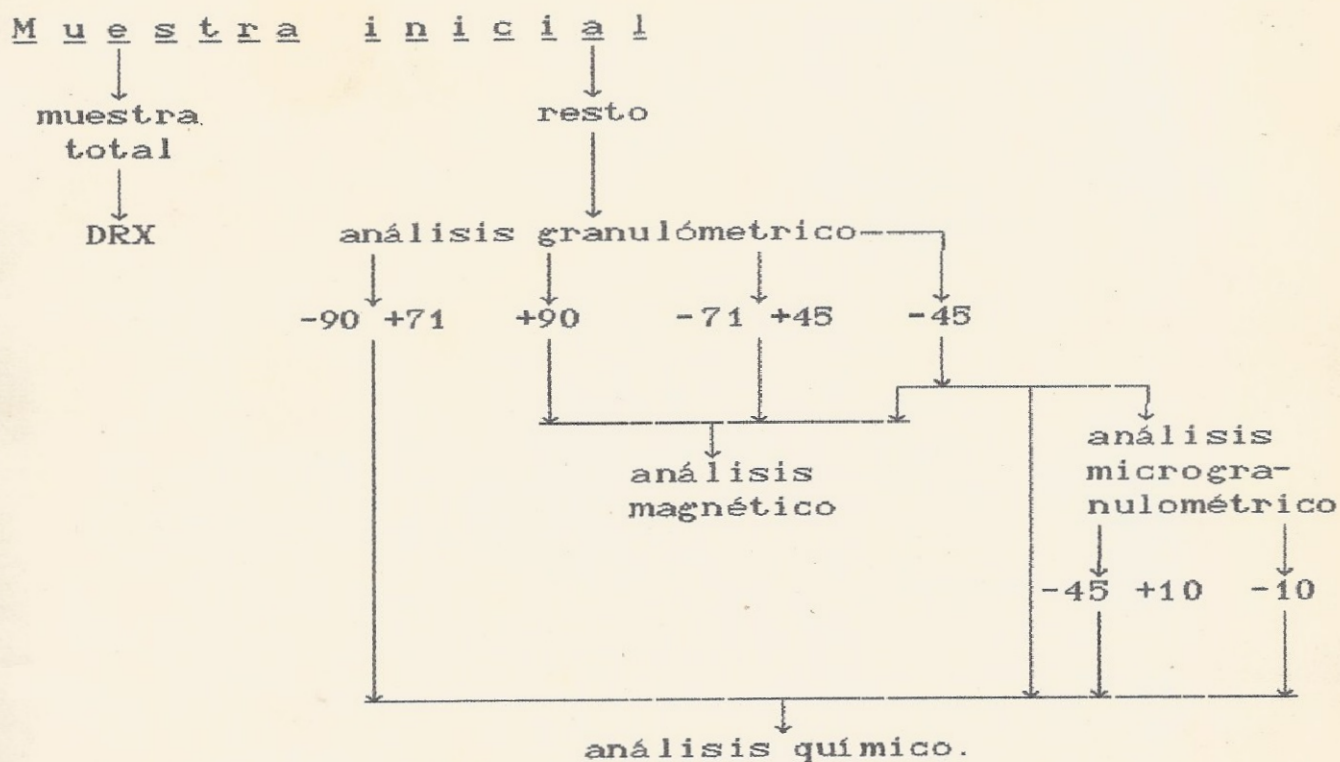


TABLA N^{ro} 2. PATRONES USADOS PARA LA IDENTIFICACION DE LAS FASES MINERALES POR DIFRACCION DE RAYOS X (SEGUN ASTH).

Goethita (Fe ₂ O ₃ H ₂ O)		Hemetita (Fe ₂ O ₃)		Hidrargilita (Al ₂ O ₃ H ₂ O).	
D	I	D	I	D	I
4.98	12	3.36	25	4.82	100
4.18	100	2.69	100	4.34	40
3.38	10	2.51	50	4.30	20
2.69	35	2.28	2	3.35	10
2.58	12	2.20	30	3.31	6
2.49	10	2.07	2	3.17	8
2.45	50	1.83	40	2.44	16
2.25	14	1.69	60	2.37	20
2.19	18	1.484	35	2.03	12
1.71	20			1.98	10
1.56	10			1.79	10

Magnetita. (Fe ₃ O ₄)		Cuarzo. (SiO ₂)		Maghemita.	
D	I	D	I	D	I
4.85	8	4.26	35	2.95	34
2.96	30	3.34	100	2.78	19
2.53	100	2.45	12	2.52	100
2.42	8	2.28	12	2.08	24
2.09	20	2.23	6	1.70	12
1.71	10	2.12	9	1.61	33
1.61	30	1.98	6	1.48	53
1.48	40	1.54	15	1.09	19

Antigorita
D I

7.33 100

4.6 50

3.66 100

2.62 30

2.50 100

2.14 60

1.96 70

Leyenda

D Distancia interplanar.

