

REPUBLICA DE CUBA
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO
MOA-HOLGUÍN

Trabajo de Diploma

TITULO: INFLUENCIA DE LA PREPARACIÓN DE LA PULPA EN LA
VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

TUTORES: CANDIDATO A DR: ING. JOSÉ FALCON H.
ING. PEDRO BEYRIS

DIPLOMANTE: JOSÉ GARCÍA SÁNCHEZ

1982
“AÑO DE LA REVOLUCIÓN

I N D I C E

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAGINA</u>
CAPITULO I Introducción	6
1.1 Resumen	6
1.2 Introducción	6
CAPITULO II Condiciones minero-geológicas del yacimiento. Tratamiento tecnológico - de las menas niquelíferas.	8
2.1 Característica de los minerales	8
2.2 Descripción del proceso tecnológico - de la Empresa Pedro Sotto Alba.	11
CAPITULO III Consideraciones teóricas sobre el espesamiento de las pulpas.	22
3.1 Velocidad de sedimentación.	22
3.2 Sedimentación de la pulpa.	28
3.3 Equipos industriales usados en sedimentación.	30
3.4 Parámetros que afectan la sedimentación.	31
3.5 Resumen de los trabajos realizados sobre sedimentación.	34
CAPITULO IV Determinación de la influencia de la preparación de la pulpa.	41
4.1 Técnica operatoria.	41
4.2 Otros experimentos realizados.	42

CONTENIDO

PAGINA

CAPITULO V Consideraciones acerca de los experimentos.	57
5.1 Consideraciones generales.	57
5.2 Análisis de los resultados obtenidos.	58
CAPITULO:VI Conclusiones y recomendaciones.	60
6.1 Conclusiones.	60
6.2 Recomendaciones.	60
Bibliografía	62

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1: Resumen:

El objetivo fundamental de nuestro trabajo fue determinar la influencia de la preparación de la pulpa en la velocidad de sedimentación.

Para ello realizamos una serie de experimentos con minerales de los diferentes frentes de arranque de la mina. En este trabajo basado en los datos experimentales, se realizaron las curvas de velocidad de sedimentación. En cada una de las pruebas se determinó el peso del retenido del tamiz de 20 malla para determinar en ello - la efectividad del lavado.

Se determinó además el peso del mineral en las probe--tas para calcular el % de sólido antes y después de la sedimentación.

Al final se realizaron tres pruebas con mezclas de minerales de los diferentes frentes con el objetivo de - determinar la influencia de las características.

1.2: Introducción:

La preparación del mineral para el proceso de lixiviación en la Empresa Cmdte. "Pedro Sotto Alba" está formado por el lavado del mineral y la separación de las fracciones limoníticas y serpentínicas del mineral por cribado.

La pulpa que se obtiene del proceso anterior con un contenido de aproximadamente 25 % de sólidos pasa a los tanques espesadores de pulpa donde debe alcanzar alrededor de 47 % de sólidos.

El % de sólidos de la pulpa que sale de espesadores juega un papel fundamental en el proceso, ya que influye en la capacidad de la planta de lixiviación y en los índices tecnológicos del proceso en general.

Pero alcanzar el % de sólidos optimo del producto espesado presenta grandes dificultades y en estos casos no es posible alcanzarlo, por lo que se han realizado una serie de trabajos investigativos con el objetivo de mejorar este proceso de espesamiento.

Este trabajo de diploma se realizó con el objetivo de determinar la influencia que tiene el proceso de preparación de la pulpa en la posterior velocidad de sedimentación de ésta, para ello se realizaron una serie de experiencias con minerales de diferentes frentes del yacimiento en los laboratorios del ISMM.

CAPITULO II: CONDICIONES MINERO-GEOLÓGICAS DEL YACIMIENTO. TRATAMIENTO TECNOLÓGICO DE LAS MENAS NIQUELIFERAS.

2.1: Características de los minerales.

"El mineral 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 Fe con un contenido alto de alumina."(5)

La profundidad de la capa promedia 4.6 m y tiene aproximadamente la siguiente composición química:

46.5 % de Fe

1.38 % de Ni

0.12 % de Co

La fracción inferior de serpentina tiene alto contenido de Mg, bajo en Fe y algo más alto en Ni que la limonita. Sin embargo debido al alto contenido de Mg se necesita tanto H_2SO_4 en la lixiviación que no es económico producirlo por lo que se almacena para uso futuro.

Composición química

	Ni	Co	Fe	Al	Mg	Ca
Escombros.	0.64	0.03	45.5	7.6	0.50	1.8
Limonita.	1.37	0.125	47.5	4.2	0.62	1.6
Serpentina.	1.53	0.04	15.8	3.1	14.6	0.37

Composición mineralógica:

Gohetita $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 70-75 %

Alumina $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 10 %

Serpentina $3 \text{Mg} \cdot 0.2 \text{Si} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 2.5 %

Cuarzo $\text{Si} \cdot \text{O}_2$ 2.4 %

Como se observa el componente principal de estas menas es la gohetita que alcanza hasta un 75 %.

Una parte considerable del Aluminio se encuentra en forma de $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (hasta 10 %). El resto es serpentina y cuarzo con 2.5 % cada una y un 10 % de inclusiones.

El Ni y una parte del Co se encuentran asociados a la Gohetita donde sustituyen al Fe en las redes cristalinas de las mismas.

Características del mineral usado en las experiencias:
Para la realización de las experiencias se utilizó mineral de los frentes de arranque que en el momento de la realización de este trabajo se encontraban en explotación. Ellos fueron los frentes D-30, D-2, D-24, a --
Y D-29
continuación y de forma muy breve se exponen las principales características de cada uno de ellos.

Frente D-30 = Yacimiento Yamanigüey

Coordenadas: Norte 7333

Este 4533

Características: Es un frente de poca potencia y presenta grandes fragmentos de serpentinas dura intercalados con la masa laterítica.

Frente D-2 = Yacimiento Atlantic

Coordenadas: Norte 5100

Este 5933

Características: Gran potencia de 25-30 metros, no presenta los fragmentos de serpentina dura, en el fondo - aparecen ciertas cantidades de serpentinas blandas.

Frente D-29 = Yacimiento Atlantic

Coordenadas: Norte 5200

Este 7300

Características: Este frente es de gran potencia, aproximadamente 30 metros, el mineral presenta un color pardo oscuro, es una masa compacta donde no hay serpentina.

Frente D-24 = Yacimiento Atlantic

Coordenadas: Norte 5166

Este 7466

Características: Es un frente de potencia media, oscila entre 6 y 8 metros, presenta una coloración más oscura que los demás frentes y aparecen fragmentos de serpentina dura en la masa laterítica.

La densidad de los minerales se determinó por el método del picnómetro en los laboratorios de la Facultad de Minas arrojando los siguientes resultados:

Mineral del frente D-30 = 3,33 G/cm³

Mineral del frente D-24 = 3,69 "

Mineral del frente D-2 = 3,51 "

Mineral del frente D-29 = 3,69 "

La composición química del mineral es:

	Ni%	Co%	Fe%	Mg%	SiO ₂ %	Al%
Frente D-30	1,20	0,085	36,7	4,08	12,70	4,02
Frente D-24	1,49	0,141	47,2	0,105	2,24	4,80
Frente D-2	1,01	0,089	44,1	0,135	2,10	6,23
Frente D-29	1,63	0,168	47,4	0,135	2,51	5,25

2.2 Descripción del proceso tecnológico de la empresa-
Cmde. "Pedro Sotro Alba":

Los depósitos lateríticos de hierro portadores de Ni -
en la región de Moa se presentan como una capa superfi-
cial de tierra carmelitosa rojiza que varía de 10 a --
100'' de espesor.

Estos están situados sobre terrazas que se extienden -
interiormente unas tres millas alcanzando de 100' a --
1000'' sobre el nivel del mar. El proceso utilizado en
la región de Moa para la preparación del concentrado -
del sulfuro de Ni + Co apropiada para embarcar a par--
tit de la laterita se describe a continuación:

Planta de preparación de pulpa:

La función de esta planta es procesar el mineral de la mina para eliminar todas las partículas que tengan un tamaño superior a 0,833 mm y con el resto producir una pulpa acuosa con una concentración de sólidos de 25% la cual se envía a la Planta de Espesadores de Pulpa cruda.

La pulpa se produce por lavado y zarandeo húmedo del mineral y de esta forma son separadas las fracciones de serpentina dura y otras rocas que no pueden ser procesadas económicamente por el método de lixiviación ácido, debido a su alto contenido de Mg.

La Planta de Preparación de Pulpa se compone de dos unidades de proceso idénticas (con algunos equipos en comunes), cada unidad es capaz de garantizar los requerimientos de la Planta Metalúrgica cuando esta trabaja a plena capacidad.

Por diseño la Planta fue concebida para trabajar 88 horas semanales, distribuidas en 2 turnos de 8 horas durante 5 días y 8 horas el sábado, pero prácticamente desde que se inició la operación trabaja 24 horas diarias durante toda la semana. Como consecuencia de este sistema operativo esta Planta tiene una capacidad superior en 2,5 veces a la Planta de Lixiviación y esto le permite trabajar a una eficiencia de 40% garantizando ampliamente las necesidades de la Planta Metalúrgica.

El mineral es recibido de la mina directamente camiones de 17 Tn que descargan en el embudo del transportador Yamanigüey. Debajo del embudo de recepción se encuentra el extractor de placa FD -2 el cual descarga el mineral en la machacadora de rodillos RC-2, mediante una parrilla fija, permitiendo ésta la separación de fracciones de más de 250 mm pasando a las de tamaño menor directamente al transportador de enlace CO-7.

El mineral de tamaño mayor de 250 mm pasa a la machacadora y una vez triturado descarga sobre el transportador de enlace, el cual alimenta al transportador principal CO-8, éste asegura la llegada del mineral a la planta de preparación de pulpa, donde hay un tolvin de tipo "BY PASS" accionando eléctricamente en dependencia de la necesidad de producción.

En el caso de que se produzcan interrupciones en la mina, este transportador también puede ser alimentado por una grúa que toma el mineral de los depósitos de reservas situados a ambos lados del punto de recepción con capacidad de 30000 TM cada uno.

La capacidad máxima de esta instalación de alimentación a la Planta de Preparación de Pulpa es de 800TM/H estimándose un rendimiento de 90% con una parada de 15 días al año.

Del tolvin el mineral cae por gravedad a las tolvas, - el cual se extrae mediante extractores de placas FD/- AB de velocidad variable y es descargado a las correas del transportador de alimentación CO-4AB.

La regulación de la proporción de alimentación de mineral a la planta se realiza controlando la velocidad - de los extractores de placas.

Cada transportador descarga en las cribas vibratorias SN-2 AB, los cuales tienen una abertura de 127 mm, y - si es requerido pueden utilizarse roceadores de agua - para ayudar a separar las partículas finas de las rocas y romper las bolas de fango.

Las mayores de 127 mm procedentes de las cribas son - descargadas en los transportadores vibrátiles CO-1 AB que a su vez descargan dentro del cilindro lavador - SB-1, 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 descarga a - un triturador de quijada CR-1 y triturados en fraccio - nes menores de 127 mm que caen dentro del transporta - dor (colector) de rechazo CO-2, que a su vez descarga en los transportadores de desecho CO-5 y 6.

La fracción menor de 127 mm procedentes de las cribas vibratorias fluyen hacia las lavadoras de palejas --

LW-1 AD. El caudal de cada una de las cribas vibratorias se divide en dos partes iguales, de manera que cada criba alimenta a dos lavadoras. En esta mezcla el mineral con agua para producir una pulpa uniforme con un 30 % de sólidos.

Las lavadoras descargan hacia las zarandas primarias SN-3 AD. El producto menor de 127 mm provenientes -- del cilindro lavador también se descarga en dos de -- estas zarandas 3 BC.

Las zarandas primarias tienen ranuras de 10 mm en el enrejado. El material de rechazo es lavado lsobre -- los enrejados por roceadores planos. Las partículas -- que después de lavadas no logren atravesar la malla, son descargadas directamente al transportador (colector) de rechazo.

La fracción menor de 10 mm descargada por cada zaranda primaria se divide en dos caudales, cada uno de -- los cuales alimenta a una de las ocho zarandas SN-4-AH, las cuales son esencialmente iguales a las primarias pero están equipadas con mallas de abertura --- 25 X 0,833 mm (malla 20). El material mayor de 0,833 mm después de lavado con los roceadores iguales a -- los usados en las zarandas primarias es descargado -- en el colector de rechazo.

La pulpa que contiene los sólidos menores de 0,833 mm atraviesan las mallas de las zarandas secundarias re

presentando el producto final de 25 % de sólidos de esta planta de preparación de pulpa, cae en el colector de producto final de ahí al tanque de retención de donde es enviada a través de una tubería de 610 mm construída de concreto a la planta de espesadores de pulpa.

Toda el agua del proceso utilizada en esta planta proviene de espesadores, desde donde es bombeada por medio de la tubería de retorno de agua de 460 mm.

Planta de Espesadores de Pulpa:

El objetivo de esta planta es producir la pulpa espesada de 45-47% de sólidos al mismo tiempo que sirve de almacenaje de aproximadamente 40000 TM de mineral de forma tal que garantice una alimentación estable a la Planta de Lixiviación.

A la Planta de Espesadores se alimenta una pulpa de un 25% de sólidos, la pulpa cae por gravedad por una tubería de 24 pulgadas a una caja distribuidora que posee 7 compartimientos por medio de los cuales se alimenta la pulpa desde el fondo de los espesadores por tuberías que pasan por túneles soterrados.

Debido a la capacidad de los sedimentadores la pulpa permanece 9 días. La extracción de los sedimentadores depende de la capacidad de lixiviación.

Los espesadores son tanques de forma cilíndrica y -- fondo cónico. Poseen un diámetro de 106,5 metros con un área total de espesamiento de 7850 metros². Y altura en su parte central de 11,7 m.

Dentro de los tanque 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 la acción mecánica sobre la pulpa.

Los rastrillos giran muy lentamente (0,020 rpm) ya -- que los espesadores deben mantener la pulpa en reposo para que ocurra la precipitación por gravedad de las partículas, además poseen un canal de reboso construído a todo lo largo de la periferia que debe asegurar un régimen hidrodinámico estable durante la ex---tracción del reboso.

En el espesador la pulpa sedimenta y es arrastrada -- hácia el cono de descarga por los brazos de los mecanismos del sedimentador, desde el cono fluye por gravedad a través de tuberías hácia las bombas, las cuales se lleva de nuevo hacia las cajas distribuidora- o a lixiviación directamente, el producto entregado- a lixiviación debe tener un por ciento sólido mayor- de 45 % y un por ciento de fracción 100 mallas menor

de 8,5 %.

El agua liberada debido al espesamiento va a la superficie por un canal de reboso donde es conducida por la succión de las bombas y retornada a la Planta de Pulpa.

Planta de Lixiviación.

La pulpa de mineral crudo con una densidad máxima que puede ser preparada y transportada se bombea desde los espesadores, donde se calientan a 160°F a 180°F por absorción directa de vapor de 15 lbs sobre plgs al cuadrado a tanques de almacenaje agitados mecánica y neumáticamente. La pulpa se recoge por bombas centrífugas recubiertas de goma, para alimentar a presión las bombas de alimentación de pulpa de alta presión y bombeadas a la torre calentadora de pulpa de cada tren (son 4 trenes independientes).

El ácido sulfúrico con una concentración de 98% se alimenta con bombas de embudo en el primer reactor.

La agitación se suministra por el sistema "Pachucas" - usando vapor de alta presión. La pulpa lixiviada que rebosa del reactor de la cuarta etapa pasa a través de un intercambiador de calor donde se enfría, su calor se recupera como vapor de 15 lbs sobre pulgadas al cuadrado. Después pasa a través de extranguladores especiales de control de flujo a un tanque de evapora---

ción instantáneo. La pulpa lixiviada fluye por gravedad al sistema de lavado.

Planta de Decantación y Lavado (D.C.C.).

El sistema de lavado consta de 6 etapas de decantación por corriente contraria, cuya función es separar un licor conteniendo Ni y Co, de un mineral lixiviado. El mineral que se recibe para este proceso es pulpa, conteniendo el 33,8% de sólido producido en el sistema de lixiviación y combinado con pulpa de yeso producida en neutralización. Esta pulpa se descarga en el tanque número 1 a una temperatura de 205°F.

El agua de lavado es añadida en el tanque número 6, con una proporción igual a dos veces la cantidad de licor en el flujo inferior del mineral.

El ha sido diseñado para operar con un 57% de sólido del underflow a flujo inferior en los tanques, con la proporción de lavado de 2,1, la recuperación de valores metálicos en la solución será de 99,5% siempre que se obtenga una mezcla perfecta en las distintas etapas del proceso.

El producto de este sistema en el reboso del tanque espesador número 1, el cual normalmente contiene 5,29-g.p.l. de Ni, este producto es bombeado hacia el tanque de almacenaje del licor crudo, en el sistema de

neutralización.

Las impurezas (conteniendo Fe, Cr, etc) obtenidas -- del lavado son bombeadas al tanque de colas, donde -- se mezclan con agua y se mandan al almacenaje del mi neral lavado.

La pulpa lixiviada y lavada del tanque de colas en -- el sistema de lavado es bombeada hacia el área de al macenaje, donde ésta es almacenada para ser utiliza-- do en el futuro como mineral de Fe.

Neutralización.

La solución rica en Ni, que sale de la primera etapa D.C.C. se bombea a la sección de neutralización don-- de la acidez libre se remueve con pulpa de coral. El coral lavado que contiene más de 90% de Ca CO_3 reac-- ciona rapidamente con el ácido libre que contiene el licor. El licor crudo de neutralización es tratado -- con H_2S para eliminär el Cr, cromato y reducir en al go al Fe férrico al estado ferroso y reducir el Cu, -- esta operación se lleva a cabo en cuatro reactores -- de madera con agitadores engomados.

