

REPUBLICA DE CUBA

MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO-METALURGICO

TRABAJO DE DIPLOMA

TITULO: Influencia del tratamiento del mineral serpentinitico
en la sedimentación de sus pulpa.

DIPLOMANTE: Juana I. Rizo Valdés. *JR*

TUTORA: Ing. María D. Heredia Kindelán. *M. Heredia*

Moa, 1994

"Año 36 de la Revolución"

PENSAMIENTO

Ninguno de nosotros sabe tanto como todos nosotros juntos

J.R.

DEDICATORIA

A mis padres,

hermannos

y amigos.

AGRADECIMIENTO

Deseo dejar constancia de mi gratitud a todos los que de una forma u otra han contribuido a la ejecución práctica de este trabajo, especialmente a los compañeros trabajadores del Centro de Investigación de la Laterita y a la ing. María D. Heredia Kindelán tutora de este trabajo.

A la Revolución cubana que me dió la posibilidad de llegar hasta aquí, a todos MUCHAS GRACIAS.

INDICE

CAPITULOS	Pág.
- Resumen-----	6
I- Introducción-----	7
II- Parte especial-----	9
II.1- Fundamentación y objetivo del trabajo-----	9
II.2- Reservas, minería y composición de la serpen- tina-----	10
II.3- Posibles variantes tecnológicas de tratamiento de los minerales serpentiniticos en Cuba-----	13
II.4- Fundamento teórico del proceso de sedimentación-	18
II.5- Parte experimental-----	23
II.5.1- Materiales y equipos-----	23
II.5.2- Descripción de la instalación de la lixivía- ción ácida e instrucciones para su operación---	25
II.5.3- Metodología de trabajo empleada-----	27
II.5.4- Procesamiento de los resultados-----	31
II.5.5- Valoración de los resultados-----	34
III- Conclusiones-----	37
IV- Recomendaciones-----	38
- Bibliografía-----	39
- Anexos-----	41

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un estudio de los principales factores que pueden provocar baja eficiencia durante la sedimentación de las pulpas obtenidas en tratamiento del licor residual (WL) de la Emp. Comte. "PSA", con serpentina calcinada a temperatura de 650°C y 660°C, así como en la sedimentación de las pulpas que se obtienen en la lixiviación ácida de la cola serpentina tratada con (WL); en la lixiviación de la serpentina calcinada a temperatura de 660°C y serpentina cruda.

La valoración de los resultados se realizó sobre la base del análisis y determinación de los principales parámetros físicos y químico (Densidad de la pulpa, densidad del licor, pH del licor y composición química) de las muestras tomadas en cada prueba.

También se tuvo en cuenta la influencia de diferentes factores como son: la temperatura de lixiviación, la relación ácido mineral, naturaleza del mineral y relación líquido sólido a partir de los cuales se hizo un análisis.

CAPITULO-I- INTRODUCCION

En 1958 fue construido por compañías norteamericanas el complejo hidrometalúrgico productor de sulfuros de Níquel y Cobalto Emp. Cmdte "PSA", estas compañías interesadas en la amplia ventaja que le proporcionaba esta zona rica en yacimientos, comenzaron la extracción y explotación de estos minerales.

Esta extracción se realizó de forma desproporcionada, sin tener en cuenta la necesidad de lograr un aprovechamiento integral de los minerales presentes en el yacimiento laterítico, tal es así que sólo se procesa mineral limonítico; tampoco se tuvo en cuenta que con esta tecnología se iban a obtener además de producto comercializable, otros productos como el licor residual (WL) que constituye un desecho, el cual se vierte en el río "Cabañas" contaminándolo y por consiguiente afectando el medio ecológico.

No por estas causas se puede decir que la industria del Níquel ha perdido su importancia en el campo de la metalurgia y para la economía del país, pues esta constituye unas de las principales fuentes de divisas. En la actualidad se realizan investigaciones con el objetivo de encontrar una solución a estos problemas. Tal es el caso de la neutralización del licor WL con la serpentina e incorporar a esta al proceso de lixiviación.

Este trabajo está encaminado a determinar los principales

factores que pueden provocar baja eficiencia durante la sedimentación de las pulpas obtenidas en la neutralización del WL y la lixiviación de la serpentina, constituyendo así dicho trabajo un completamiento de las investigaciones antes mencionadas.

CAPITULO-II · PARTE ESPECIAL

II.1- Fundamentación y objetivo del trabajo.

En trabajos precedentes se llegaron a propuestas de variantes tecnológicas de tratamiento de minerales con alto contenido de Magnesio (2), así como de los minerales serpentiniticos del yacimiento Moa, para recuperar el Magnesio (7). En otro fue comprobado el carácter neutralizante de los minerales serpentiniticos. [4].

Posteriormente se realizaron otros trabajos en los que aprovechando el efecto neutralizante del mineral serpentinitico, se fueron buscando vias de incorporación del mismo al proceso tecnológico de la Empresa Comandante "PEDRO SOTTO ALBA" para el tratamiento del licor residual, con los objetivos de disminuir el contenido de Magnesio en el mineral y obtener un producto sólido serpentinitico más asequible por la lixiviación ácida y al mismo tiempo disminuir los efectos nocivos de dicho licor residual [12] y para el tratamiennto del licor crudo previo a su alimentación a la planta de precipitación de sulfuros, con el objetivo de sustituir coral y disminuir las afectaciones ecológicas provocadas por la extracción del coral. [5]. En cada uno de estos trabajos siempre primó el objetivo de obtener un producto serpentinitico a partir del cual pudiera recuperarse el Níquel y el Cobalto contenido en el mismo de la forma más factible económicamente, por lo que también se estudió la posibilidad de recuperar estos metales conforme a la lixiviación ácida a presión. [2]

Durante estos estudios de tratamiento de minerales serpentiniticos con licores ácidos, siempre se observó como aspecto negativo la disminución de la velocidad de sedimentación de las pulpas obtenidas; por lo que en este trabajo se continúa el estudio de la posibilidad de incorporación de los minerales serpentiniticos al proceso tecnológico de la Emp. Cmdte "PEDRO SOTTO ALBA" y por consiguiente en el mismo se pretende estudiar la influencia del tratamiento del mineral serpentinitico en la sedimentación de sus pulpas, con el objetivo de determinar los principales factores que provocan baja eficiencia (crisis) durante la sedimentación de estas pulpas.

II.2- Reservas, minería y composición de la serpentina.

>> Especificaciones de la serpentina. Procedencia.

Los yacimientos de la corteza de intemperismo de la zona Moa se caracterizan en la mayoría de los casos por el gran desarrollo del espesor del perfil intemperismo. Este perfil está representado en su parte superior por la zonas de ocres inestructurales y estructurales formado por los tipos de menas FB, FF, LF y LB y su parte inferior por la zona de serpentina lixiviada, desintegrada, neutralizada, etc; que conforman los tipos de menas tecnológicas SB, SF y SP. Por debajo del perfil pasa gradualmente a la roca madre o roca estéril (RE), formada en su mayoría por peridotita serpentinizada fundamentalmente hazburguitas.

En la Pedro Sotro Alba la cual funciona en base a lixiviación con ácido sulfúrico, solo es posible procesar el tipo de mena LB, desechando como estéril las menas FB, FF y LF por tener bajo Niquel ($Ni < 1.20\%$), tampoco se miran las serpentiniticas SB, SD y SF debido a su alto contenido de óxido de Magnesio, lo cual no hace posible el procesamiento de estas. El proceso de la mena SB, SD y SF que quedan al extraer la mena LD es bastante irregular donde predominan depresiones y elevaciones abruptas con arcos inundados de agua y en parte encubiertas de escombros.

Estas menas SB y SF componen el fondo de los cortes actuales de la mina de Moa, la SB y SD son menas de hce debido a su alto contenido de Niquel mientras las SF el contenido más bajo.

MENAS	CONTENIDOS %	
	Ni	Fe
SB	>1.00	12-35
SD	>1.00	<12
SF	0.70-1.00	<35

VOLUMEN DE RESERVAS (SB+SD)

Yacimiento	Reservas en miles de tn	Contenido		
		Fe	Ni	Co
Yamanigüey (C-I)	6244.0	16.15	15.81	0.039
Yamanigüey (C-II)	919.6	15.85	1.84	0.041
Yamanigüey (C-III)	339.0	16.88	1.92	0.034
Yamanigüey (C-IV)	157.0	16.83	1.22	0.043
Zona pronóstico	6500.0	17.19	1.75	0.029
Zona sur	4880.0	19.85	1.89	0.043
Zona atlántico	2193.0	21.18	1.64	0.0058
Total	21292.0	17.84	1.75	0.039

Esta es la suma de las reservas SB y SD, es decir, se considera como mena todo aquel mineral que tenga un contenido de Níquel mayor de 1,00 % y de Hierro menor de 35%. Las menas SB alcanzan un total de 26222.0 de miles de toneladas métricas y las menas SD alcanzan un total de 4570 miles de toneladas métricas.

Al densificar la red de exploración a 16x16 metros y con exploración columnas, la SB no sufre aumentos pero la reserva de SD puede aumentar entre tres u cuatro veces en cantidad, manteniéndose la misma ley de los componentes útiles; por lo que el volumen total de la reservas SB y SD se puede aumentar hasta 30 000 miles de tm.

Como las corrientes de minería oscilan entre 797 miles de tm y 882 miles de tm, la vida útil del yacimiento puede variar de 24 a 27 años más, considerando el aumento de las reservas SD la

vida útil del yacimiento puede variar entre 34 y 38 años.

>> Minería

Según el estudio bibliográfico realizado (9) y considerando las características topográficas del yacimiento así como su ubicación y el tipo de transporte se propone la factibilidad de apertura por trincheras sucesivas. Se considera de la misma forma que el sistema de explotación más favorable es el horizontal, longitudinal por sus bordes.

En cuanto a los caminos para el acceso a las trincheras se considera que los principales ya existen y los caminos en las canteras tendrán las mismas características que los actuales. Para el laboreo minero se propone una combinación de palas rectas y retro excavadoras que a pesar de tener menos productividad, dando la posibilidad de un mejor aprovechamiento de la mena, productividad de la pala recta y facilidad de contorno del fondo con la retro disminuyendo el empobrecimiento. El desprendimiento del mineral se propone por voladura con explosivo en sus dos escalones.

II.3- Posibles variantes tecnológicas para el tratamiento de minerales serpentiniticos en Cuba.

Como se ha podido observar la serpentina se caracteriza por tener elevado contenido de Niquel, hecho que explica el que se hayan estudiado algunas variantes para su tratamiento.

1- Obtención de Ferroniquel

2- Tratamiento por la vía carbonato amoniacal.

3- Tratamiento por la vía ácida, derivandose de estas dos variantes tecnológicas más.

a) Utilización de la serpentina previamente preparada, para procesar el licor residual de la E"PSA", con la posterior elaboración de esas colas para recuperar el Níquel y el Cobalto.

b) Utilización de la serpentina previamente preparada en el tratamiento del licor crudo de la E "PSA", en sustitución del coral con la posterior elaboración de las colas para la recuperación del Níquel y el Cobalto en las mismas.

Este trabajo guarda relación con la tercera variante, que en cualquiera de sus dos propuestas implica relación alguna con la modificación del esquema tecnológico de la empresa; por ello se hará a continuación una breve descripción del mismo así como de las variantes tecnológicas propuestas.

>> Breve descripción del flujo tecnológico de la fábrica Cmdte PSA.

En esta fábrica se procesa el mineral limonítico de granulometría menor de $\emptyset.083$ mm, hasta obtener un concentrado sulfuroso de Níquel y Cobalto; para lograr esto el mismo se lixivia con ácido sulfúrico al 98% hasta obtener un licor a partir del cual se recuperan estos metales en forma de sulfuros como puede observarse en el esquema [1]. Durante el proceso el mineral y los subproductos obtenidos de su elaboración circulan a través de una serie de plantas como se explica a continuación.

* Planta de preparación de pulpa.

El mineral es transportado a la planta de preparación de pulpa donde se mezcla con agua y se realiza una clasificación al mineral en cribas vibratorias hasta una granulometria menor de 0.083 mm; la pulpa es conducida por gravedad a través de una tubería hasta la planta de espesadores.

* Planta de espesadores.

La pulpa es espesada hasta un 45-48 % de sólido y luego es enviada al proceso de lixiviación. El agua de reboso es recirculada a la planta de preparación de pulpa.

* Planta de lixiviación.

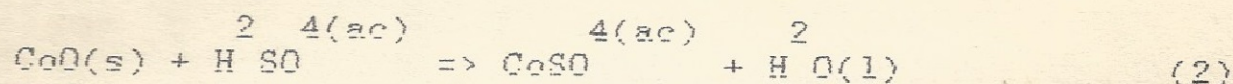
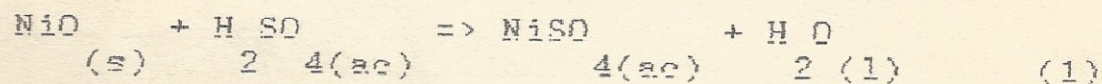
La lixiviación del mineral con ácido sulfúrico al 98% es una de las operaciones tecnológicas más importantes de esta empresa, este proceso se realiza a una temperatura de 240°C y a 40 atm para garantizar que el Níquel y el Cobalto pasen a la solución acuosa, siendo la recuperación del Hierro en la solución, pequeña.

La pulpa espesada con un contenido de un 45-48 % de sólido entra a los precalentadores, donde por contacto directo con el vapor de 102.9 kPa se precalienta hasta 71-82°C. La pulpa precalentada pasa por gravedad a los tanques de almacenaje, desde donde se alimenta a los calentadores y posteriormente por

gravedad al reactor "A".

El ácido es inyectado por la parte superior del reactor "A" mezclándose con la pulpa lentamente; como mecanismo agitador se emplea un tubo central al cual se alimenta vapor de 481.64 kPa garantizando con ello la temperatura necesaria (246°C), el vapor se evacúa por la parte superior utilizándose para el calentamiento de la pulpa en el calentador 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 y su calor se recupera como vapor; después pasa por unos estranguladores especiales de control de flujo a un tanque despresurizador instantáneo. La pulpa lixiviada fluye por gravedad al sistema de lavado.

