

REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO

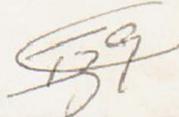
TRABAJO DE DIPLOMA

TITULO: "ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LA
PULPA LATERITICA INFLUYENTES EN PROCESO DE HIDRO--
TRANSPORTE".

DIPLOMANTE: Silvia Margarita Noval Milián



TUTORES: Ing. Raúl Izquierdo Pupo



Ing. Raimundo Rodríguez González



Moa - 1988

"AÑO 30 DE LA REVOLUCION"

DEDICATORIA

A MIS PADRES QUE CON SU ESFUERZO, AMOR
Y DEDICACION HAN CONTRIBUIDO AL DESA--
RROLLO DE MI FORMACION.

A G R A D E C I M I E N T O

AGRADEZCO EL APOYO Y LA AYUDA BRINDADA POR LOS ING. RAUL IZQUIERDO PUPO Y REIMUNDO RODRIGUEZ GONZALEZ, - POR SU ESFUERZO Y COLABORACION DIRECTA EN LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO DE DIPLOMA.

AL TECNICO ALBERTO TURRO BREFF POR LA AYUDA BRINDADA EN EL MISMO.

A MIS PADRES QUE CON ESTE TRABAJO OBTIENEN EL FRUTO DE SUS SACRIFICIOS.

Y ADEMAS A TODOS LOS QUE DE UNA FORMA U OTRA HAN -- CONTRIBUIDO A LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

GRACIAS.

RESUMEN DEL TRABAJO

En el presente trabajo se analizaron diferentes aspectos importantes de las propiedades físico-mecánicas de la pulpa laterítica influyentes en el proceso de hidrotransportación.

Se estudiaron y analizaron las características del mineral limonítico utilizado en el proceso de la planta de preparación de pulpa de la fábrica Pedro Sotto Alba, entre ellas se analizaron, la granulometría, humedad del material, densidad del mineral, así como las velocidades de caída libre y contrareada del mineral laterítico.

También se llevaron a cabo análisis para determinar la variación de la velocidad de sedimentación con la variación de la granulometría, así como la efectividad del lavado en la planta de preparación de pulpa y la influencia de los residuos de arena en la pulpa durante el proceso de sedimentación e hidrotransporte.

Además se realizaron experimentos de determinación del ángulo de reposo natural del material seco y húmedo con vista a la instalación de la nueva línea de transporte de la pulpa desde la planta de pulpa (en proyecto) hacia espesadores.

INTRODUCCION

CAPITULO	I.	Situación de los procesos de beneficio e hidrotransporte en la empresa "Cmdte. Pedro Sotto Alba".	
1.1		Proceso de Preparación de la Pulpa y Sedimentación.	- 1 -
1.2		Hidrotransporte de la pulpa.	- 11 -
1.3		Proyecto MOA - Oriental.	- 14 -
1.4		Objetivos y Tareas del Trabajo	- 17 -
CAPITULO	II.	Determinación de las posibilidades físico-mecánicas del mineral laterítico.	
2.1		Características del mineral.	- 18 -
2.2		Determinación de la humedad y composición granulométrica del mineral.	- 22 -
2.3		Determinación de la densidad del mineral utilizado.	- 24 -
2.4		Metodología utilizada para elaborar los datos experimentales por métodos estadísticos.	- 26 -
2.5		Determinación de la velocidad de caída libre de las partículas de mineral.	- 29 -
2.6		Determinación de la velocidad de caída contrariada para una concentración de 25 % de sólido.	- 35 -
CAPITULO	III.	Preparación de la pulpa e hidrotransportación en la empresa "Cmdte. Pedro Sotto Alba".	
3.1		Lavado del mineral en la planta de Preparación de Pulpa.	- 38 -
3.2		Molienda del mineral durante el hidrotransporte.	- 44 -
3.3		Comportamiento del pH.	- 46 -

I N D I C E:

Pág.

3.4	Influencia de los residuos de arena de la pulpa en los procesos de <u>sedimentación</u> e hidrotransportación.	- 47 -
CAPITULO IV.	Determinación del ángulo de reposo-natural del mineral húmedo.	
4.1	Fundamentos teóricos sobre el <u>cálculo</u> del ángulo de inclinación permisible en las tuberías magistrales.	-55-
4.2	Descripción de la Instalación.	-57-
4.3	Ensayos realizados y análisis de -- los resultados experimentales.	-57-
RECOMENDACIONES		-61-
CONCLUSIONES		-62-
BIBLIOGRAFIA		-63-

I N T R O D U C C I O N

El objetivo esencial de la industria del níquel cubano en los -- años venideros será el incremento de la producción de los productos de níquel más cobalto, trabajando por su diversificación para lograr mejores precios y consolidar el prestigio de Cuba en ese importante renglón de la economía nacional.

Del programa del partido se plantea que en la metalurgia no ferrosa se priorizará la creación de nuevas capacidades productivas y la rehabilitación de las plantas existentes para la producción y diversificación de los productos del níquel y cobalto con calidad y valores superiores.

Actualmente Cuba produce sulfuro de níquel y cobalto con un 50 % de níquel y 4,5 % de cobalto, níquel sinterizado con un 86 % de níquel, óxido de níquel en polvo y níquel granular y nodular con 76 % de pureza. Se producirá el sulfuro de níquel y cobalto enriquecido con un porcentaje mayor de cobalto, lo que elevará el valor del producto y servirá para mejorar la calidad del níquel de las plantas que trabajan por el sistema carbonato amoniacal.

El incremento y diversificación de las producciones de Níquel y Cobalto traerán beneficios al país. En el programa del partido se expresa que la producción metalúrgica debe alcanzar lo máximo posible en el afán de sustituir importaciones, y se vislumbra la posibilidad de lograr la integración de producciones siderúrgicas con los países socialistas y latinoamericanos y el incremento de la colaboración, además, se prevee el impulso a la producción de aceros especiales; y en todo esto nuestro níquel es determinante; a la larga la transformación del producto puede multiplicar su valor y crecer la demanda en el mercado mundial y por ende el beneficio económico para nuestro pueblo.

El transporte hidráulico constituye un tema de actualidad y de gran importancia para el desarrollo de la industria niquelífera, como premisas fundamentales para crear la base material y técnica del socialismo. Por la gran efectividad y las ventajas que presenta la hidrotransportación respecto a los demás tipos de transporte reviste gran importancia el estudio de las propiedades físico-mecánicas de la pulpa laterítica en el proceso de hidrotransporte que serán empleados en la industria, por esta razón los resultados obtenidos en este trabajo pueden ser utilizados en la proyección de los sistemas de transporte hidráulico de mineral limonítico en procesos tecnológicos industriales.

C A P I T U L O - I

I.- SITUACION DE LOS PROCESOS DE BENEFICIO E HIDROTRANSPORTE- EN LA EMPRESA "CMDTE. PEDRO SOTTO ALBA".

1.1.- Procesos de Preparación de la Pulpa y Sedimentación.

1.1.1- Características de la línea de transporte de la pulpa -- cruda.

La línea de transporte de la pulpa cruda está situada en el tramo que une la planta de pulpa con espesadores, ésta posee una - longitud aproximada de 4 600 m y 610 mm de diámetro. En casi toda su longitud está construida de concreto especial con un tramo intermedio de 135 m de tubería de acero.

A todo lo largo de la tubería, nos encontramos con la existencia de 53 registros, y dos puntos de toma de muestra situados - en los extremos. Dichos registros también llamados pozos de retensión, son especies de cajas construidas de concreto. En su - interior podemos encontrar las zonas de carga y descarga del mineral, cuya distancia varía acorde a la profundidad con que sehalla construido el registro. Estos pozos de retención que a su vez están unidos por tuberías a diferentes distancias y pendientes respecto al nivel del mar, tiene como objetivo disminuir la velocidad a que se transporta la pulpa, a la vez que contribuye a evitar los choques bruscos de la pulpa tratada, que está construida de un 80-85 % de partículas menores de 0,833 mm.

1.1.2- Descripción del proceso tecnológico del proceso de la -- planta de Preparación de Pulpa.

La Planta de Preparación de Pulpa es la primera planta o unidad de producción del complejo hidrometalúrgico Comandante Pedro Sotto Alba.

La misma tiene 2 funciones fundamentales que son:

- 1.- Llevar a cabo la separación del mineral serpentínico del -- limonítico.

2.- Formar una pulpa acuosa entre un 25-26 % de sólido, la cual es enviada por gravedad hacia la planta de espesadores de pulpa.

El mineral es recibido de la mina directamente en camiones con capacidad de 17 000 kg de mineral, las cuales descargan en el embudo del transportador Yamanigüey. Debajo del embudo o tolva de recepción (1), se encuentra el alimentador de esteras FD-2 (2), el cual descarga el mineral a la machacadora de rodillos RC-2 (4), mediante una criba estacionaria (3), permitiendo ésta la separación de las fracciones mayores de 250 mm. pasando las de menor tamaño (cernido) directamente al transportador de enlace CO-7 (5).

Las partículas mayores de 250 mm, pasan a la machacadora y una vez triturada se descarga sobre el transportador principal CO-8 (6), este asegura la llegada del mineral a la planta de preparación de pulpa, donde hay una tolva de tipo by pass, que es accionada manualmente para el caso en que la planta opere con los 2 trenes, en la alimentación es utilizado el transportador-alimentador CO-9 (7), el cual se encuentra situado a continuación del transportador principal CO-8. Cuando se producen interrupciones en la mina, la tolva del tren 2 es alimentada por una grúa, que toma el mineral del depósito situado a un lado del punto de recepción.

De la tolva de alimentación (8), el mineral cae por gravedad a las demás tolvas, de donde es extraído mediante alimentadores de esteras FD-1 A y B (9), de velocidad variable y es descargado en los transportadores de alimentación CO-4 A y B (10), la regulación de la cantidad de mineral a la planta se realiza controlando la velocidad de los alimentadores de esteras.

Cada transportador descarga en las cribas vibratorias SN 2A y 2B (11), los cuales tienen una rejilla fija con aberturas de --

127 mm cada una y que utilizan roceadores de agua a presión para ayudar a separar las partículas finas de las rocas y romper las bolas de fango.

Las rocas mayores de 127 mm procedentes de las cribas son descargadas a los canales fijos que la depositan en el cilindro lavador SB-1 (13), donde son lavadas y se rompen los aglomerados de arcilla.

La fracción que después de este proceso mantienen un tamaño superior a 127 mm, se descargan en el triturador de quijada CR-1 (14) y son trituradas en fracciones menores de 127 mm y caen dentro del transportador colector de rechazo C0-2 (18), que a su vez descargan en los transportadores de rechazo C0-5 (19) y C0-6 (20). La fracción menor de 127 mm procedente de las cribas vibratorias fluyen hacia los lavadores de paleta LW-1A-1D (15).

El caudal de cada una de las cribas vibratorias se divide en 2 partes iguales, de manera que cada criba alimenta a dos lavadoras, en esta se mezcla el mineral con agua, para producir una pulpa uniforme con concentración aproximada de 25-28 % de sólido.

Las lavadoras descargan en las zarandas primarias SN-3A y 3D (16), el producto menor de 127 mm proveniente del cilindro lavador, también se descarga en las zarandas 3B y 3C. Estas zarandas poseen ranuras de 10 mm en el enrejado. El material proveniente de estas lavadoras es lavado sobre el enrejado por rociadores planos a presión, las partículas que después de lavadas no logran atravesar la malla son descargadas directamente en el transportador colector de rechazo C0-2 (18).

La fracción menor de 10 mm descargada por cada zaranda primaria se divide en dos caudales, cada una de ellas alimenta a las 8 zarandas secundarias SN-4A-4H (17), las cuales son en esencia -

iguales a las primarias, pero están equipadas con mallas de aberturas de 0,833 mm. Las partículas mayores, que después de lavadas por los rociadores no logran atravesar las mallas son descargadas en el colector de rechazo C0-2.

La pulpa que contiene a los sólidos menores de 0,833 mm, atraviesan las mallas de las zarandas secundarias, representando así, el producto final con un 25 % de sólido; éstas caen al colector y son enviadas a través de una tubería de concreto de 610 mm de diámetro a la planta de espesadores de pulpas, siendo este transporte de mineral por gravedad. El agua de proceso en la planta proviene del reboso de los TK espesadores, desde donde es bombeada y enviada por medio de una tubería de retorno de agua.

El esquema de la planta se encuentra anexado al final del trabajo.

1.1.3- Proceso Tecnológico de la Planta Espesadores de Pulpa.

La Planta de Espesadores constituye el proceso final de elaboración de la pulpa que será posteriormente sometida al proceso de lixiviación. Esta planta cumple con las siguientes funciones fundamentales:

- 1.- Espesar la pulpa a la densidad óptima, para ser procesada en la planta de lixiviación.
- 2.- Servir como depósito de almacenamiento de pulpa, de manera que siempre exista una reserva de mineral en la fábrica y que garantice una operación ininterrumpida de la planta de lixiviación.

Proceso de esta Planta

La pulpa se alimenta desde planta de preparación de pulpa con un 25 % de sólido por una tubería de concreto especial de 610 mm (24-SN-50) con un último tramo de acero, que descarga en el distribuidor (114-DL-2), el cual se divide en 7 secciones que

le permiten realizar operaciones tales como:

- . Enviar la pulpa a uno o a los 3 espesadores.
- . Enviar la pulpa del fondo de espesadores a la sección de lixiviación y enviar el exceso a cualquiera de los espesadores o a ambos a la vez.
- . Recircular la pulpa del fondo al respectivo espesador.
- . Alimentar a lixiviación con la pulpa de un sedimentador y recircular la pulpa del otro.
- . Alimentar a lixiviación y recircular la pulpa de los 2 espesadores, mientras el otro está fuera de servicio.