Precipitación de Sulfuros.

El licor neutralizado se bombea a la sección de lixi viación donde se precalienta hasta 170°F .

Después es bombeado a los calentadores del sistema -- de sulfuro. Aquí el contacto directo don el vapor de

15 lbs/plgs² calienta el licor a 245°F y el licor caliente se bombea a los reactores de precipitación de sulfuros del tipo cilíndrico horizontales con agitación mecánica.

Se inyecta H₂S altamente puro para mantener una presión total de 150 lbs/plgs² donde precipita el 99 % de Co. El precipitado se transfiere a los tanques de evaporación instantáneo donde se separa el H₂S de exceso. El sulfuro pasa a dos espesadores donde se separa el sólido. El sulfuro espesado se lava en dos etapas con agua caliente que procede del enfriador de H₂S.

El sulfuro lavado como una pulpa que contiene alrededor de 65 % de sólidos se traslada a un tanque de almacenaje desde donde es transportado por carros concretas hasta el puerto. Una batería de tanques de madera de 20' de alto se usa para el almacenaje desde donde se embarca el producto almacenado.

En el dibujo # 1 ofrecemos el diagrama del proceso tecnológico de la Fábrica.

CAPITULO III: CONSIDERACIONES TEORICAS SOBRE EL ESPE- SAMIENTO DE LAS PULPAS.

3.1 Velocidad de Sedimentación.

Para comprender mejor el desarrollo de las experien-
cias y el trabajo de diploma en su totalidad conside-
ramos necesario la exposición de la fundamentación --
teórica de éste, donde se expliquen los conceptos fun-
damentales y los principales trabajos realizados so-
bre esta materia con relación al problema existente -
en la Empresa Pedro Sotto Alba.

A continuación se expresa los aspectos fundamentales-
sobre preparación y sedimentación de pulpa:

Las pulpas se producen fundamentalmente por el lavado
del mineral con agua, esto produce una pulpa acuosa -
que en la mayoría de los casos no posee el % de sólidos
necesarios para el proceso siguiente es por eso -
que es necesario después un proceso de espesamiento -
de la pulpa producida.

Para la explicación del proceso de espesamiento nos -
basaremos en el trabajo investigativo del Ing. José -
Falcón H., Consideraciones sobre la Sedimentación de-
la Pulpa Limonítica en la Planta "Pedro Sotto Alba":-
En el cual plantea que las partículas sólidas en un -
medio fluído en reposo tienden a caer por la acción -
de la gravedad. Si una partícula cae en un medio lo -

suficientemente extenso y no se consideran las acciones de otras fuerzas que no sean las de la resistencia del medio, la misma alcanzará una velocidad máxima a la cual se le denomina velocidad límite de caída libre.

La velocidad límite de caída dependerá del tamaño, densidad de la partícula y de las propiedades del fluido y existen diversas razones y fórmulas para calcular la misma.

En el caso en que precipita no una sino muchas, a la resistencia del medio se le sumarán otras fuerzas que entorpecerán la caída de las partículas y por lo tanto nos encontraremos en el 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 partículas que caen. En el caso de partículas muy pequeñas (lamas), del orden de varios micrones, el peso de las partículas y las velocidades de caída resultan tan tan pequeñas que las fuerzas superficiales y las interacciones entre las moléculas pueden mantener a éste en suspensión, esto es, no caen.

En los casos en que se convina una mezcla de partículas muy pequeñas (lamas) y otras mayores, ocurre que

estas últimas para precipitar tienen que vencer no sólo la resistencia del medio, sino también desplazar a las partículas más pequeñas que poseen menor velocidad de caída, por lo tanto, 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 las pequeñas. En determinadas condiciones este equilibrio resulta de tal forma que practicamente se detiene la sedimentación.

Para la determinación de la velocidad de caída contrariada se utiliza generalmente la fórmula de Gaudín que contempla la diferencia de género de las partículas y que se expresa:

$$V_{ct} = V_o (1-\delta) (1-\delta)^{2/3} (1-2,5 \delta)$$

Donde:

V_{ct} - Velocidad de caída contrariada

V_o - Velocidad límite de caída libre (determinada por la fórmula de stokes).

$\delta = 1-m$ - Concentración volumétrica del sólido, o sea, parte de la pulpa ocupada por el sólido.

m - coeficiente de llenado.

Esta fórmula por tanto puede ser utilizada solo para partículas pequeñas y concentraciones menores de 30%

de sólidos por volúmen, ya que es 40% o mayor $C_{vt}=0$. En el caso en que sedimentan partículas relativamente grandes en presencia de pequeñas (100 o más veces mayores unas que otras) pueden considerarse que las primeras caen en una suspensión o sea se considera el líquido con una determinada densidad y viscosidad determinada por las partículas pequeñas que le comunican sus propiedades.

Según las investigaciones del Instituto "Mejanobr" - de la URSS la velocidad de la caída de las partículas grandes en la suspensión no estructurada pueden ser determinadas aproximadamente según la fórmula:

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

DONDE:

V_{ct} - Velocidad de caída contrariada

ρ_s - Densidad del sólido

ρ_p - Densidad de la suspensión

ρ_{pct} - Densidad de la pulpa compuesta sólo de aquellas partículas cuya velocidad se determina por la concentración volumétrica e igual a la concentración de partículas en suspensión.

Como se observa de esta fórmula, al cambiar la composición del tamaño de las partículas se ve afectada -- tanto la velocidad de caída de las partículas relativamente grandes como de las pequeñas.

"En sentido restringido, la palabra (sedimentación) -- es la deposición por gravedad de partículas sólidas-- en un medio fluído". Sin embargo, desde el punto de -- vista tecnológico, la fuerza impulsora puede ser cualquiera que sitúe a distancia, es decir la gravedad -- (gravitatoria) la centrífuga, la eléctrica ó la magnética; la deposición puede ser en cualquier dirección-- como por ejemplo la ascensión de burbujas de gas en -- una masa estacionaria de agua o el movimiento predomi-- nantemente horizontal de las partículas en suspensión en un ciclón de eje vertical, las partículas pueden -- ser sólidas, líquidas o gaseosas siempre que se forme una fase distinta en el líquido suspenso, y por últi-- mo el medio de suspensión no es preciso que sea un -- verdadero fluído sino que puede ser, y con frecuencia es una suspensión.

"En la industria la sedimentación de las suspensiones-- acuosa es un proceso continuo que se realiza en los -- llamados espesadores, grandes depósitos a los cuales-- llega, por el centro o por el lado, la suspensión o -- lado diluído, y que permite reboso del líquido que sobrenada separándolo del lado espeso que sale por el -- fondo del espesador". (4)

Por cuanto la sedimentación es un fenómeno que se pue-- de encontrar en todo el flujo tecnológico de la fábr*i*

ca "Cmdte. Pedro Sotto Alba" y por ende influye en la mayoría de las unidades productivas que integran la misma; encontrándose el presente trabajo relacionado con ella.

La velocidad decreciente de la altura de la superficie que separa el líquido claro que sobrenada, de la capa que sostiene el sólido de suspensión, se denominan velocidad de sedimentación. Esta velocidad depende fundamentalmente del diámetro de la partícula, del peso específico de la partícula y del líquido, de la viscosidad y la variación del % del sólido. La teoría de sedimentación en espesadores se basa en la acción de la fuerza de gravedad y por tanto, el diámetro de las partículas juega un papel primordial por lo que se han deducido las siguientes fórmulas para diferentes diámetros de partículas:

Según Stokes:

$$V = \frac{d^2 (\rho_{\text{sól}} - \rho_{\text{liq}})}{18\mu}$$

Se utiliza para partículas menores e iguales a 100 MK y donde la relación líquido-sólido es mayor o igual que 10 M. caída libre.

Según Rittinger:

$$V = \frac{2g (\rho_{\text{sól.}} - \rho_{\text{liq.}})^2}{\rho_{\text{liq.}}} \quad \text{XXXXXX}$$

Se utiliza para partículas ~~XXXXXX~~ 200 MK. ó más

Donde:

D - Diámetro de las partículas.entre 100

G - Aceleración de la gravedad.

$\rho_{\text{sól}}$ - Densidad del sólido.

$\rho_{\text{líqu}}$ - Densidad del líquido.

μ - Viscosidad.

Según P. Liashcherko y T.G. Fomenko se puede calcular con exactitud la velocidad de sedimentación por:

$$V_0 = \frac{Re \cdot \mu}{D \cdot \Delta} \quad (\text{m/s})$$

Donde:

Re - Nr. de Reynolds.

μ - Viscosidad.

D - Diámetro del grano que cae.

Δ - Densidad del medio.

$$V_0 = \frac{6,108 \cdot K \cdot D \cdot \sigma \cdot \lambda}{\mu} \quad (\text{m/s})$$

Donde:

K - (coef.) Tomado de la tabla de sedimentación, capa-contorneada. Cal/k contra tamaño de los granos. Según-Fomenko, (pág. 26 fig. 5)

σ - Densidad de los granos. (Kg/m^3)

λ - Espesor de la capa límite (m).

Estas fórmulas son aplicables en rangos de 0,012 a --- 0,2 mm y de 0,001 mm y mayores respectivamente.

3.2 Sedimentación de la Pulpa.

"Al iniciarse un proceso de sedimentación a nivel de la

boratorio, la concentración de sólido es uniforme-- en toda la probeta, poco después de iniciado éste, las partículas del sólido en suspensión caen en el seno del fluido con su densidad máxima". (6)

Para una suspensión que posee partículas uniformes-- todas éstas caen con una velocidad bastante similar-- y puede verse una marcada línea de separación entre el líquido claro que sobrenada y el lado espeso durante el desarrollo del proceso.

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

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

El empleo de floculantes y otros reagentes, así como el uso de los sistemas coloidales favorecen o retar-

dan el proceso de sedimentación.

Otro tipo de manifestación de la sedimentación es la retardada, en la que su velocidad es mucho menor que la calculada para el movimiento de la caída libre de las partículas y es debido a la gran interferencia -
mútua que se produce en el movimiento de gran cantidad de éstas en suspensión en un fluido, ya que ellas logran sedimentarse descendiendo a través de otras -
partículas en el fluido, obstaculizándose por tanto -
su descanso.

3.3: Equipos industriales usados en sedimentación.

"En la práctica de sedimentación libre se utilizan generalmente los espesadores de pulpa. En los espesadores las partículas se estratifican en capas, de forma tal que hacia el fondo y cercano al eje central -
del equipo van las partículas más pesadas. Luego sedimentan las de peso mediano y por último las más livianas." (4)

Aquí la sedimentación de las suspensiones acuosas es un proceso continuo por alimentarse y descargarse -
continuamente el material y donde los procesos de decantación se usan para la separación preliminar de -
las suspensiones.

El producto final es una pulpa que se considera como una suspensión con mayor cantidad de partículas sólidas y en el caso de los espesadores de la empresa Comandante Pedro Soto Alba es de un 47 % de sólidos.

Además de los espesadores también existen otros equipos industriales donde existe la sedimentación libre y se diferencian de los espesadores en que el producto final obtenido es un licor. Este tipo de equipo tiene gran utilización en los tanques lavadores y son los llamados clarificadores. En la práctica éstos se usan a contracorriente lo que permite una mayor separación del licor y el sólido, pues solo se utilizan la velocidad de caída de las partículas sólidas sin la complicación de componentes horizontales.

En estos equipos la alimentación se puede afectar en forma seca o de suspensión, siendo esta última la más utilizada y cuyo concentrado de materia sólida es aproximadamente de un 10 %.

Estos clarificadores se pueden usar como concentradores y como sedimentadores.

3.4: Parámetros que afectan la sedimentación.

En la velocidad de sedimentación o en el proceso de sedimentación en sí, existen muchos factores que influyen de una forma u otra, a continuación se realizará una breve explicación de los más importantes:

Viscosidad: Es un factor de gran importancia, el - cual tiene una dependencia directa con el tamaño - de las partículas y sus concentraciones, ya que cuando las partículas están muy aisladas no existe ningún fenómeno, el líquido se comporta igual que el - agua, pero cuando aumenta la concentración de estos sólidos aparece una interacción mecánica, se pare - cen estas partículas a los coloides porque aparecen fuerzas de repulsión muy grandes. Si sigue aumentando la concentración aparece la fuerza de fricción - dentro de las partículas, comportándose las sustan-cias como plásticos.

"Los flujos de los fluídos pueden ser laminados, de - transición y turbulentos; en el primer caso las par - tículas son pequeñas así como su velocidad de desplazamiento, en este caso la viscosidad del fluído jue - ga un papel determinante como parte de la resisten - cia del flujo o si por el contrario el flujo es tur - bulento, así como su velocidad de desplazamiento, prel

senta tendencia a formar remolinos o torbellinos-- que le ofrecen una gran resistencia al flujo, en es te caso la viscosidad del fluído tiende a hacerse - despreciable". (3)

temperatura: Influye sobre la velocidad de sedimentación de tal manera que con un aumento de la tempe ratura se produce un aumento proporcional a la velo cidad de sedimentación.

Tamaño de las partículas y su densidad: Cuando en - una suspensión existen mayor cantidad de partículas pequeñas que grandes, entonces el proceso de sedi - mentación tardará más debido a que las partículas - pequeñas tienden a mantenerse en suspensión, retar dando el proceso.

Si la densidad de la partícula es inferior a la del fluído en el cual ésta se introduce, se elevará flo tando en el seno del líquido, mientras que si es - más densa se hundirá en el mismo.

Fluidez: Es una de las propiedades más importantes - de la pulpa laterítica, considerándose factor influ yente en la sedimentación. Esta depende de la tempe ratura.

Floculación: y sistemas coloidales: El primer caso -

(floculación) se utiliza para aumentar la velocidad de sedimentación agregando reactivos químicos a la pulpa provocando la aglomeración de las partículas sólidas.

Cada uno de estos agregados o aglomerados se comporta del mismo modo que una partícula grande, este aumento de tamaño trae consigo un aumento en el peso y por lo tanto la precipitación de la materia sólida se produce más rápidamente, favoreciendo la obtención de un fluido más limpio.

La pulpa tratada se considera un sistema coloidal - por ésto es que los incluimos entre los factores - que afectan la sedimentación.

3.5: Resumen de los trabajos realizados sobre sedimentación.

Debido a que en la Empresa "Cmdte. Pedro Soto Alba" - existen problemas con respecto a la velocidad de sedimentación, % de sólidos que llega a la planta de espesadores y % de sólidos que entra en la planta de lixiviación y que en ambos casos no es el requerido industrialmente, se han venido utilizando diferentes métodos y medios para eliminar o mejorar las deficiencias antes mencionadas.

Entre estos métodos tenemos la realización de diferentes trabajos investigativos como por ejemplo el uso de reactivos floculantes, de reactivos inorgánicos reguladores de los procesos de coagulación y del PH de la pulpa, clasificación de las partículas y sedimentación de las clases por separado, tratamiento de las pulpas en campos magnéticos, eléctricos, con ultrasonidos, agitación previa de la pulpa, utilización de cortadores ('Pickerts) que rompan la estructura volumétrica de la pulpa, uso del método de ensemillamiento y otros,

Debido a la importancia de todos los trabajos realizados a continuación se ofrece a grandes rasgos un resumen de los más importantes:

En el trabajo realizado con vistas a determinar la influencia del PH y otros factores que afectan la velocidad de sedimentación se llegó a conclusiones como :

El mejoramiento de las características mecánicas y de terminadas soluciones constructivas en el sistema de extracción de reboso ofrecen posibilidades de mejorar los índices tecnológicos.

Se determinó el PH óptimo para la pulpa era de 5.5-5.7 y tanto el aumento como la disminución del mismo influye negativamente sobre la velocidad de sedi

mentación.

Se puede afirmar que la pulpa disminuye su acidez - en dependencia del tiempo.

En el trabajo de diploma de la compañera Berta P. - Robinson además de analizar el PH, se realizaron ensayos de medición de H_2SO_4 , Na_2CO_3 , Al_2SO_4 , - Na_2SiO_3 y $MgCl_2$. Además, se hicieron ensayos de sedimentación con la pulpa normal y con la pulpa compuesta por partículas de menos 325 mallas - - (0.040 MK) y la determinación de composición granulométrica de diferentes capas durante el proceso de sedimentación.

En este trabajo, en los ensayos de sedimentación con la pulpa normal y la pulpa compuesta por partículas de - 325 mallas, se nota una gran disminución en la velocidad de sedimentación si se espesan solo las - partículas del tamaño antes mencionado.

La composición granulométrica de la pulpa tomada para este trabajo fue determinada por el método de elutración y como promedio de 5 ensayos, se tuvieron - los siguientes resultados :

Tamaños en MK	10	20	30	40
% en pssso acum.	52	67	77	82

Los ensayos de este trabajo fueron realizados en una probeta de 2100 cc, a la cual después de someter la pulpa a sedimentación y esperar el tiempo en que ocurre la sedimentación libre, se le hicieron extracciones laterales en los volúmenes de 500, 700, 1000 cc y en el fondo de la probeta.

Se comprobó que existen una distribución en la columna de sedimentación y así las partículas de 10 MK se encontraban en cantidad de 79 % en la parte superior (1000 cc) y 19 % en el fondo.

Los ensayos hechos con pulpas a las que se les añadió los reactivos químicos arrojaron como resultado que la adición de cualquiera de ellos influye negativamente en la velocidad de sedimentación.

En el trabajo realizado por la Ing. Mayda Grave de Peralta con el objetivo de comprobar el efecto de adición de flocculantes como el magnofloc R-292 y flocculantes líquidos Percol y Alcopal; todos en diferentes concentraciones, se observó que los resultados eran similares o con variaciones insignificantes en comparación con los resultados obtenidos sin la adición de los mismos. Además, se adicionó pulpa a 0,61 mts. por debajo de la línea de reboso del espesador, sin que ésto trajera mejoras en los resultados.