En este proceso se verifican principalmente las siguientes reacciones:

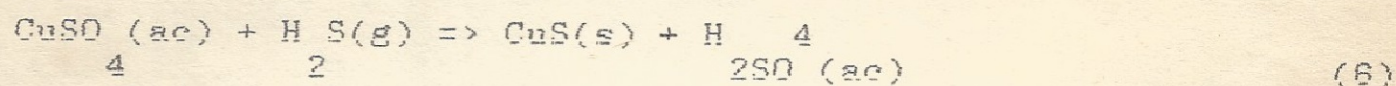
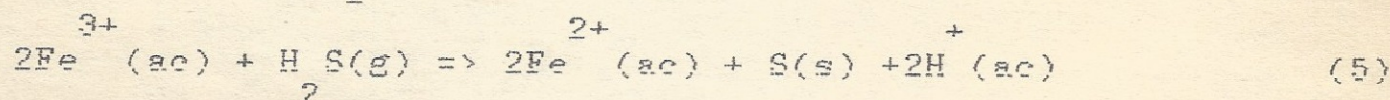
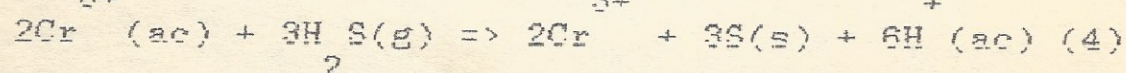
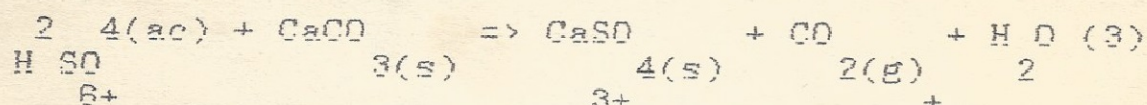


* Planta de sedimentación y lavado.

En la planta de lavaderos, el lavado se lleva a cabo a contracorriente por decantación, se separa la parte líquida de esta pulpa (licor) de la sólida (mineral no disuelto). En este el mineral es lavado con el fin de obtener la mayor cantidad posible de Níquel y Cobalto en licor, logrando reducir las pérdidas de estos metales en el sólido.

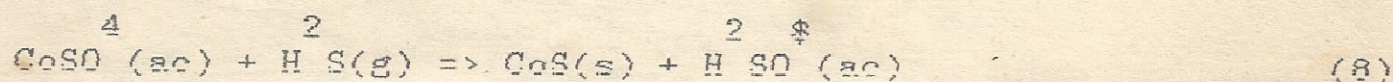
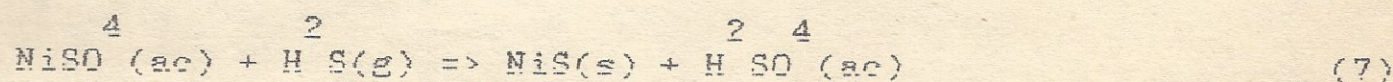
* Planta de neutralización.

El licor clarificado y enriquecido en componentes valiosos es enviado a la planta de neutralización con el objetivo de reducir las impurezas con más tendencia que el Niquel a precipitar en la planta de sulfuros y de regular el pH hasta el establecido para garantizar la precipitación de (Ni + Co)S; lográndose esto mediante la reducción del Hierro (3+) a Hierro (2+) y el Cr (6+) a Cr (3+), la neutralización del ácido libre y la precipitación del Cobre. Las reacciones principales que se verifican son:



* Planta de precipitación de sulfuros.

El licor neutralizado contenedor de sulfatos de Niquel y Cobalto con un pH de (2.5-2.6), pasa primero por los calentadores donde se calienta hasta una temperatura de 110°C por contacto directo con el vapor de agua de 9.4 x 10 Pa de presión y sale por gravedad hacia las bombas centrifugas de alimentación a las autoclaves donde se verifican las siguientes reacciones:



Este proceso se verifica para las siguientes condiciones de trabajo:

- Temperatura 110°C
- Presión de H_2S 10.9×10^5 Pa
- Agitación mecánica.

Con estas condiciones se logra la precipitación de un 99 % de Ni y 98 % de Co.

En el esquema No-2 puede observarse la variante propuesta para el tratamiento del licor residual de la EC"PSA" con la serpentina previamente procesada seguida de la recuperación de Ni y Co a partir de las colas obtenidas de este.

En el esquema No-3 se muestra la variante del esquema tecnológico para emplear la serpentina una vez procesada en la neutralización del ácido libre del licor que se envía a la planta de precipitación de sulfuros (en sustitución de la pulpa coralina).

II.4- Fundamento teórico del proceso de sedimentación.

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

Como es conocido las partículas sólidas en un medio en reposo (ejemplo el agua) tienden a bajar por la única influencia de la fuerza de gravedad, si una partícula cae en un medio cuyo recipiente sea lo suficientemente extenso, de forma tal que

sobre las partículas actúe la resistencia del medio, la misma alcanzará una velocidad máxima que será la velocidad límite de caída libre, esta podrá ser calculada por diferentes fórmulas existentes, para ello teniendo en cuenta los factores que influyen sobre ella como son:

- Forma
- Tamaño de las partículas
- Propiedades del fluido

En las situaciones en que precipitan varias partículas se le suma a la resistencia que ofrece el medio, otras fuerzas que entorpecen la caída de las partículas y por tanto este régimen se denominará de caída contrariada. El grado de contrariedad se encuentra en dependencia directa con la concentración de partículas en el medio; en el caso de partículas muy pequeñas (lamas) el peso de las partículas y las velocidades de caída resultan tan insignificante que las fuerzas superficiales y de interacción entre ellas pueden mantener a estas suspendidas en el medio. Cuando se combinan partículas muy pequeñas y otras mayores formando una mezcla ocurre que las mayores para caer además de vencer la resistencia del medio tienen que desplazar a aquellas partículas más pequeñas y de mayor velocidad de caída, por lo que podemos decir que las partículas más pequeñas le comunican al medio un aumento de la densidad, respecto al desplazamiento de las partículas mayores.

En la teoría existente sobre sedimentación no se conocen las formulaciones matemáticas lo suficientemente fundamentadas que permitan determinar de manera confiable la velocidad de

caída contrariada, en tales casos es común la aplicación de la fórmula de Gaudin:

$$V_{ct} = V_o(1-t)(1-t) - (1-2.5t)$$

donde: V_{ct} -Velocidad de caída contrariada

V_o -Velocidad de caída libre (determinada por la fórmula de Stokes)

$$V_o = 0.54 d \left(\frac{\rho_s - \rho_l}{\eta} \right), \text{ m/s}$$

donde: d -diámetro de las partículas, m

ρ_s -densidad del sólido,

η -viscosidad del medio

ρ_l -densidad del líquido

? $t = 1 - m \Rightarrow$ concentración volumétrica del sólido

m -coeficiente de llenado

Esta fórmula puede ser utilizada solo para partículas pequeñas y concentración menor del 30 % de sólido.

En el caso en que sedimentan partículas relativamente grandes en presencia de pequeñas (100 o más veces) mayores unas que las otras puede considerarse que las primeras caen en una suspensión, es decir el líquido con una densidad y viscosidad determinada por las partículas pequeñas que le comunican sus propiedades.

Según investigaciones del instituto Mejanobr de la ex-URSS, la velocidad de caída de las partículas grandes en la suspensión no estructurada puede ser determinada aproximadamente según la fórmula:

$$V = V_{cto} \times \frac{\rho_s - \rho_l}{\rho_s - \rho_{pct}} \times \frac{\rho_{pct}}{\rho_p}$$

donde: V_{cto} -velocidad de caída contrariada

ρ_{pct} -densidad de la pulpa compuesta solo de aquel-

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

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

* Factores que influyen en la sedimentación.

-- Tamaño de las partículas

Las partículas de mayor tamaño tienden a sedimentar con mayor velocidad que las pequeñas las cuales tienden a flotar, mantenerse en suspensión en el seno del líquido o sedimentar con gran lentitud. Si la suspensión (pulpa) es una mezcla de partículas pequeñas y grandes, las primeras entorpecerán la caída de estas últimas como se explicó anteriormente.

-- Densidad de las partículas.

El comportamiento de este factor es muy similar al anterior, es decir las de mayor densidad tienen mayor velocidad de caída que las de menor densidad. Pero si la densidad de estas es menor o igual a la del fluido en el cual se encuentran, estas flotarán o se mantendrán en suspensión en el mismo y si es mayor

irán al fondo. Existen partículas que tienen diferentes tamaños y densidades e igual velocidad de caída libre, se dice que estas son isódromas.

-- Temperatura de la pulpa.

Con un aumento de este factor se aumenta la velocidad de sedimentación de forma proporcional y por consecuencia una disminución de la viscosidad del medio.

-- Composición iónica de la pulpa.

La composición iónica de la pulpa (presencia de diferentes iones en una u otra concentración), influye de forma decisiva en la velocidad de sedimentación ya que determina el fenómeno de dispersión (repulsión) o cuagulación (adhesión) de las partículas, debido a que los iones presentes en las fases líquidas actúan sobre las superficies de estas variando sus propiedades y potencial cinético.

-- Fluidéz de la pulpa.

Es una de las propiedades reológicas de la pulpa laterítica considerandose factor influyente, este depende de la temperatura.

-- Viscosidad de la pulpa.

Con el incremento de la viscosidad de la pulpa el proceso de sedimentación se ve frenado, es decir que la velocidad de sedimentación disminuye.

Los flujos de los fluidos pueden ser laminar, de transición y turbulento, en el primer caso, las partículas son pequeñas así como su velocidad de desplazamiento, en este caso la viscosidad del fluido juega un papel importante como parte de la resistencia del flujo.

Si por el contrario el flujo es turbulento, entonces su velocidad de desplazamiento presenta tendencia a formar remolinos y torbellinos que ofrecen gran resistencia al flujo, en este caso la velocidad del fluido tiende a ser muy pequeña por lo que se desprecia.

II.5- Parte experimental.

II.5.1- Materiales y equipos empleados.

Tabla No- 2 MATERIALES EMPLEADOS

Materiales	Composición química, %							
	Ni	Co	Fe	Mg	Mn	Al	Cu	Zn
Serpentina								
calcinada a 660°C	1.815	0.3	12.5	18.69	0.17	-	0.1	0.2
Cola de ser-								
pentina cal-	1.52	0.024	11.6	17	0.26	4.80	0.004	0.029
cinada a								

Cola de ser-

23

pentina cal- 1.83 0.027 11.4 16.50 0.250 5.70 0.004 0.029
 cinada a
 6600C

Mineral ser-

pentinitico 1.88 0.2 11.6 17.19 0.16 - 0.1 0.2
 del yaci-
 miento Moa

Composición química

Material	Ni	Co	Mn	Al	H2SO4	H2S
	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	ppm

Licor resi-

dual de la 0.018 0.004 1.20 4.57 5.82 0.0013
 Emp C "PSA"

Solución de H2SO4 al 98%

EQUIPOS

- 1- Trituradora de mandíbula.
- 2- Molino de bolas.
- 3- Horno de calcinación de botella giratoria.
- 4- Reactor de calentamiento indirecto con vapor y agitador mecánico de impelente.
- 5- Probeta graduada 1000 ml.
- 6- Bomba de pistón con desplazamiento positivo con capacidad 13.8 l/h.
- 7- Autoclave con agitación mecánica y capacidad para 5 litros

II.5.2- Descripción de la instalación de la lixiviación ácida e instrucciones para su operación.

Esta instalación esta prevista para estudiar los procesos hidrometalúrgicos a elevadas temperaturas y presión. La misma ofrece las siguientes posibilidades:

-- Alimentar pulpas y licores, una vez puesta el autoclave en funcionamiento y alcanzada la temperatura hasta 300°C y 50 atm de presión.

-- Situar termómetros en determinados instantes de tiempo con el autoclave trabajando.

-- Controlar la temperatura y la presión en el sistema.

El sistema está compuesto por:

A- Conexión entre cada equipo hecha de acero inoxidable y con un diámetro de 1/4 de pulgada.

B- Bomba de desplazamiento positivo de alta presión y velocidad de flujo de 13.8 l/h.

C- Reactor para recepcionar ácido en cada prueba.

D- Autoclave con su agitador y capacidad máxima de 5 litros y posibilidad de trabajar hasta 50 atm y 280 °C, con calentamiento a través de una resistencia eléctrica en un baño de aceite (18 A), posee un recipiente interior.

E- Enfriador de tubo en tubo de capacidad de 280 ml. (ver anexo)

..Instrucciones de operación

1- Revizar cada parte de la instalación, la bomba la auto-

clave, el lubricante y eje de la autoclave, así como el eje de la bomba.

2-Para bombear cerciorarse que la llave de el autoclave (2) así como las de alimentación y descarga (3 y 4) se encuentren completamente cerradas y la de la alimentación a el autoclave se encuentre abierta. Luego encender hasta bombear el volumen de ácido deseado y el volumen que se recepciona en la tubería que conecta al reactor (D) con la bomba.

3-Para dejar de bombear: apagar la bomba y luego cerrar la llave de alimentación a el autoclave (D).

4- Para el trabajo con el autoclave regular la velocidad de agitación a través del botón (5) y encenderla para su calentamiento en botón (6). Durante el trabajo de la misma se sugiere mantener las llaves (1 y 2) completamente cerradas. En caso de alguna eventualidad desconectar la corriente eléctrica.

5-Para tomar las muestras mantener completamente cerradas las llaves (1 y 4) y abrir las llaves (2 y 3), una vez tomado el volumen indicado cerrar las llaves en ese mismo orden. Luego con las llaves (1 y 2) bien cerradas abrir cuidadosamente la llave (4).