I Intencidades relativas.

H hematita.

G Goethita.

M Magnetita.

Mh Maghemita.

C Cuarzo.

Hi Hidrargilita.

An Antigorita.

TABLA Nro 3. RESULTADOS DE RAYOS X PARA LAS MUESTRAS
 TOTALES.

Muestra total L-1.				Muestra total L-2.			
Pico	d(a)	Io	Fase mineral	Pico	d(a)	Io	Fase mineral
1	7.207	19.81	Ant.	1	1.13	20	Ant.
2	4.84	50.9	Hi.	2	4.84	52.73	Hi.
3	4.37	33.9	Hi.	3	4.37	28.93	Hi.
4	4.15	100	G.	4	4.16	100	G.
5	3.35	22.64	C,Hi.	5	3.33	14.55	C,Hi.
6	2.95	20.75	M,Mh	6	2.94	32.73	M,Mh.
7	2.68	49.06	G,H	7	2.68	47.27	G,H
8	2.57	28.2	G	8	2.57	20	G.
9	2.508	79.24	M,Mh	9	2.508	80.0	M,Mh.
10	2.43	85.28	G.	10	2.44	72.73	G.
11	2.24	28.3	G.	11	2.24	29.09	G.
12	2.19	24	G.	12	2.18	29.09	G.
13	2.08	11.1	Mh,M.	13	2.08	16.36	M,Mh.
14	1.707	32.4	G,H.	14	1.79	16.36	Hi.
15	1.604	16.98	M,Mh.	15	1.70	25.45	G,H
16	1.55	18.16	C.	16	1.68	25.6	H.
				17	1.60	29.09	M,Mh.

Muestra total L-3.				Muestra total L-4.			
Pico	d(a)	Io	Fase mineral	Pico	d(a)	Io	Fase mineral
1	4.84	48.15	Hi.	1	4.82	41.18	Hi.
2	4.16	100	G.	2	4.16	100	G.
3	2.94	24.07	M,Mh.	3	3.39	20.41	C,Hi.
4	2.68	50.93	G,H.	4	2.94	20.41	M,Mh.
5	2.57	24.32	G.	5	2.68	58.98	G,H.
6	2.51	85.18	M,Mh.	6	2.57	19.59	G.
7	2.43	83.33	G	7	2.51	79.59	M,Mh.
8	2.24	27.78	G.	8	2.44	83.67	G
9	2.18	25.93	G	9	2.24	30.61	G.
10	2.08	13.89	M,Mh	10	2.18	30.61	G.
11	1.71	29.63	G,H	11	2.12	77.35	Mh.
12	1.608	18.52	M,Mh.	12	2.08	17.92	M,Mh.
13	1.55	16.67	C.	13	1.70	36.33	G,H.
				14	1.602	18.36	M,Mh.

Muestra total L-5.				Muestra total L-6.			
Pico	d(a)	Io	Fase mineral	Pico	d(a)	Io	Fase mineral
1	4.86	45.28	Hi.	1	4.86	30.18	Hi.
2	4.17	100	G.	2	4.37	18.87	Hi.
3	3.37	16.98	C,Hi.	3	4.16	100	G.
4	2.95	26.41	M,Mh.	4	3.34	15.09	C,Hi.
5	2.68	50.94	G,H.	5	2.95	18.17	M,Mh.
6	2.56	26.32	G.	6	2.68	47.17	G,H.
7	2.51	81.13	M,Mh	7	2.56	24.52	G.
8	2.44	80.75	G.	8	2.508	64.15	M,Mh.
9	2.24	52.28	G.	9	2.44	79.24	G.
10	2.18	26.41	G.	10	2.24	28.30	G.
11	2.08	17.23	M,Mh.	11	2.19	31.13	G.
12	1.99	13.20	C.	12	2.04	16.98	M,Mh.
13	1.707	30.18	G,H.	13	1.71	53.06	G,H.
14	1.606	13.2	M,Mh.	14	1.60	15.09	M,Mh.
15	1.55	16.98	C.	15	1.56	18.86	C.

Muestra total L--7.

<i>Pico</i>	<i>d(a)</i>	<i>I_o</i>	<i>Fase mineral.</i>
1	4.86	50.90	Hi.
2	4.16	100	G.
3	3.35	21.82	C,Hi.
4	2.95	21.82	M,Mh.
5	2.68	51.27	G,H.
6	2.56	25.45	G.
7	2.508	63.99	M,Mh.
8	2.44	83.64	G.
9	2.24	29.09	G.
10	2.19	27.27	G.
11	2.08	11.21	M,Mh.
12	1.71	30.9	C,H.
13	1.604	17.73	M,Mh.
14	1.56	14.55	C.

TABLA # 4. Resultados de los análisis granulométrico por tamización.