El distribuidor también posee un comportamiento de emergencia - que permite rebosar en la superficie de un espesador si ocurriera una avería en la línea normal de alimentación al espesador, - o si se presentara una sobrecarga en la línea de alimentación - que viene de la mina.

En la operación normal la pulpa del distribuidor va a una línea soterrada de 24 pulgadas, que pasa por debajo del espesador y - sube por una columna para descargar en el pozo de alimentación.

En el espesador la pulpa sedimenta y es compactada y arrastrada hacia el cono de descarga por los brazos y mecanismos del sedimentador y desde el cono fluye por gravedad, a través de la tubería (16-SR-50) hacia las bombas (114-PU-3A,B,C y D) las cuales la elevan de nuevo al distribuidor (según proyecto), desde donde es enviada a la planta de lixiviación o recirculación al sedimentador. En el sistema actual las bombas antes mencionadas son las que impulsan la pulpa desde espesadores a lixiviación - sin pasar por el distribuidor.

El exceso de agua producida por el espesamiento de la pulpa sube a la superficie del sedimentador y pasa a la canal de reboso, de donde es conducida por la línea (24-WR-150) a las bombas

(114-PU-1A,B,C y D), las cuales la devuelven a través de la tubería (118-WO-250) a la planta de preparación de pulpa en la mina.

Para evitar accidentes causados por golpes de ariete del agua, en esta línea se ha instalado un tanque compensador (114-Ve-1), el cual se mantiene parcialmente lleno de aire comprimido, con ello se amortigua el impacto.

Los espesadores son tanques de forma cilíndrica y fondo cónico. Poseen diámetro de 106,5 m, con un área total de espesamiento de 7 850 m² y altura en su parte central de 11,7 m.

Dentro de los tanques espesadores, existen sendos 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 pero muy lentamente, ya que la pulpa en los espesadores debe mantenerse en reposo, para que ocurra la precipitación por gravedad 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 cono fluye por gravedad a través de tuberías hacia las bombas, las cuales la llevan de nuevo hacia la caja distribuidora o a la lixiviación directamente.

1.1.4- Sedimentación. Fundamento Teórico.

La sedimentación es un fenómeno que se puede encontrar presente en todo el proceso tecnológico de la fábrica Comandante Pedro Sotro Alba y la misma influye en la mayoría de las unidades

productivas que integran el proceso.

Se denomina sedimentación a la operación consistente en separar de una suspensión un fluido claro que sobrenada y un lado bastante denso, que contenga una elevada concentración de materia-sólida o también es la deposición por gravedad de partículas sólidas en un medio fluido y cuyas fuerzas impulsoras pueden ser cualquiera que actúan a distancia (gravitatorias, centrífugas, eléctricas y magnéticas) y cuyo medio es una suspensión en la que sus partículas pueden ser sólidos, líquidos o gaciosos, teniendo como condición que forme una fase distinta en el líquido suspensor.

En la industria la sedimentación de las suspensiones acuoso, es un proceso continuo, que se realiza en los llamados espesadores, que son grandes depósitos a los cuales llega ya sea por el centro, por el lateral, la suspensión o lado diluido y que permite el reboso del líquido que sobrenada separandolo del lodo espeso que sale por el fondo del aparato.

La velocidad decreciente de la altura de la superficie que separa el líquido claro que sobrenada de la capa de sólido en suspensión se denomina velocidad de sedimentación. Esta velocidad depende fundamentalmente del díametro de la partícula, peso específico de la partícula y del líquido, de la viscosidad y variación del porcentaje de sólido.

La teoría de sedimentación en espesadores se basa en la acción de la fuerza de gravedad y por tanto el diámetro de la partícula juega un papel primordial, por lo que se han deducido las siguientes fórmulas para diferentes diámetros de partículas.

Según Stokes

$$v = \frac{d^2 (\rho_{sol} - \rho_{Liq})}{18 \mu}$$

Se utiliza para partículas menores e iguales a 100 μ m, donde la relación L-S es ≥ 10 en caída libre.

Según Retengers

$$v = \frac{2g (\rho_{sol} - \rho_{liq})}{\rho_{liq}}$$

Se utiliza para partículas de 200 o más micrones.

Según Allene

$$v = \frac{25.8 (\rho_{sol} - \rho_{liq})^2}{\rho_{liq}} \cdot \frac{\rho_{liq}}{\mu}$$

Se utiliza para partículas entre 100 y 200 μ m.

donde:

- d - diámetro de las partículas
- ρ_{sol} y ρ_{liq} - densidad del sólido y del líquido
- g - aceleración de la gravedad
- μ - viscosidad

Estas fórmulas demuestran que a medida que aumenta el tamaño de las partículas y mayor sea la diferencia entre la densidad del sólido y la del líquido, resultará mayor la velocidad de sedimentación.

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

Para un sólido de partículas uniforme, todas las partículas caen con una velocidad aproximadamente igual y puede observarse una marcada línea de separación entre el líquido claro que sobrenada y el lodo, durante todo el desarrollo del proceso. Pero si la suspensión contiene partículas de tamaños diferentes, incluso algunas finas, entonces las partículas mayores se deposi-

tan más rápidamente y la línea de demarcación no resultará tan clara como en el caso anterior, por lo que el líquido que sobrenada aparecerá turbio y lechoso.

En cualquier caso, las partículas próximas al fondo del recipiente comienzan a amontonarse sobre el mismo, formando un lodo concentrado. La cantidad de lodo concentrado aumenta durante el desarrollo de la sedimentación.

Factores que influyen en la sedimentación:

- . Tamaño de las partículas y su densidad
- . Viscosidad
- . Temperatura
- . Fluidéz
- . Floculación
- . Sistemas coloidales

El empleo de floculantes y sistemas coloidales favorecen o recargan el proceso de sedimentación.

- . Tamaño de las partículas y su densidad.

Cuando en una suspensión existe mayor cantidad de partículas pequeñas que grandes, entonces el proceso de sedimentación tardará más, debido a que las partículas pequeñas tienden a mantenerse en suspensión, retardando el proceso. Por otra parte si la densidad de las partículas es inferior a la del fluido en la cual ésta se introduce, se elevará flotando en el seno del líquido y si es más densa se hundirá en el mismo. Esto es analizando el diámetro de las partículas y su densidad por separado. Si son partículas isódromas entonces poseerán la misma velocidad de caída.

- . Viscosidad

En este factor se refleja la existencia de una dependencia directa entre el tamaño de las partículas y su concentración.

Los flujos de los fluidos pueden ser laminares, turbulentos y de transición, en caso de flujo laminar las partículas son pequeñas, así como su velocidad de desplazamiento, en este caso la viscosidad del flujo constituye un factor importante como parte de la resistencia del flujo. Si por el contrario el flujo es turbulento así como su velocidad de desplazamiento presenta tendencia a formar remolinos o torbellinos que le ofrecen una gran resistencia al flujo, en este caso la viscosidad del fluido tiende a hacerse despreciable.

. Temperatura

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

. Fluidez

Es una de las propiedades reológicas más importante de la pulpa laterítica, considerándose factor influyente con la sedimentación. Esta depende de la temperatura.

. Floculación

A la pulpa se le agrega reactivos químicos con el objetivo de que floculen, es decir, con la presencia de una gran cantidad de partículas sólidas va a existir cierta tendencia de aglomerarse o formar 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 forma diferente. Por esta razón la adición de floculantes favorece el proceso de sedimentación, haciendo que la velocidad de caída aumente, puesto que con el aumento de tamaño se produce un incremento en el peso y por tanto la precipitación de la materia sólida se produce más rápidamente favoreciendo así la obtención de un fluido más limpio.

. Sistema Coloidales

La pulpa tratada se considera un sistema coloidal por sus características y propiedades, según la difusión de los compuestos, - éstos se dividen en cristaloides si es capaz de difundirse rápido y fácilmente, pero si por lo contrario la difusión es lenta- estamos en presencia de coloides. Entre los que se pueden mencionar las albrímenas, las colas, la gelatina, etc. Su estudio se realiza mediante los rayos X, lo que ha demostrado que las partículas de los sistemas coloidales son de carácter cristalino - verdadero.

1.2.- Hidrotransporte de la Pulpa.

El transporte hidráulico en la actualidad es utilizado ampliamente en la metalurgia para la transportación de concentrados de minerales, de metales no ferrosos y en el laboreo para la mecanización de los procesos de extracción y elaboración de la materia prima.

Este tipo de transporte tiene como objetivo el traslado de las partículas minerales suspensas en un flujo de agua. Esto se realiza a través de tuberías o canales y el mismo ha alcanzado una aplicación óptima en la industria.

La amplia aplicación del transporte hidráulico se debe a sus grandes ventajas sobre los demás tipos de transporte que son:

- . Garantiza un proceso tecnológico continuo, disminuyendo considerablemente el volumen de las operaciones principales.
- . Eleva la productividad del trabajo.
- . Posibilita la automatización de todo el proceso de transportación.
- . No existen pérdidas del mineral durante su transportación.
- . Las instalaciones y equipos principales son pequeños y de poco peso.

. El mineral puede ser beneficiado simultáneamente durante la -
transportación.

. Es más económico que otro tipo de transporte.

En la empresa Comandante Pedro Sotto Alba se aplica el transporte hidráulico para llevar el mineral en forma de pulpa desde la mina hasta la fábrica y posteriormente en el interior de ésta -
última.

Las características principales de la tubería que transporta la pulpa preparada en la planta de preparación de pulpa son las si
guientes:

Material	-	Hormigón
Diámetro	-	610 mm
Espesor de las paredes	-	75 mm
Longitud de la línea	-	4 600 m

La línea de agua es una tubería de 450 mm de diámetro.

La línea de agua reboso es una tubería de 4 125 m de largo.

Está revestidas interiormente de un material asfáltico con fi--
bras de vidrio para disminuir el coeficiente de fricción en la-
línea y evitar su encostramiento.

Dentro de la fábrica existe también el transporte hidráulico. -
En este caso el proceso es automatizado y la pulpa es de eleva-
das concentraciones (aproximadamente 48 %).

Los procesos físicos que tienen lugar en el transporte hidraúli-
co Mina-Fábrica, tienen una gran influencia sobre el carácter -
de la sedimentación, que ocurre posteriormente en espesadores, -
durante el movimiento por gravedad a través de la tubería de --
hormigón hay una elevada turbulencia, con la consecuente agita-
ción y degradación de material. Estos factores, unidos a la ca-
racterística reológica peculiares de la pulpa, determinan en --

gran medida el comportamiento de ésta en los tanques sedimentadores.

Para el estudio del carácter y particularidades del movimiento de la hidromezcla en diferentes conductos se realiza su clasificación:

<u>Hidromezcla</u>	<u>Tamaño de las partículas (mm)</u>
Muy gruesas	10 - 300
Gruesas	2 ó 3 - 10
Dispersión gruesa	0,15 - 2 ó 3
Dispersión fina	0,05-0,15 ó 0,20
Estructurales	0,005 - 0,05
Coloidales	0,005

La pulpa de mineral compuesta por partículas con diámetro 0,05-0,005 mm son conocidas como estructurales, por lo tanto la pulpa de mineral laterítico corresponde con una mezcla estructural.

El estudio de las propiedades reológicas de las pulpas tiene gran importancia debido a su influencia en los procesos tecnológicos. En diferentes trabajos se han determinado las propiedades reológicas de la pulpa laterítica demostrándose que en concentraciones de 25 % y 30 % de sólido éstas poseen un comportamiento que se puede describir por la ley de Newton.

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} ; \text{ donde:}$$

τ - esfuerzo de resistencia al movimiento.

μ - coeficiente de viscosidad dinámica.

$\frac{dv}{dy}$ - gradiente de velocidad.

En concentraciones superiores a 30 % de sólido y para bajo gradiente de velocidad, la pulpa laterítica puede ser expresada por la ley de Bingham.

$$\tau = \tau_0 + \eta_0 \frac{dv}{dy} ; \text{ donde:}$$

τ_0 - esfuerzo de resistencia inicial al movimiento.

η_0 - Coeficiente de viscosidad estructural.

$\frac{dv}{dy}$ - gradiente de velocidad

El movimiento de la pulpa estructural se logra con esfuerzos -- superiores al esfuerzo de resistencia inicial τ_0 . La viscosidad estructural η_0 tiene valores superiores a la viscosidad de los líquidos newtoneanos μ , tanto la η_0 como τ_0 aumenta al aumentar la concentración de la pulpa.

1.3.- Proyecto MOA - Oriental

El futuro agotamiento de las reservas de mineral existente en -- las zonas altas del yacimiento Moa-Occidental, que comprenden -- los sectores Atlantic, Pronóstico y Zona Sur, se prevee apróximadamente para el quinquenio 1995-2000, debiéndose iniciar el -- traslado de la actividad extractiva hacia otras zonas, dentro -- de esas fichas.

Aunque el yacimiento Moa cuenta con zonas de reservas en las -- partes bajas del área occidental, como son la zona A y playa la Vaca, se ha propuesto la asignación a la empresa Comandante Pedro Sotto Alba las de reserva de características más favorables en la zona Moa Oriental, las que serán abiertas a explotación -- en forma progresiva una vez que las reservas altas de Moa Occidental entren en su fase de agotamiento.