6- Para vaciar el autoclave: puede realizarse de dos formas:

a) Aprovechando la diferencia de presión entre el autoclave y el enfriador: pasar la pulpa al enfriador esto con las llaves (1 y 4) cerradas, abrir las llaves (2 y 3). Luego de un rato abrir lentamente la llave (4).

b) Si la diferencia de presión no garantiza la evacuación de toda la pulpa de el autoclave: sacar el termómetro, quitar la funda de este y luego sifonear con una manguera a través de este

orificio.

c) En todos los casos mantener el mecanismo de agitación conectado.

7- Para lavar el autoclave alimentar agua a través del orificio del termómetro, agitar, luego sifonear y repetir la operación hasta que el agua salga limpia. (Ver esquema No-4)

II.5.3- Metodología de trabajo empleada.

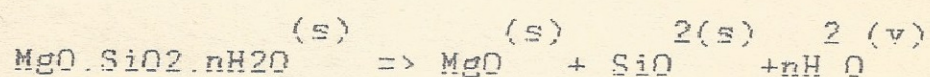
Para la mejor realización del trabajo este se organizó en cuatro etapas.

1- Preparación del mineral serpentinitico.

La preparación del mineral se realizó con el objetivo de llevar el mineral serpentinitico hasta una granulometría de $\phi .074$ mm, para esto se utilizó primero una trituradora de mandíbula para la trituración gruesa y luego un molino de bolas.

2- Calcinación del mineral serpentinitico.

El objetivo de esta etapa fue descomponer los óxidos complejos del mineral en óxidos simples propiciando la siguiente reacción



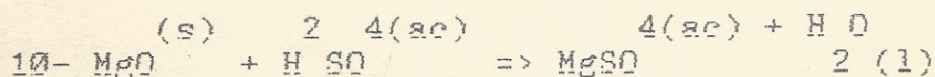
Formandose por consiguiente el MgO libre conocido como óxido de magnesio activo.

Para lograr esto se usó un horno rotatorio de botella de 1kg de capacidad. En la botella se cargo el mineral y se calentó hasta alcanzar la temperatura de trabajo (650 y 660°C) según referencia bibliográfica (11), se calcinó el mineral durante una hora; llegada la hora la botella se enfrió con agua para descar-

gar el mineral calcinado en el plazo más breve posible. Descargado el mineral fue conservado en bolsas de nylon.

3- Tratamiento de la serpentina calcinada con licor residual.

Esta etapa de trabajo se realizó con dos objetivos: preparar la cola a emplear en la lixiviación ácida y estudiar el comportamiento de la sedimentación de las pulpas obtenidas en este proceso, ahora bien, debe quedar claro que el tratamiento de serpentina calcinada con licor residual de la EC"PSA" se hace con el objetivo de disminuir el contenido de Magnesio en la misma al interactuar este con el ácido sulfúrico libre del licor.



lo que provoca que al mismo tiempo se logre otro objetivo que es disminuir el efecto nocivo de ese licor residual ya que producto a la reacción 10 se eleva el pH del licor y por consiguiente precipitan algunos valores metálicos como son: Al, Ni, Fe y Co.

Como resultado de esta etapa se obtiene un licor poco nocivo y una cola con menos Magnesio y rica en Níquel.

Para ejecutar estas pruebas, se tomaron parámetros de trabajo obtenidos con anterioridad como: relación licor residual/serpentina calcinada; temperatura y tiempo de trabajo.

- La relación licor residual/ serpentina calcinada fue variada en un rango 8.1 y 9.6 para estudiar la influencia de este parámetro de trabajo en la sedimentación de estas pulpas; de forma que se viera lo menos afectado posible el logro de los

principales objetivos.

- La temperatura de trabajo 90°C.
- El tiempo de trabajo 70 min.

En esta etapa se le determinó la composición química al licor residual y a la serpentina calcinada (Tabla No 2), el pH y la densidad del licor residual (Tabla No 3), para cada prueba y basado en esto se realizaron los cálculos para las mismas (masa de serpentina y volumen de licor a procesar).

En el reactor empleado para este fin, se virtió el volumen^N de licor calculado y se calentó hasta alcanzar los 90°C, momento en que se alimentó la masa de serpentina calcinada calculada; se tapó con seguridad y se continuó agitando durante los 70 min, tiempo en que rápidamente se descargó la pulpa, se tomaron las muestras para determinar la densidad de la misma, filtrar para determinar pH y densidad al licor, para tomar el licor y el sólido para análisis químico y hacer análisis de sedimentación.

Los resultados de estas pruebas pueden observarse en la tabla No-3.

4- Lixiviación ácida de la serpentina.

La lixiviación ácida de la serpentina se realiza con el objetivo de recuperar la mayor cantidad de Niquel y Cobalto de la misma, además, estudiar la influencia de las características del mineral en el proceso (crudo, calcinado y cola de calcinado); estudiar la cinética de la lixiviación ácida de la serpentina y el estudio de sedimentación de las pulpas obtenidas con los diferentes tipos de minerales y en diferentes condiciones (temperatura de lixiviación y relación ácido mineral).

Los parámetros de trabajo escogidos en esta etapa estiman en el rango de los empleados industrialmente.

- Relación ácido/mineral = 0.22-0.28.
- Por ciento de sólido = 34 %.
- Temperatura: por dificultad de la instalación se varió entre 50-90 °C.
- Tiempo de lixiviación = 120 min.

Se realizaron los cálculos necesarios para cada prueba determinandose la masa de mineral, volumen de agua y de ácido sulfúrico. Se preparó la pulpa mineral con un 34 % de sólido, se puso a calentar y al alcanzar la temperatura de trabajo fue bombeado el ácido sulfúrico necesario al 98 %.

En cada prueba se muestró a los siguientes tiempos: 15, 30, 60, 90 y 120 min y a cada muestra se le determinó densidad de la pulpa, del licor y su pH, composición química del licor y del sólido y a la muestra final además de esto, se le hizo análisis de sedimentación. (ver resultados de estas pruebas en la tabla No 4)

Las pruebas de sedimentación se realizaron en unas probetas preparadas; se fue midiendo altura y volumen del sólido cada diez minutos durante dos horas y cada una hora durante 24 horas. En el caso de la sedimentación de la pulpa obtenida del tratamiento del WL con la serpentina calcinada se tomaron dos probetas que contenían dos muestras por prueba tomándose valores de altura y promediándolos para una mayor fiabilidad de los resultados.

Los resultados de las pruebas de sedimentación de las pulpas

obtenidas del tratamiento de la serpentina calcinada de la Emp. C. "PSA" aparecen en las tablas No-(5 - 13) y los resultados de las pruebas de sedimentación de las pulpas obtenidas en la lixiviación ácida de los diferentes productos serpentiniticos se reflejan en las Tablas No-(14 - 22).

II.5.4- Procesamiento de resultados.

A partir de los resultados obtenidos se construyeron los gráficos de sedimentación para la determinación de velocidad crítica de sedimentación, utilizando el método gráfico a partir del cual se obtuvieron los valores de altura crítica y tiempo crítico.

$$V_{sc} = H_c / T_c, \text{ m/h}$$

donde: V_{sc} - Velocidad crítica de sedimentación, m/h

H_c - Altura crítica de sedimentación, m

T_c - Tiempo crítico, h

VALORACION ECONOMICA

Este cálculo se realizó teniendo en cuenta los siguientes resultados (Prueba No-4, considerada la de mejor comportamiento)

$$E_{Ni} = 39.55$$

$$\text{Temperatura de lixiviación} = 90^{\circ}\text{C}$$

$$E_{Co} = 37.78$$

$$\text{Relación A/min} = 0.28$$

Composición de la serpentina calcinada a 650°C

$$Ni = 1.54\% \quad Co = 0.024\%$$

$$\text{Productividad (Q)} = 550 \text{ t/d}$$

Cálculo del precio del Níquel

$$Ni = (LME - 0.60 - 0.04) \times 0.97$$

$$Ni = (2.91 - 0.60 - 0.04) \times 0.97$$

$$Ni = 4893.111 \text{ \$/tn}$$

donde: LME- Precio en el mercado, \\$/tn

0.60- Recargo por refinación

0.97- Factor de recuperación del Níquel

0.04- Comercialización o venta

Cálculo del precio del Cobalto

$$Co = (LME \times 0.95 \times 0.725)$$

$$Co = (24.20 \times 0.95 \times 0.725)$$

$$Co = 37039.4 \text{ \$/tn}$$

donde: 0.95- Factor de recuperación del Cobalto

0.725- Descuento por refinación.

$$\text{Ganancia} = \text{Ingresos} - \text{Gastos}$$

Ingresos

$$m \text{ Ni}(e) = \% \text{ Ni} \times Q/100$$

$$m \text{ Ni}(e) = 8.47 \text{ t/d}$$

$$m \text{ Ni}(s) = m \text{ Ni}(e) \times \$/100$$

$$m \text{ Ni}(s) = 3.349885 \text{ t/d}$$

$$\$ \text{ Ni}(se) = m \text{ Ni}(s) \times 4893.111$$

$$\$ \text{ Ni}(se) = 16391.355 \text{ \$/d}$$

$$m \text{ Co}(e) = \% \text{ Co} \times Q/100$$

$$m \text{ Co}(e) = 0.132 \text{ t/d}$$

$$m \text{ Co}(s) = m \text{ Co}(e) \times \$/100$$

$$m \text{ Co}(s) = 0.049 \text{ t/d}$$

$$\$ \text{ Co}(se) = m \text{ Co}(s) \times 37039.4$$

$$\$ \text{ Co}(se) = 1814.9306$$

$$\text{Ingresos} = \$ \text{ Ni}(se) + \$ \text{ Co}(se)$$

$$\text{Ingresos} = 16391.355 + 1814.9306$$

$$\text{Ingresos} = 18206.289 \text{ \$/d}$$

Cálculo de índices de gastos.

Cálculo de consumo de ácido

$$\text{Precio ácido} = 87.70 \text{ \$/t}$$

$$\text{Relación ácido/mineral} = 0.28$$

$$m (\text{ácido}) = Q \times A/\text{min}$$

$$m (\text{ácido}) = 154 \text{ t/d}$$

Consumo de floculante

$$\text{Precio del floculante} = 2507.5 \text{ \$/t}$$

$$\text{relación floculante/serpentina} = 20 \times 10^{-6} \text{ g / t}$$

$$\text{masa de floculante} = Q \times 20 \times 10^{-6} = 0.11 \text{ t/d}$$

$$0.11 \times 2507.5 = 275.825 \text{ \$/d}$$

$$\text{Gastos} = 13505.8 + 275.825 = 13781.629 \text{ \$/d}$$

$$\text{Ganancia Neta} = 18206.289 - 13781.629 = 4424.664 \text{ \$/d}$$

Se observa que se obtiene ganancia, la cual se puede elevar disminuyendo los gastos y aumentando los ingresos; para lograr esta disminución es necesario aumentar la extracción de los metales, para lo cual se aumenta la temperatura, alcanzando de esta forma mayores índices de ingresos.

II.5.5- Valoración de los resultados.

>> Valoración de los resultados de la pulpa obtenida del tratamiento del WL con serpentina.

En las pruebas realizadas se observó que al variar la relación líquido/sólido existe una variación de la velocidad de sedimentación, es decir que la disminución de este parámetro influye de forma negativa en la sedimentación, dado esto en que la densidad del licor aumenta producto al aumento del contenido de sulfatos de metales. De igual forma al variar la temperatura de calcinación se observa que para las pruebas de mayor temperatura se obtuvieron las menores velocidades de sedimentación debido a la disminución de la densidad del sólido provocado por el paso de los metales pesados al licor neutralizado.

Analizando el comportamiento del pH del licor neutralizado en las diferentes pruebas, no permite dar un criterio de dependencia significativa de la velocidad de sedimentación con respecto a él, ya que este se mantiene en el rango estimado.

>> Valoración de los resultados de la pulpa obtenida en la lixiviación.

Las pruebas realizadas a la pulpa obtenida de este proceso demostró los factores que más influyen sobre la velocidad de sedimentación, aunque se debe partir por señalar que gran cantidad de partículas quedan en suspensión en el licor, pero si está bien definida la zona de compactación del sólido. Dentro de los factores se tiene, la naturaleza del producto lixiviado, se comprobó que la pulpa obtenida de la lixiviación de las colas de serpentina calcinada a 660°C tienen mayor velocidad de sedimentación que la pulpa de la calcinada a 650°C, debido a que en esta última el grado de extracción de metales pesados es mayor, para una misma temperatura de lixiviación y una misma relación ácido/mineral. Asimismo ocurre con la sedimentación de la pulpa de la lixiviación de la serpentina calcinada a 660°C y con la sedimentación de la pulpa obtenida de la lixiviación de la serpentina cruda y para este caso se alcanza la mayor velocidad de sedimentación ya que la extracción es la más baja.

Se tiene además el parámetro temperatura de lixiviación, según los resultados se observó que a medida que esta aumenta el contenido de metales en el licor se hace mayor, lográndose una mejor extracción de metales pesados, lo que provoca una disminución de la velocidad de sedimentación. La relación ácido/mineral fue un parámetro que también se tuvo en cuenta para analizar el comportamiento del proceso, con este se hizo evidente durante

las pruebas que a medida que se aumentó la relación ácido/mineral en la lixiviación provocó una disminución en la velocidad de sedimentación dado por el aumento del grado de extracción de metales pesados, además la densidad del licor aumenta por contenido de sulfatos de metales.

CONCLUSIONES

1- Durante el tratamiento de los licores ácidos con mineral serpentinitico se generan pulpas con baja velocidad de sedimentación.

2- La mayor velocidad de sedimentación se alcanzó para los valores más altos de relación líquido/sólido para una misma temperatura de calcinación.

3- La temperatura de calcinación de la serpentina en el tratamiento del licor residual ejerce influencia notable en el proceso de sedimentación provocada por la disminución de la densidad del sólido.

4- El mayor valor de velocidad de sedimentación se logró en la prueba de la pulpa obtenida de la lixiviación de la serpentina cruda.

5- Es necesario añadir flocculantes con el objetivo de mejorar la velocidad de sedimentación.