En el trabajo realizado por el Ing. Miguel Nevat, se

realizaron pruebas de sedimentación de la pulpa cruda - de mineral lixiviado (ensemillamiento); pruebas con pulpa sometida a un campo magnético de 0-4000 Gauss; pruebas para detectar el efecto de la vibración de los Pickerts sobre la velocidad de sedimentación, etc. Todo esto arrojaron como conclusión que ninguno de ellos mejoran los índices de sedimentación.

En estos mismos trabajos del Ing. Nevat se concluyó --- que: La sedimentación de pulpas con concentraciones iniciales de 35-40 % de sólidos, la utilización de cortadores y de una agitación controlada de la pulpa antes de ser introducida en el espesador, todo ello estudiado -- por separado brindan efectos beneficiosos. Sin embargo, la utilización % de sólido en la pulpa alimentada de -- 35% no brindaban resultados tan efectivos como se anunciaban en dichos trabajos.

El trabajo de diploma de las Ing. Maura Castillo y Virgen Tackechel halla las diferencias en velocidades de sedimentación entre la pulpa que se obtiene en la planta de preparación de pulpa y la de espesadores y está dada por la relación 1,3: 1 siendo mayor en la planta de pulpa.

En el trabajo realizado por Lucía Arada y Caridad Cabrera se concluye: "El área que influye en la diferencia de velocidad de sedimentación está entre los registros 39-41 de la tubería de transportación de pulpa, debido a -

las diferencias de nivel que ~~ex~~iste en este tramo y don-
de se produce la mayor turbulencia. Además de los análi-
sis de granulometría efectuado en distintos puntos de -
la línea conductora para tamices de mallas de 100, 200,
y 325, no se observa un rango de variación en el % en -
peso de las muestras, por lo que se puede asegurar que-
ocurre determinado fenómeno en las partículas menores -
de 325 mallas que influyen en el proceso de sedimenta-
ción." (1)

En el trabajo "Consideraciones sobre la Sedimentación -
de la Pulpa Limonítica en la Planta Pedro Sotto Alba" -
realizado por el Ing. José Falcón se hace un estudio so-
bre los trabajos realizados acerca de este tema. En el-
mismo se aclara que las causas que provocan la no ade-
cuada sedimentación de la pulpa limonítica no están de-
terminadas con suficiente grado de veracidad y la expli-
cación de las mismas en base a las conclusiones de los-
trabajos realizados se hace difícil debido a que estos-
se han hecho estudiando uno o algunos de los factores -
que pudieran influir y no se precisaron los restantes, -
así como no se especifica la composición granulométrica
del sólido que componía la pulpa con que se hicieron --
los ensayos, ni las posibles variaciones en la composi-
ción mineralógica, etc.

Es por esto que cabe la posibilidad que trabajos que el
resultado fue negativo fuesen positivo de variar las --

restantes condiciones, es por esto que se conclu
ye: "En base a los trabajos investigativos reali-
zados se consideran dos factores básicos influ-
yentes en la velocidad de sedimentación: la com-
posición granulométrica de la fase sólida en la
composición iónica de la fase líquida. El prime-
ro de estos dos se considera más importante." (2)

En el trabajo de diploma de Julio César Torres, -
muy similar al presente trabajo, se trató de re-
producir a escala de laboratorio el proceso de -
la planta de pulpa y de Espesadores con el obje-
tivo de conocer la influencia del tiempo de agi-
tación en el lavado, la influencia de la prepa-
ración de la pulpa en la sedimentación, comporta
miento del PH y la conductividad eléctrica, an-
tes y después de la sedimentación, influencia --
del diámetro de las probetas. Las conclusiones -
de este trabajo fueron: "Al ir en aumento el tiem
-po de agitación aumenta la efectividad del lava-
do. El diámetro y la capacidad de las probetas -
influyen en la velocidad de sedimentación. El PH
y la conductividad eléctrica disminuyen después-
del proceso de sedimentación." (6)

CAPITULO IV DETERMINACION DE LA INFLUENCIA DE LA PREPARACION DE LA PULPA.

4.1 Técnica Operatoria.

Como el objetivo fundamental de nuestro trabajo fue determinar la influencia de la preparación de la pulpa en la velocidad de sedimentación, se trató de reproducir a escala de laboratorio el proceso de la Industria. Para esto nos basamos en el modelo experimental propuesto por el Ing. Julio César Torres en su trabajo de diploma para realizar las experiencias.

Los ensayos comienzan su desarrollo preparándose con 2 - Kg de mineral una pulpa de 25 % de sólidos, la cantidad de agua necesaria para obtener este se determinó por medio de la relación de dilución:

$$R = \frac{L}{S} = \frac{100 - p}{p}$$

Donde: p - contenido del sólido en la pulpa

L - masa del líquido

S - masa del sólido

$$R = \frac{100 - 25}{25} = 3 \quad L = R.S = 3.2 = 6 \text{ litros de agua.}$$

Ya conocida la cantidad de agua comenzamos los ensayos con el mineral procedente del frente D-30, como primeramente se tomaba una muestra de agua limpia para medir su PH y conductividad, después se agitaba la pulpa preparada, esta agitación se realizó para diferentes tiempos (15,30,45 y 60 mtos), a la pulpa agitada se le ha-

cía un análisis en el tamiz de 20 mallas, el retenido se secaba y pesaba, el cernido en forma de -- pulpa se depositaba en las diferentes probetas que eran de 500, 1000 y 2000 cc para su sedimentación, cada 10 minutos y durante dos horas se tomaba la -- altura de la columna de sedimentación registrada -- en escala mm, colocadas previamente en las probe-- tas. Después de realizada la sedimentación se toma ba una muestra de agua clarificada para medir el -- PH y la conductividad eléctrica de cada probeta, -- se secaba el sólido y se pesaba, en el caso de la probeta de 500 cc antes se realizaba un análisis -- con el tamiz de 200 mallas y los productos se pesa ban y secaban.

4.2 Otros Experimentos Realizados.

Como se pudo comprobar a lo largo de la práctica -- los tiempos de agitación utilizados en algunos ca-- sos eran superiores a los óptimos, por eso se rea-- lizó una prueba con 7,5 minutos de agitación para-- los diferentes frentes con excepción del D-30 cu-- yos resultados eran más satisfactorios. También se realizó una prueba con mezclas de minerales de dos frentes utilizando un Kg de cada uno, para estas -- experiencias sólo se utilizaron las probetas de -- 500 cc y el agua inicial utilizada para cada prue-- ba fue la misma.

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL FRENTE D-30

Tabla #1--

PROBETAS (cc)	PRUEBAS	ALTURA FINAL. (mm)	PESO +20 MALLAS (g)	PESO TOTAL (g)	% SOLIDOS ANTES	% SOLIDOS DESPUES
500	15 a	152	480	80	14,4	31
1000	15 a	149	480	105	11,4	25,3
2000	15 a	157	480	230	14,7	30,2
500	15 b	117	570	105	18,3	29,7
1000	15 b	113	570	170	17,7	29,3
2000	15 b	115	570	310	19,1	30,1
500	30 a	138	470	95	16,7	31,5
1000	30 a	131	470	140	14,9	27,5
2000	30 a	136	470	270	16,9	30
500	30 b	52	340	150	24	30,5
1000	30 b	36	340	220	22,1	25,9
2000	30 b	46	340	410	24,3	28,3
500	45 a	75	260	270	39	49,1
1000	45 a	80	260	310	29,3	38,8
2000	45 a	92	260	505	28,7	39
500	45 b	49	290	255	37	43,7
1000	45 b	44	290	360	32,9	38,2
2000	45 b	42	290	520	29,4	33,4
500	60 a	45	210	245	36,4	42
1000	60 a	40	210	345	31,9	36,6
2000	60 a	38	210	540	30,3	34,2
500	60 b	36	275	260	38	42,4
1000	60 b	38	275	350	32,2	36,9
2000	60 b	38	275	560	31,2	35,1

CONTINUACION..

Tabla #2

PROBETAS (cc)	PAUEBAS	PESO 1200 MALLAS (g)	PESO-200 MALLAS (g)	PH antes	PH Después	Conduc- tividad. antes (miliciens)	Conducti- vidad. después (miliciens)
500	15 a	15	65	8,47	7,45	0,26	0,15
1000	15 a	—	—	8,47	7,38	0,26	0,18
2000	15 a	—	—	8,47	7,56	0,26	0,18
500	15 b	25	80	8	7,36	0,37	0,33
1000	15 b	—	—	8	7,10	0,37	0,22
2000	15 b	—	—	8	7,03	0,37	0,27
500	30 a	20	75	8,4	7,4	0,38	0,27
1000	30 a	—	—	8,4	7,35	0,38	0,27
2000	30 a	—	—	8,4	7,2	0,38	0,27
500	30 b	40	110	8,62	7,31	0,19	0,43
1000	30 b	—	—	8,62	7,43	0,19	0,20
2000	30 b	—	—	8,62	7,26	0,19	0,11
500	45 a	60	210	8,45	7,5	0,43	0,17
1000	45 a	—	—	8,45	7,8	0,43	0,22
2000	45 a	—	—	8,45	7,29	0,43	0,20
500	45 b	55	220	8,36	7,6	0,21	0,41
1000	45 b	—	—	8,36	7,25	0,21	0,27
2000	45 b	—	—	8,36	7,31	0,21	0,33
500	60 a	50	195	8,44	7,66	0,14	0,30
1000	60 a	—	—	8,44	7,37	0,14	0,25
2000	60 a	—	—	8,44	7,49	0,14	0,13
500	60 b	60	200	8,27	7,35	0,19	0,17
1000	60 b	—	—	8,27	7,29	0,19	0,19
2000	60 b	—	—	8,27	7,23	0,19	0,10

--Continuación-- Tablas #3 y 4 -- Pruebas a y b

Tiempo	15'agitación			30'agitación			45'agitación			60'agitación		
(min)	500 cc	1000 cc	2000 cc	500 cc	1000 cc	2000 cc	500 cc	1000 cc	2000 cc	500 cc	1000 cc	2000 cc
10	27	29	31	22	23	25	10	7	9	2	2	3
20	54	55	58	47	48	52	20	20	25	5	4	7
30	80	79	81	67	67	70	40	40	46	12	8	11
40	104	102	105	90	88	90	47	52	65	21	15	15
50	130	126	130	115	111	113	54	59	71	25	20	19
60	138	134	141	123	118	122	58	64	76	29	24	23
70	142	139	145	127	121	125	62	68	79	32	26	25
80	145	141	150	130	123	128	65	71	83	35	29	28
90	147	144	151	132	126	131	69	74	85	39	32	31
100	149	146	154	135	128	134	71	76	88	41	35	34
110	151	147	156	136	130	135	73	78	90	43	37	36
120	152	149	157	138	131	136	75	80	92	45	40	38

* Todos estos son valores de la altura de la columna de sedimentación, dados en mm, para cada probeta.

Tiempo	15'agitación			30'agitación			45'agitación			60'agitación		
(min)	500 cc	1000 cc	2000 cc	500 cc	1000 cc	2000 cc	500 cc	1000 cc	2000 cc	500 cc	1000 cc	2000 cc
10	11	12	13	4	3	5	4	4	4	3	4	4
20	31	31	32	7	6	9	6	6	9	6	9	9
30	50	48	48	10	10	15	10	13	14	7	12	13
40	70	67	65	13	14	21	26	21	19	13	17	17
50	93	88	87	21	18	26	31	25	23	17	21	20
60	100	97	99	30	22	30	35	29	25	21	24	24
70	103	101	104	36	24	35	38	32	29	25	29	28
80	107	104	107	40	27	37	41	35	32	27	31	30
90	111	107	110	44	30	40	43	37	34	30	32	32
100	114	110	112	47	31	41	45	40	36	33	34	34
110	115	111	113	50	34	44	47	42	39	34	36	36
120	117	113	115	52	36	46	49	44	42	36	38	38

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL FRENTA D-24

Tabla # 5

Probetas (cc)	Pruebas	Altura Final (mm)	Peso + 20 Mallas (g)	Peso To- tal. (g)	% Sólidos antes	% Sólidos después
500	15 a	93	120	170	37,2	38,2
1000	15 a	84	120	190	19,4	27,1
2000	15 a	98	120	250	15,7	23,2
500	15 b	40	100	155	25,2	29
1000	15 b	32	100	195	19,8	26,9
2000	15 b	26	100	360	21,6	24,6
500	30 a	28	10	170	27,2	35,4
1000	30 a	26	10	220	22	24,1
2000	30 a	28	10	375	22,4	24,7
500	30 b	23	35	175	27,8	30
1000	30 b	22	35	225	22,4	26
2000	30 b	26	35	380	22,6	24,7
500	45 a	14	5	150	24,5	26
1000	45 a	21	5	200	20,3	22
2000	45 a	23	5	375	22,4	24,1
500	45 b	16	20	135	22,5	24
1000	45 b	15	20	230	22,8	24
2000	45 b	18	20	390	23,1	24,6

-Continuación.-

Tabla # 6

Probetas (cc)	Pruebas	Peso +200 Mallas (g)	Peso -200 Malla (g)	PH antes	PH después	Conduc- tividad antes (miliciens)	Conduc- tividad después (miliciens)
500	15a	30	140	8,31	7,41	0,23	0,32
1000	15a	—	—	8,31	7,2	0,23	0,24
2000	15a	—	—	8,31	7,3	0,23	0,26
500	15b	50	105	8	7,7	0,43	0,23
1000	15b	—	—	8	7,2	0,43	0,16
2000	15b	—	—	8	7,31	0,43	0,19
500	30a	55	115	8,28	7,6	0,26	0,21
1000	30a	—	—	8,28	7,11	0,26	0,16
2000	30a	—	—	8,28	7,16	0,26	0,17
500	30b	55	120	8,32	7,31	0,24	0,18
1000	30b	—	—	8,32	7,16	0,24	0,17
2000	30b	—	—	8,32	7,27	0,24	0,20
500	45a	40	110	8,1	7,2	0,31	0,15
1000	45a	—	—	8,1	7,4	0,31	0,18
2000	45a	—	—	8,1	7,31	0,31	0,19
500	45b	35	100	8,2	6,95	0,29	0,17
1000	45b	—	—	8,2	6,8	0,29	0,30
2000	45b	—	—	8,2	6,85	0,29	0,31

--Continuación-- Tablas 7 y 8. Pruebas a y b

Tiempo	15' agitación			30' agitación			45' agitación		
(mls)	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc
10	10	15	14	2	3	3	1	1	1
20	32	37	33	4	5	6	2	2	2
30	55	50	50	6	7	9	3	3	3
40	68	59	72	10	9	11	4	5	5
50	75	65	82	13	11	14	5	6	8
60	77	68	83	16	14	16	6	8	10
70	82	73	87	18	16	18	8	10	13
80	85	75	90	21	18	20	10	13	16
90	87	77	92	23	20	22	11	15	17
100	89	80	95	25	22	24	12	17	19
110	91	82	96	26	24	26	13	19	21
120	93	84	98	28	26	28	14	21	23

+Valores de la altura de la columna de sedimentación en mm.

Tiempo	15' agitación			30' agitación			45' agitación		
(mls)	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc
10	3	3	5	1	2	2	1	1	1
20	6	6	9	2	3	3	2	2	3
30	10	9	15	3	4	4	3	3	4
40	15	12	17	5	6	7	5	5	5
50	21	15	20	6	8	10	6	6	6
60	26	19	23	8	10	12	8	8	10
70	28	21	25	10	12	15	10	9	12
80	32	24	29	12	14	18	11	10	13
90	34	25	31	15	16	20	13	12	15
100	36	27	33	18	18	22	14	13	16
110	38	30	35	21	20	24	15	14	17
120	40	32	36	23	20	26	16	15	18

Resultados obtenidos con el Frente D-2

Tabla #9

Probetas (cc)	Pruebas	Altura Final (mm)	Peso + 20 Mallas (g)	Peso Total (g)	% Sólidos Antes	% Sólidos Después
500	15 a	36	220	165	26,6	30,6
1000	15 a	38	220	205	20,7	23,9
2000	15 a	46	220	330	20,1	23,6
500	15 b	33	340	165	26,6	28,6
1000	15 b	35	340	215	21,6	24,5
2000	15 b	47	340	360	21,7	25,2
500	30 a	24	200	175	27,9	30,6
1000	30 a	22	200	375	22,2	24,4
2000	30 a	26	200	375	22,4	24,5
500	30 b	17	245	170	26	28,1
1000	30 b	16	245	230	22,9	24,4
2000	30 b	21	245	365	21,9	23,4
500	45 a	13	205	175	27,9	29,3
1000	45 a	15	205	215	21,6	23
2000	45 a	15	205	360	21,7	22,6
500	45 b	15	235	140	23,4	25
1000	45 b	15	235	220	22	23,4
2000	45 b	19	235	390	23,2	24,6

--Continuación--
Tabla # 10

Probetas (cc)	Pruebas	Peso +200 Mallas (g)	Peso -200 Mallas (g)	PH antes	PH después	Conduc- tividad antes (milliciens)	Conducti- vidad. después (milliciens)
500	15a	45	120	8,13	7,63	0,50	0,12
1000	15a	—	—	8,13	7,4	0,50	0,35
2000	15a	—	—	8,13	7,75	0,50	0,29
500	15b	35	130	8,4	6,44	0,26	0,25
1000	15b	—	—	8,4	6,06	0,26	0,26
2000	15b	—	—	8,4	6,24	0,26	0,23
500	30a	30	145	8,43	6,31	0,26	0,22
1000	30a	—	—	8,43	6,25	0,26	0,21
2000	30a	—	—	8,43	6,38	0,26	0,22
500	30b	40	120	8,4	6,8	0,28	0,24
1000	30b	—	—	8,4	6,78	0,28	0,23
2000	30b	—	—	8,4	6,85	0,28	0,22
500	45a	20	155	8,14	6,25	0,24	0,20
1000	45a	—	—	8,14	6,05	0,24	0,10
2000	45a	—	—	8,14	6,14	0,24	0,19
500	45b	30	110	8,14	6,87	0,24	0,11
1000	45b	—	—	8,14	6,70	0,24	0,22
2000	45b	—	—	8,14	6,83	0,24	0,21

Tiempo	15' agitación			30' agitación			45' agitación		
(metros)	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc
10	4	6	8	4	3	3	2	2	2
20	8	10	15	6	5	5	3	3	3
30	11	14	18	8	7	7	4	7	4
40	14	18	23	9	8	8	5	8	5
50	18	22	27	12	10	12	6	9	6
60	22	25	30	14	12	14	7	10	7
70	25	27	35	16	14	16	9	11	9
80	27	30	36	18	15	19	10	12	10
90	30	32	40	19	17	20	11	13	11
100	32	34	42	21	19	22	12	14	13
110	34	36	44	23	20	24	13	14	14
120	36	38	46	24	22	26	13	15	15

* Valores de las alturas de la columna de sedimentación en mm.