A continuación se plantean las variantes que presentan mejores-

posibilidades de aplicación para el transporte del mineral desde Moa Oriental, hasta las instalaciones industriales en Moa -- Occidental:

1. Construcción de una nueva planta de preparación de pulpa en el sistema Moa Oriental, con el envío de la pulpa hasta el departamento de Espesadores en Moa Occidental.
2. Transportación del mineral por transportador de bandas desde el sector Moa Oriental, hasta la entrega en la planta de pulpa existente en Moa Occidental.
3. Transporte del mineral por camiones desde el sector Moa ---- Oriental, hasta la entrega en la plataforma de la planta de pulpa existente.
4. Transporte de todo el mineral extraído hasta la planta de -- pulpa existentes en Moa Occidental por hidrotransporte.

En el caso de las variantes 2 y 4, se han estudiado dos subva-- riantes, para el traslado del transportador y de la tubería de transporte hidráulico respectivamente, debido a las caracterís-- ticas que presenta la cuenca del río Moa en esta zona.

En lo que respecta a la parte hidráulica se han tomado dos va-- riantes:

Variante I: Construcción de una nueva planta de elaboración de pulpa en el sector Moa Oriental y conducción de la pulpa hasta la Empresa Pedro Sotto Alba mediante el hidrotransporte.

Variante II: Construcción de una planta de pre-elaboración de mineral con el bojetivo de conducir la pulpa gruesa pre-elaborada (los parámetros de la misma difie-- ren de las de la de pulpa actual) hasta la planta de elaboración de pulpa existente.

Atendiendo al diámetro de las partículas asumido se analizan -- tres subvariantes posibles:

- . Con partículas de diámetro promedio (dm) - 0,15 mm
- . Con partículas de diámetro promedio (dm) - 0,40 mm
- . Con partículas de diámetro promedio (dm) - 0,83 mm

La región en la cual se construirá la nueva planta de pulpa es una región montañosa con alturas de hasta 150 m.

Siguiendo el curso del trayecto propuesto, encontramos que las tuberías que conducen la pulpa desde la nueva planta de elaboración, atravieza una zona muy occidentada, existe un declive hasta el río, para después ascender hasta el nivel - 90.

Estas características topográficas hacen que al evaluar el tipo de hidrotransporte a utilizar éste sea combinado, existirán tramos que trabajarán por gravedad y otros que trabajarán por presión. El método combinado es el que más se ajusta a estas condiciones.

La productividad anual a extraer y transportar de este nuevo -- yacimiento es de 2 200 000 tn. secas. Se considera que el yacimiento de Moa Oriental va a explotarse conjuntamente con el de Moa Occidental durante 5 años, con el objetivo de agotar las reservas de Moa Occidental planificados a extraer, a su vez poner a plena capacidad las instalaciones de transporte y extracción en Moa Oriental.

Atendiendo a este aspecto se considera un incremento anual de - 450 000 tn secas hasta alcanzar la productividad planificada de 220 000 tn, continuando con esta productividad hasta entrar en la fase de agotamiento del yacimiento.

Para lograr el acceso hasta la fábrica Pedro Sotto Alba hasta los puntos de recepción y carga en Moa Oriental se utilizó parte del camino que enlaza la fábrica con la planta de pulpa ac--

tual, parte del camino que va hasta la Veguita y un camino proyectado directamente desde este último hasta el área del yacimiento.

El transporte automotor a utilizar será camiones Belaz-540 de 40 tn, desde los frentes hasta los puntos de recepción. Los camiones se cargarán utilizando excavadoras ESH-5-45 (tipo palas-de arrastre) de 5 m de capacidad de cucharada.

1.4.- Objetivos y Tareas de Trabajo.

Partiendo de la necesidad que para la economía nacional representa la producción de Ni + Co y de la importancia que tiene para nuestro país el desarrollo minero-metalúrgico, este trabajo está encaminado directamente al estudio de las propiedades físico-mecánicas de la pulpa laterítica influyentes en el proceso de Hidrotransportación.

Para dar cumplimiento al objetivo propuesto se llevan a cabo -- las siguientes tareas:

- . Determinación de las características del mineral analizando la composición granulométrica, humedad, densidad, velocidad de caída libre y contrariada para diferentes concentraciones de mineral.
- . Empleo de una metodología estadística para la elaboración de los datos experimentales.
- . Análisis de la molienda que sufre el mineral durante el hidrotransporte, así como el comportamiento del pH en el mismo.
- . Determinación de la influencia de los residuos de arena en la pulpa durante el proceso de sedimentación e hidrotransporte.
- . Determinación del ángulo de reposo natural del mineral seco y húmedo.

C A P I T U L O - 2

II.- DETERMINACION DE PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DEL MINERAL LATERITICO.

2.1.- Características del Mineral.

Composición:

El mineral es una mezcla de laterita de carácter terroso y serpentinita parcialmente descompuesta y dura.

El material laterítico se presenta como tierra suelta y en terrones y el material serpentínico se presenta en toda la gama - desde el material terroso hasta fracciones de roca dura de diversos tamaños.

Humedad:

La humedad promedio del mineral es de 34 %, variando desde 23 % hasta 36 %.

Peso volumétrico:

. Peso volumétrico "insitu"	1,20 kg/l
. Peso volumétrico húmedo "insitu"	1,70 kg/l
. Factor de expansión del mineral	1,30 kg/l
. Peso volumétrico del mineral húmedo removido.	1,38 kg/l

Granulometría:

Laterita :

0 - 125 mm	85 %
125 - 400 mm	8 %
400 - 600 mm	2 %

Serpentina:

0 - 125 mm	40 %
125 - 400 mm	0,85%
400 - 600 mm	0,15%

Composición Química y Mineralógica

Lateritas:

Es el horizonte superior de la corteza de intemperismo. Se forma por la descomposición de la estructura primaria de las rocas madres, con la redistribución de los hidroxidos de hierro y la aparición de concreciones en forma de pedregones de óxidos e hidróxidos de hierro.

En la composición mineralógica de las lateritas predominan: Hemalita, Hidrohemalita, Lipidocrocita, goethita, hidrogoetita (75-90 %). En cantidades menores se notan la hidroargilita (5-12 %), Asbolanas (0,5-1,0 %); cuarzo y calcedonia (1-3 %), relictos de manganeso (1-2 %) y espinalas cromíferas (3-5 %).

Serpentinas:

Dentro de los límites del horizonte de serpentinetas montronizadas se encuentran serpentinetas arcillosas, relictos (40-50%); montronitas (5-10 %), espinelas cromíferas y magnelitas (2-7 %), cloniros (3-8 %), asbolanas hasta (1 %), momtmorillonestas, goetita. hidrogoetita (20-30 %), cuarzo y calcedonia (1-2 %), calcita y dalomita (1-3 %), haloyseta (1-3 %).

Forma de las fracciones:

Predomina el material de forma terrosa, en el que abundan terrones del material laterítico y serpentínico blanco, así como fracciones de roca dura y angulosa.

Dureza del Material:

La dureza del material en la escala de Mohs varía entre los rangos de 2 a 5.

Abracividad:

El material no se considera abrasivo, sino que es químicamente activo.

Otras Características:

La parte laterítica, especialmente es la que posee tendencia a adherirse a las paredes de los equipos.

El mineral empleado en la elaboración de este trabajo, pertenece al Yacimiento Zona Sur (L-2) y al frente de arranque D-34 -- con la siguiente composición:

Ni	-	1,20 %
Co	-	0,060 %
Fe	-	44,18 %
Mg	-	0,50 %

Características de los frentes de arranque:

Zona: L : 1

Esta zona se encuentra ubicada en el yacimiento Yamanigüey, y está compuesto por remanentes de minerales anteriores. Esta zona es la más grande en extensión debido a la poca potencia del mineral. En cuanto al volumen de mineral es la menor zona con 2,2 m, en cuanto a la ley del níquel es la primera zona con --- 1,567 %.

Con respecto al contenido de cobalto ocupa el último lugar con 0,096 %. Con respecto al magnesio es la zona que posee el valor más alto, con 0,87 %, debido a su baja potencia de mineral la relación Co-Ni de esta zona es de 0,061 % ocupando el último -- lugar.

Es una zona relativamente llana y en ella se encuentran los siguientes bloques: G: 17 y 18 y H: 17 y 18.

Presenta una topografía favorable para la explotación minera. - Su mayor complicación es el porcentaje de magnesio y cantidad de rocas en el corte.

Zona L:2

Esta se encuentra en el yacimiento Zona Sur. Está limitada por los nortes N-7 500 - 7 700 y los estes E-5 400 - 6 000.

La zona con respecto al volúmen a agotar se encuentra en el primer lugar, con un volúmen de 60 000 tn. En cuanto al contenido de níquel está en el segundo lugar con 1,463 % de Ní.

Es la segunda zona en contenido de magnesio con 0,57 %, con respecto a la potencia del mineral es la segunda zona con un promedio de 9,4 m.

Presenta un relieve relativamente llano y comprende los bloques J-19 y 20.

Zona L-3

Se encuentra ubicada en el yacimiento Atlantic. Esta zona está fraccionada en 3 partes. Es la tercera en cuanto al contenido de Ní con 1,313 %. Es la segunda zona con respecto al cobalto con un 0,110 % y con relación al magnesio es la última con un 0,44 %.

Es la zona de mayor potencia promedio con 10,8 m.

Zona L-4

Esta zona se encuentra ubicada en el yacimiento Atlantic, se encuentra entre las coordenadas N-4 500 - 4 900 y E-5 700 - 6 000.

Es la segunda zona en cuanto a volumen de mineral. Con relación al contenido de Ní es la última zona, con 1,30 %. Es la de mayor contenido de cobalto. La potencia promedio de mineral es de 6,0 m, ocupando el tercer lugar.

Topográficamente es una zona llana, lo que no dificulta su minería. Comprende los bloques Z-20 y A-20 y 21.

2.2.- Determinación de la humedad y composición granulométrica del mineral.

2.2.1.- Determinación de la humedad.

Para la determinación de la humedad del mineral utilizado en el presente trabajo se llevó a cabo la siguientes metodología experimental.

- 1.- Se tomó una muestra de mineral y se pesó boteniéndose el --
Pi, que fué de 70 g.
- 2.- Se puso a calentar previamente la estufa y se reguló su temperatura hasta 150°C.
- 3.- La muestra pesada Pi = 70 g, se sometió al proceso de secado por espacio de dos horas.
- 4.- Cumplido el tiempo inicial de dos horas se extrajo la muestra y se puso a enfriar.
- 5.- Luego se pesa y se obtiene el Pf₁.
- 6.- Para comprobar la exactitud del proceso de secado y eliminación de la humedad se vuelve a colocar la muestra en la estufa por espacio de una hora y se realiza nuevamente el pesaje de la muestra ya fría obteniéndose Pf₂.
- 7.- Después se coloca nuevamente la muestra en la estufa por --
espacio de 30 min. y se le toma el peso una vez que esté --
fría obteniéndose Pf₃.
- 8.- Posteriormente se procedió al cálculo del porcentaje de humedad por la fórmula.

$$W = \frac{P_i - P_f}{P_i} \cdot 100 \%$$

- 9.- Luego se promedian los valores del porcentaje de humedad obtenidos y se saca la media para obtener así el valor más --
exacto del experimento.

Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla 2.1.

	Pi (g)	Pf ₁ (g)	Pf ₂ (g)	Pf ₃ (g)	% de W (%)
Muestra	70	51,4	51,3	51,3	26,57 (1)
					26,71 (2)
					26,71 (3)
Valor promedio:		26,66 %			

2.2.- Composición granulométrica del mineral.

El análisis granulométrico se realizó por vía húmeda y esto se debió a que el mineral laterítico utilizado en la realización del trabajo, posee un gran porcentaje de partículas finas menores de 0,833 mm.

Las clases seleccionadas a determinar fueron:

- 0,840 + 0,200
- 0,200 + 0,074
- 0,074 + 0,045
- 0,045

La cantidad de material utilizado fué 870 g.

Comportamiento del mineral por clases. Tabla 2.2

Clases	Peso (gr)	\$ en peso (%)
- 0,840 + 0,200	180	20,689655
- 0,200 + 0,074	200	22,988505
- 0,074 + 0,045	209,3	24,057471
- 0,045	268,3	30,83908
TOTAL	857,6	98,574712
PERDIDAS	12,4	1,3793103

Como se muestra en el análisis de tamiz se comprueba que en el mineral utilizado en el trabajo existe gran cantidad de partículas finas que predominan sobre las partículas gruesas.

2.3.- Determinación de la densidad del mineral utilizado.

Según resultados prácticos la densidad del mineral varía de --- acuerdo al contenido de hierro que posea el yacimiento, según fuentes tratadas la densidad de la laterita puede alcanzar hasta 3 500 kg/m³.

En estudios realizados anteriormente por el ingeniero y candidato a Doctor en Ciencias Técnicas José Falcon Hernández se llega a la determinación de la densidad del material en diferentes frentes de extracción, siendo éstos:

D-2 Yacimiento Atlantic. Coordenada, norte 5 100, este 5 933, -
= 3,51 g/cm³.

D-24 Yacimiento Atlantic. Coordenada, Norte este 7 466, -----
= 3,69 g/cm³.

D-29 Yacimiento Atlantic. Coordenada, Norte 5 200, este 7 300 -
= 6,39 g/cm³.

D-30 Yacimiento Yamanigüey. Coordenada, Norte 7 333; este 4 533
= 3,33 g/cm³.

Para la determinación de la densidad del mineral perteneciente al frente D-34 del yacimiento Zona Sur, se aplicó la metodología del picnómetro.