RECOMENDACIONES

- 1- Realizar un estudio para determinar el tipo de floculante más idóneo así como la proporción a emplear en cada caso.
- 2- Hacer un estudio de la influencia de la granulometría en la sedimentación de estos tipos de pulpas.
- 3- Continuar el estudio del tratamiento del mineral serpentinitico por vía ácida.
- 4- Aumentar la temperatura de lixiviación para elevar los extractables y mejorar los índices económicos.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Alfonso Martínez, G.; Heredia Kindelán, M. D. "Optimización de parámetros en la preparación de la serpentina para la lixiviación ácida. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa, 1977.
- 2- Barroso Pérez, D.; Heredia Kindelán, M. D. "Influencia de la adición de serpentina en la lixiviación ácida a presión". Trabajo de diploma. ISMM, Moa, 1986.
- 3- Delahanty Pino, L.L; Beyris Mazar, P. "Comprobación de factores que afectan la sedimentación. ISMM, Moa, 1985.
- 4- Fomenko, T.G. "Proceso de enriquecimiento del mineral por gravitación". Editorial Mir. Moscú, 1980.
- 5- García, I. "Tratamiento pirometalúrgico de la producción de ferro-níquel". Simposium sobre el aprovechamiento de la serpentina. CIPIM, 1989.
- 6- Grandar Ibarra, O. "Tratamiento de los minerales de serpentina para disminuir el contenido de Magnesio". BT-286 CIPIM, La Habana, 1977.
- 7-H. Kay E.G Michal. "The amax acid leach process for oxido of nickel ores.
- 8- Hernández Estrada, S; Castellanos, J; Granda Ibarra, O; Cisnero, M.; Cortés, R. "Metalurgia de los minerales oxidados de Níquel". CIPIM, La Habana, 1974.
- 9- Minería y Geología. MES, VOL-I, 1984.

10- Paez Bentancourt, B; Kindelán, M.D. "Estudio preliminar de la lixiviación ácida de la limonita en presencia de colas de serpentina". Trabajo de diploma. ISMM, Moa, 1989.

11- Pons Herrera, J. "Efecto neutralizante del mineral serpentinitico". Trabajo de diploma. ISMM, Moa, 1986.

12- Sichingwa, Yohn. "Consideraciones de la lixivisción ácida de la limonita con colas de serpentina". Trabajo de diploma. ISMM, Moa, 1991.

ANEXOS

Simbología empleada.

SB- Serpentina blanda.

SD- Serpentina dura.

SF- Serpentina fuera de balance.

RE- Roca estéril.

LF- Limonita fuera de balance.

LD- Limonita dura.

LB- Limonita blanda.

$m_{Ni(e)}$; $m_{Co(e)}$ - masa de Níquel y Cobalto que entra al proceso respectivamente.

$m_{Ni(s)}$; $m_{Co(s)}$ - masa de Ni y Co que se extrae durante la lixiviación respectivamente.

$\% Ni$; $\% Co$ - Extracción de Ni y Co en la lixiviación respectivamente.

Tabla N°3: Resultados de las pruebas del tratamiento de la serpentina calcinada con licor residual de la E.C.P.S.A.

PRUEBA Nº	CARACTERISTICAS DEL MINERAL	RELACION L/S	PH	Pp(g/cm³)	Pl(g/cm³)	Ps(g/cm³)	Vs(ml/g)	COMPOSICION QUIMICA DE	ELEMENTO QUIMICO							
									Ni	Co	Fe	Mg	Mn	Al	Cu	Zn
1	WL tratado con serpt calcinada Tc= 650°C	I	1.87	1.1356	1.069	2.816	0.23	L(g/L)	0.55							
		F	4.47	1.103	1.07	2.147		S(%)	0.44	0.028	0.20		1.20		0.002	0.008
2	WL tratado con serpt calcinada Tc= 650°C	I	1.87	1.1385	1.069	2.816	0.19	L(g/L)	0.547	0.028	0.314	75.60	1.47		0.0045	0.0028
		F	4.70	1.1	1.081	2.147		S(%)	1.63	0.022	11.6	13.60	0.27		0.005	0.025
3	WL tratado con serpt calcinada Tc= 650°C	I	0.85	1.1385	1.069	2.816	0.20	L(g/L)	0.415	0.011	0.188		1.34	0.021	0.030	0.030
		F	4.17	1.12	1.08	2.147		S(%)	1.60	0.021	11.5		0.26	0.002	0.004	0.024
4	WL tratado con serpt calcinada Tc= 650°C	I	0.85	1.139	1.069	2.816	0.19	L(g/L)	0.45	0.026	0.16		1.79	0.002	0.0003	0.003
		F	4.36	1.16	1.09	2.147		S(%)	1.54	0.020	10		0.24	0.001	0.003	0.022
5	WL tratado con serpt calcinada Tc= 650°C	I	0.84	1.139	1.068	2.816	0.17	L(g/L)								
		F	4.20	1.1	1.06	2.147		S(%)								
6	WL tratado con serpt calcinada Tc= 650°C	I	0.8	1.139	1.069	2.816	0.11	L(g/L)	0.041	0.00036	0.17		0.40		0.0004	0.0006
		F	4.46	1.015	0.87	2.147		S(%)								
7	WL tratado con serpt calcinada Tc= 660°C	I	0.85	1.147	1.069	2.816	0.17	L(g/L)	0.042	0.025	0.0047	15.625	0.86	0.07		
		F	5.41	1.026	0.99	1.985		S(%)								
8	WL tratado con serpt calcinada Tc= 660°C	I	0.99	1.150	1.03	2.816	0.14	L(g/L)	0.416	0.0096	0.225	12.750	1.40	0.05		
		F	5.80	1.068	1.069	1.985		S(%)								
9	WL tratado con serpt calcinada Tc= 660°C	I	0.84	1.151	0.988	2.816	0.15	L(g/L)	0.418	0.0096	0.027	12.00	1.40	0.03		
		F	4.85	1.050	1.09	1.985		S(%)								

Tabla N° 4: Resultados de las pruebas de Lixiviación ácida de los diferentes productos serpentiniticos.

PRUEBA N°	CARACTERISTICAS DEL MINERAL	T _L (°C)	R _{AC} /MIN	P _P (g/cm³)	P _L (g/cm³)	PH	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE	ELEMENTOS								
								Ni	Co	Fe	Mn	Mg	Vs	%Ni	%Co	%Fe
1'	Serpt. Calcinada T _c =650°C, tratada con WL y Lixiviada	90	0.22	1.239	1.1175	2.44	L(g/L)	2.15	0.036	1.66	0.76	12.03	0.47	13.8	21.5	22.2
							S(%)	1.03	0.0181	8.4	0.02	8.6	0.47	13.8	21.5	22.2
2'	Serpt. Calcinada T _c =650°C, tratada con WL y Lixiviada	90	0.24	1.2498	1.121	2.74	L(g/L)	2.55	0.042	1.75	0.96	8.40	0.44	16.8	23.4	19
							S(%)	1.14	0.0176	8.2	0.08	8.1	0.44	16.8	23.4	19
3'	Serpt. Calcinada T _c =650°C, tratado con WL y Lixiviada	90	0.26	1.2348	1.1142	2.68	L(g/L)	2.33	0.050	1.87	0.20	11.95	0.43	21.3	27.5	19.8
							S(%)	1.13	0.0126	8.8	0.07	6.5	0.43	21.3	27.5	19.8
4'	Serpt. Calcinada T _c =650°C, tratado con WL y Lixiviada	90	0.28	1.2422	1.225	1.53	L(g/L)	2.45	0.043	4.84	0.74	21.59	0.40	39.55	37.78	17.4
							S(%)	0.80	0.045	10.1	0.07	7.2	0.40	39.55	37.78	17.4
5'	Serpt. Calcinada T _c =650°C, tratada con WL y Lixiviada	75	0.28	1.124	1.124	2.53	L(g/L)	1.98	0.058	4.91	1.29	7.50	0.41	19.81	24	21.4
							S(%)	1.10	0.0168	7.4	0.02	10.5	0.41	19.81	24	21.4
6'	Serpt. Calcinada T _c =650°C, tratada con WL y Lixiviada	50	0.28	1.146	1.117	1.43	L(g/L)	2.05	0.036	1.95	1.29	10.94	0.42	18.1	22.9	23
							S(%)	1.23	0.0185	8.7	0.10	9.5	0.42	18.1	22.9	23
7'	Cola de Serpt T _c =660°C	90	0.28	1.1958	1.098	2.05	L(g/L)	0.77	0.015	0.29	0.29	35.50	0.50	20.6	27.7	20.8
							S(%)	1.18	0.0180	7.7	0.14	11.4	0.50	20.6	27.7	20.8
8'	Serpt. Calcinada T _c =660°C	90	0.28	1.2950	1.1171	5.79	L(g/L)	3.16	0.082	4.89	0.44	20.62	0.49	23.3	29.2	21.1
							S(%)	1.21	0.110	8.1	0.07	11.8	0.49	23.3	29.2	21.1
9'	Serpentino Cruda	90	0.28	1.2402	1.3757	2.85	L(g/L)	1.99	0.039	0.93	0.49	10.95	0.71	19.7	28.1	15.8
							S(%)	1.24	0.04	9.25	0.01	10.6	0.71	19.7	28.1	15.8

Resultados de los análisis de sedimentación de las pulpas obtenidas del tratamiento de la serpentina calcinada a 650°C con licor residual (WL) de la Emp. Cmdt. "PSA".

Tabla No- 5. Prueba # 1. $H_i = 0$ cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura cm	Altura promedio	Altura a las 24 h, cm
10	908	3.2	3.5	3.3	30.5
20	790	7.6	7.5	7.2	
30	675	10.8	12.7	11.7	
40	550	15.2	17	16.1	
50	420	19.2	21.5	20.5	
60	300	23.7	25	24.3	
70	170	28	26	27	
80	162	28.4	28.1	28.2	
90	150	28.6	28.4	28.5	
100	140	28.9	28.6	28.7	
110	136	29.1	29	29	
120	134	29.3	29.2	29.2	

Tabla No- 6. Prueba # 2.

Hi=0 cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura cm	Altura promedio	Altura a las 24 h, cm
10	900	4.2	5	4.6	28.5
20	890	7.8	6.5	7.1	
30	775	10.5	9.8	10.15	
40	650	14.4	13.2	13.8	
50	450	17	15	16	
60	360	20	18	19	
70	270	22.5	21	21.7	
80	160	25	23	24	
90	150	25.7	24.2	24.5	
100	142	26.4	25	25.7	
110	134	27.8	26	26.9	
120	132	28	27	27.5	

Tabla No- 7: Prueba # 3. $H_i=1$ cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura cm	Altura promedio	Altura a las 24 h, cm
10	870	4.4	4.5	4.45	
20	770	7.2	7.6	7.4	
30	680	10.3	12.2	11.2	
40	570	14.4	16	15.2	
50	480	17.3	18.8	17.5	
60	350	21.6	20	20.8	29
70	280	24	23.7	23.8	
80	231	25.8	24.2	25	
90	210	26.2	27	26.5	
100	197	26.7	28.1	27.4	
110	190	27	28.6	27.8	
120	180	27.2	29	28.1	

Tabla No- 8- Prueba f 4. $H_i=0$ cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura cm	Altura promedio	Altura a las 24 h, cm
10	900	2.5	3	2.7	
20	820	5.8	4.5	5.1	
30	790	8	6	7	
40	630	10.5	9.5	10	
50	520	14.2	13.1	13.6	
60	400	18	20	19	29.9
70	320	23.7	22.3	25.6	
80	180	27	26.8	26.9	
90	162	28	27	27.5	
100	150	28.4	28.2	28.3	
110	140	29	28.4	28.7	
120	136	29.9	29	29.4	

Tabla No- 9. Prueba f 5. $H_i=0$ cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura cm	Altura promedio	Altura a las 24 h, cm
10	855	4.2	4	4.1	29
20	790	6.5	6	6.2	
30	780	9	8.2	8.6	
40	620	12.5	10.5	11.5	
50	530	14.7	13	13.8	
60	470	16.8	15.1	15.9	
70	410	19	21	20	
80	306	23.7	22.5	23.1	
90	220	27.5	25.6	26.5	
100	190	28.5	27.8	28.1	
110	180	28.8	28	28.4	
120	172	29	28.6	28.8	

Tabla No- 10. Prueba # 6. $H_i=1$ cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura cm	Altura promedio	Altura a las 24 h, cm
10	850	3.2	4.1	3.6	23.5
20	780	4.5	5	4.75	
30	700	6.5	7.3	6.9	
40	620	8	7.5	7.7	
50	510	10	9	9.5	
60	470	12.5	11.2	11.8	
70	410	14.3	13.4	13.8	
80	300	16.8	15.2	16	
90	220	18.9	17.8	18.3	
100	190	20.8	19.2	20	
110	180	21	21	21	
120	170	21	23	22	

Resultados de los análisis de sedimentación de las pulpas obtenidas del tratamiento de la serpentina calcinada a 680°C con licor residual (WL) de la Emp. Cmdt. "PSA".

Tabla No- 11. Prueba f 7. $H_i=1$ cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura cm	Altura promedio	Altura a las 24 h, cm
10	850	5	3.5	4.2	29.1
20	740	6.2	7.4	6.8	
30	600	9.4	12.2	10.8	
40	550	13.6	14.5	13.8	
50	460	16	18.5	17.2	
60	360	18	20.5	19.2	
70	280	21.5	23.2	22.3	
80	245	24.3	25.4	24.8	
90	221	25.7	28.1	26.4	
100	206	26.4	28	27.2	
110	200	27.3	28.5	27.9	
120	180	27.5	28.9	28.2	

Tabla No- 12- Prueba § 8. $H_i=0$ cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura cm	Altura promedio	Altura a las 24 h, cm
10	840	2	3.2	2.6	26.8
20	805	4.5	5	4.7	
30	770	6.9	6.4	6.6	
40	630	9.5	8.9	9.2	
50	555	13	10	11.5	
60	480	14.7	12.5	13.6	
70	400	17.3	15.6	16.4	
80	320	19.8	18.3	19.5	
90	250	22.8	21	21.9	
100	208	23.9	23	23.4	
110	169	25.1	24.9	25	
120	160	25.5	26	25.7	

Tabla No- 13. Prueba f 9. $H_i=0$ cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura cm	Altura promedio	Altura a las 24 h, cm
10	910	2.8	3.3	3.5	29
20	850	5.8	5	5.4	
30	730	8.8	7.1	7.9	
40	650	11.3	10.2	10.7	
50	580	13.8	12.5	13.1	
60	540	16.3	14	15.4	
70	380	20	16.8	18.4	
80	280	23.8	20	21.9	
90	190	26.8	24.6	25.7	
100	171	21.8	26.2	27	
110	163	28	28	28	
120	158	29.1	28.9	29	

ensayo

Resultados de los análisis de la sedimentación de las pulpas obtenidas de la lixiviación ácida de las colas de serpentina calcinada a 650°C.