Tiempo	15' agitación			30' agitación			45' agitación		
(metros)	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc
10	4	5	6	2	1	3	1	2	3
20	7	10	14	4	3	5	2	4	5
30	8	14	21	6	4	7	3	5	6
40	10	17	25	7	5	8	4	6	7
50	15	20	30	8	7	10	6	8	10
60	19	22	33	9	9	12	7	9	11
70	22	25	36	11	10	13	9	10	12
80	24	27	39	12	11	15	10	11	14
90	27	29	41	13	13	17	11	12	15
100	29	31	43	14	14	19	13	13	17
110	31	33	45	16	15	20	14	14	18
120	33	35	47	17	16	21	15	15	19

Resultados obtenidos con el Frente D-29.

Tabla # 13

Probetas (cc)	Pruebas	Altura Final (mm)	Peso + 20 Mallas (g)	Peso Total (g)	% Sólidos antes	% Sólidos después
500	15 a	12	80	165	26,6	30,2
1000	15 a	15	80	195	19,8	21,1
2000	15 a	20	80	340	20,6	21,9
500	15 b	12	30	160	25,9	29,7
1000	15 b	13	30	210	21,1	22,2
2000	15 b	14	30	355	21,4	22,3
500	30 a	7.5	20	175	27,8	30,1
1000	30 a	7	20	225	22,4	22,8
2000	30 a	9	20	370	22,1	22,6
500	30 b	7	25	165	26,6	29,7
1000	30 b	6	25	230	22,8	23,1
2000	30 b	8	25	375	22,4	22,8
500	45 a	9	15	150	24,8	27,2
1000	45 a	9	15	210	21,1	21,7
2000	45 a	8	15	370	22,1	22,5
500	45 b	9	30	160	25,9	28,7
1000	45 b	10	30	200	20,2	21,1
2000	45 b	12	30	345	20,8	21,6

- Continuación -

Tabla # 14

Probetas (cc)	Pruebas	Peso +200 Mallas (mm)	Peso -200 Mallas (mm)	PH antes	PH después	Conduc- tividad antes (miliciens)	Conducti- vidad. después (miliciens)
500	15a	35	130	8,49	6,88	0,23	0,19
1000	15a	—	—	8,49	6,9	0,23	0,20
2000	15a	—	—	8,49	6,93	0,23	0,16
500	15b	40	120	8,2	7,6	0,24	0,23
1000	15b	—	—	8,2	7,47	0,24	0,20
2000	15b	—	—	8,2	7,4	0,24	0,23
500	30a	45	130	8,5	7,1	0,3	0,21
1000	30a	—	—	8,5	7,19	0,3	0,29
2000	30a	—	—	8,5	7,36	0,3	0,18
500	30b	35	130	8,2	6,59	0,35	0,17
1000	30b	—	—	8,2	6,64	0,35	0,23
2000	30b	—	—	8,2	6,5	0,35	0,22
500	45a	30	120	8,1	6,6	0,45	0,18
1000	45a	—	—	8,1	6,53	0,45	0,20
2000	45a	—	—	8,1	6,71	0,45	0,32
500	45b	45	115	8,6	6,98	0,35	0,30
1000	45b	—	—	8,6	6,7	0,35	0,28
2000	45b	—	—	8,6	6,95	0,35	0,20

-Continuación.- Tablas 15 y 16. pruebas ayb

Tiempo	15' agitación			30' agitación			45' agitación		
	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc
10	1	2	3	1	1	1	2	1	1
20	2	3	4	2	2	2	3	2	2
30	3	4	7	3	3	3	4	3	3
40	4	5	10	3.5	4	4	4	3	3
50	5	6	11	4	4.5	4.5	4	4	4
60	6	7	12	4.5	5	5	5	4	4
70	7	8	13	5	5.2	5.5	6	5	5
80	8	10	15	5.5	5.5	6	6	6	5
90	9	11	16	6	5.8	7	7	7	6
100	10	12	17	6.5	6	7.5	8	7	7
110	11	13	18	7	6.5	8	8	7	7
120	12	15	20	7.5	7	9	9	9	8

* Valores de las alturas de la columna de Sedimentación en mm.

Tiempo	15' agitación			30' agitación			45' agitación		
	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc	* 500 cc	* 1000 cc	* 2000 cc
10	2	2	2	1	1	1	2	2	2
20	3	3	3	2	2	2	3	3	3
30	4	4	4	4	2	3	3	3	4
40	5	5	5	4	3	3	4	4	5
50	6	6	6	5	4	4	4	5	6
60	7	7	7	5	4	4	6	6	7
70	8	8	8	6	4	5	6	7	8
80	9	9	9	6	5	5	7	8	9
90	10	10	11	7	5	6	8	9	10
100	11	11	12	7	6	7	8	9	11
110	11	12	13	7	6	7	9	9	12
120	12	13	14	7	6	8	9	10	12

55

Resultados obtenidos en las pruebas con 7,5 minutos de agitación y con las mezclas de Minerales.

Tabla # 17

Tiempo (mtos)	D-29	D-24	D-2	D-29 D-2	D-2 D-24	D-24 D-29
10	6	10	9	23	11	5
20	21	25	20	30	26	10
30	40	48	45	50	55	15
40	65	73	56	58	65	21
50	75	80	62	64	71	27
60	80	89	68	68	76	30
70	83	97	72	72	81	33
80	86	102	76	75	85	35
90	90	105	81	78	86	37
100	94	109	86	81	88	39
110	97	112	90	83	90	41
120	99	115	93	85	92	43
24 horas	142	145	133	—	—	—
48 horas	144	145	134	—	—	—

..Continuación..

Tabla # 18

	D-29	D-24	D-2	D-29 Y D-2	D-2 Y D-24	D-24 Y D-29
Altura (mm)	99	115	93	85	92	43
Altura a 48h (mm)	144	145	134	—	—	—
PH después	6,98	6,56	6,6	6,36	6,95	6,76
Conductividad (micromhos)	0,26	0,20	0,18	0,20	0,10	0,15
+20 (g)	240	280	290	130	160	100
+200 (g)	40	35	45	30	25	35
-200 (g)	125	135	120	135	140	140
% Sol antes	26,6	27,2	26,6	26,6	26,6	27,9
% Sol después	37,8	41	36,8	35,5	36,7	31,6

Tabla # 19

	D-29	D-24	D-2	D-29 Y D-2	D-2 Y D-24	D-24 Y D-29
PH antes	8,16	8,16	8,16	8,2	8,2	8,2
Conductividad antes	0,29	0,29	0,29	0,34	0,34	0,34
Peso Total (g)	165	170	165	165	165	175

CAPITULO V CONSIDERACIONES ACERCA DE LOS EXPERI--
MENTOS.

5.1 Consideraciones Generales.

Consideramos necesario para la comprensión de las tablas y curvas una breve explicación sobre algunas cuestiones que fueron siempre repetidas y --- otras que sólo se utilizaron para casos particulares como son:

En todos los ensayos se siguió la misma operato--
ria, aunque las pruebas fueron divididas de acuerdo
al tiempo de agitación. En las tablas y curvas
aparecen los términos 15 a) y 15 b) esto nos quiere
decir que fueron pruebas con 15 minutos de agita
ción y a) quiere decir que fue la primera prueba
realizada para este experimento y b) la segunda,
la diferencia entre ambas radica en que b) --
contenía 2 Kg de mineral más el peso equivalenteal
retenido de 20 mallas de la prueba a), esto se
realizó con el objetivo de que los datos fueran -
más exactos trabando con una pulpa de 25 % sólido.
Los términos antes y después indican que la medición
fue realizada antes o después de la sedimentación.
A las probetas se le pegaron escalas en -
mm para poder medir la altura de la columna de sedi
mentación con respecto al tiempo. El 0 de la escala
se situó a la misma altura para las tres probetas.

La agitación siempre se realizó con el mismo agitador de 1900 Rrpm. La medición del nivel de sedimentación se realizó cada 10 minutos y durante 2 horas excepto en la prueba de 7,5 minutos de agitación que se volvió a medir a las 24 y 48 horas. Las pruebas a) y b) solamente no se realizaron para las pruebas con 7,5 minutos de agitación y con mezclas de minerales, que se realizó una prueba de cada caso solamente con la probeta de 500 cc.

5.2 Análisis de los Resultados Obtenidos.

Después de realizar un análisis de los resultados observamos que la velocidad de sedimentación depende de las características del mineral utilizado, por ejemplo el frente D-30 que entre sus características fundamentales tenía la presencia de grandes fragmentos de serpentina dura y alto contenido de Mg se alcanzó una velocidad de sedimentación superior a los restantes frentes a pesar de presentar menor densidad. También se determinó que al aumentar el tiempo de agitación aumentaba la efectividad del lavado, ya que la fracción + 20 malla disminuía a medida que aumentaba el tiempo de agitación lo que no ocurrió con la fracción + 200 mallas y consideramos que esto es producto de que el agitador no comunica la suficiente energía para romper estas partículas tan pequeñas.

Los Valores de PH y Conductividad eléctrica disminu

yen en la mayoría de los casos. La disminución del PH es producto de la sustitución de iones metálicos por iones de Hidrógeno y la disminución de la conductividad es debido a la presencia de iones -- con poca movilidad iónica o a la gran concentración de iones lo que dificulta la movilidad y hace que -- disminuya la conductividad eléctrica.

Como podemos apreciar también comparando las velocidades de sedimentación de las pruebas a) con las velocidades de sedimentación de las pruebas b) vemos que en la mayoría de los casos las primeras -- son mayores que las segundas, teniendo sin embargo el mismo tiempo de agitación, esto nos demuestra -- que el aumento de la cantidad de sólido en la pulpa trae como consecuencia una disminución en la velocidad de sedimentación. En el caso de las pruebas con 7.5 minutos de agitación se observó un marcado aumento en la velocidad de sedimentación en todos los casos con respecto a las pruebas de mayores tiempos de agitación.

En las pruebas con mezclas de minerales se pudo observar también que como resultado se obtenía un -- gran aumento de la velocidad de sedimentación con respecto a los de los frentes por separados, esto nos indica que las mezclas de minerales de diferentes características influyen en la velocidad de sedimentación

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones

Después de haber realizado las pruebas y comparados los resultados obtenidos podemos arribar a -- las siguientes conclusiones:

- 1- Las características del mineral tienen una gran influencia sobre la velocidad de sedimentación.
- 2- A medida que aumenta el tiempo de agitación, -- como se esperaba aumenta la efectividad del lavado, pero disminuye la velocidad de sedimentación.
- 3- Aunque consideramos que no es suficiente con -- las pruebas realizadas con mezclas de minerales -- estas tienen una influencia positiva sobre la velocidad de sedimentación.

6.2 Recomendaciones

Recomendamos que se realice un trabajo investigativo donde se estudie detalladamente la influencia de las mezclas de minerales sobre la velocidad de sedimentación, (ya que nuestro trabajo tiene -- en cuenta solamente los resultados de tres pruebas y consideramos que no son suficientes) utilizando la misma técnica operatoria .

Que para el estudio de los frentes por separado se disminuya el tiempo de agitación principalmente para los frentes D- 24, D- 29 y D- 2, ya que --

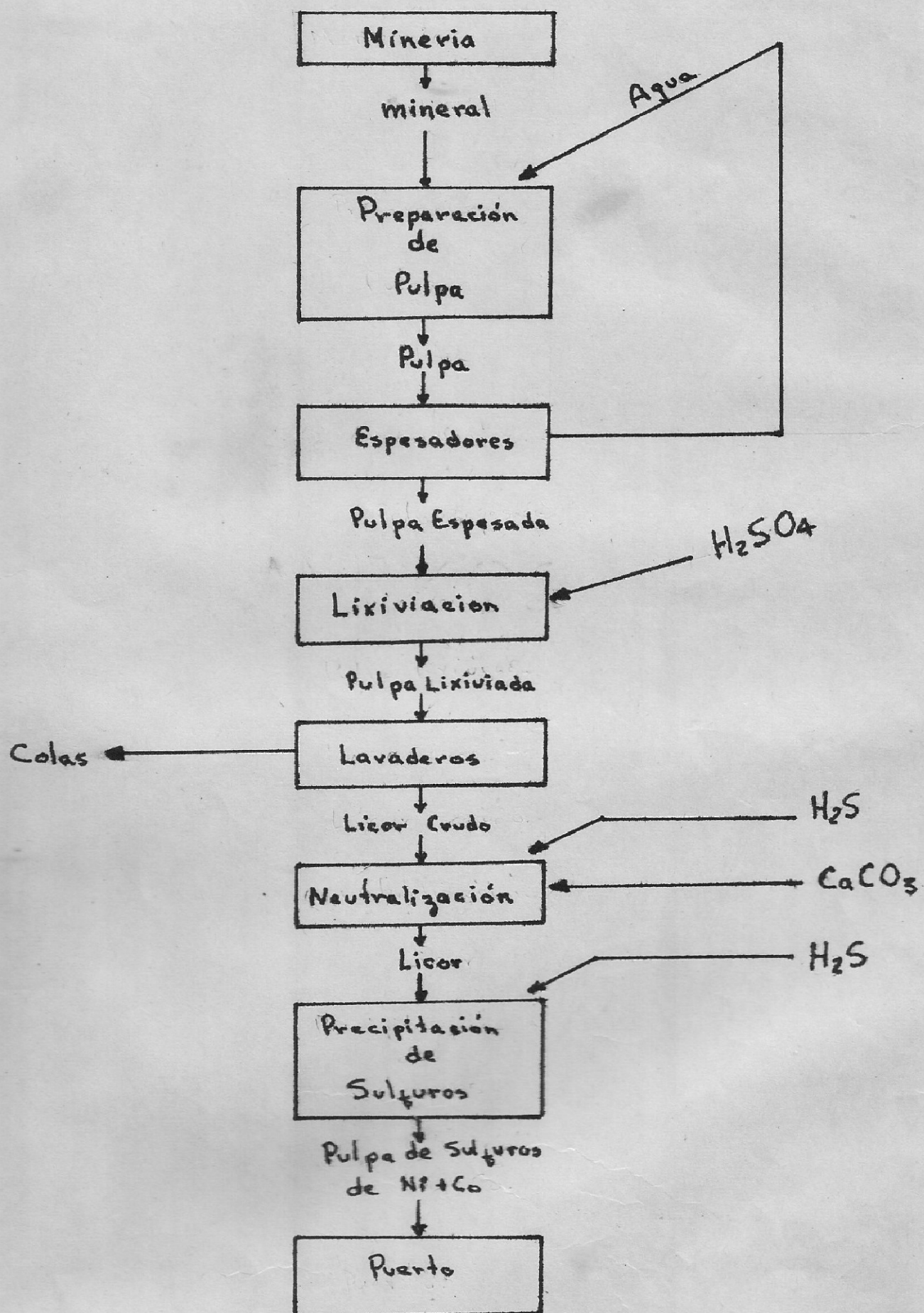
con el frente D- 30 se obtuvieron resultados bas
tante satisfactorios, o que se disminuya el nume
ro de revoluciones por minutos (velocidad) del -
agitador utilizado en las pruebas.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Aradas Lucía y Cabrerías Caridad "ESTUDIO DE*
LA LINEA CONDUCTORA DE LA PLANTA DE PULPA A ES
PESADORES".
- 2- Falcón Hernández José "CONSIDERACIONES SOBRE
LA SEDIMENTACIÓN DE LA PULPA LIMONITICA EN LA--
EMPRESA CMTE PEDRO SOTTO ALBA".
- 3- Fomenko T. G. "ENRRIQUECIMIENTO DE MINERALES
POR GRAVITACION".
- 4- G. Brown George "OPERACIONES BASICAS DE LA --
INGENIERIA QUIMICA".
- 5- Plummer Bertha "INFLUENCIA DE LA FRACCION -
-325 MESH EN LA SEDIMENTACION".
- 6- Torres Segura Julio Cesar "ENSAYO DE PREPARA
CION DEL MINERAL Y SEDIMENTACION".