Metodología

- 1.- Se limpian y se secan los picnómetros.
- 2.- Se pesan los picnómetros con su tapa hasta la precisión 0,01 gramos y se obtiene el peso G₁.
- 3.- Se llenan los picnómetros con agua destilada hasta el enrase

- y se pesan. Se obtiene el peso G_2 .
- 4.- Se le saca el agua a los picnómetros y se secan.
 - 5.- La muestra es triturada en un mortero y se tamiza en un tamiz de abertura 0,840 mm.
 - 6.- La muestra tamizada y cuidadosamente mezclada se seca en la estufa a la $T = 105 - 110^{\circ}\text{C}$ hasta que tenga peso constante y se procede a su enfriamiento.
 - 7.- Se toman aproximadamente 10 gramos de la muestra seca y se vierte en el picnómetro utilizando un embudo.
 - 8.- Se pesan los picnómetros con la muestra de mineral y se obtiene el peso G_3 .
 - 9.- El picnómetro con la muestra se le añade agua hasta aproximadamente la mitad de su capacidad y se agita hasta que se mezcle bien la muestra con el agua.
 - 10- Se pone el picnómetro en baño de maría durante una hora y después se deja enfriar.
 - 11- Se completa el picnómetro con agua destilada hasta el envase y se pesa obteniéndose el peso G_4 .
 - 12- Se calcula la densidad por la fórmula:

$$\rho^0 = \frac{G_3 - G_1}{G_2 - G_4 - (G_3 - G_1)} ; \text{ g/cm}^3$$

La determinación se realizó en dos picnómetros para dos muestras distintas de mineral. los resultados obtenidos no se diferencian mucho entre sí, incluso no es mayor la diferencia de $0,02 \text{ g/cm}^3$. Tomándose como valor de la densidad la media entre ambas determinaciones que cumplen la precisión señalada.

Los resultados se encuentran en la tabla 2.3.

Los picnómetros utilizados poseían la numeración siguiente:

A las muestras de mineral utilizado, se les dieron las designaciones de A y B.

Muestra	G ₁ (g)	G ₂ (g)	G ₃ (g)	G ₄ (g)	(g/cm ³)
A					
P: 135	46,0113	142,0973	56,0113	149,0981	3,3342225
B					
P: 48	40,1079	137,1089	50,1079	144,1098	3,3343336

Valor medio de la densidad: 3,3342785 g/cm³
en g/cm³

Valor medio de la densidad: 3334,2785 kg/m³
en kg/m³

Como se observa el valor de la densidad del mineral determinado por la vía del picnómetro cae dentro de los rangos permisibles de las densidades antes determinadas por vía experimental.

2.4.- Metodología utilizada para elaborar los datos experimentales por métodos estadísticos.

En las investigaciones científico técnicas y de producción, a menudo nos encontramos con fenómenos que se repiten en varias ocasiones en condiciones invariables. Es por eso que el tratamiento estadístico de los datos se hace necesario para la obtención de un mejor resultado de los experimentos.

Metodología para el tratamiento estadístico de los datos.

1.- Se halla el valor medio de los resultados:

La media: Nos dá el valor promedio de todos los resultados-obtenidos.

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N}$$

donde:

X_i - conjunto de valores experimentales.

N - número de experimentos.

2.- Cálculo de la desviación Standard.

Esta caracteriza la exactitud de la medición y se determina por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

3.- Se calcula la varianza:

La varianza de un conjunto de datos se define como el cuadrado de la desviación standar y viene dada por tanto por σ^2 .

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}$$

donde: σ^2 varianza
 $N-1$ - # del experimento - 1.

4.- Cálculo del error cuadrático.

$$s = \sqrt{\sigma^2}$$

5.- Aplicación del criterio de standar.

$$t_p = \frac{X_* - \bar{X}}{s}$$

Si $t_p > t_T$ se excluye el valor analizado

Si $t_p < t_T$ se incluye el valor analizado

6.- Cálculo del intervalo de confianza.

Este permite definir si un elemento pertenece o no a la muestra.

$$\Delta X = \pm \frac{t \cdot s}{\sqrt{N}}$$

donde:

ΔX - Intervalo de confianza

S - Error cuadrático

N - Número de datos para la determinación del ---
error.

t - t de student. Se dá en función de los grados-
de libertad.

$$t-f = N - 1$$

N - 1 - grados de libertad

7.- Cálculo de los valores por la distribución normal de Gauss.

$$Y_i = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X_i - \bar{X})^2}{2\sigma_i^2}}$$

Esta caracteriza la densidad de probabilidad de aparición -
del suceso.

8.- Luego se grafica la curva de distribución normal de Gauss.

2.5.- Determinación de la velocidad de caída libre de las partículas de mineral.

Las partículas sólidas en un medio fluido en reposo, agua, tiende a caer por la acción de la fuerza gravitatoria. Si una partícula cae en un medio lo suficientemente extenso y sin conside--rar la acción de otra fuerza que no sea la resistencia del me--dio al desplazamiento de la partícula, la misma alcanzará una -velocidad máxima a la cual se denomina velocidad límite de caí--da libre.

La velocidad de caída libre de las partículas sólidas en un lí--quido, dependen del tamaño, forma y densidad de estas partícu--las.

Determinación experimental de la velocidad de caída libre de -- las partículas de mineral.

Para esta determinación se utilizó la siguiente metodología.

Después de obtenidas las diferentes clases, se seleccionaron 10 granos de cada clase, buscando siempre que fueran los más repre--sentativos.

Se tomó un tubo de vidrio graduado con una altura de 0,53 m y -un diámetro de 0,035 m, al mismo se le llenó de agua hasta un -límite superior de cero en varios centímetros, para así garan--tizar que la aceleración del grano comenzara antes del cero. --Luego se dejaron caer cada grano de mineral en el agua y con un cronómetro se determinó el tiempo que tardaba cada uno en reco--rrer el espacio.

Después de tener los datos del tiempo se procedió a calcular --las velocidades de caída libre de cada grano; ésta se realizó -por la siguiente fórmula:

$$V_i = \frac{S}{t_i}$$

donde:

V_i - velocidad de caída de cada partícula, (m/s)

S - espacio recorrido; (m)

t_i - tiempo en que se recorrió este espacio (s)

Los resultados obtenidos aparecen en la tabla 2.4.

TABLA 2.4

Clases	Espacio (m)	Tiempo (seg)	Veloc. C. libre (m/s)
- 0,840 + 0,200	0,53	9,6	0,0552083
	0,53	9,6	0,0552083
	0,53	9,4	0,0563829
	0,53	9,2	0,0576086
	0,53	9,2	0,0576086
	0,53	10	0,053
	0,53	9,4	0,0563829
	0,53	9,8	0,0540816
	0,53	9,6	0,0532083
	0,53	9,2	0,0576086
- 0,200 + 0,074	0,53	52,2	0,0101532
	0,53	52	0,0101923
	0,53	51,8	0,0102316
	0,53	51,8	0,0102316
	0,53	52,2	0,0101532
	0,53	52,2	0,0101532
	0,53	52,4	0,0101145
	0,53	52	0,0101923
	0,53	52	0,0101923
	0,53	52,2	0,0101532

- 0,074 - 0,045	0,53	86	0,0061627
	0,53	89	0,005955
	0,53	88	0,0060227
	0,53	90	0,0058888
	0,53	87	0,0060919
	0,53	88	0,0060227
	0,53	86	0,0061627
	0,53	90	0,0058888
	0,53	89	0,005955
	0,53	87	0,0060919

- 0,045	0,53	102	0,005196
	0,53	102	0,005196
	0,53	100	0,0053
	0,53	101	0,0052475
	0,53	101	0,0052475
	0,53	100	0,0053
	0,53	100	0,0053
	0,53	102	0,005196
	0,53	102	0,005196
	0,53	100	0,0053

Como se puede comprobar las clases más gruesas precipitan en un tiempo menor que las clases finas y por ende la velocidad de se dimentación de las clases gruesas es mayor que la de las clases finas.

RESULTADOS ESTADISTICOS DE LA VELOCIDAD DE CAIDA LIBRE

CLASE -0,840 + 0,200 mm

\bar{x}	0,0558298	
σ	1,57505E-03	
σ^2	2,48078E-06	
S	1,57505E-03	
tp	-0,394599	-1,79665
	-0,394599	0,351155
	0,351155	-1,10994
	1,12936	-0,394599
	1,12936	1,12936

Δx		+/- 9,12969E-04
------------	--	-----------------

Yi	234,336	50,4324
	234,336	238,163
	238,163	136,814
	133,873	234,336
	133,873	133,873

CLASE -0,200 + 0,074 mm

\bar{x}	0,0101767	
σ	3,77654E-05	
σ^2	1,42623E-09	
S	3,77654E-05	
tp	-0,6233	-0,6233
	0,412056	-1,64803
	1,45269	0,412056
	1,45269	0,412056
	-0,6233	-0,6233

Δx		+/- 2,18905E-05
------------	--	-----------------

Y_i	8699,38	8699,38
	9704,68	2716,93
	3677,93	9704,68
	3677,93	9704,68
	8699,38	8699,38

CLASE -0,074 + 0,045 mm

\bar{X}		6,02414E-03
σ		1,02196E-04
σ^2		1,0444E-08
S		1,02196E-04
t_p	1,35582	-0,0140889
	-0,676543	1,35582
	-0,0140889	-1,33214
	-1,32432	-0,676543
	0,663042	0,663042
ΔX		+/- 5,92375E-05
Y_i	1557,18	3903,62
	3105,42	1557,18
	3903,62	1607,53
	1624,33	3105,42
	3133,63	3133,63

CLASE -0,045 mm

\bar{X}		0,0052479
σ		4,90265E-05
σ^2		2,4036E-09
S		4,90265E-05
t_p	-1,05862	1,06268
	-1,05862	1,06268
	1,06268	-1,05862
	-8,16841E-03	-1,05862
	-8,16841E-03	1,06268

Δx	+/- 2,8418E-05	
Y_i	4646,9	4626,91
	4646,9	4626,91
	4626,91	4646,9
	8137,66	4646,9
	8137,66	4626,91

2.6.- Determinación de la velocidad de caída contrareada para una concentración de 25 % de sólido.

Cuando en vez de una partícula precipitan muchas de ellas y a la fuerza de resistencia del medio se le unen otras fuerzas que se encuentran presentes en el régimen de caída contrariada, a la velocidad con que caen las partículas se denomina velocidad de caída contrariada.

La metodología utilizada.

En nuestro caso la pulpa con 25 % de sólido fué tomada directamente del proceso de la planta de preparación de pulpa de la fábrica Pedro Sotto Alba.

Para la determinación de la velocidad de caída contrariada se empleó un tubo de cristal graduado de 0,53 m de altura y 0,035-m de diámetro.

Se fueron tomando con un cronómetro el tiempo en que clarificaba la pulpa y se anotaba la altura descendida por la zona clarificada.

La velocidad de caída contrariada se determina por:

$$V = \frac{h}{t} ; \text{ m/s}$$

donde:

h - altura de agua clara en la probeta ; /m/

t - tiempo en que clarifica a una altura dada; / seg /

Estos resultados experimentales se encuentran en la tabla 2,5.

TABLA - 2,5

CONCENTRACION 25 %		
Altura / m /	Tiempo / seg /	Velocidad / m/seg /
0,007425	920	8. DE - 06
0,01632	1105	1. 47E - 05
0,026013	1575	1. 65E - 05
0,02852	2012	1. 41E - 05
0,30598	2515	1. 216E - 04
0,33457	3110	1. 075E - 04
0,37653	3920	9. 6E - 05
0,40782	4570	8. 92E - 05
0,4453	5020	8. 87E - 05
0,475	7040	6. 74E - 05

El gráfico de velocidad de caída contrariada para una concentración de 25 % de sólido se encuentra anexo al final. / f.1 /.

TABLA # 2

RESULTADOS ESTADISTICOS DE LA VELOCIDAD DE CAIDA CONTRARIADA PARA
UNA CONCENTRACION A UN 25 % DE SOLIDO.

PULPA CON 25 % DE SOLIDO

\bar{x}		6,231E-05	
σ		4,43548E-05	
σ^2		1,96735E-09	
S		4,43348E-05	
tp	-1,22444		1,01883
	-1,07339		0,759557
	-1,03281		0,606248
	-1,08692		0,594975
	1,32319		0,114756
ΔX		+/- 2,57101E-05	
Yi	4250,53		5353,06
	5056,09		6741,03
	4982,75		7535,9
	3748,12		8936,03

C A P I T U L O - I I I

III.- PREPARACION DE LA PULPA E HIDROTRANSPORTACION EN LA EMPRESA "CMDTE. PEDRO SOTTO ALBA".

3.1.- Lavado del Mineral en la Planta de Preparación de Pulpa.

3.1.1.- Proceso de Lavado y Preparación de la Pulpa.

La planta de lavado y preparación de la pulpa cruda tiene la función de procesar el mineral recibido de la mina para eliminar todas las partículas que contengan un tamaño superior a 0,833 y con el resto producir una pulpa acuosa con una concentración de sólidos de 25-26 %, la cual es enviada por gravedad hacia la planta de espesadores de pulpa.

La pulpa se produce por lavado en las lavadoras de paletas ---- (LW 1A-D) y zarandeo en II etapas, por vía húmeda del mineral, separándose así las fracciones de serpentina dura y otras rocas que no pueden ser procesadas por el método de lixiviación ácida por su alto contenido de magnesio.

Los rechazos de esta planta están conformados por las rocas y terrones no desglozados por las lavadoras de paletas y el producto de sobremedida de las zarandas primarias y secundarias.

Características constructivas de los equipos de lavado y zarandas.

1.- Cribas vibratorias: Las cribas vibratorias (dos en total) de carga extrapesada son de tipo Ty-rock, modelo de cara sencilla de 1828.8 mm x 4267,2 mm, con fluctación completa de construcción abierta y con acción positiva de tiro circular producida por un árbol excéntrico totalmente encerrado y cojinetes de bolas selladas. La descarga se realiza a través de un conducto de 3048 mm de largo.