Tabla No- 14. Prueba # 1. Temp. Lix.- 90°C $H_i=4$ cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura a las 24 h
10	500	11	22
20	590	14	
30	583	14.6	
40	570	14.8	
50	559	15.6	
60	540	15.9	
70	531	16	
80	529	16.2	
90	520	16.4	
100	510	16.6	
110	503	16.9	
120	500	17	

Tabla No- 15. Prueba f 2. Temp. Lix.- 90°C Hi=0 cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura a las 24 h
10	495	12.6	24.5
20	436	17	
30	410	19	
40	395	20	
50	385	21.2	
60	383	21.6	
70	380	21.8	
80	375	22	
90	370	22.4	
100	369	22.8	
110	365	23	
120	360	23.2	

Tabla No- 16. Prueba # 3. Temp. Lix. - 90°C Hi=4.5cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura a las 24 h
10	630	12	22
20	620	13.6	
30	615	14.6	
40	550	15.8	
50	509	16.5	
60	470	17.9	
70	453	18.4	
80	443	18.7	
90	436	19	
100	430	19.5	
110	420	19.8	
120	410	20	

Tabla No- 17. Prueba f 4. Temp. Lix.- 90°C Hi=3 cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura a las 24 h
10	500	8.8	15
20	495	9	
30	450	9.8	
40	435	10.6	
50	420	11	
60	410	12	
70	400	12.6	
80	395	13	
90	390	13.7	
100	388	14	
110	380	14.2	
120	375	14.4	

Tabla No- 18. Prueba # 5. Temp. Lix. - 75oC Hi= 2 cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura a las 24 h
10	707	9.4	19.7
20	670	12.8	
30	622	13.9	
40	555	15.7	
50	530	14.6	
60	520	15.2	
70	500	15.8	
80	490	17	
90	485	17.6	
100	478	18.2	
110	470	18.6	
120	462	18.9	

Tabla No- 19. Prueba f 6. Temp. Lix. - 50°C Hi= 2 cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura a las 24 h
10	700	10.1	20.6
20	648	11.1	
30	635	11.9	
40	617	12.3	
50	600	12.9	
60	583	13.5	
70	565	14.1	
80	541	14.7	
90	520	15.4	
100	480	16.2	
110	470	17.5	
120	450	17.8	

Resultados de los análisis de sedimentación de las pulpas obtenidas de la lixiviación ácida de la cola de serpentina calcinada a 660°C.

Tabla No- 20- Prueba # 7. Temp. Lix.- 90°C Hi=2.5cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura a las 24 h
10	475	17.2	
20	380	20.6	
30	290	23	
40	285	24	
50	280	24.4	
60	270	24.6	27.5
70	268	25	
80	262	25.4	
90	260	25.8	
100	258	26	
110	255	26.2	
120	250	26.4	

Resultados de los análisis de sedimentación de las pulpas
obtenidas de la lixiviación ácida de la serpentina calcinada a
660°C.

Tabla No- 21. Prueba # 8. Temp. Lix.- 90°C H= 3 cm

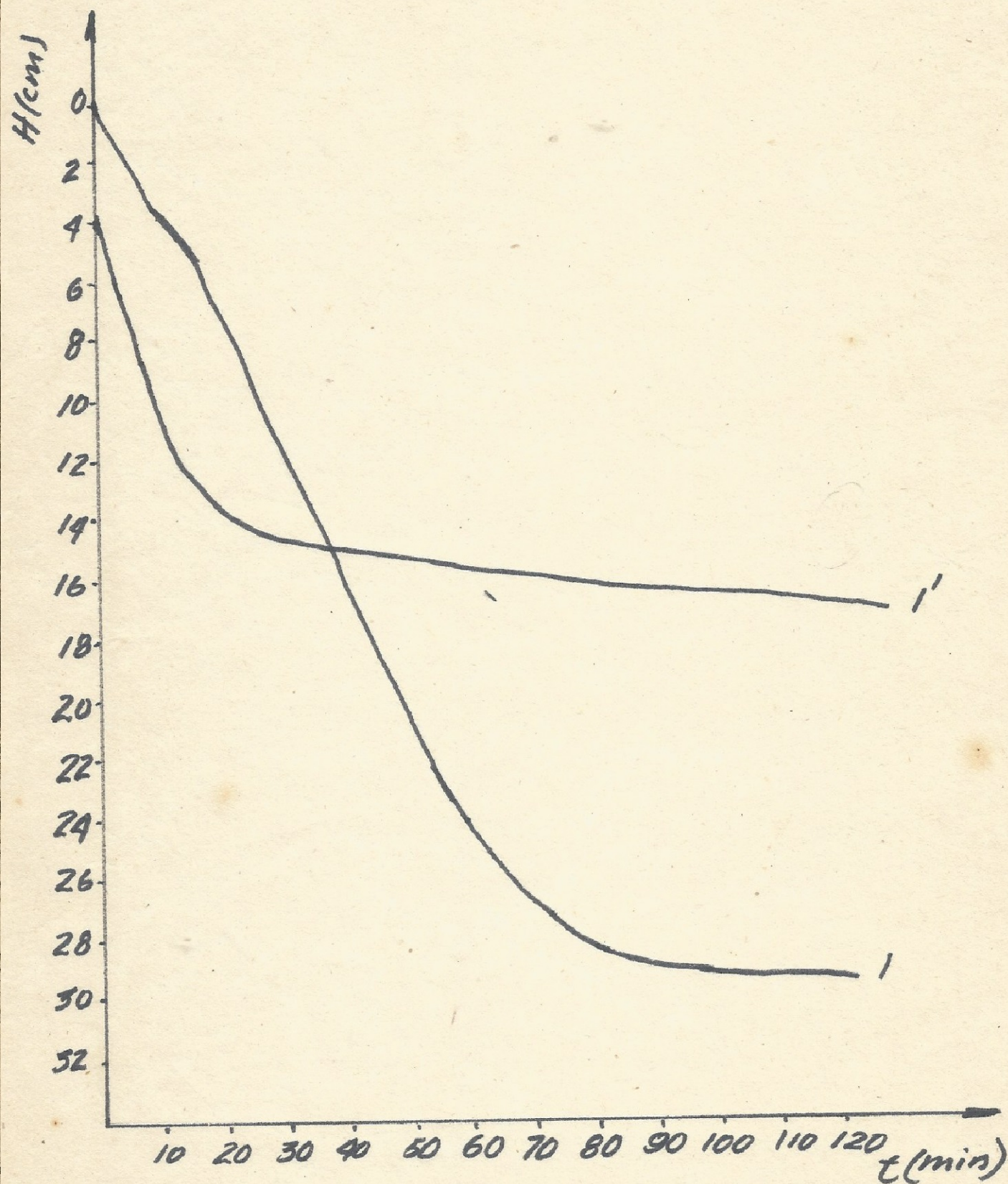
Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura a las 24 h
10	655	10	15
20	653	11.4	
30	652	11.6	
40	651	11.7	
50	648	11.8	
60	645	12	
70	640	12.1	
80	635	12.2	
90	630	12.4	
100	629	12.6	
110	620	12.8	
120	615	13	

Resultados de los análisis de sedimentación de las pulpas
obtenidas de la lixiviación ácida de la serpentina cruda.

Tabla No- 22. Prueba f 9. Temp. Lix.- 90°C Hi= 6 cm

Tiempo min	Volumen cm	Altura cm	Altura a las 24 h
10	410	19.8	27
20	380	20.9	
30	362	21.4	
40	361	22.5	
50	359	23.3	
60	357	24	
70	353	24.3	
80	320	24.6	
90	322	24.8	
100	319	25.2	
110	315	25.8	
120	300	26	

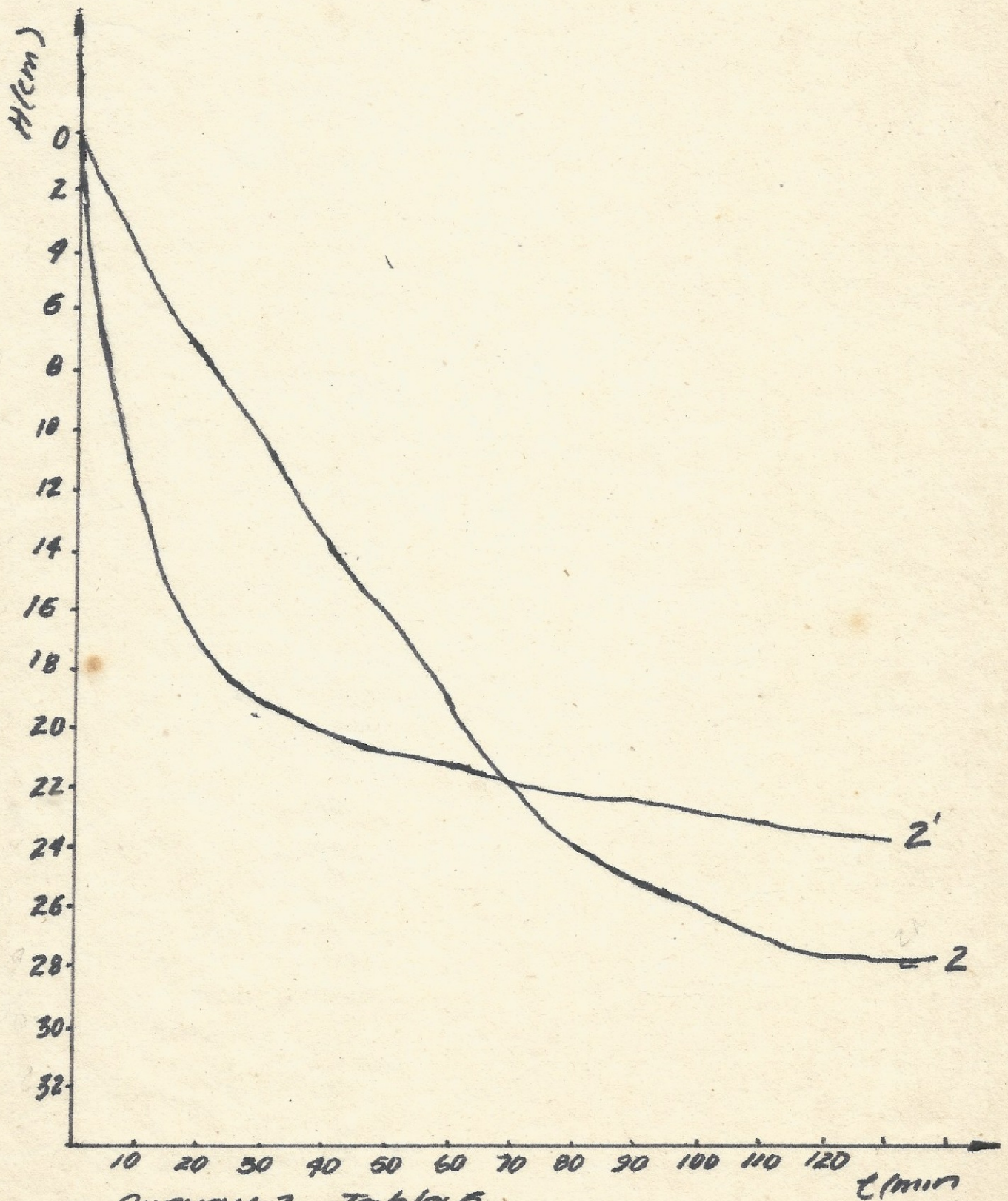
Gráfico No 1: Curvas de Velocidad de sedimentación.