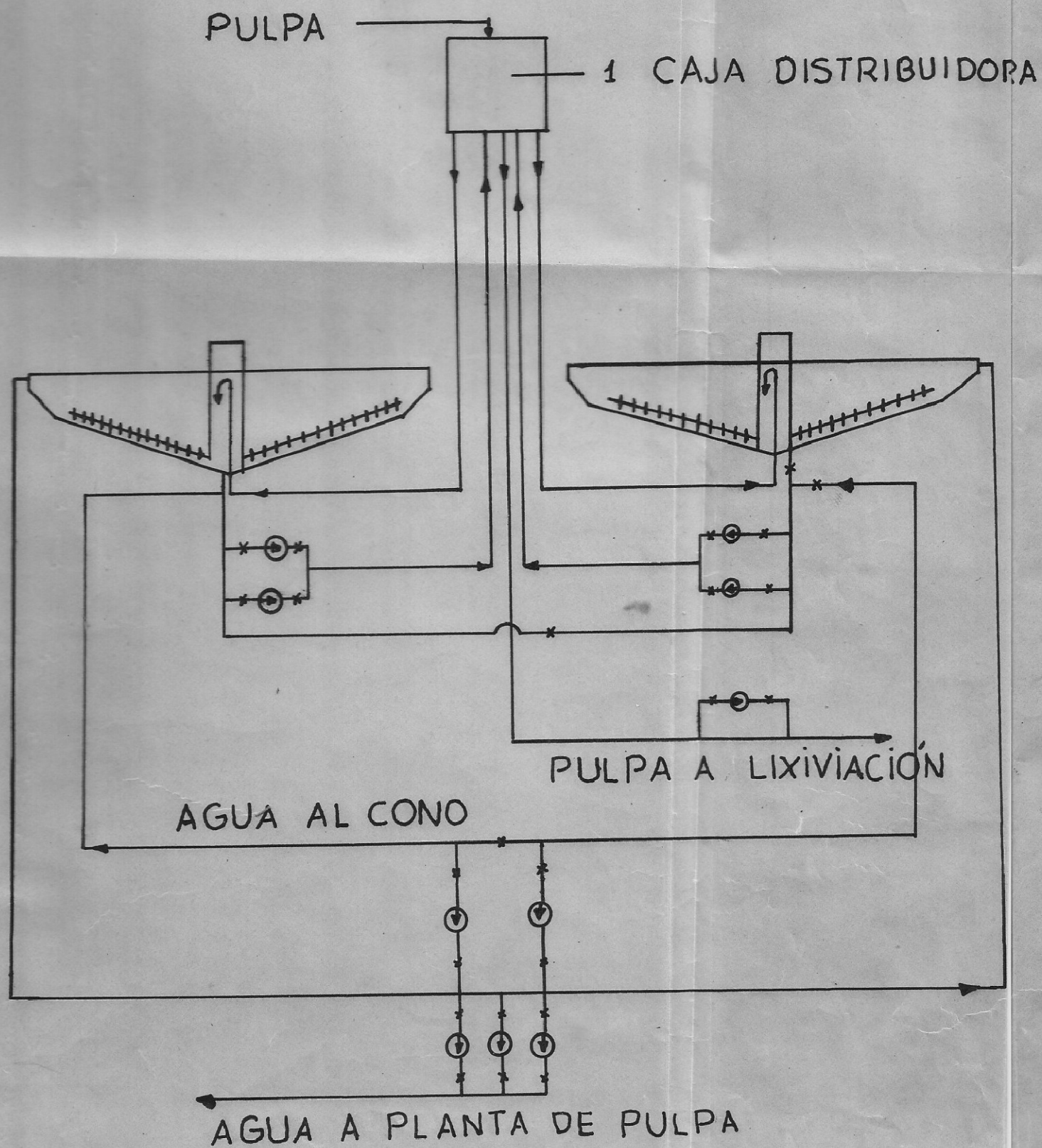
ANEXOS.

DIBUJO #1



ESPESADORES

#3

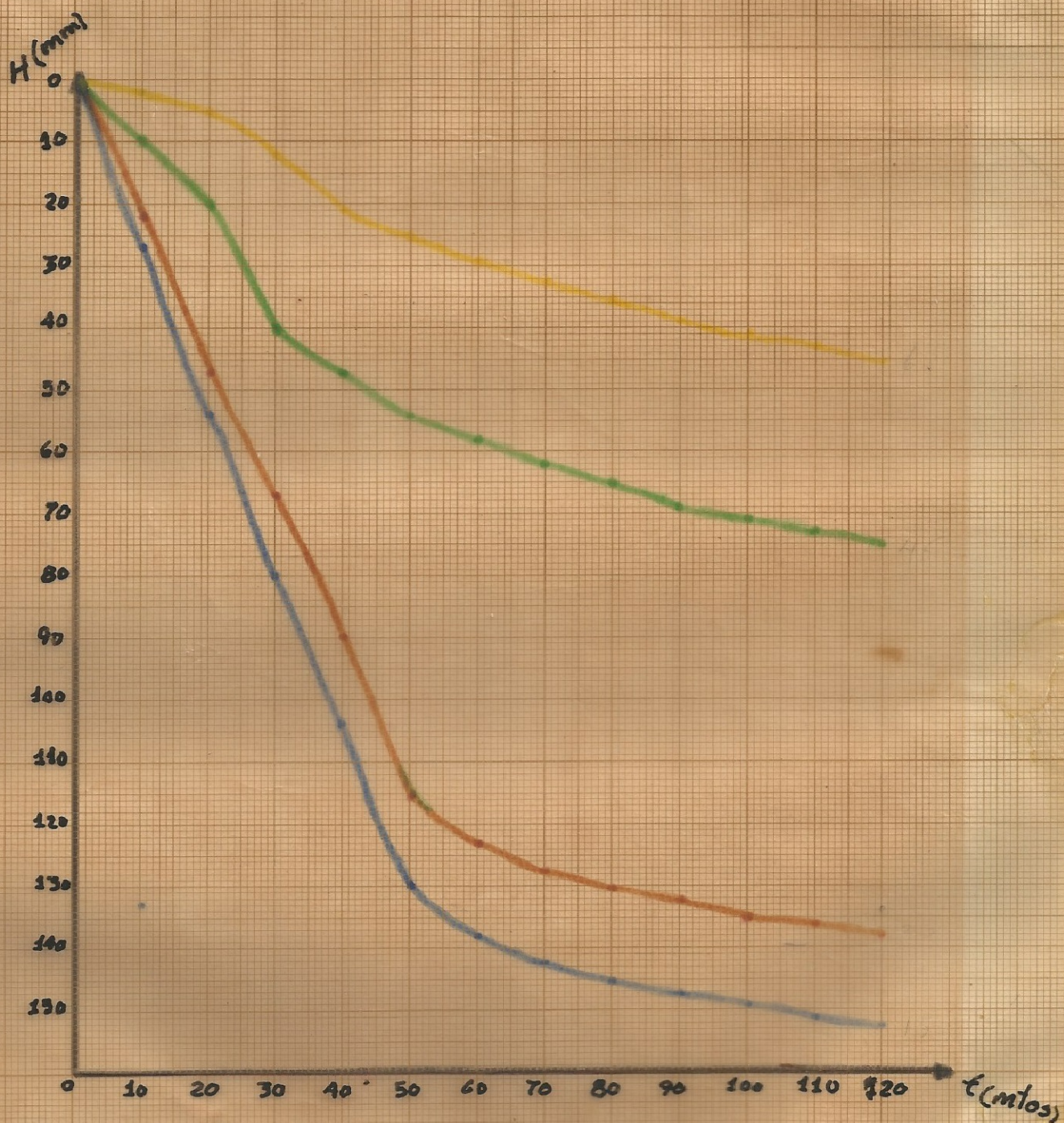


Curvas de Sedimentación

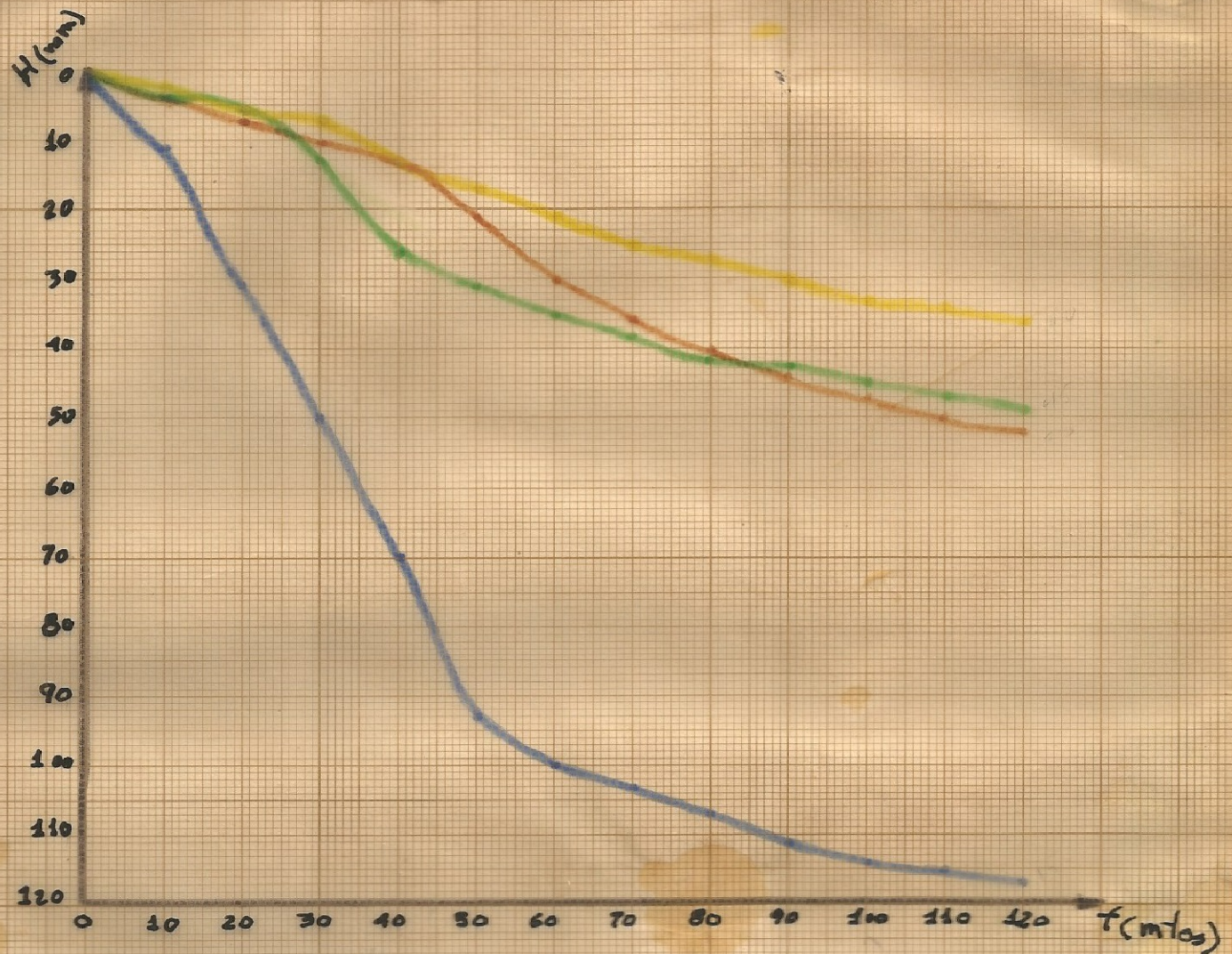
Simbología

- 15 minutos agitación
- 30 " "
- 45 " "
- 60 " "

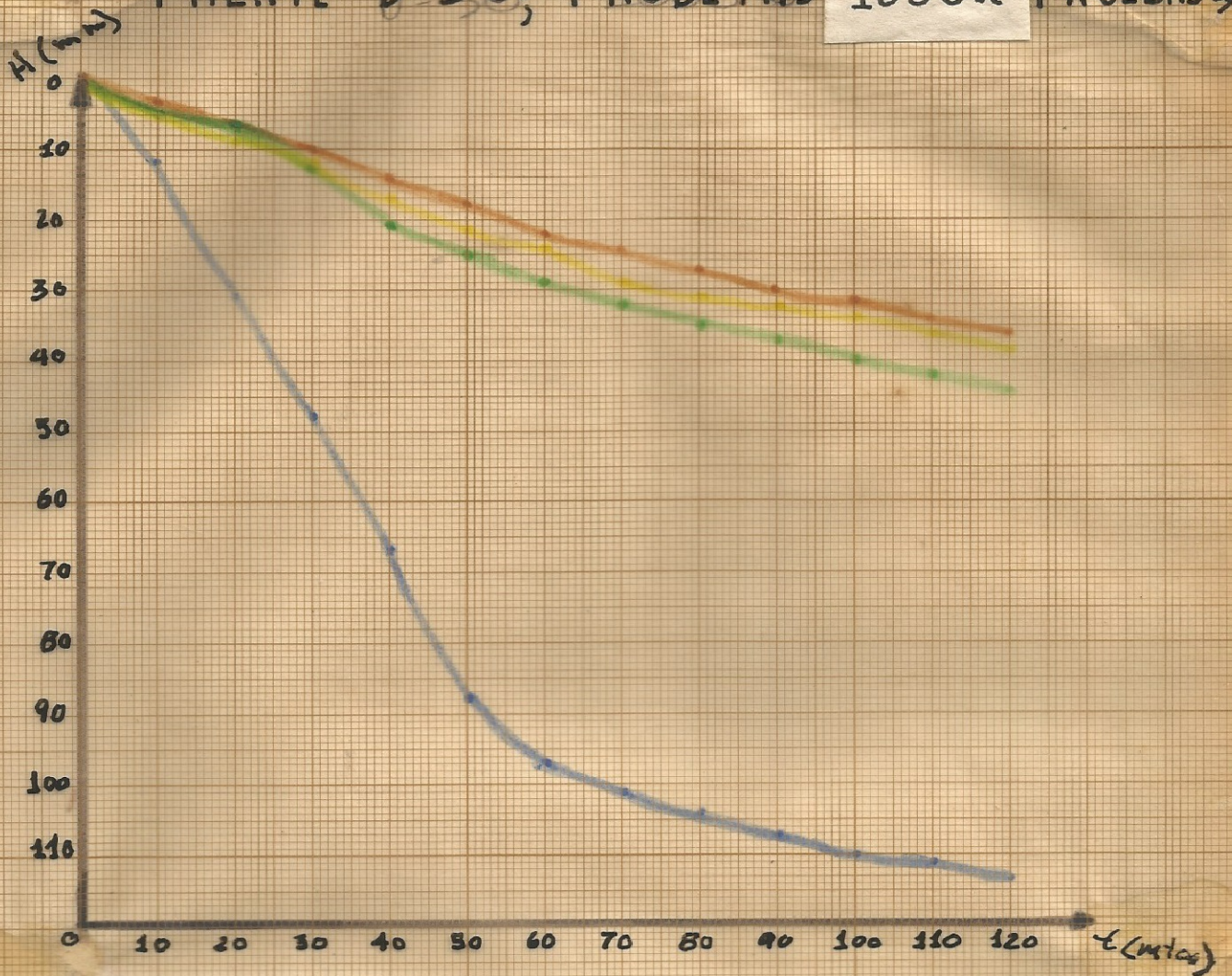
FRENTE D-30, PROBETAS 500cc, PRUEBAS d) --



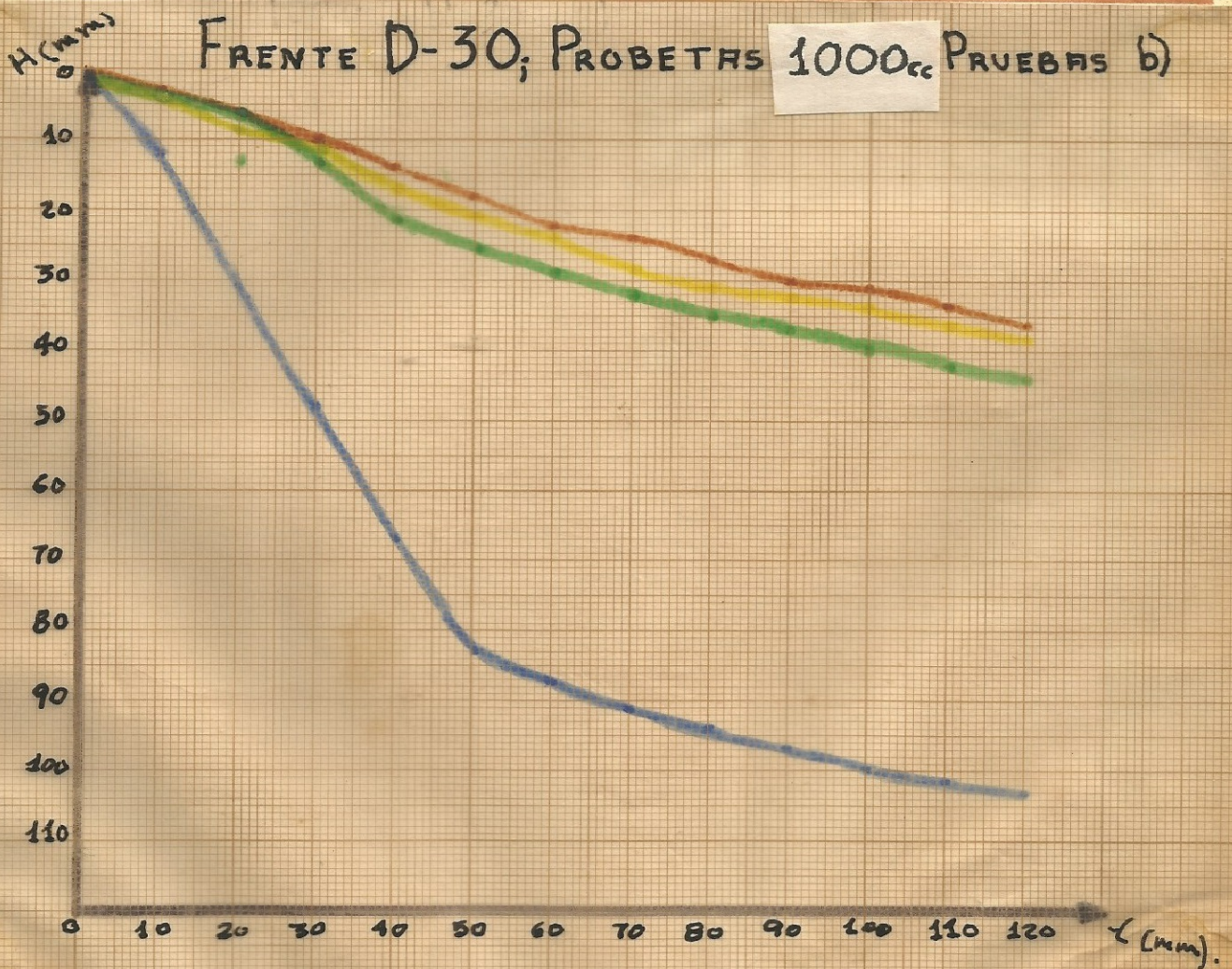
FRENTE D-30; PROBETAS 500CC; PRUEBAS ~~by~~