Clases micrones	Muestra	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-6	L-7
+ 90	Cantidad	14.0	8.63	7.36	6.18	6.56	2.77	2.92
	% Peso	11.32	9.87	11.92	10.61	9.75	6.02	6.66
-90 + 71	Cantidad	1.72	1.73	1.07	2.08	1.3	0.77	1.42
	% Peso	1.39	1.98	1.73	3.57	1.93	1.68	3.24
-71 + 45	Cantidad	5.59	3.33	2.14	1.94	3.51	2.26	1.36
	% Peso	4.52	3.81	3.47	3.33	5.22	4.91	3.1
- 45	Cantidad	102.33	73.76	51.73	48.27	55.88	40.2	38.14
	% Peso	82.77	84.34	82.88	82.49	83.1	87.39	87.0
Total	Porciento	100	100	100	100	100	100	100

Resultados de análisis microgranulométrico por levigación.

Clases micrones	Muestra	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-6	L-7
-45 + 10	Cantidad	22.7	22.34	21.79	22.16	22.31	23.10	22.46
	% Peso	96.1	96.71	94.41	93.27	94.61	96.73	94.09
- 10	Cantidad	0.92	0.76	1.29	1.6	1.27	0.78	1.41
	% Peso	3.90	3.29	5.59	6.73	5.39	3.27	5.91
Total	Porciento	100	100	100	100	100	100	100

TABLA # 5. Resultados del análisis magnetico.

Clases micrones	Muestra	Magnetica		No magnetica	
		Cantida	% Peso	Cantidad	% Peso
+ 90	L1	3.11	25.55	9.06	74.42
	L2	2.73	34.6	5.16	65.40
	L4	1.62	28.22	4.12	71.78
	L6	0.83	31.92	1.77	68.08
	L7	0.68	28.45	1.71	71.55
-71 + 45	L1	1.39	29.76	3.28	70.24
	L2	0.91	35.83	1.63	64.17
	L4	0.44	26.99	1.19	73.01
	L6	0.42	21.11	1.43	77.89
	L7	0.22	20.56	0.85	79.44
- 45	L1	2.08	90.13	0.21	9.17
	L2	2.91	95.10	0.15	4.90
	L4	3.53	97.78	0.08	2.22
	L6	3.22	95.55	0.15	4.45
	L7	6.68	99.25	0.05	0.73

TABLA # 6 Resultados del análisis químico.

Fracción micrones	Nivel	% Niquel	% Cobalto	% Manganeso	% Oxido Magnesio
+ 90	L1	0.95	0.462	0.13	2.5
	L2	0.63	0.282	1.55	1.2
	L3	0.95	0.412	2.31	2.0
	L4	0.33	0.294	0.51	0.5
	L5	0.80	0.172	1.04	0.7
	L6	1.33	0.588	3.15	0.9
	L7	1.32	0.586	3.30	1.3
-90 + 71	L1	0.95	0.260	1.44	1.3
	L2	0.42	0.566	0.15	1.1
	L3	0.97	0.280	1.54	1.2
	L4	0.61	0.154	0.78	0.7
	L5	1.15	0.298	1.71	1.2
	L6	0.57	0.286	0.15	1.1
	L7	0.61	0.112	0.62	2.0
-71 + 45	L1	0.89	0.208	1.07	1.0
	L2	0.96	0.204	1.12	1.2
	L3	0.96	0.220	1.14	1.3
	L4	1.08	0.264	1.36	1.6
	L5	1.20	0.234	1.26	1.2
	L6	1.15	0.254	1.52	0.7
	L7	1.30	0.274	1.50	0.8

Continuación de la tabla # 6

Fracción micrones	Nivel	% Niquel	% Cobalto	% Manganeso	% Oxido magnesio
- 45	L1	1.26	0.088	0.58	5.9
	L2	1.32	0.080	0.59	0.9
	L3	1.30	0.082	0.57	1.8
	L4	1.31	0.078	0.57	1.0
	L5	1.34	0.084	0.62	0.8
	L6	1.41	0.088	0.66	0.9
	L7	1.35	0.070	0.55	0.6

Fracción micrones	Niquel	% Ni	% Co	% Fe	% Mn	% MgO
-45 + 10	L1	1.26	0.048	45.7	0.74	1.3
	L2	1.26	0.078	48.7	0.57	1.3
	L3	1.32	0.076	50.5	0.57	0.8
	L4	1.30	0.070	40.7	0.56	0.9
	L5	1.30	0.082	40.7	0.58	0.8
	L6	1.32	0.058	46.5	0.54	0.8
	L7	1.30	0.080	44.0	0.61	1.0
- 10	L1	1.30	0.046	44.0	0.46	1.2
	L2	1.22	0.060	44.7	0.49	0.9
	L3	1.32	0.026	45.5	0.49	1.0
	L4	1.37	0.054	39.7	0.49	0.9
	L5	1.30	0.064	43.2	0.53	1.0
	L6	1.28	0.056	47.2	0.53	0.9
	L7	1.41	0.064	42.5	0.54	2.5