Estas cribas son de acero-manganeso colado y presentan orificios ranurados de 125 mm.

2.- Lavadoras de Paletas (LW 1A-D).

Las lavadoras de paletas de 3 600 x 10 667 mm reciben el -- producto de tamaño menor de 127 mm de las cribas vibrato--- rias y mezclan este producto con agua para formar una pulpa de 25-26 % de sólido que es descargada a los tamices o za-- randas primarias.

La separación de las paletas en los ejes es de 330,2 mm. La caja de las lavadoras es de plancha de acero de 9,525 mm -- montadas sobre vigas canales. La velocidad de rotación de - los ejes es de 28 rpm. La rotación de las paletas es del -- centro de las lavadoras hacia afuera. El ángulo de las paletas es de 22^o y es fija. El tiempo de residencia (por volumen de mineral) es de 2.24 min.

3.- Tamices Primarios (Sn-3A-D).

Estos tienen la función de cernir la pulpa formada en las - lavadoras y el cilindro lavador, la cual cae sobre el tamíz (enrejado) y mediante 8 atomizadores de agua a presión se lava la pulpa. La alimentación normal a estas zarandas es - de 43,33 kg/s, sin embargo cada una es capaz de operar a -- plena capacidad con media planta.

El rechazo lo constituyen partículas con fracción mayor de 9,5 mm. Cada zaranda primaria alimenta a 2 zarandas secundarias.

4.- Tamices Secundarios (SN 4A-H)

Estas zarandas poseen un tamíz con abertura de 0,833 mm. La alimentación normal a cada tamíz en estas zarandas es de -- 20 kg/s de sólido, pero cada tamíz es capaz de procesar --- unas 43 kg/s. El rechazo de estas zarandas lo constituyen - partículas con medida de - 9,5 mm.

5.- Cilindro Lavador (114-SB-1)

Se utiliza para el lavado de la roca serpentínica + 127 mm, rechazada de las cribas vibratorias, libre de mineral limonítico y para el trituramiento y tratar las pelotas de fango de gran tamaño. La roca descarga a las trituradoras de quijada, mientras que la pulpa es alimentada a los tamices primarios 114-SN-3B y 3C.

Este cilindro lavador tiene 2,74 m de diámetro x 5,79 m de largo, fabricado de planchas de acero de 19,05 mm completamente revestido de duroaluminio.

6.- Trituradora de Quijada (114-CR-1)

Esta trituradora es de tipo excentrico, de 762 mm x 1 016-mm.

Las quijadas y planchas de tope son de un acero-manganeso-austerítico. Las planchas reversibles de la quijada se ---- aguantan mediante chavetas cónicas de acero.

El motor de impulsión posee 900 rpm, prueba de salpicadu--- ras y tipo de alta torsión.

Condiciones del Lavado Actual

Existe una diferencia entre el material procesado por la lavadora y el cilindro. El mineral está compuesto en su mayor parte por partículas menores de 76,2 mm que tienen poca serpentina, la cual por ser rica en magnesio perjudica el proceso de lixiviación, sin embargo el mineral formado por partículas menores de 127 mm pero mayores de 76,2 mm no pueden ser trituradas, ya que tienen mucha serpentina y por eso es que el lavado es superficial.

Debido a las características de plasticidad que presenta el mineral que se procesa en las lavadoras, este no se desmenua homogéneamente, sino que forma una masa pastosa, lo que hace que-

el sólido sea muy difícil de obtener en valores de 25 %, provocando que se tengan que reducir los chorros a presión en las zandas primarias y secundarias para buscar un sólido mayor produciéndose en un difícil cernido en las mismas y pasando entonces el mineral en forma de pelotas de fango.

La lluvia es un factor que perjudica la operación de esta planta, ya que el mineral se hace más compacto y las operaciones de lavado y conducción de las partículas de mineral se hace menos eficiente, aumentando así las pérdidas en el rechazo total.

Actualmente durante la preparación de la pulpa se controla solamente las materias primas y la densidad de la pulpa preparada, pero no se determina el flujo de agua en las diferentes etapas del proceso tecnológico debido fundamentalmente a la falta de flujómetros y manómetros necesarios para regular el proceso de lavado, esto tiene gran influencia sobre los parámetros tecnológicos, pues la insuficiencia de agua conlleva a la preparación incompleta del mineral en las lavadoras y la disminución de la eficiencia en los tamices primarios y secundarios.

De acuerdo al proyecto de distribución actual, la distribución de agua por etapas para la preparación de la pulpa es la siguiente:

- Para la etapa de preparación de la pulpa en las lavadoras de paletas es de 79,7 % (677 m³/h).
- Para el cribado primario es de 12 % (102 m³/h).
- Para el cribado secundario es de 8,3 % (71 m³/h).

Para la capacidad de diseño de la planta, las necesidades totales de agua, sin contar las pérdidas irremediables, son alrededor de 1 000 m³/h, pudiéndose suministrar actualmente sólo 850-m³/h.

Para un tren operando a la mínima capacidad de 300 t/h, el con-

sumo de agua alcanza $405 \text{ m}^3/\text{h}$ y para la instalación es de $810 \text{ m}^3/\text{h}$.

En el estudio de la eficiencia de lavado de la planta de preparación de pulpa se observan algunos factores cuya influencia en esta instalación provocan la disminución de la eficiencia y pérdidas de mineral serpentínico en el rechazo. Estos factores --- son:

- 1.- Completamiento del equipamiento: es decir, que cada tren -- cuenta con 2 lavadoras y sus 6 zarandas, cualesquiera de es- tos elementos que falte obliga a incrementar el flujo por - los equipos que quedan en operación, lo que conlleva a una- disminución de la recuperación del mineral útil.
- 2.- Completamiento sistemático de las paletas en las lavadoras: La experiencia ha demostrado que esta influye negativamente en la preparación de la pulpa para su clasificación en las- zarandas, además la falta de algunas paletas disminuye la - eficiencia del lavado y aumenta el porcentaje de partículas- menores de $0,833 \text{ mm}$ en el rechazo.
- 3.- El aseguramiento adecuado de la presión de agua: Desde hace algunos años debido al propio desgaste de las líneas, así - como la pérdida del material expoxídico provocado por in--- crustaciones y posiblemente a la disminución de la eficien- cia de las bombas de espesadores, se ha observado una caída sencible de la presión, lo cual sin duda influye en la efi- ciencia de lavado de la planta.
- 4.- Características físico-químicas del mineral: La presencia - de Al_2O_3 le dá ciertas características de plasticidad que - dificulta al lavado.
- 5.- Capacidad de las plantas: La planta trabaja actualmente con

las siguientes capacidades.

No.	Capacidades en kg/h	kg hacia espesadores en 1 hora	kg en 8 horas
1	265 000	127 000	2 278 000
2	339 000	162 000	2 916 000
3	389 000	186 000	3 348 000
4	455 000	217 000	3 906 000
5	678 000	323 000	5 814 000

Cuando la planta trabaja con un solo tren a 455 000 kg/h y una bomba desde espesadores, se obtiene menos eficiencia, el mineral ocupa menos superficie y tiene menor contacto con el agua al repartirse en cada lavadora, esto hace que se tenga que trabajar a altas capacidades para contrarrestar estos efectos negativos.

6.- Distribución del mineral en los paños de mallas de las zarandas: El mineral al no distribuirse uniformemente por los paños de mallas de las zarandas trae como consecuencia que el mismo no tenga contacto con el chorro de agua, no se lava bien, pasa en forma de pelotas o bolas de fango directamente a la correa de rechazo.

7.- Perforaciones en las mallas de abertura -0,833 mm: Las mismas provocan el aumento de las partículas mayores de 0,833 mm en la pulpa producto con afectaciones en los diagramas de las bombas de lixiviación.

8.- Presión de agua en los rociadores: La falta de presión de agua a volumen constante de los rociadores produce la disminución en la eficiencia, ocurriendo lo contrario se logra una disminución uniforme del mineral. Si existen orificios de los rociadores tupidos, gran parte del mineral no se lavará.

9.- Parte tecnológica:

Influyen negativamente sobre la eficiencia del lavado:

- El poco volumen de agua en las lavadoras.
- La falta de paletas.
- Baja presión de agua en los atomizadores.
- Capacidades excesivas con equipamientos fuera de línea.
- Longevidad de la línea de agua de retorno.
- Dimensiones de los agujeros de los atomizadores.
- Falta de óptima inclinación de los spreys y buena incidencia de los abanicos de H₂O que se forman sobre los tamices.
- Inclinación o ángulo óptimo de las paletas.
- Forma redonda de los ejes.

3.2.- Molienda del Mineral durante el Hidrotransporte.

El transporte hidráulico de minerales está acompañado de la --- trituración de las partículas de mineral, el flujo de la mezcla se produce generalmente en régimen turbulento y las partículas de mineral que presentan trayectorias muy diversas chocan repetidas veces entre ellas mismas y con la superficie del conducto, esto produce la reducción del diámetro de las partículas y la - formación de nuevas partículas con diámetros muy pequeños.

La comparación del análisis granulométrico del mineral antes y después del hidrotransporte revela la existencia de la trituración del mineral durante el hidrotransporte.

Experimentalmente se ha demostrado que la velocidad de sedimentación de la pulpa a la salida de la planta de pulpa es supe---rior que la que posee esta misma pulpa después que se ha hidrotransportado hasta la planta de espesadores. Figura 2 / 1 /. En este artículo el autor llegó a la conclusión de que los facto--res principales que influyen en la disminución de la velocidad-

de sedimentación de la pulpa son:

a) La composición granulométrica del sólido componente de la pulpa.

b) La composición iónica de la pulpa.

En la tabla 3.1 se recogen los datos de sedimentación realizados a muestras de pulpa en las propias plantas de preparación de pulpa y espesadores, donde se pudo observar un comportamiento igual al que se reporta en el trabajo / 1 /.

TABLA - 3.1

Sedimentación	Planta de Pulpa / ml /	Planta de Espesadores / ml /
1	110	90
2	111	93
3	117	99
4	120	105
5	123	105

En el trabajo de diploma / 2 / se realizó el análisis granulométrico de muestras de pulpa tomados a la salida de la planta de pulpa y a la entrada de la planta de espesadores, en el mismo no se pudo observar una diferencia significativa en la granulometría de las muestras, en otros trabajos se ha planteado que las diferencias granulométricas pueden estar presentes en las partículas inferiores a $-0,044$ mm, donde es muy difícil lograr la clasificación del mineral.

En la literatura no se encontró ningún trabajo que halla logrado explicar el fenómeno de la disminución de la velocidad de sedimentación.

En la preparación de la pulpa se acostumbra a utilizar el agua de reboso de los espesadores, en el trabajo / 3 / se demuestra que el uso repetido del agua de reboso para formar la nueva pulpa produce una disminución de los % de sólidos que se obtienen en el mismo se plantea como causa de este fenómeno la acumulación de partículas muy finas en el agua de reboso surgidas durante el hidrotransporte.

3.3.- Comportamiento del PH.

De forma práctica se ha demostrado que el pH del medio influye en el proceso de espesamiento de la pulpa laterítica.

En el trabajo / 4 / se plantea que a escala de laboratorio el punto óptimo de sedimentación está en pH de 5,5 a 5,7, de igual modo se tiene que a medida que disminuye el índice de acidez se empeoran las cualidades de deposición de los sólidos, si aumenta el pH la influencia negativa es menor, además se señaló que la pulpa disminuye su índice de acidéz en dependencia del tiempo y quedó establecido que el pH de la pulpa en condiciones normales de operación es de 5,4 a 5,8.

Mientras que en el trabajo / 5 / se determinó experimentalmente que el pH óptimo para la sedimentación de las lateritas es de 6,5, coincidiendo con el punto isoeléctrico, además se comprobó que existen variaciones de las propiedades reológicas de las pulpas a diferentes pH.

En nuestro trabajo se realizó mediciones del pH de la pulpa que se obtiene en la planta de pulpa y de la que se alimenta a la planta de espesadores (después de su hidrotransportación); las mediciones realizadas no permitieron establecer una diferencia exacta en los pH de las muestras. En la tabla 3.2 se dan los valores de los pH obtenidos.

TABLA - 3.2

Muestra de Pulpa	PH en Planta de Pulpa	PH en planta de -- Espesadores
1	7,54	7,10
2	6,26	6,84
3	6,34	6,60

En el cumplimiento de esta tarea nos vimos frenados a realizarla ya que se presentaron dificultades tales como: Paros de la planta de preparación de pulpa y pocas posibilidades de toma de muestras.

3.4.- Influencia de los residuos de arena de la pulpa en los procesos sedimentación e hidrotransporte.

La pulpa hidrotransportada procedente de la planta de pulpa con una concentración de 25-28 % de sólido se alimenta a los espesadores, en los mismos la pulpa se dispone por capas de diferentes concentraciones, a mayor profundidad de la capa mayor es la concentración de sólido y la densidad de la mezcla.

En el primer capítulo se realizó un análisis de las propiedades estructurales de la pulpa laterítica, en el mismo se planteó que para procesos con bajos gradientes de velocidad el comportamiento reológico de la pulpa puede ser descrito por la ley de Bingham.

$$\tau = \tau_0 + \eta_0 \frac{dv}{dy}$$

Según esta ecuación la pulpa no se moverá hasta tanto no se supere el esfuerzo cortante inicial τ_0 , de la misma forma que una partícula que no desarrolle una fuerza que permita vencer -

el esfuerzo cortante inicial no precipitará en el medio.