- Curva No 1 - Tabla 5

- Curva No 1' - Tabla 14

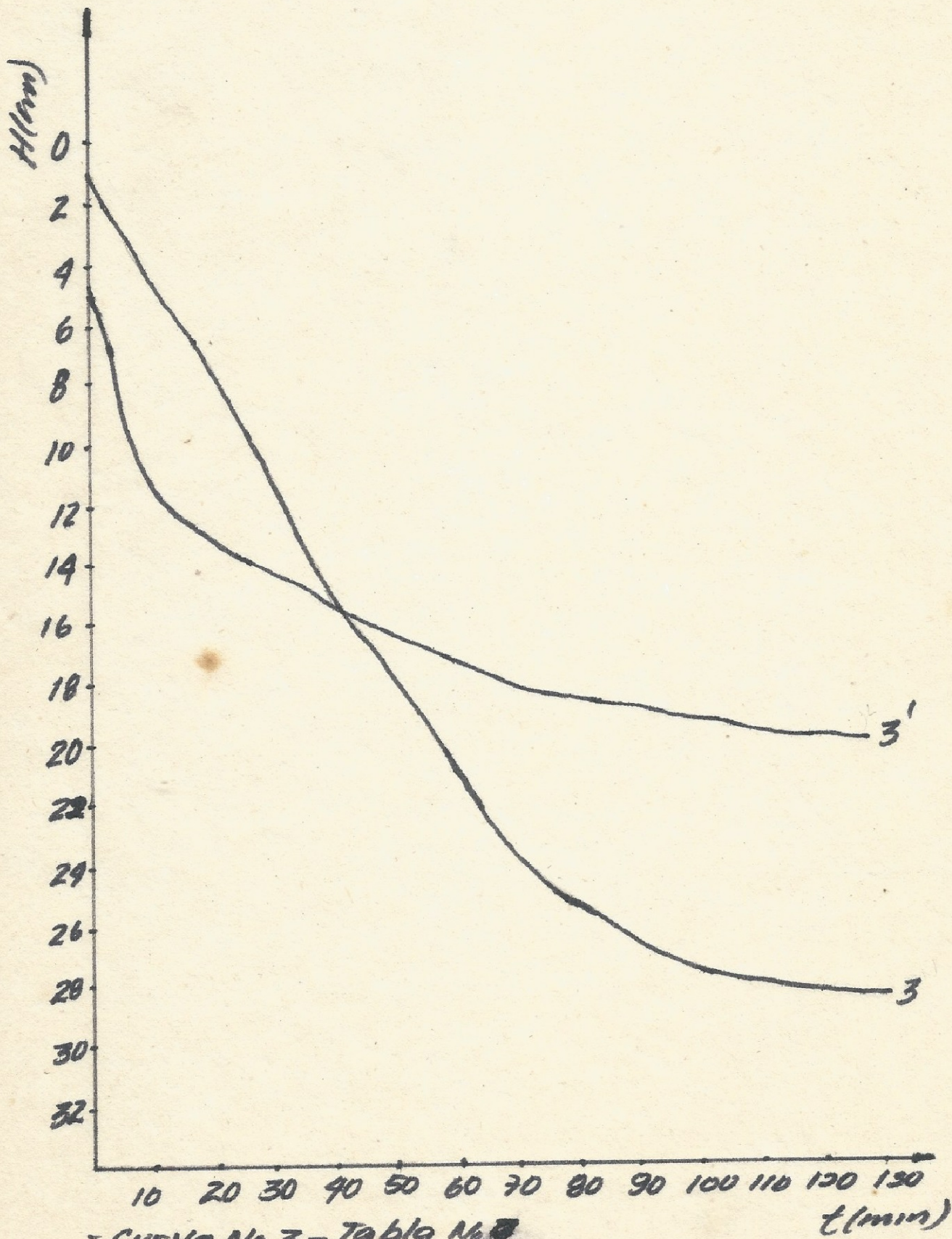
Gráfico No 2: Curvas de Velocidad de sedimentación.



- Curva No 2 - Tabla 6

- Curva No 2' - Tabla 15

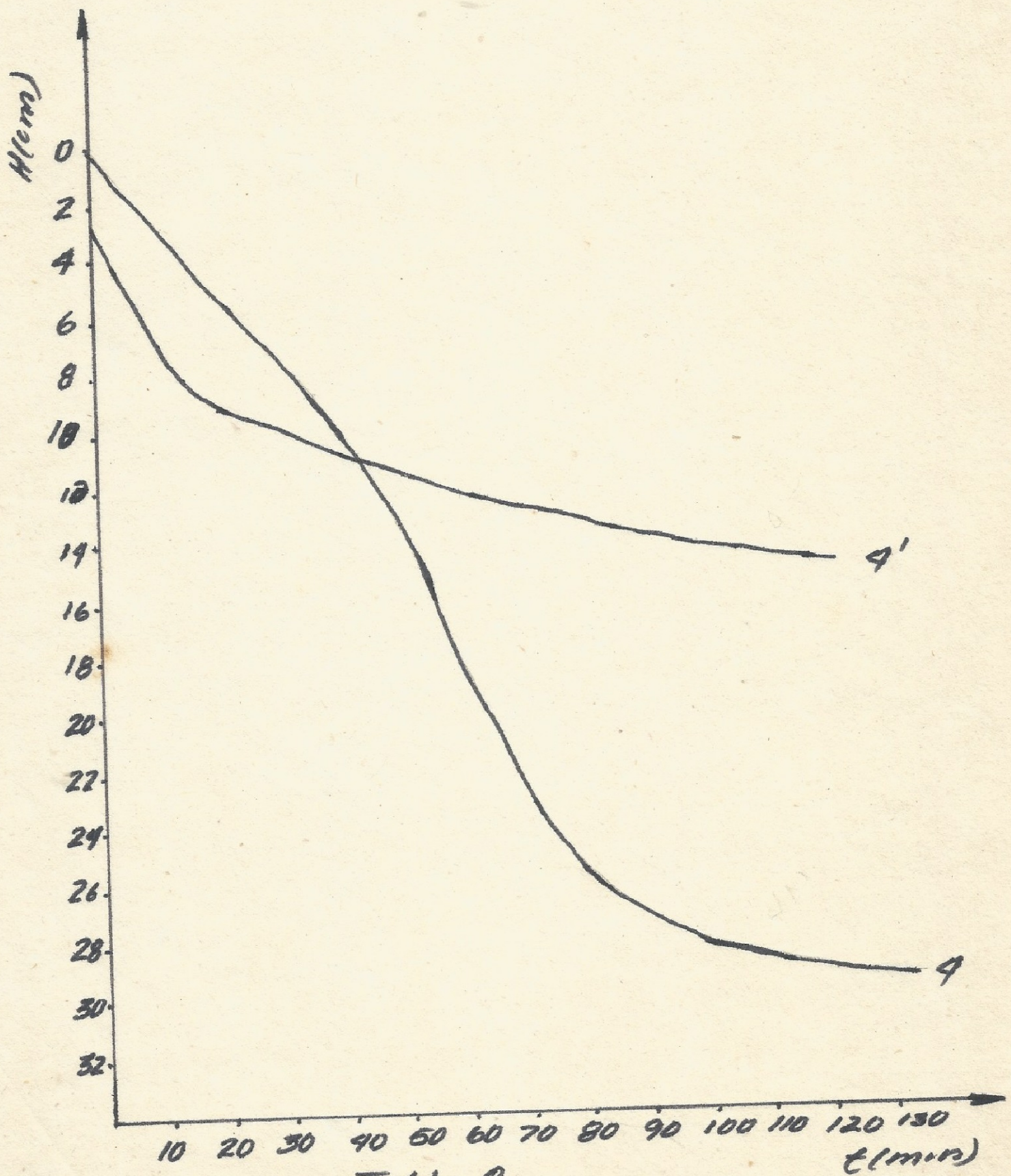
Gráfico No 3. Curvas de Velocidad de sedimentación.



- Curva No 3 - Tabla No 3

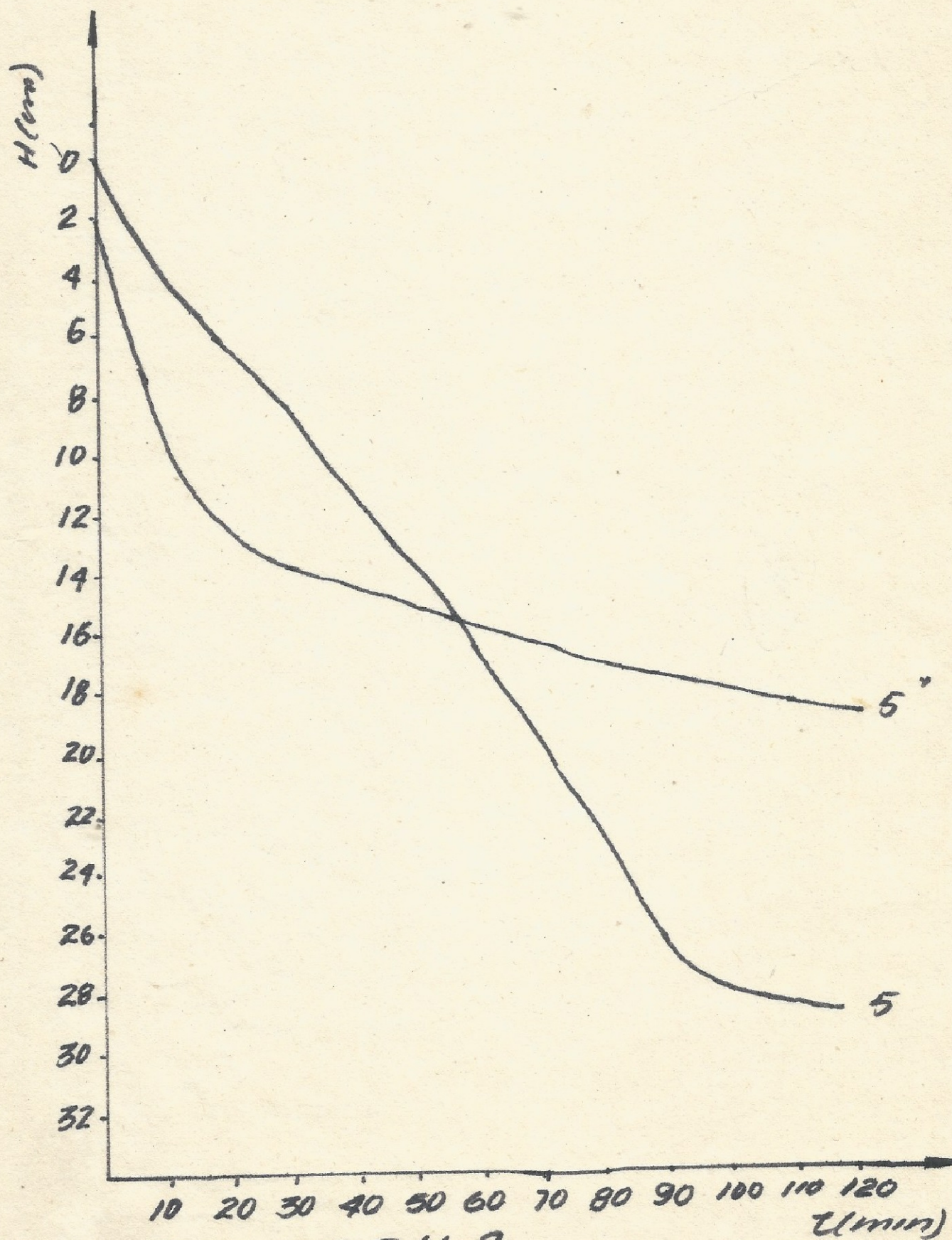
- Curva No 3' - Tabla No 16

Gráfico No 4: Curvas de Velocidad de sedi-
mentación.



- Curva No 9 - Tabla 8
- Curva N° 9' - Tabla 17

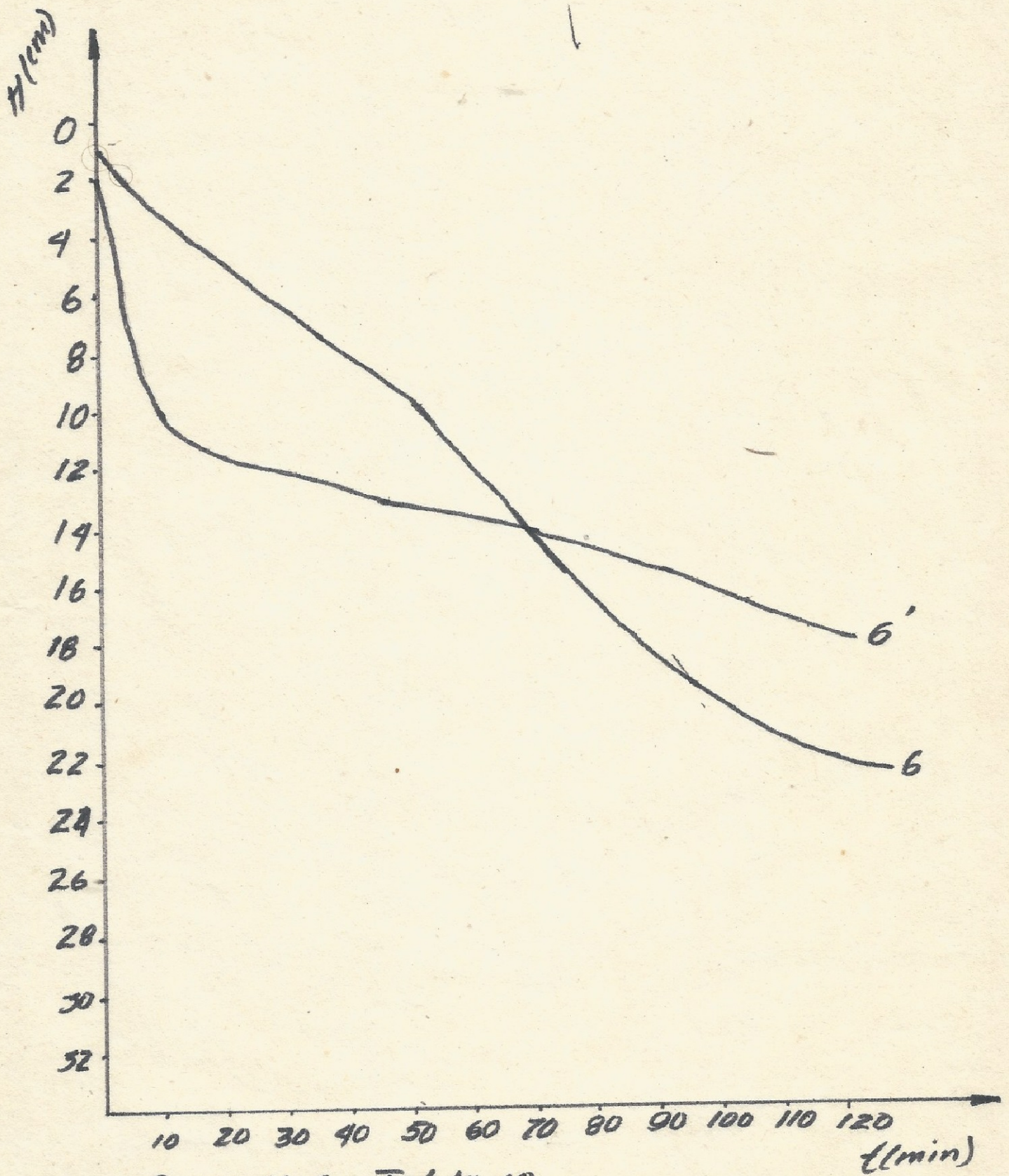
Gráfico No 5: Curvas de Velocidad de sedimentación.



- Curva No 5-Tabla 9

- Curva No 5'-Tabla 18

Gráfico No 6: Curvas de sedimentación.