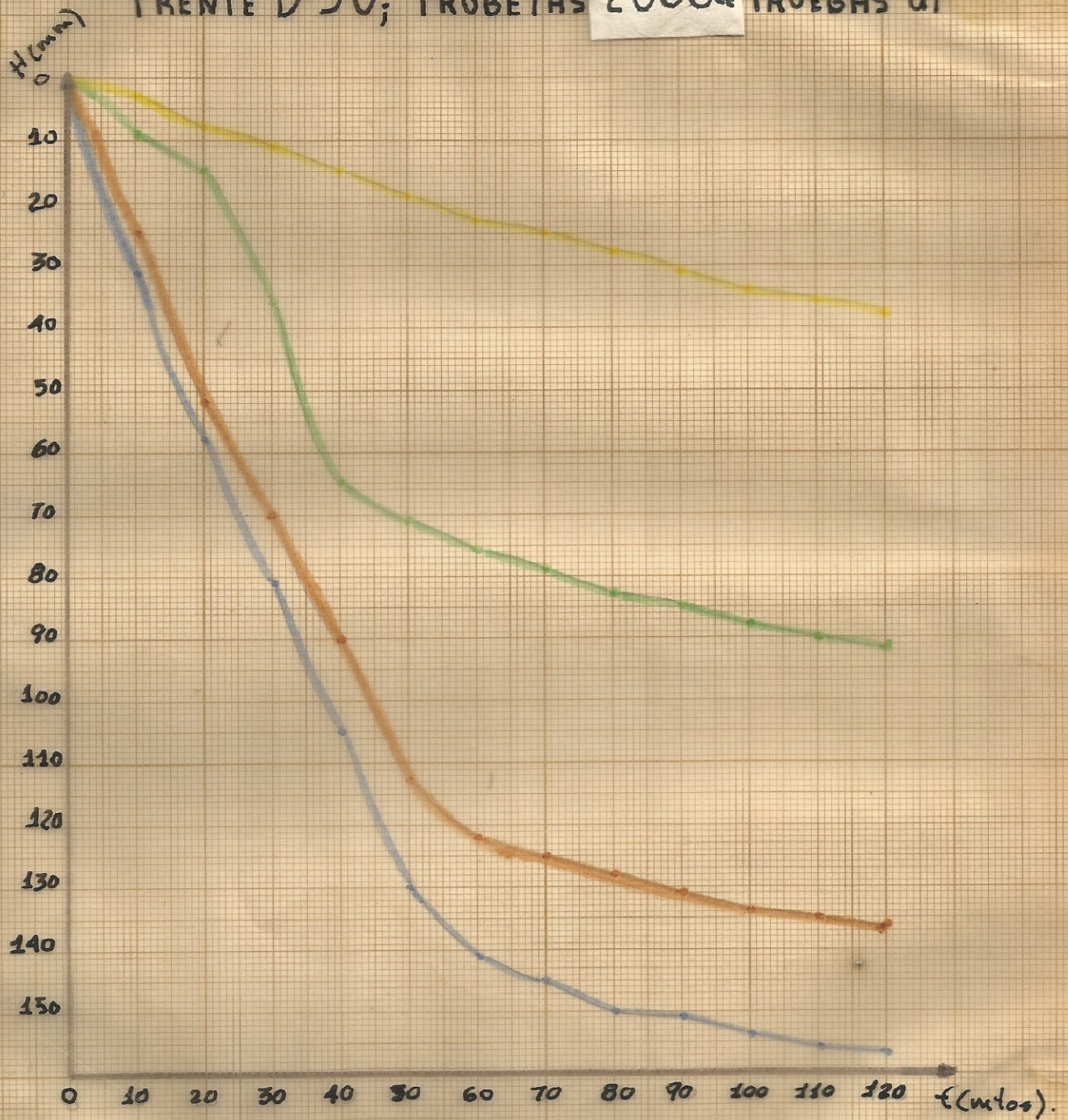
FRENTE D-30; PROBETAS 1000cc PRUEBAS a)



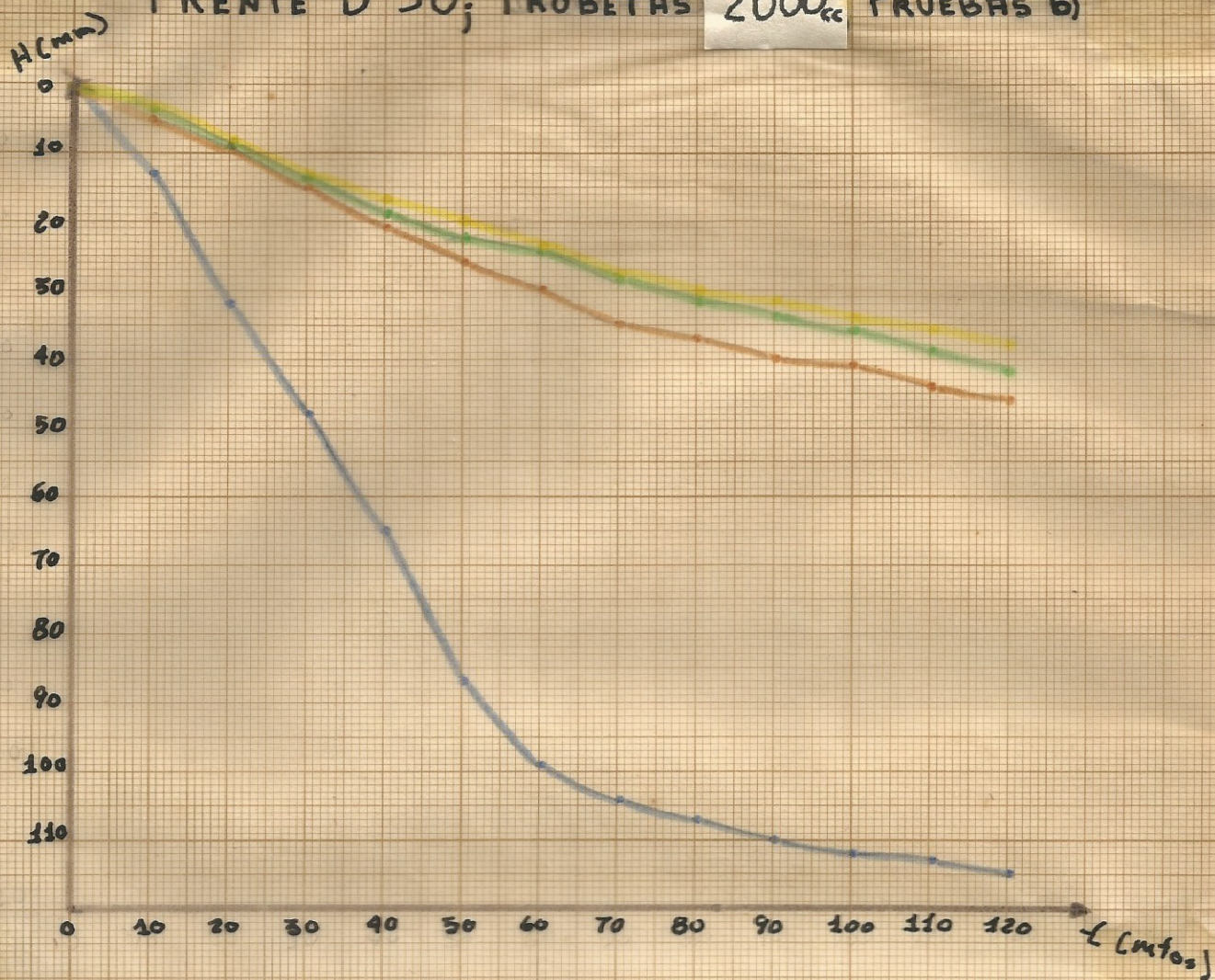
FRENTE D-30; PROBETAS 1000cc PRUEBAS b)



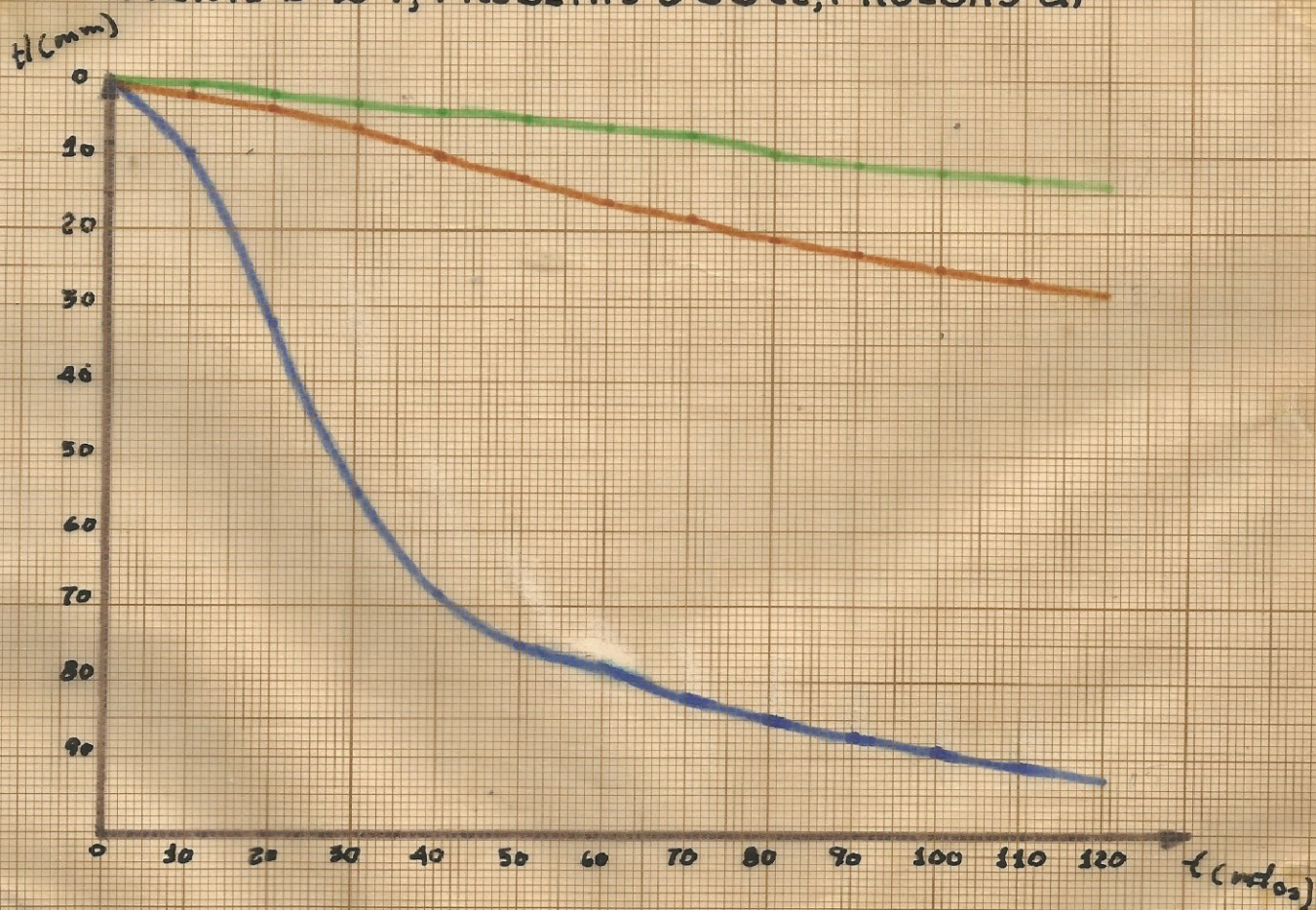
FRENTE D-30; PROBETAS 2000cc PRUEBAS a)



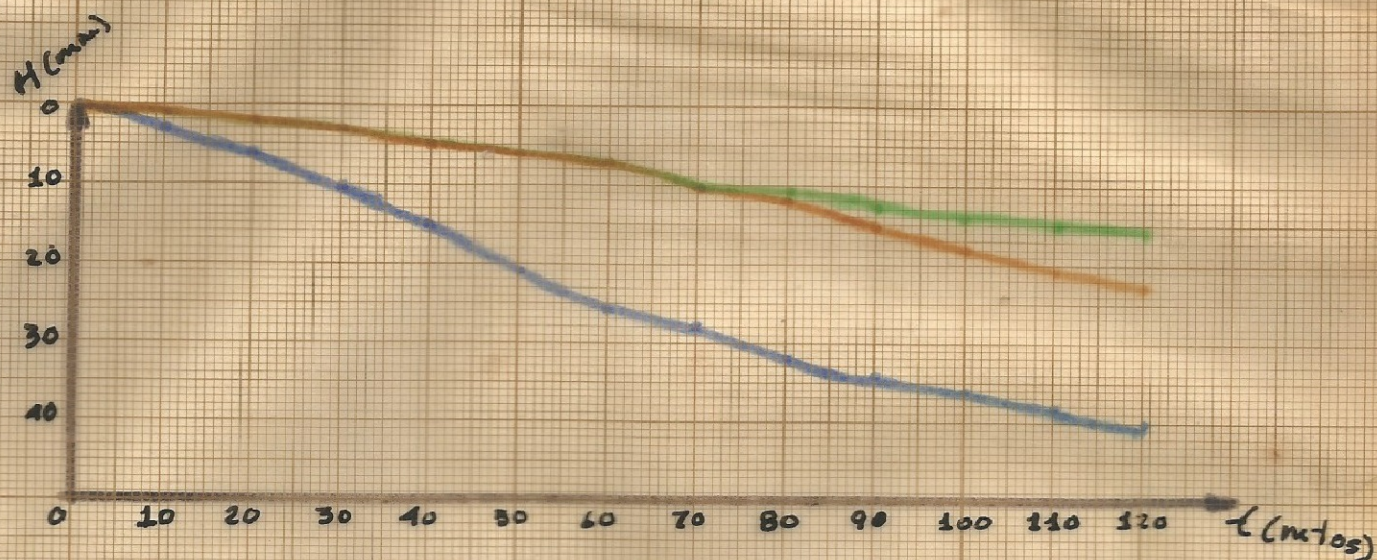
FRENTE D-30; PROBETAS 2000^{cc} PRUEBAS b)



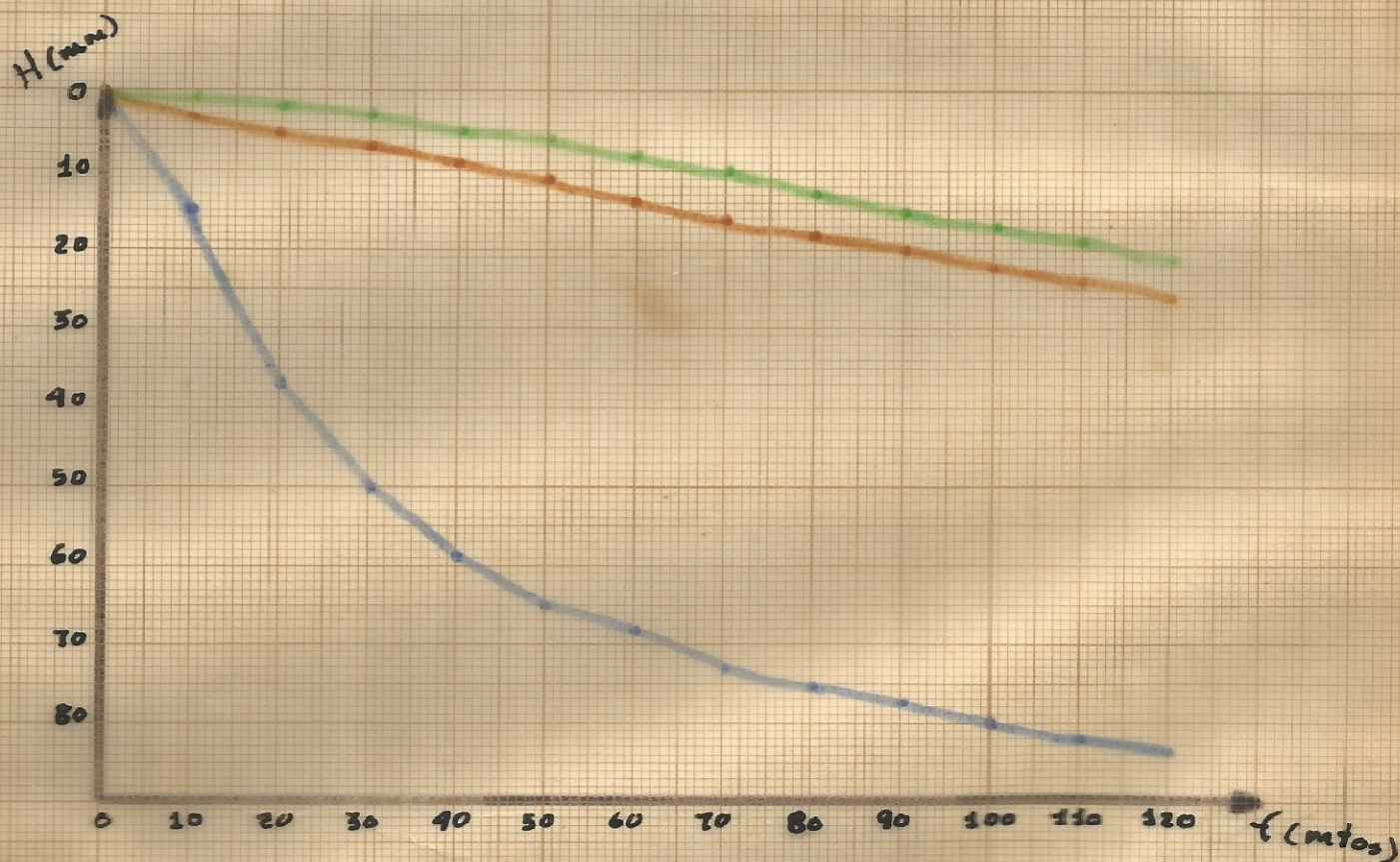
FRENTE D-24; PROBETAS 500^{cc}; PRUEBAS a) -