En la tabla 3.3 se encuentran recogidos los datos de % de sólido y % de arena correspondiente a un mes de la pulpa que entra a la planta de espesadores y la pulpa que sale de espesadores.-

De la elaboración estadística de estos datos se observa que el valor medio del % de arena entre la entrada a espesadores y a la salida es de: 7.67097 y 5.66129

RESULTADOS ESTADISTICOS DEL % DE SOLIDO Y ARENA A LA ENTRADA Y-
SALIDA DE LA PLANTA DE ESPESADORES.

	% SE Esp.	% AE Esp.	% Ss Esp.	% AS Esp.
\bar{X}	26,779	7,67097	45,1361	5,66129
σ	1,15809	1,1858	0,888197	0,710717
σ^2	1,34118	1,40613	0,6859102	0,5051186
S	1,15809	1,1858	0,828197	0,710717
tp	-1,10443	0,614799	0,442082	0,476575
	-0,672686	0,530469	-0,635272	0,195169
	-0,0855141	0,699131	-0,659422	-0,0862373
	0,484388	-0,14418	-0,586973	-0,64905
	1,23562	-0,228511	-0,647349	-0,367643
	-0,137323	0,108814	-0,852612	-0,508346
	-0,603607	0,361807	-1,34766	-0,508346
	0,268516	0,530469	-1,91516	0,0544656
	-0,387735	0,530469	-1,43218	-0,367643
	2,38406	-0,481504	-1,21484	-0,64905
	-2,04563	-0,818828	-1,00958	-1,21186
	1,23562	-0,98749	-0,695643	-1,21186
	0,993845	-1,91513	-1,13032	-1,91538
	0,752068	-1,74647	-0,81639	-1,49327
	-0,36183	-2,08379	-0,369633	-1,35256
	0,544831	-1,66214	0,13749	-1,35256
	-0,638146	-1,57781	0,704989	-0,508346
	-1,52754	0,867793	0,632541	0,617278
	-2,15788	0,699131	0,886102	1,4615
	0,734798	0,108814	1,00685	2,72782
	-0,36183	-1,07182	1,00685	0,195169
	-0,0596105	1,20512	0,584242	0,335872
	-0,0596105	0,952124	0,692912	0,195169
	0,0440087	1,03645	0,306531	0,617278

	0,631181	0,361807	0,451423	1,18009
	0,225342	0,361807	0,391051	0,0544656
	-0,957637	1,62677	1,13967	0,757981
	0,182167	0,530469	1,26041	0,757981
	-0,612242	0,614799	1,29633	0,617278
	1,58102	0,446138	1,57434	1,03939
	0,475753	0,530469	1,68301	0,898684
ΔX	+/-0,352976	+/-0,361421	+/-0,252426	+/-0,216619
Y_i	0,187211	0,278519	0,436891	0,501105
	0,274752	0,292299	0,39371	0,550779
	0,343252	0,263508	0,387603	0,559285
	0,306374	0,33298	0,405504	0,454749
	0,160572	0,327788	0,390673	0,524685
	0,341276	0,334473	0,334932	0,493326
	0,287134	0,315142	0,194281	0,493326
	0,332311	0,292299	0,0769748	0,560537
	0,319562	0,292299	0,172747	0,524685
	0,0200905	0,299632	0,230322	0,454749
	0,0425133	0,240624	0,28939	0,269367
	0,160572	0,206626	0,378207	0,269367
	0,210241	0,0537645	0,254318	0,0896618
	0,259646	0,0732149	0,34521	0,184095
	0,32268	0,038374	0,449927	0,224901
	0,296991	0,0845315	0,477206	0,224901
	0,281043	0,0969058	0,375739	0,493326
	0,107279	0,230891	0,394393	0,46399
	0,0335786	0,263508	0,325321	0,192943
	0,263001	0,334473	0,290188	0,0135972
	0,32268	0,189441	0,290188	0,550779
	0,343898	0,162767	0,406154	0,530581
	0,343898	0,213835	0,378925	0,550779 i
	0,344176	0,196637	0,459629	0,46399
	0,282288	0,315142	0,435071	0,279799
	0,335872	0,315142	0,446277	0,560537
	0,217802	0,0895934	0,251635	0,421201

0,33884	0,292299	0,217692	0,421201
0,285631	0,278519	0,207841	0,46399
0,0987225	0,304587	0,139508	0,327083
0,307646	0,292299	0,116878	0,374863

O sea, que prácticamente la misma cantidad de arena que se alimenta a espesadores se obtiene en el producto espesado, lo que permite afirmar que el contenido de arena no juega un papel importante en el proceso de espesamiento.

TABLA - 3.3

Día	Entrada a Espesadores		Salida de Espesadores	
	% S	% A	% S	% A
1	25.50	8.4	44.77	6.0
2	26.00	8.3	44.61	5.8
3	26.68	8.5	44.59	5.6
4	27.34	7.5	44.65	5.2
5	28.21	7.4	44.60	5.4
6	26.62	7.8	44.43	5.3
7	26.08	8.1	44.02	5.3
8	27.09	8.3	43.55	5.7
9	26.33	8.3	43.95	5.4
10	29.54	7.1	44.13	5.2
11	24.41	6.7	44.30	4.8
12	28.21	6.5	44.56	4.8
13	27.93	5.4	44.20	4.3
14	27.65	5.6	44.46	4.6
15	26.36	5.2	44.83	4.7
16	27.41	5.7	45.25	4.7
17	26.04	5.8	45.75	5.3
18	25.01	8.7	45.66	6.1
19	24.28	8.5	45.87	6.7
20	27.63	7.8	45.97	7.6
21	26.36	6.4	45.97	5.8
22	26.71	9.1	45.62	5.9

Día	% S	% A	% S	% A
23	26.71	8.8	45.72	5.8
24	26.83	8.9	45.39	6.1
25	27.51	8.1	45.51	6.5
26	27.04	8.1	45.46	5.7
27	25.67	9.6	46.08	6.2
28	26.99	8.3	46.18	6.2
29	26.07	8.4	46.21	6.1
30	28.61	8.2	46.44	6.4
31	27.33	8.3	46.53	6.3

En el esquema tecnológico de la empresa se observa que la pulpa espesada hasta un 45-46 % de sólido en los espesadores es bombeada hasta la planta de lixiviación por medio de bombas centrífugas.

Estas bombas centrífugas poseen las características siguientes:

1.- Productividad de la bomba

$$Q = 0,063 - 0,126 \text{ m}^3/\text{h}$$

2.- Altura de la bomba

$$H_b = 33.53 - 30.42 \text{ m}$$

3.- Potencia de la bomba

$$N_b = 55.95 \text{ Kw.}$$

4.- Número de revoluciones

$$n = 850 \text{ rpm}$$

5.- Frecuencia de rotación

$$f = 60 \text{ Hz}$$

El flujo de la pulpa se efectúa por una tubería de diámetro 508 mm y longitud 600 m.

En esta línea se presenta el problema de que la pulpa fluye a una velocidad muy pequeña (menor de 1 m/s), lo que provoca la sedimentación de la arena en el fondo de la tubería con los consiguientes problemas de aumento de las pérdidas de energía en la línea, disminución del caudal (el diámetro disminuye), durante el lavado de la línea se desecha mineral, etc.

O sea, que la pulpa que había permanecido días de reposo para que precipitara en el tanque, después que se puso en movimiento continuo concentrándose, es decir, que la ruptura de la estructura o la superación de τ_0 favorece el proceso de espesamiento.

En las notas planteadas anteriormente se observa que el contenido de arena presente en la pulpa aunque pudiera beneficiar el proceso de espesamiento produce efectos perjudiciales para el proceso de hidrotransporte.

El alto contenido de arena que se observa en la pulpa tiene --- otros efectos negativos en el proceso de la empresa, se produce desgaste de las tuberías, sobre todo en la que está entre las plantas de pulpa y espesadores, así como en la que va desde espesadores a lixiviación.

C A P I T U L O - I V

IV.- DETERMINACION DEL ANGULO DE REPOSO NATURAL DEL MINERAL HUMEDO.

4.1.- Fundamentos teóricos sobre el cálculo del ángulo de inclinación permisible en las tuberías maestras.

Como demuestran las investigaciones de los procesos realizados en tuberías maestras para un sistema de transporte hidráulico después de su parada, en las uniones de los tramos inclinados con las horizontales se pueden formar zonas de taponamiento en la tubería producto del material sólido transportado. Las dimensiones de la zona de taponamiento de la tubería dependen del:

- 1- Angulo de inclinación de la tubería.
- 2- Granos de las partículas.
- 3- Concentración en el flujo.

La formación de la taponamiento en la tubería de gran longitud con tramos inclinados dificulta las condiciones de puesta en marcha del sistema después de su parada y además algunas veces se puede crear situaciones de avería en el sistema. Por eso durante el cálculo de los sistemas hidráulicos junto con los cálculos habituales de los parámetros energéticos y económicos, debe determinarse también los ángulos permisibles de las tuberías maestras, excluyendo la posibilidad de la formación de las taponamientos.

La esencia física del proceso de transportación del sólido por tuberías inclinadas se compone de lo siguiente:

Después de la parada del sistema de hidrotransporte, las partículas pesadas se sedimentan en el fondo de la tubería, la densidad de la capa del mineral sedimentado tiene valores cercanos a los valores de la densidad del material sólido. El sedimento con una concentración de sólido, el cual tiene valores cercanos a la magnitud $(1 - m)$; donde: m = Porosidad del material sólido

saturado (sedimento de taponamiento), por sus propiedades físicas semejantes al material árido (seco) tiene una superficie libre, la cual posee un ángulo de inclinación que no supera el ángulo de reposo natural del material sólido (α permisible). Por eso en las tuberías que tienen una pendiente inferior a la $\text{tg } \alpha$ perm, la altura de la capa del sedimento, de partículas pesadas es constante por toda la longitud de la tubería y es aproximadamente igual a la altura del sedimento en la tubería horizontal.

La formación de sedimento de partículas ligeras se produce también de una forma relativamente rápida, al mismo tiempo la concentración de las partículas en este sedimento resulta menor -- que $(1 - m)$. El sedimento el cual $\text{Sperm} < 1 - m$ (no compacto), -- por sus propiedades físicas es semejante a los líquidos viscosos pesados, su superficie libre siempre tiende a ser horizontal.

Al mismo tiempo las partículas sólidas bajo la acción de sus -- propios pesos distribuyen las fuerzas internas de adherencia entre las partículas duras y el líquido. La densidad del sedimento va aumentando y como resultado final alcanza valores límites de $(1 - m)$. La compactación del sedimento va acompañada con una disminución de su volumen y el aumento de una determinada cantidad de agua, por cuanto la superficie libre del sedimento en el proceso de su compactación tiende a permanecer horizontal, y el agua liberada de la parte inferior de la tubería se expulsa y -- su lugar es ocupado por el sedimento no compacto que desciende de la parte superior de la tubería, de esta forma en la parte -- inferior de la tubería inclinada se produce una acumulación de partículas sólidas ligeras, las cuales en determinadas condiciones puede conllevar a la formación de taponamientos. / 2 /

4.2.- Descripción de la Instalación.

La instalación empleada para la determinación del ángulo de reposo natural húmedo de la pulpa laterítica a un 25 % de sólido constó con las siguientes partes:

- 1.- Un acondicionador de diámetro 42,6 cm y altura 34,2 cm, el cual cumplía la función de agitar la pulpa cada cierto tiempo y permitir un mayor grado de homogenización del mineral.
- 2.- Un tubo de cristal con diferentes inclinaciones, este tubo simulaba una tubería de transporte hidráulico de la pulpa laterítica con posiciones inclinadas. Las dimensiones de este tubo con diámetro 13,5 cm y longitud 50 cm.
- 3.- Al acondicionador se le acopló una válvula de regulación de flujo, la misma permitió el control del paso de la pulpa -- desde el acondicionador hasta el tubo inclinado.
- 4.- Esta variación de los ángulos se realizaba fijando el tubo de cristal en una tabla con dos puntos de apoyo, que permitían mantener el mismo en una posición estática y lograr -- que la pulpa en su interior pudiera sedimentar.

Durante los ensayos se varió el ángulo de inclinación del tubo y ésta se determinó con ayuda de un inclinómetro pendular.

4.3.- Ensayos realizados y análisis de los resultados experimentales.

Durante la determinación del ángulo de reposo natural del mineral seco se produce el desplazamiento de capas de mineral sobre capas de mineral, mientras que en la determinación del ángulo de reposo natural del mineral húmedo, entre las capas de mineral se encuentra presente una capa de líquido, que sirve como medio lubricador, permitiendo que la fricción entre las capas disminuya.

Esto constituye la fundamentación física de la disminución del-

ángulo de reposo natural del material húmedo con respecto al ángulo de reposo natural del material seco.

Para la realización de los ensayos se hizo necesario obtener una pulpa laterítica con una concentración de un 25 % de sólido y una granulometría de -0,833 m. para ello se procedió al cálculo del volumen de mineral y de agua a añadir para obtener la pulpa deseada a partir de las características del acondicionador.

RESULTADO DE LOS CALCULOS REALIZADOS

Cálculo del Acondicionador	Relación L-S a 25 %	Cantidad de Mineral	Cantidad de Agua
D = 42,6 cm	$R = \frac{1-S}{S}$	$R = \frac{V}{Q}$	W = 48,72 cm ³
H = 34,2 cm			
V = H.S; S = $\frac{D^2}{4}$	S = 25 %	$Q = \frac{V}{R}$	
V = 48,72 cm ³	R = 3	Q = 16,24 kg	

En este trabajo se realizaron diferentes variaciones de ángulos y éstos angulos se dividieron en dos grupos según sus magnitudes y comportamiento de la pulpa.