- Curva No 6 - Tabla 10
- curva No 6' - Tabla 19

Gráfico No 7: Curvas de velocidad de sedimentación

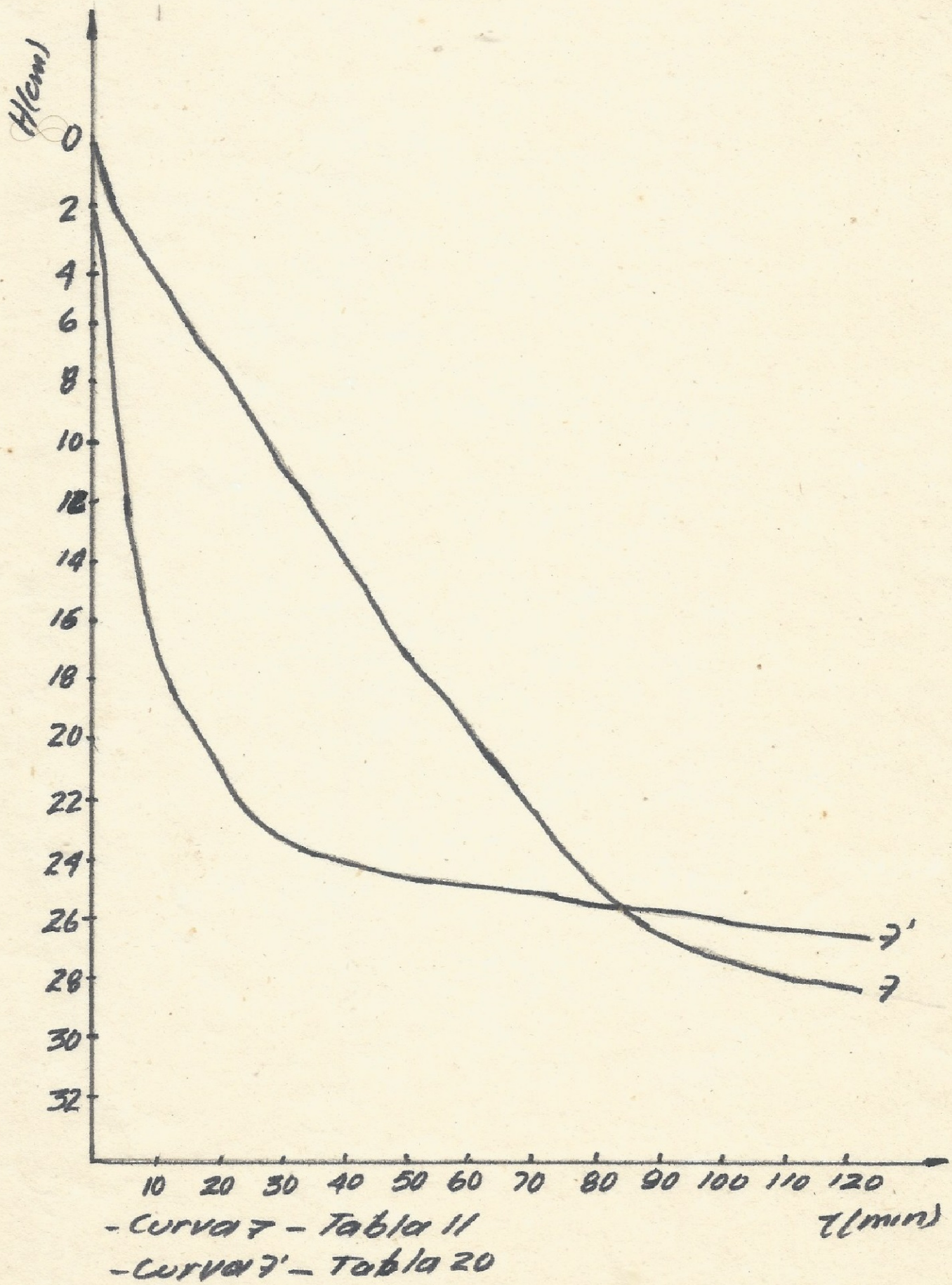
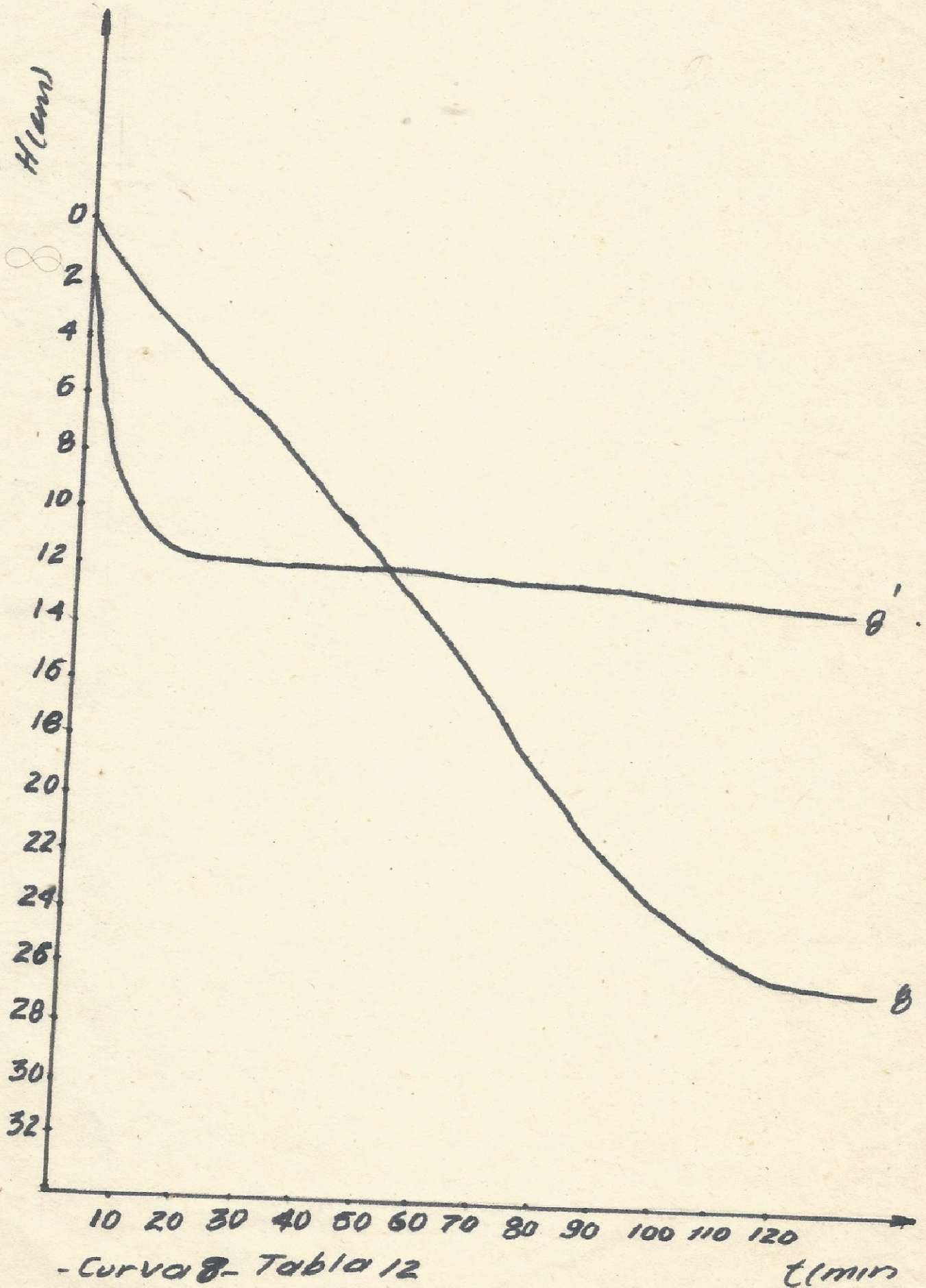


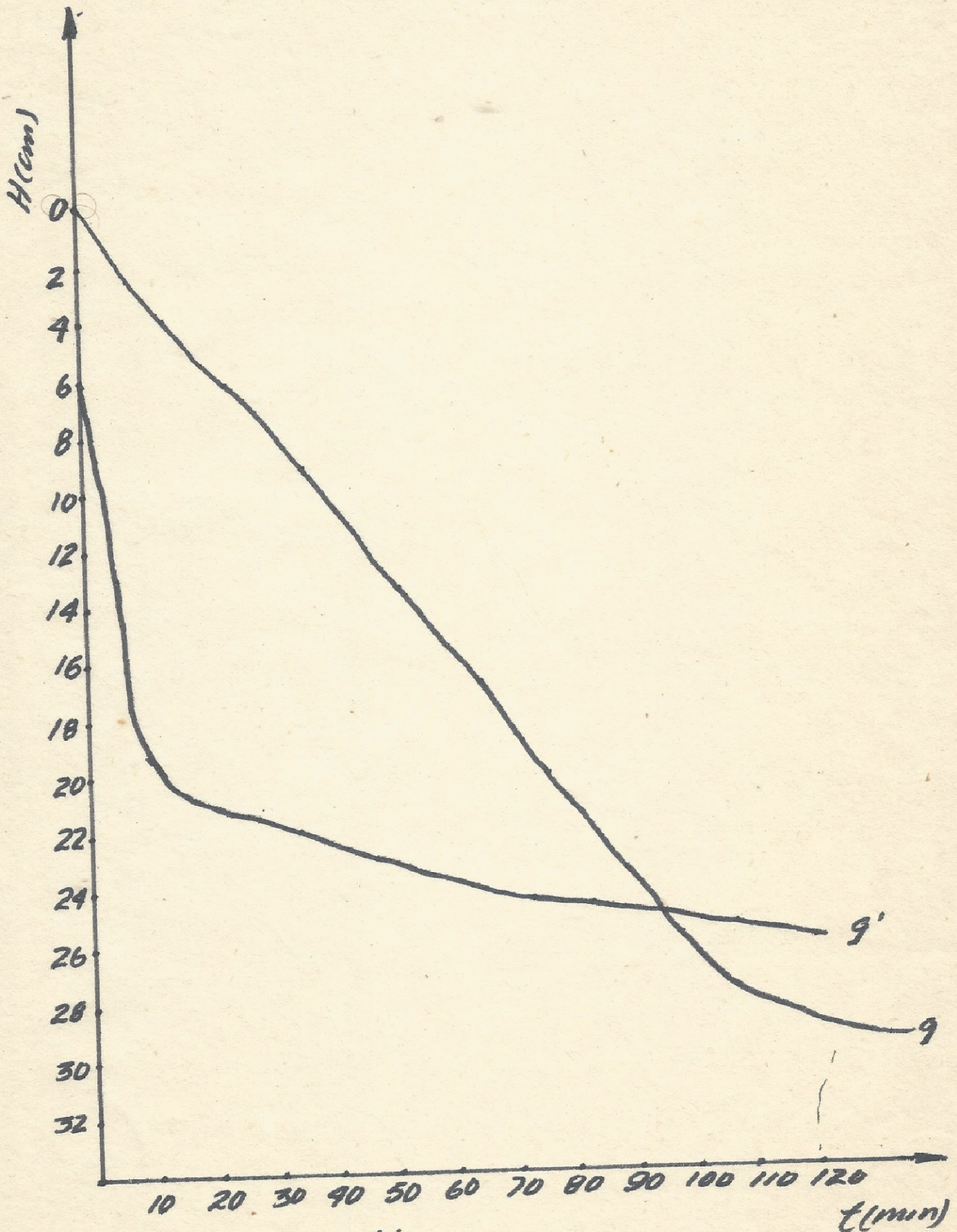
Gráfico No 8: Velocidad de sedimentación.
curvas.