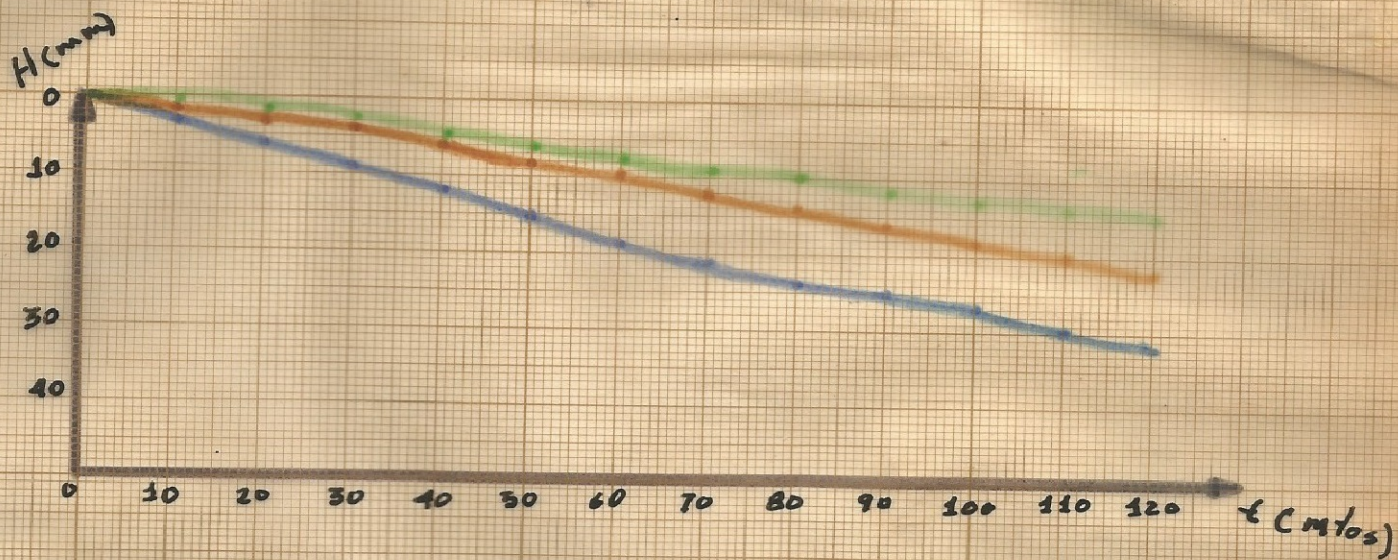
FRENTE D-24; PROBETAS 500cc, PRUEBAS b).-



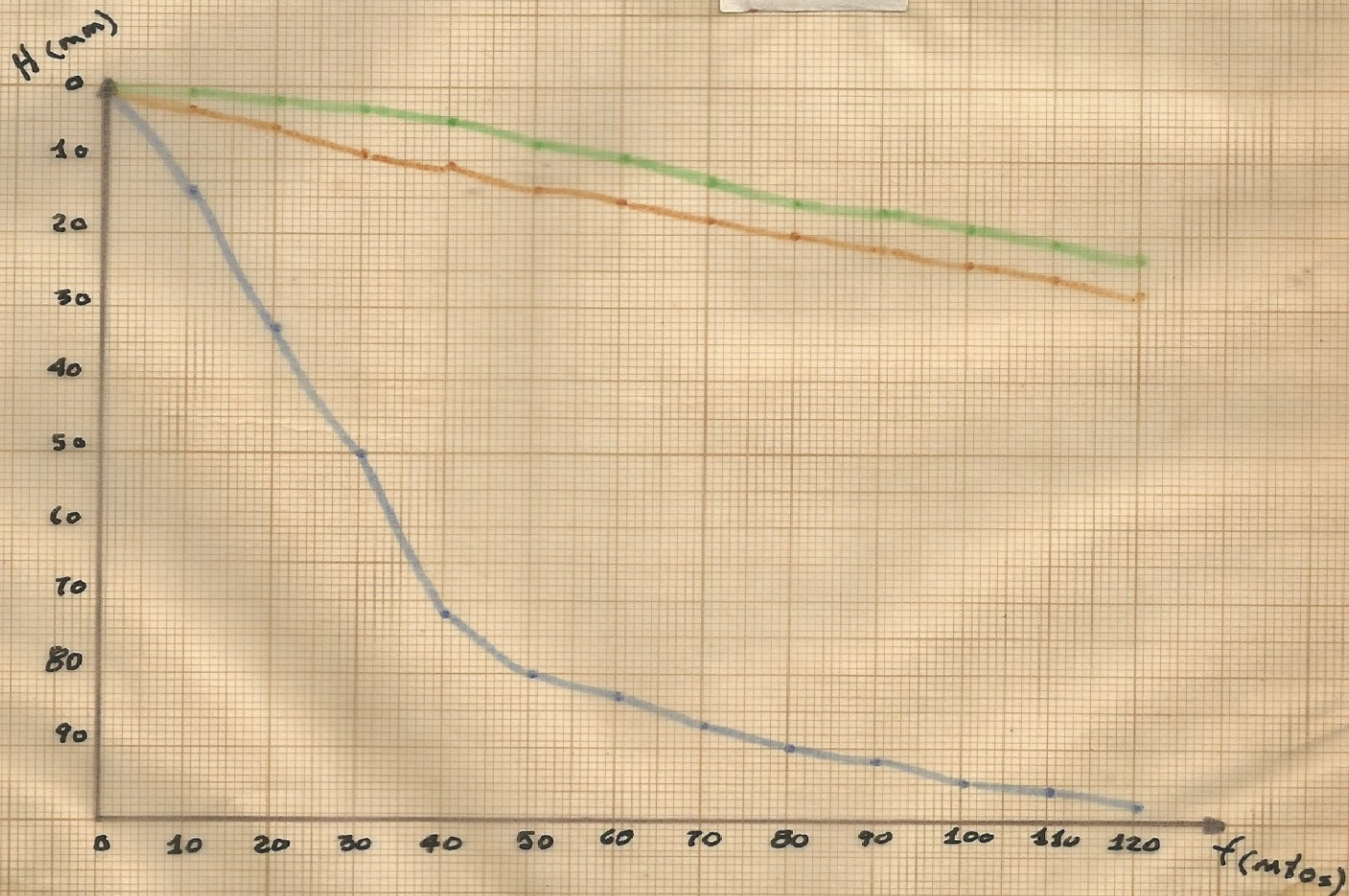
FRENTE D-24; PROBETAS 1000, PRUEBAS a).-



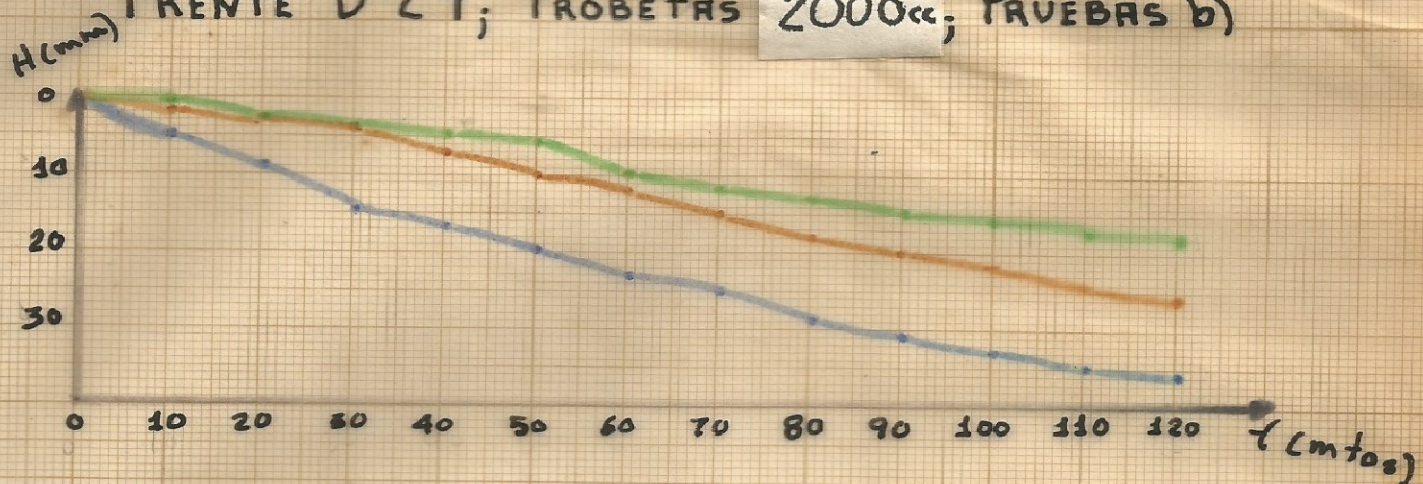
FRENTE D-24; PROBETAS 1000; PRUEBAS b).-



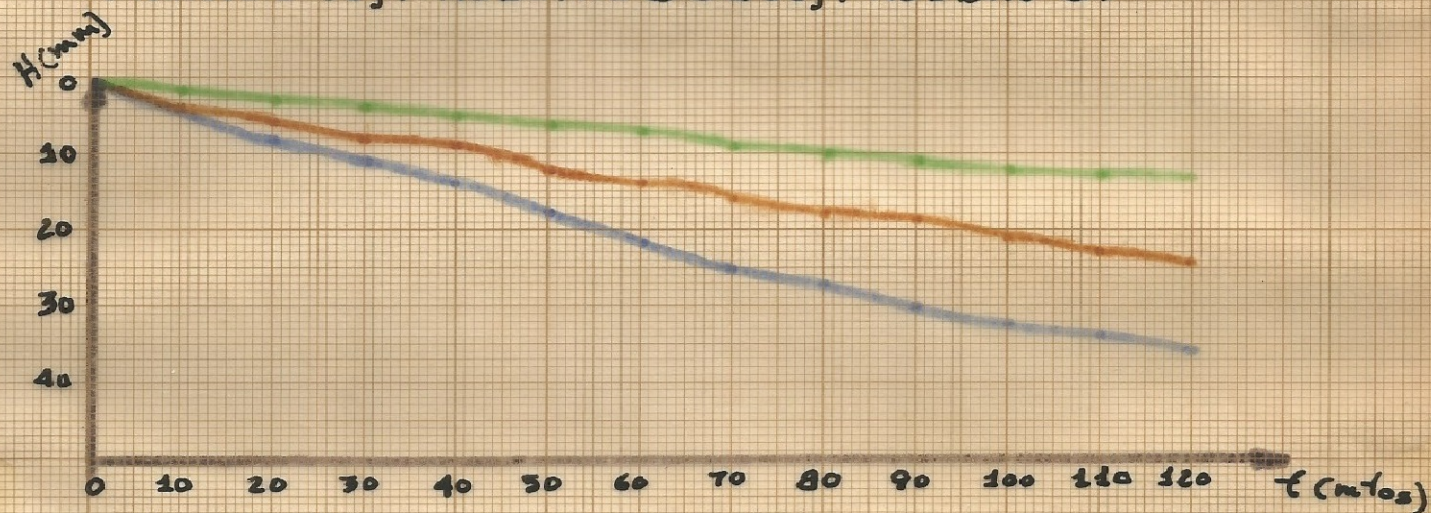
FRENTE D-24; PROBETAS 2000cc PRUEBAS a)



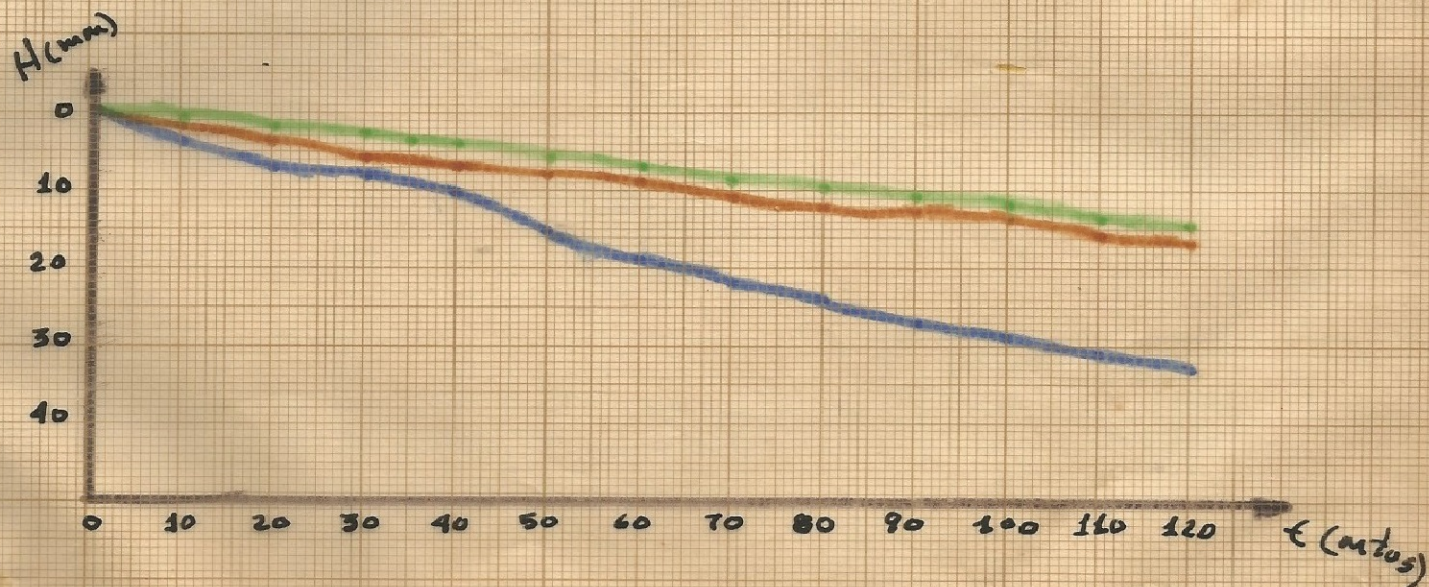
FRENTE D-24; PROBETAS 2000cc; PRUEBAS b)



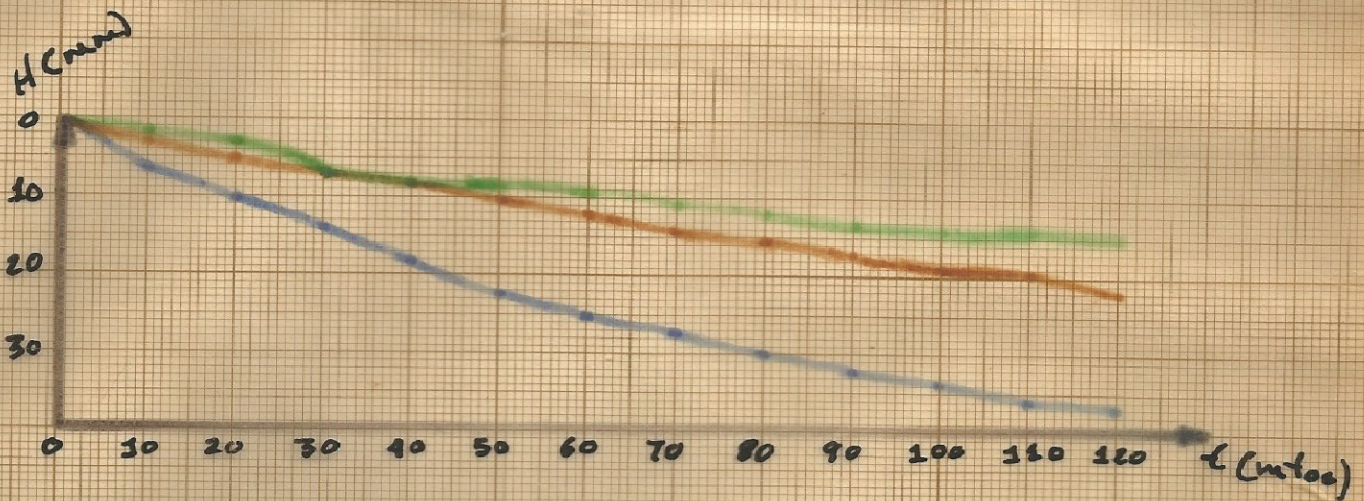
FRENTE D-2; PROBETAS 500cc; PRUEBAS a).-