1er. Grupo:

Se variaron ángulos tales como:

6°, 10°, 15°, 18°, 20°, 23°

El comportamiento de la pulpa en estos casos, después de transcurrido un tiempo determinado de sedimentación, fué el de sedimentar a una altura aproximadamente constante sin observarse deslizamiento del mineral.

2do. Grupo:

Aquí los ángulos variados fueron:

26°, 27°, 28°, 31°, 34°, 37°

La pulpa en estos casos se comportó después de pasado un tiempo de forma inestable, ya que la sedimentación en cada caso no tenía una altura aproximadamente constante, además el mineral sedimentado se deslizaba hacia atrás. Este deslizamiento aumentaba a medida que aumentaba el ángulo de inclinación. Esto trae consigo que en la tubería se produzcan tupiciones y taponamientos producto de este deslizamiento.

En este trabajo se logró establecer el ángulo medio a partir -- del cual el mineral comienza a deslizarse hacia atrás, éste resultó ser 25°.

Cuando los ángulos son inferiores a 25°, la sedimentación de la pulpa en la tubería no afecta al proceso de hidrotransporte. Pero cuando estos son superiores a 25° el mineral sufre deslizamiento hacia atrás y la sedimentación no es pareja, este produce un gran daño en el proceso de hidrotransporte, provocando tupiciones y taponamientos en la tubería.

En la práctica experimental se ha determinado el ángulo de reposo natural seco del mineral, siendo éste aproximadamente 37°.

Bajo las condiciones en que se realiza el proceso de preparación de pulpa de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba las partículas que predominan en esa pulpa son muy finas (-0,833 mm). Según el fundamento teórico de la determinación del ángulo de reposo natural húmedo del mineral, este no debe superar al ángulo de reposo natural seco, esta condición se cumple cuando la pulpa que es tratada arrastra con ella tanto partículas gruesas como finas.

En el caso de nuestra investigación, la pulpa que se emplea es rica en partículas finas (-0,074), no observándose de forma visual una diferencia de granulometría en el mineral sedimentado,

comprobándose experimentalmente que a partir de un ángulo mayor de 25° el mineral se desliza hacia atrás provocando tupiciones y taponamientos en la tubería hidráulica.

C O N C L U S I O N E S

- 1.- En el trabajo se recogen las propiedades físico-mecánicas - del material laterítico determinada de forma experimental, - como son: humedad, composición granulométrica, densidad, ve - locidad de caída libre y contrariada, etc. Para la varia--- - ción de las valoraciones experimentales se utilizó una meto - dología estadística recogida en el trabajo.
- 2.- El valor de la densidad del sólido determinada por la meto - dología del pignómetro fué de 3 334 kg/m³.
- 3.- La pulpa obtenida en la planta de beneficio posee un alto - contenido de arena, el cual según nuestra valoración tiene - un efecto desfavorable en el hidrot transporte, sin embargo, - en el proceso de espesamiento el efecto favorable no está - bien fundamentado.
- 4.- El ángulo de reposo natural húmedo del mineral determinado - de forma experimental es de 25⁰, siendo inferior en 12⁰ al - ángulo de reposo natural seco del mineral.

R E C O M E N D A C I O N E S

- 1.- Continuar el estudio de la influencia del agua de reboso de los espesadores en el proceso de espesamiento.
- 2.- Estudiar las posibles variaciones del pH de la pulpa a la salida de la planta de beneficio y la pulpa didrotransportada.
- 3.- Realizar determinaciones del porcentaje de arena de la pulpa obtenida en la planta de preparación de pulpa y hacer comparaciones con el % de arena de la pulpa que entra a espesadores.
- 4.- Estudio de la influencia del pH en las propiedades reológicas de la pulpa laterítica.
- 5.- En la búsqueda de la solución de las crisis de sedimentación en la Pedro Sotto Alba debe excluirse el estudio de vías para lograr la ruptura de la estructura que forma la pulpa laterítica a altas concentraciones.

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

- 1.- ANDREIV, S.F. y otros: Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales.
- 2.- NEKRASOV, B. : Hidráulica. Editorial MIR
Moscú 1968
- 3.- Arnaldo González: Errores y mediciones
Editorial Científico-Técnica
1983
- 4.- Murray y otros: Problemas y tareas de estadística.
- 5.- José Falcón Hernández: Consideraciones sobre la sedimentación de la pulpa limonítica en la planta Pedro Sotto Alba.
Revista Minería y Geología
No. 2, 1983 / 1 /
- 6.- Virgen Taquechel Silvera: Diferencia de velocidad de sedimentación en la línea conductora desde planta de pulpa a planta de espesadores.
Trabajo de Diploma / 2 /
- 7.- Raúl Izquierdo Pupo: Influencia de los parámetros de hidrot transporte de las lateritas de las empresas mineras. / 3 /
- 8.- Ricardo Novoa Ortega: Influencia del pH y otros factores en la sedimentación de la pulpa cruda. -
/ 4 /.

9.- Francisco Valdéz García: Fundamentación química de la sedimentación de la pulpa laterítica con - alta dispersión de la fábrica de - Moa.

Disertación, 1983

URSS, / 5 /.

10- Karacik, B.M. y otros: Intensificación del hidrotransporte de productos y colas en combinados mineros-beneficiadores.

Editorial Haukoba-Donka

KIEV, 1976 / 6 /.

11- Alberto Hernández: Influencia de la composición iónica de la pulpa en la sedimentación.

Trabajo de Diploma. 1982.

12 - Misael González Marzo: Estudio de los parámetros de hidrotransporte de la limonita a escala industrial en la empresa Comandante Pedro Sotto Alba.

Trabajo de Diploma - 1987.

A NEXOS.

CHR\$(110) THEN 1090 ELSE GOSUB +1070 LOCATE 10,23:COLOR 2:PRINT "Su valor de T se encuentra en esta tabla(s/n)?";A\$=INPUT\$(1):COL

1080 IF A\$=CHR\$(78) OR A\$=CHR\$(110) THEN 1090 ELSE GOSUB *NW
1090 CLS 3
1100 PRINT"

"
1110 PRINT"IP/8| 0,75 | 0,90 | 0,95 | 0,975 | 0,99 | 0,995 | 0,999 |"
1120 PRINT"

"
1130 PRINT"11| 0,697 | 1,363 | 1,796 | 2,201 | 2,718 | 3,106 | 4,025 |"
1140 PRINT"

"
1150 PRINT"12| 0,695 | 1,356 | 1,782 | 2,179 | 2,681 | 3,055 | 3,930 |"
1160 PRINT"

"
1170 PRINT"13| 0,694 | 1,350 | 1,771 | 2,160 | 2,650 | 3,012 | 3,852 |"
1180 PRINT"

"
1190 PRINT"14| 0,692 | 1,345 | 1,761 | 2,145 | 2,624 | 2,977 | 3,787 |"
1200 PRINT"

"
1210 PRINT"15| 0,691 | 1,341 | 1,753 | 2,131 | 2,602 | 2,947 | 3,733 |"
1220 PRINT"

"
1230 PRINT"16| 0,690 | 1,337 | 1,746 | 2,120 | 2,583 | 2,921 | 3,686 |"
1240 PRINT"

"
1250 PRINT"17| 0,689 | 1,333 | 1,740 | 2,110 | 2,567 | 2,898 | 3,646 |"
1260 PRINT"

"
1270 PRINT"18| 0,688 | 1,330 | 1,734 | 2,101 | 2,552 | 2,878 | 3,610 |"
1280 PRINT"

"
1290 PRINT"19| 0,688 | 1,328 | 1,729 | 2,093 | 2,539 | 2,861 | 3,579 |"
1300 PRINT"

"
1310 PRINT"20| 0,687 | 1,325 | 1,725 | 2,086 | 2,528 | 2,845 | 3,552 |"
1320 PRINT"

"

1330 LOCATE 10,23:COLOR 2:PRINT "Se encuentra su valor de T en esta tabla (s/n)?";Q\$=INPUT\$(1):COLOR 4
1340 IF Q\$=CHR\$(78) OR Q\$=CHR\$(110) THEN 1350 ELSE GOSUB *NW

1350 CLS 3
1360 PRINT"

"
1370 PRINT"IP/8| 0,75 | 0,90 | 0,95 | 0,975 | 0,99 | 0,995 | 0,999 |"
1380 PRINT"

"
1390 PRINT"21| 0,686 | 1,333 | 1,721 | 2,080 | 2,518 | 2,831 | 3,527 |"
1400 PRINT"

"
1410 PRINT"22| 0,686 | 1,331 | 1,717 | 2,074 | 2,508 | 2,819 | 3,505 |"
1420 PRINT"

"
1430 PRINT"23| 0,685 | 1,319 | 1,714 | 2,069 | 2,500 | 2,807 | 3,485 |"
1440 PRINT"

"
1450 PRINT"24| 0,685 | 1,318 | 1,711 | 2,064 | 2,492 | 2,797 | 3,467 |"
1460 PRINT"

"
1470 PRINT"25| 0,684 | 1,316 | 1,708 | 2,060 | 2,485 | 2,787 | 3,450 |"
1480 PRINT"

"
1490 PRINT"26| 0,684 | 1,315 | 1,706 | 2,056 | 2,479 | 2,779 | 3,435 |"
1500 PRINT"

"
1510 PRINT"27| 0,684 | 1,314 | 1,703 | 2,052 | 2,473 | 2,771 | 3,421 |"
1520 PRINT"

"
1530 PRINT"28| 0,683 | 1,313 | 1,701 | 2,048 | 2,467 | 2,763 | 3,408 |"
1540 PRINT"

"
1550 PRINT"29| 0,683 | 1,311 | 1,699 | 2,045 | 2,462 | 2,756 | 3,396 |"
1560 PRINT"

"
1570 PRINT"30| 0,683 | 1,310 | 1,697 | 2,042 | 2,457 | 2,750 | 3,385 |"
1580 PRINT"

"

1590 LOCATE 10,23:COLOR 2:PRINT "Su valor de T se encuentra en esta tabla (s/n)?";Y\$=INPUT\$(1):COLOR 4
1600 IF Y\$=CHR\$(78) OR Y\$=CHR\$(110) THEN 1610 ELSE GOSUB *NW

1610 CLS 3
1620 PRINT"

"
1630 PRINT"IP/8| 0,75 | 0,90 | 0,95 | 0,975 | 0,99 | 0,995 | 0,999 |"
1640 PRINT"

"

```

1650 PRINT " | 40 | 0.681 | 1.303 | 1.684 | 2.021 | 2.423 | 2.704 | 3.303 | "
1660 PRINT " |-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----| "
1670 PRINT " | 60 | 0.679 | 1.296 | 1.671 | 2.000 | 2.390 | 2.660 | 3.232 | "
1680 PRINT " |-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----| "
1690 PRINT " | 120 | 0.677 | 1.289 | 1.658 | 1.990 | 2.358 | 2.617 | 3.160 | "
1700 PRINT " |-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----| "
1710 PRINT " | ... | 0.674 | 1.282 | 1.645 | 1.960 | 2.326 | 2.576 | 3.090 | "
1720 PRINT " |-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----| "
1730 LOCATE 10,23:COLOR 2:PRINT "Su valor de T se encuentra en esta tabla (s/n)?";:Y$=INPUT$(1)
1740 IF Y$=CHR$(78) OR Y$=CHR$(110) THEN 1750 ELSE GOSUB *WW
1750 CLS 3:LOCATE 10,11:INPUT " Entre cuales valores se encuentra su T ";T1,T2:T=(T1+T2)/2:PRINT "El valor interpolado de T es ";T
1752 LPRINT "El valor de T es ";T:INTER=(T*ERRORCUAD/SQR(ND)):LPRINT " El Intervalo de Confianza es +/-";INTER:GOSUB *RETORNO
1760 CLS:END
1770 "////////////////////"
1780 "LECTURA DEL VALOR DE T Y CALCULO DE LA EXACTITUD DEL EXPERIMENTO
1790 "////////////////////"
1800 *WW:CONSOLE 23,25,0,1:CLS 3:CONSOLE 0,25,0,1
1810 LOCATE 15,23:COLOR 6:INPUT "Teclee el valor de T";T:IF RR=1 THEN GOSUB *EE
1820 E=(T*V)/SQR(ND):CLS 3
1830 LOCATE 10,12:COLOR 3 :LPRINT "El indice de exactitud de su investigacion es de "E"%":IF FLAG=4 THEN 1752 ELSE IF E=0 THEN GOSUB *INDEF
1840 GOSUB *RETORNO
1850 END
1860 *V5:CLS 3
1870 *RR=1
1880 GOSUB *V4
1890 "////////////////////"
1900 "CALCULO DEL # OPTIMO DE EXPERIMENTOS A REALIZAR
1910 "////////////////////"
1920 *C4
1930 N=((T^2)*V^2)/E^2:NN=INT(N)
1940 LOCATE 10,14:COLOR 1 :LPRINT "El numero optimo de experimentos es de";NN
1950 GOSUB *RETORNO
1960 END
1970 "////////////////////"
1980 "SUBPROGRAMA DE RETORNO AL MENU INICIAL
1990 "////////////////////"
2000 *RETORNO
2010 LOCATE 10,16:COLOR 4:PRINT "Desea otra opcion del MENU (s/n)?";:D$=INPUT$(1):CLS
2020 IF D$=CHR$(83) OR D$=CHR$(115) THEN RUN ELSE RETURN
2030 "////////////////////"
2040 "SUBPROGRAMA DE EJEDUCION SOLO SI EL ERROR TIPICO ES CERO
2050 "////////////////////"
2060 *INDEF:CLS
2070 LOCATE 4,11:COLOR 1:PRINT AKONV$("***SU EXPERIMENTO HA SIDO UN EXITO***"):GOSUB *RETORNO
2080 "////////////////////"
2090 "LECTURA DEL INDICE DE EXACTITUD "EE"
2100 "////////////////////"
2110 *EE
2120 CLS 3:LOCATE 8,5:INPUT "Con que indice de exactitud UD quiere su experimento en T";EE:CLS
2130 RETURN 1920
2140 END