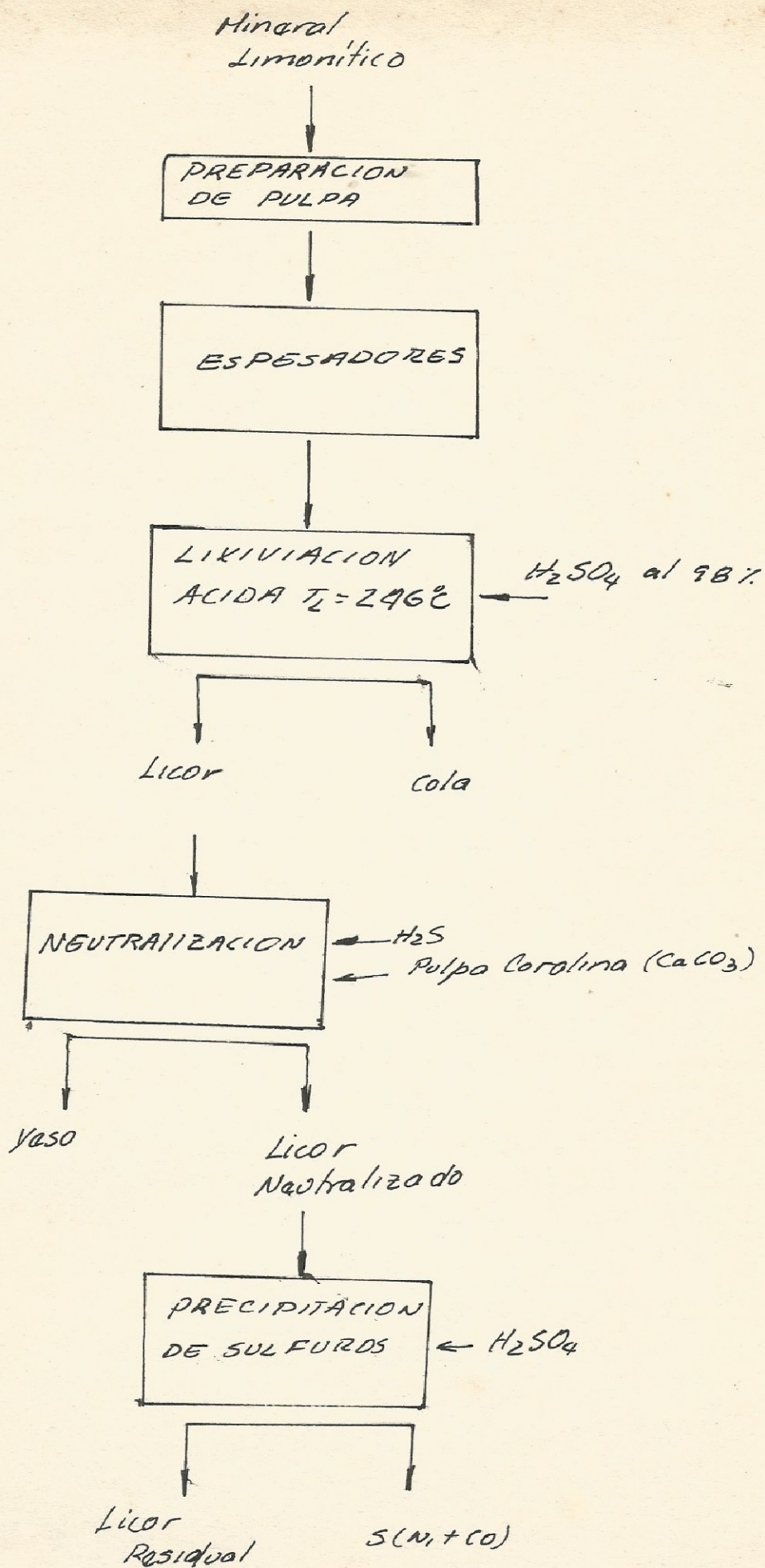
- Curva 8 - Tabla 12

- Curva 8' - Tabla 21

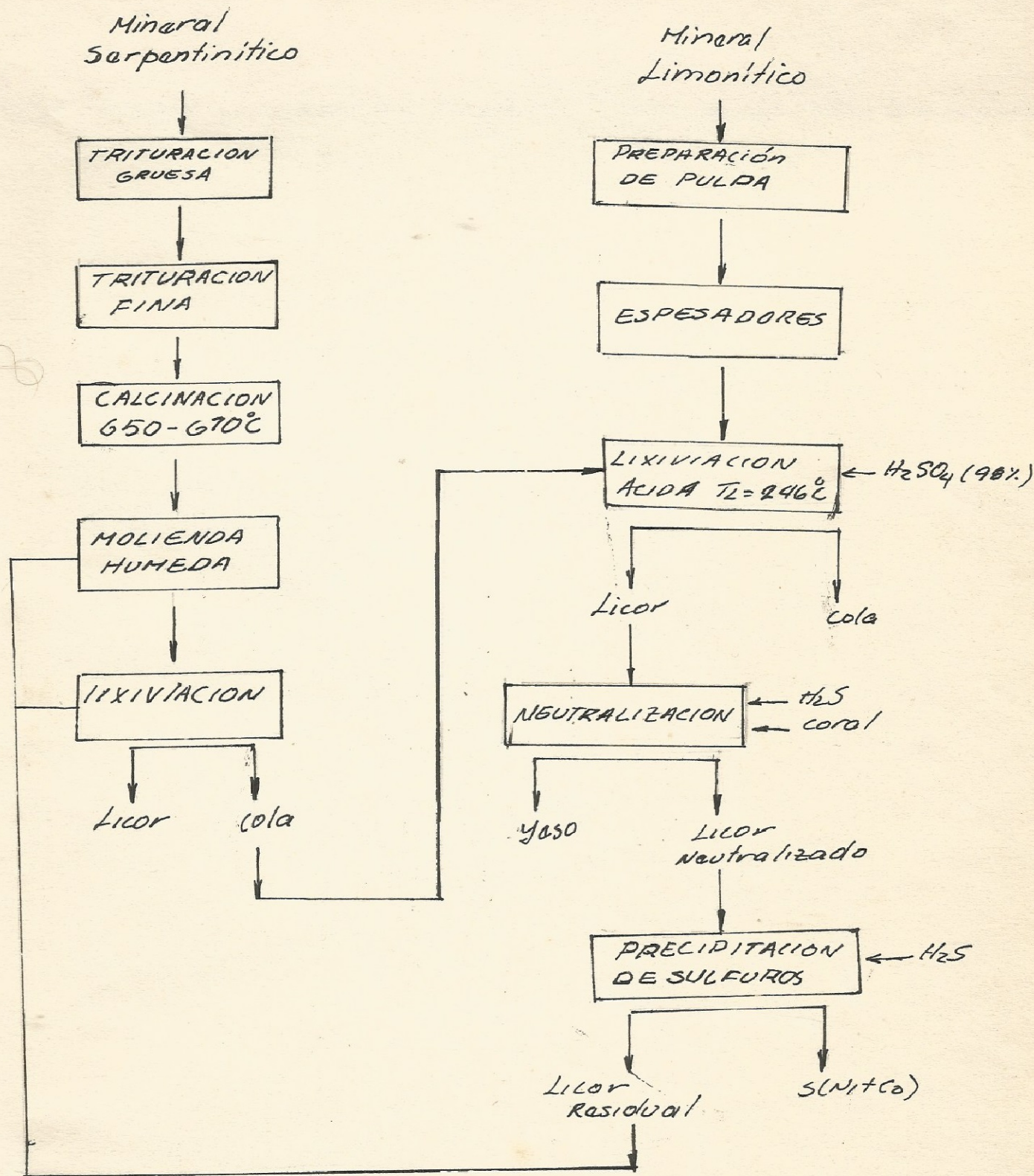
Gráfico No 9. Curvas de Velocidad de sedimentación.



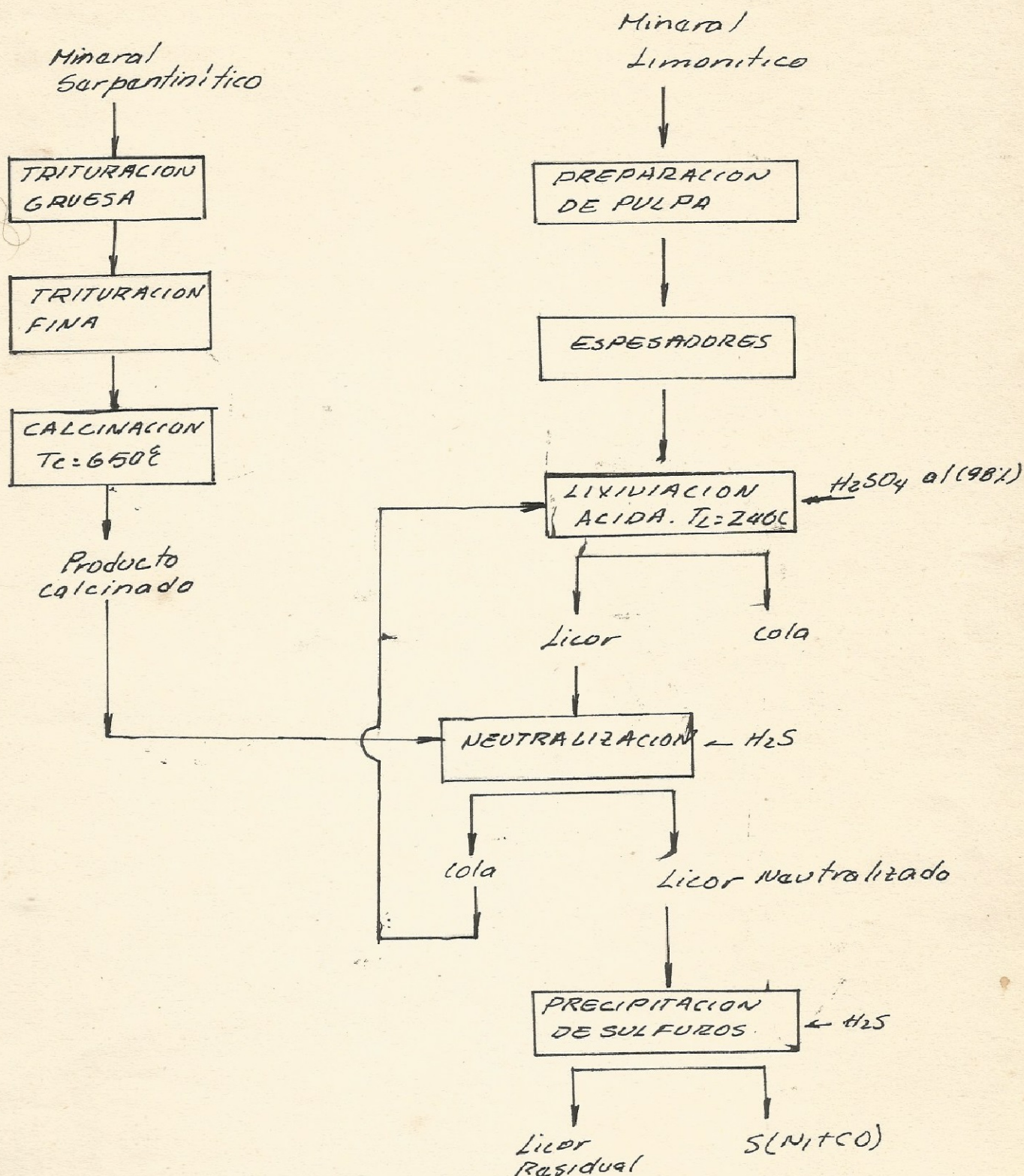
Curva No 9 - Tabla 13
Curva No 9' - Tabla 22



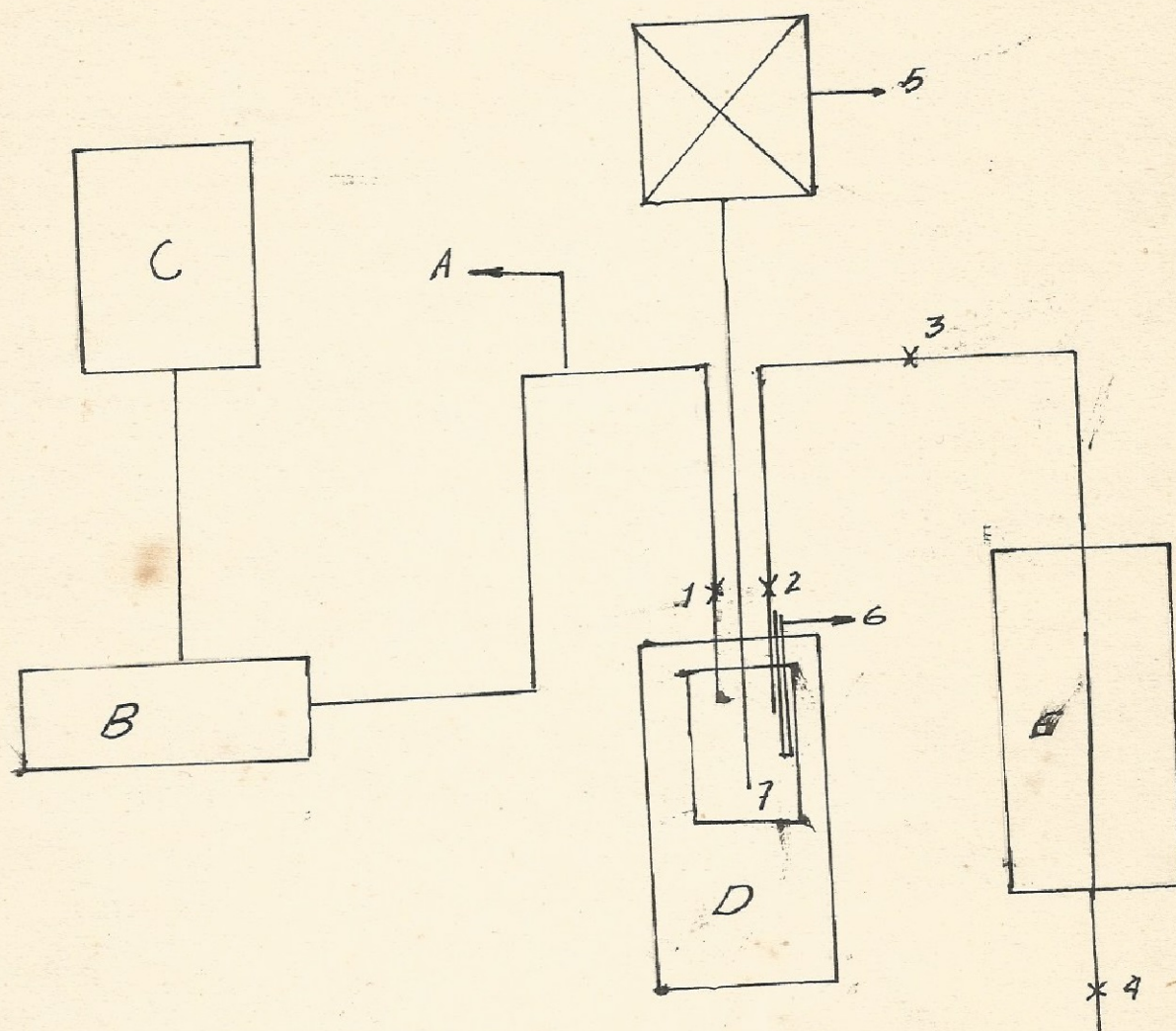
Esquema No 1. Proceso tecnológico de la "ECPSA".



Esquema No 2: Variante propuesta para el tratamiento del Licor residual de la "ERSA" con serpentina previamente procesada seguida de la recuperación del níquel y cobalto a partir de las colas obtenidas de este.



Esquema No 3: Variante del esquema tecnológico para emplear la serpentina una vez procesada en la neutralización del ácido libre del licor que se envía a la planta de precipitación de sulfuros.



Esquema No 4: Instalación utilizada.

- 1- Valvula de alimentación a la autoclave.
 - 2- Valvula de descarga de la autoclave.
 - 3- Valvula de alimentación del enfriador.
 - 4- Valvula de salida del enfriador.
 - 5- Sistema de agitacion.
 - 6- Orificio del termómetro
 - 7- Vaso interior donde se recibe la pulpa.
- A- Tuberías.
 B- Bomba.
 C- Reactor para el almacenaje de ácido
 D- Autoclave.
 E- Enfriador.