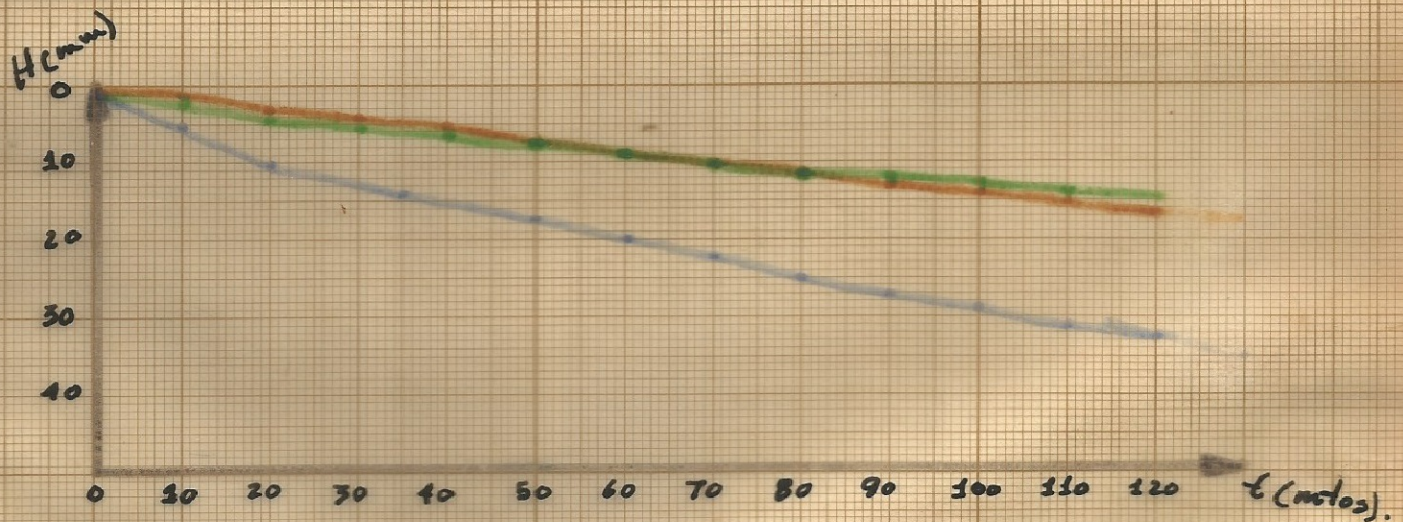
FRENTE D-2; PROBETAS 500cc; PRUEBAS b).-



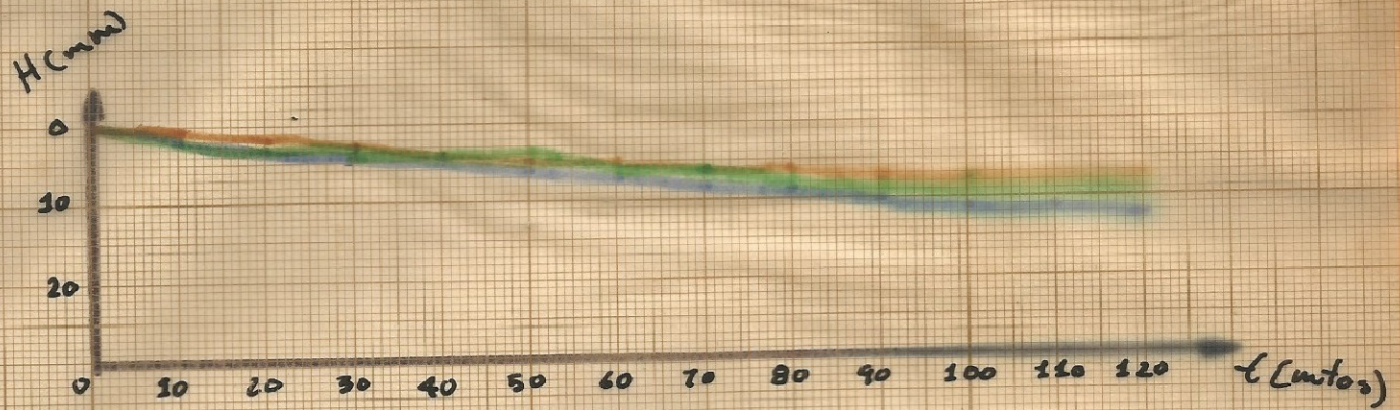
FRENTE D-2; PROBETAS 1000; PRUEBAS α).



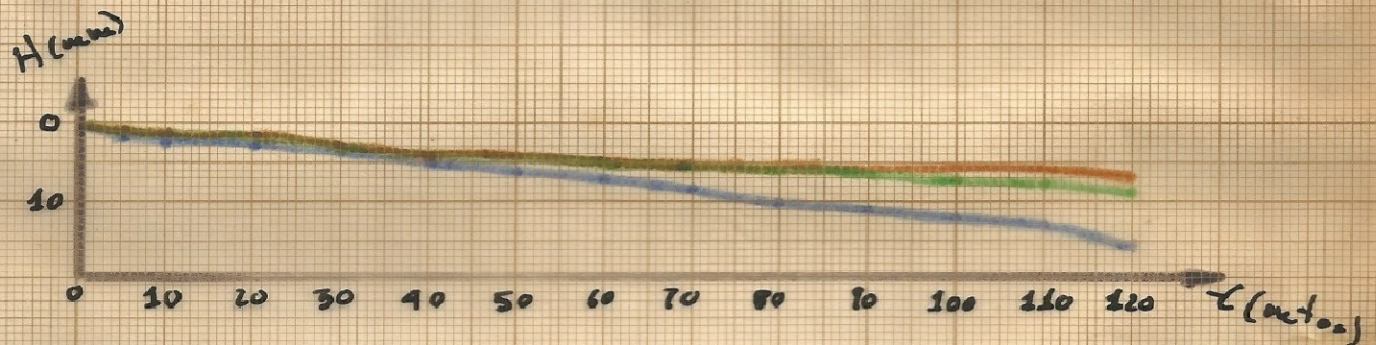
FRENTE D-2; PROBETAS 1000; PRUEBAS b).



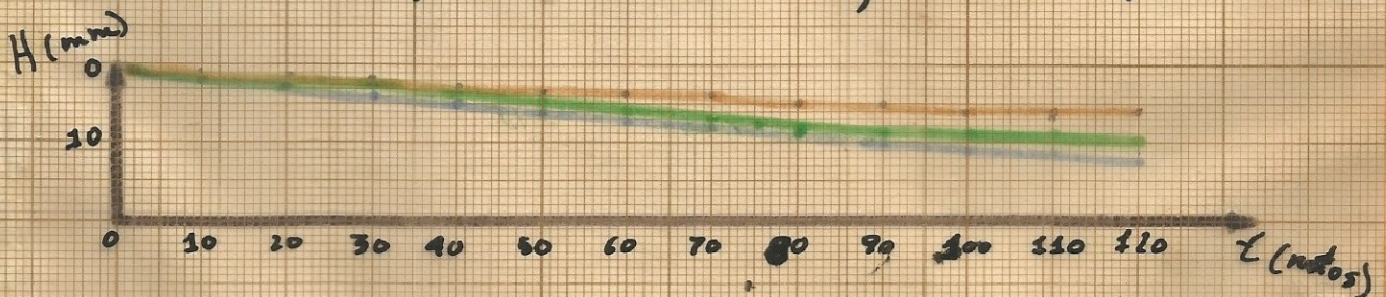
FRENTE D-29; PROBETAS 500cc; PRUEBAS b).--



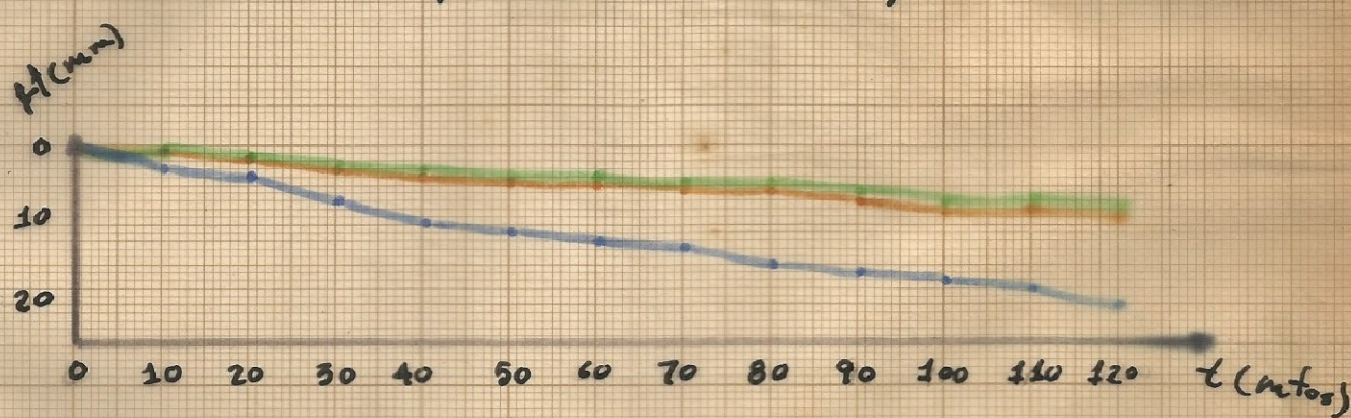
FRENTE D-29; PROBETAS 1000; PRUEBAS a).--



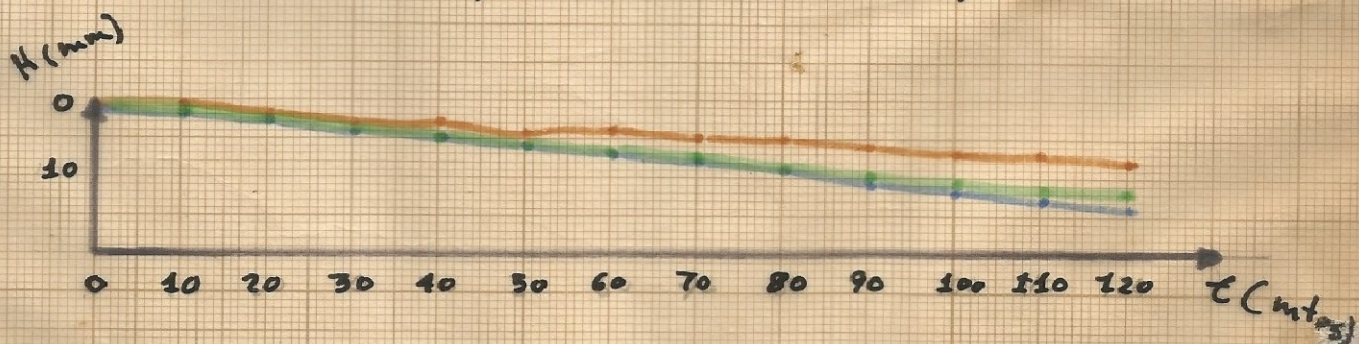
FRENTE D-29; PROBETAS 2000cc; PRUEBAS b)

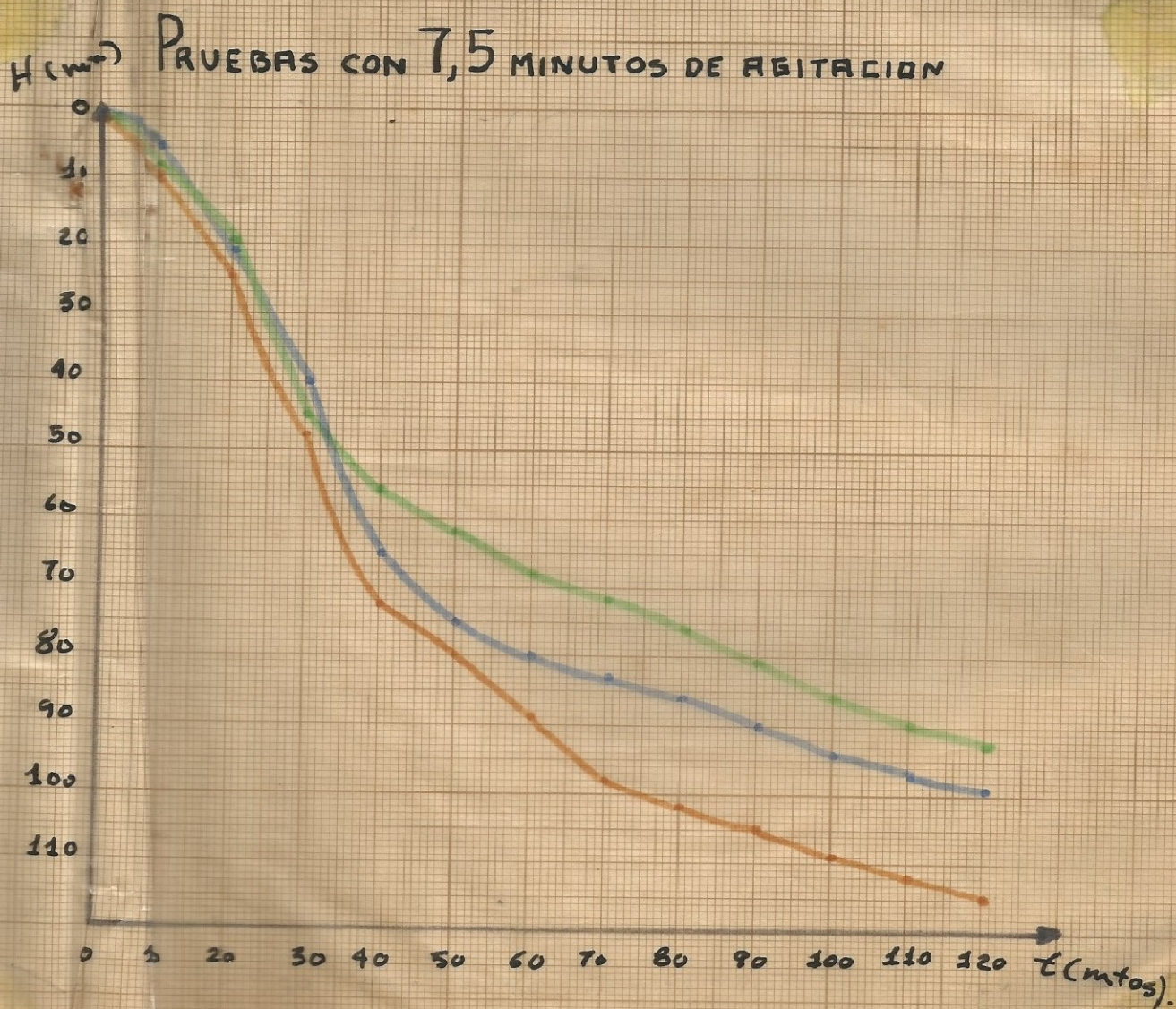
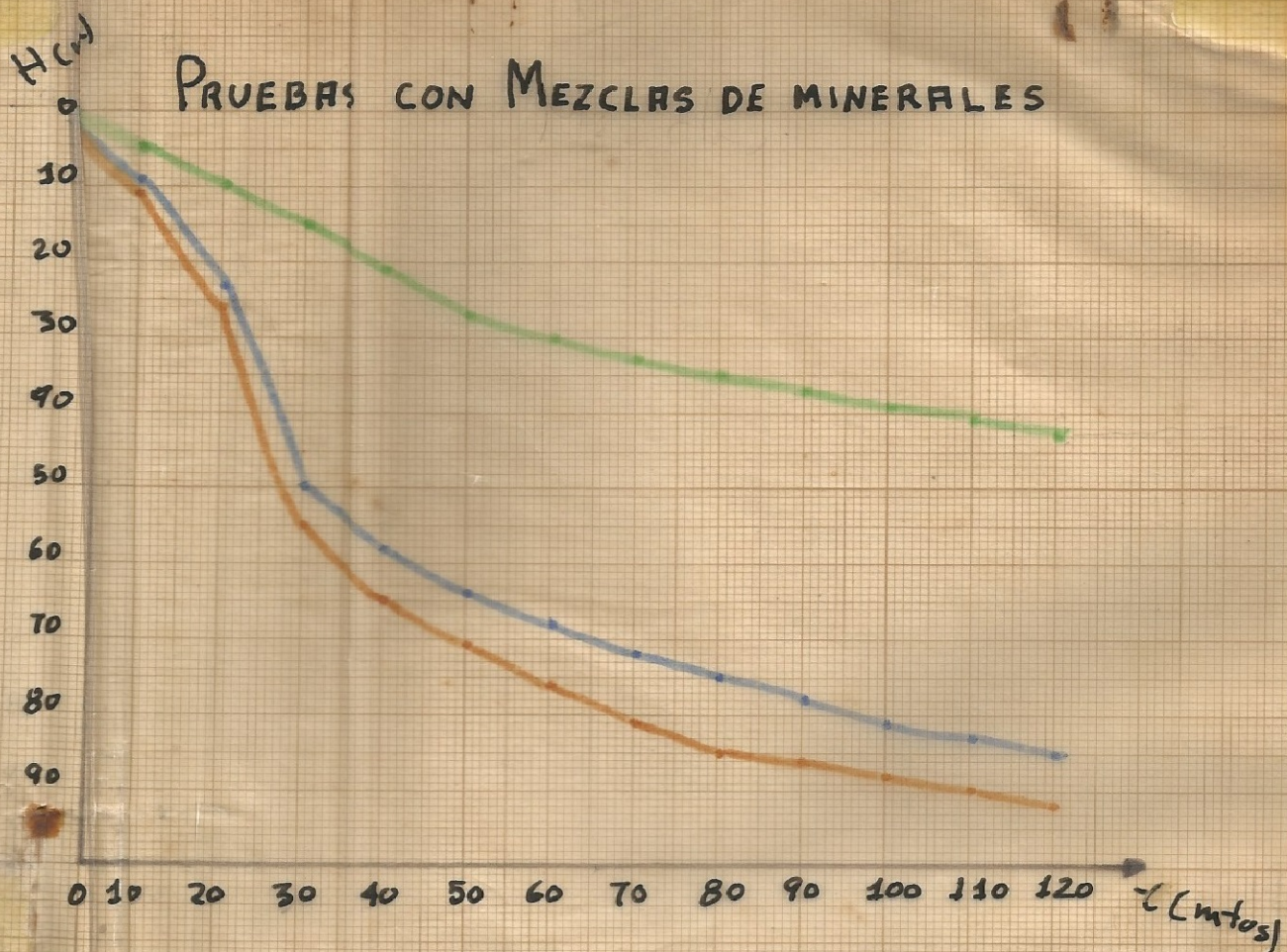


FRENTE D-29; PROBETAS 2000cc; PRUEBAS a)-



FRENTE D-29; PROBETAS 2000cc; PRUEBAS b)-





Simbologia

— . Pruebas con mezclas de minerales. —

 Frentes D-29 y D-2

 Frentes D-2 y D-24

 Frentes D-24 y D-29

— . Pruebas con 7,5 mts de agitación. —

 Frente D-29

 Frente D-24

 Frente D-2