```

Fig [2] Sedimentación de la pulpa en
 Planta de preparación de pulpa
 a 25 % de sólido

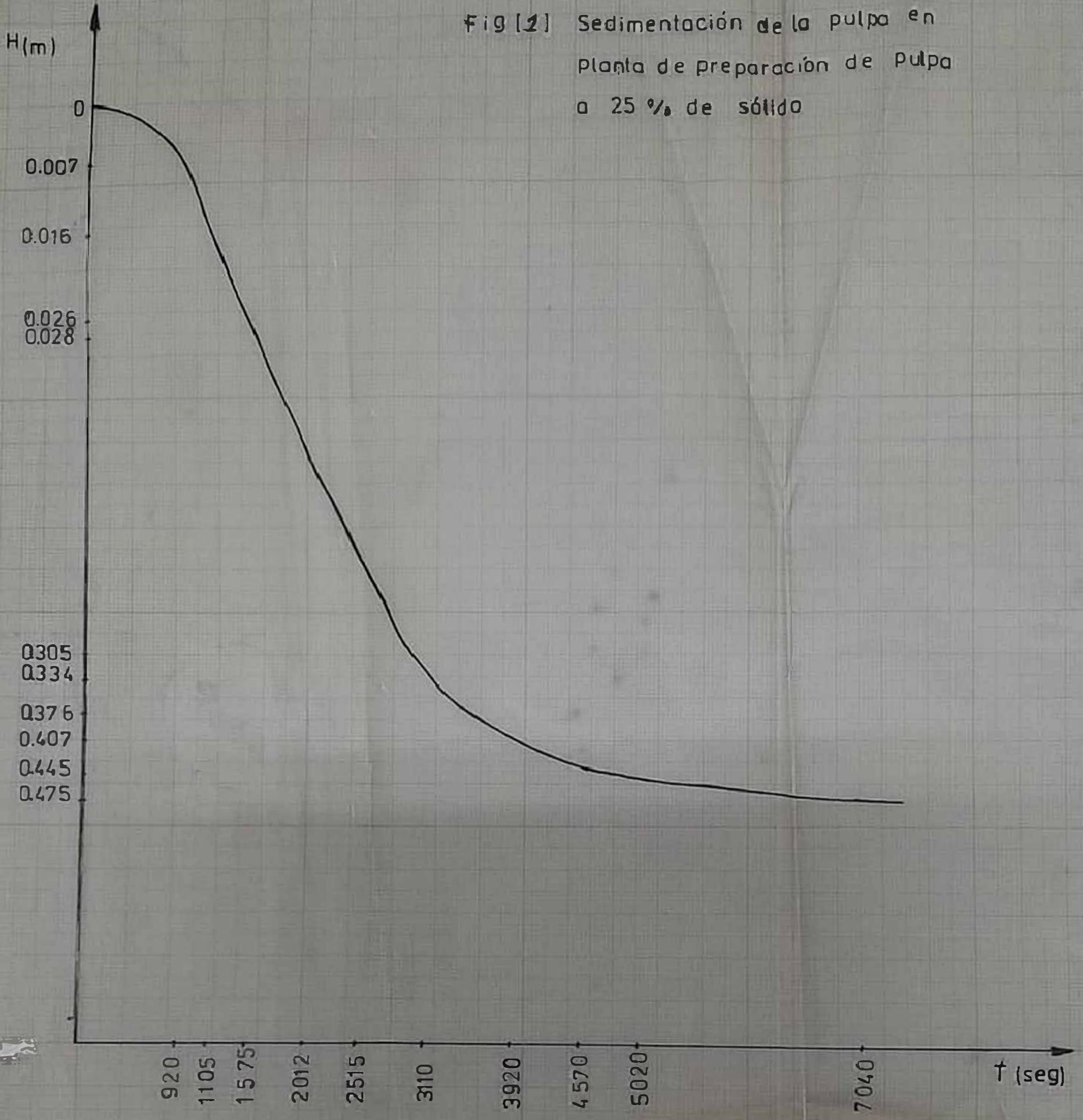
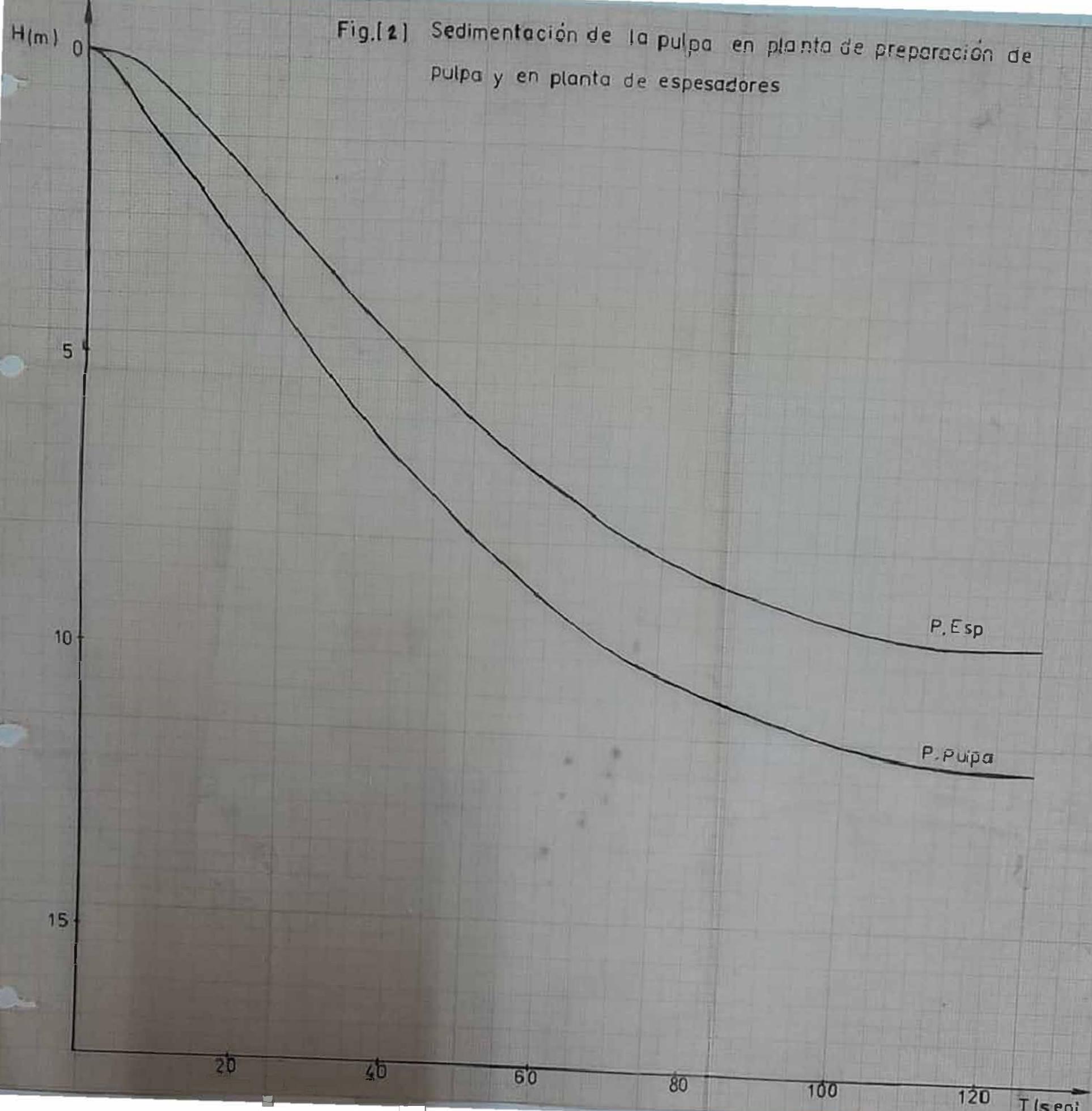
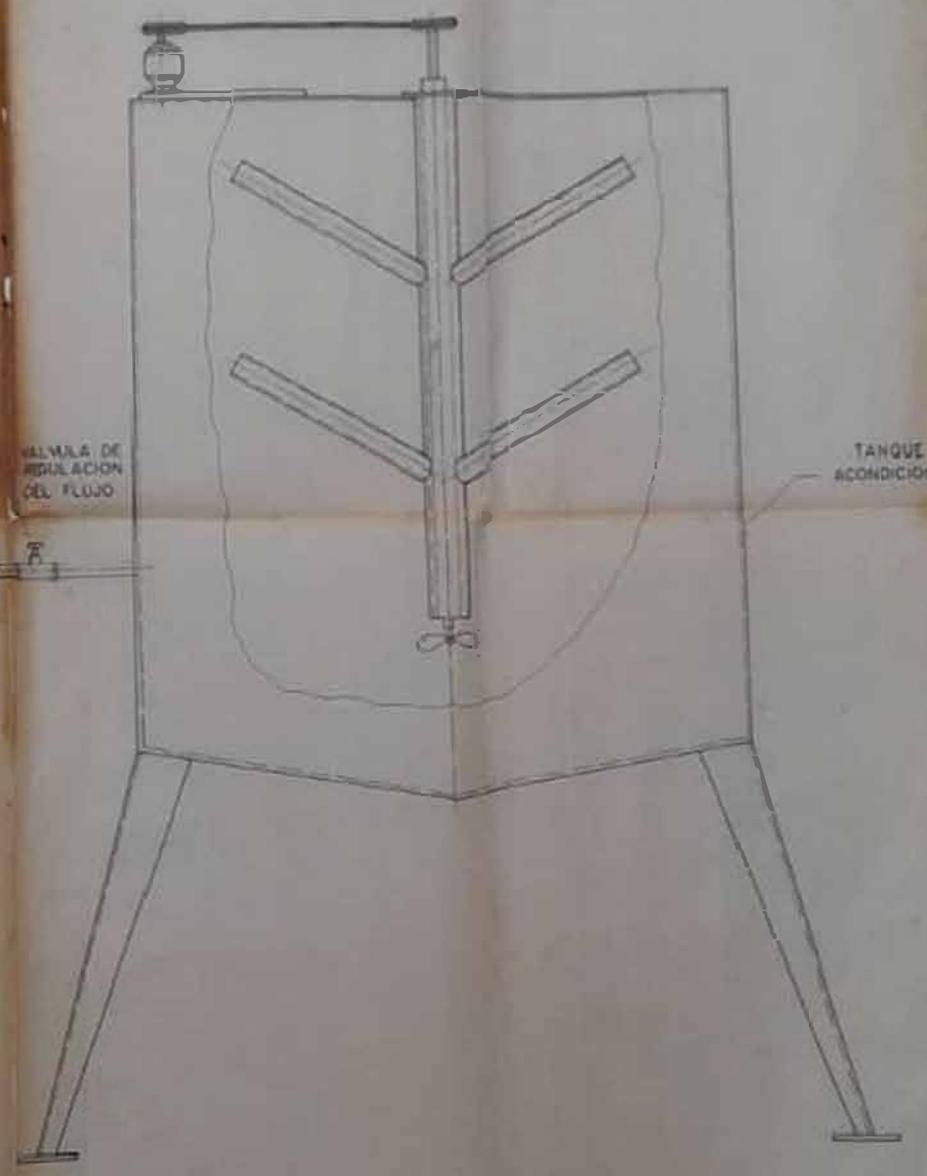
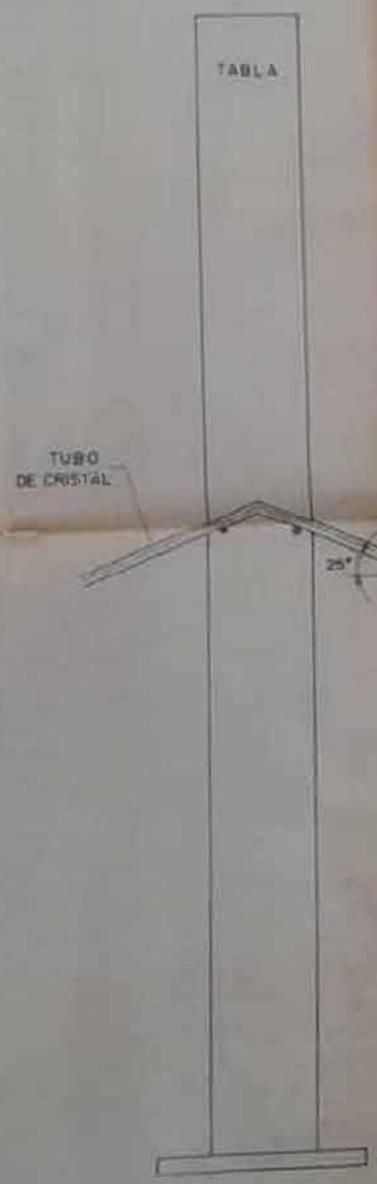


Fig.[2] Sedimentación de la pulpa en planta de preparación de pulpa y en planta de espesadores



INSTALACION DE ANGULO DE REPOSO NATURAL HUMEDO, DEL MINERAL LATERITICO



TUBO DE CRISTAL

VALVULA DE REGULACION DEL FLUJO

TANQUE ACONDICIONADO

TABLA