

MES

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
FACULTAD DE METALÚRGIA
MOA-HOLGUÍN

TRABAJO DE DIPLOMA

TÍTULO: Estudio de la representatividad de las pulpas -
preparadas a escala de laboratorio e industrial

DIPLOMANTE: Doris Savón Leyva

TUTOR: Ing. Pedro Beyris Mazar

1994
"AÑO 36 DE LA REVOLUCIÓN"

DEDICATORIA

A mis padres y esposo por su apoyo moral, a mi hija por endulzar mi vida en estos años difíciles.

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

A mi tutor, al compañero Dr. Alfredo Coello, por sus sabias orientaciones, a los compañeros del Departamento de Investigaciones y de la Planta de Espesadores de Pulpa de la Fábrica "Cmde. Pedro Sotto Alba", por su desinteresada cooperación.



La obtención de un título o diploma representa para muchos el término - de sus estudios, pero para un revolucionario dicha formación significa una vida entera consagrada al es tudio.

Fidel

R E S U M E N

En el presente trabajo se realiza un estudio comparativo de las pulpas preparadas a escala de laboratorio con H_2O corriente y de reboso con respecto a la industrial en función a la altura de sedimentación, para analizar la posible variación que pueda existir entre estas y expresar una valoración sobre su reproducibilidad.

Para ello se utilizaron los criterios estadísticos de diferencia: De Cochran y Fisher, además se realizó un análisis granulométrico para relacionar su influencia en la sedimentación de las pulpas estudiadas.

Los resultados experimentales permiten expresar que las pulpas a escala de laboratorio son reproducibles a escala industrial debido a que no existen diferencias significativas entre las mismas.

ÍNDICE

Pág.

CAPÍTULO I - ASPECTOS GENERALES

2.1	Introducción - - - - -	1
1.2	Generalidades - - - - -	2
1.2.1	Características Minero-Geológicas del yacimien tc - - - - -	2
1.2.2	Nociones generales acerca del flujo tecnológi- co de la Fábrica "Pedro Sotto Alba - - - - -	4

CAPÍTULO II - PARTE ESPECIAL

2.1	Fundamentos teóricos sobre la sedimentación -	8
2.2	Factores que influyen en la sedimentación - -	9
2.3	Análisis de otros trabajos realizados - - - - -	10
2.4	Descripción experimental - - - - -	14
2.5	Criterios estadísticos utilizados - - - - -	16
2.6	Análisis de los resultados - - - - -	18
	CONCLUSIONES - - - - -	20
	RECOMENDACIONES - - - - -	21
	BIBLIOGRAFÍA - - - - -	22
	ANEXOS - - - - -	23

CAPÍTULO I - ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

El advenimiento del triunfo de la Revolución Socialista en Cuba, el 1 de enero de 1959, marcó pautas en el desarrollo político, económico y social de nuestro pueblo, a raíz de este hecho histórico se pusieron en práctica toda una serie de medidas de profundo carácter revolucionario, dentro de las cuales ocupaba un lugar destacado las transformaciones encaminadas al desarrollo y consolidación de la economía nacional.

Los planes de desarrollo económico actuales de nuestro país contempla la producción de concentrado de níquel más cobalto, unos de los renglones fundamentales en la economía nacional dada la importancia estratégica de estos productos.

En nuestro país, una de las instalaciones fundamentales en la industria metalúrgica, es la Empresa "Comandante Pedro Sotto Alba", donde se realizó el siguiente trabajo de diploma, la misma está ubicada en el Noreste de la provincia Holguín, explotando los recursos minerales existentes en el grupo montañoso Sagua-Baracoa.

Este complejo por su tecnología presenta un proceso netamente hidrometalúrgico basado en la lixiviación ácida del mineral laterítico y la posterior precipitación del níquel y cobalto en forma de sulfuro siendo éste su producto final.

Al comenzar los trabajos para mejorar los índices tecno-

lógicos principales de las plantas, se despertó el interés por el estudio del proceso de sedimentación de las pulpas de mineral laterítico.

La sedimentación forma parte del proceso de preparación del mineral laterítico para su lixiviación con ácido sulfúrico, según diseño el mineral minado compuesto principalmente por óxidos férricos mezclados con serpentinita es tratado en una planta beneficiadora cuya función fundamental es la separación por vía húmeda de la fracción mayor de 0,83 mm (recna 30); la pulpa obtenida, con un contenido de sólido aproximadamente igual al 25% (en masa) se dirige por tuberías a una distancia de 4 500 m hacia la planta de espesadores, donde en los 3 espesadores con que cuenta la misma debe elevar el contenido de sólido - hasta un 48 % según diseño.

Hasta el momento se han realizado numerosas investigaciones con el fin de encontrar las verdaderas causas de por que en estos espesadores no se han obtenidos los índices de espesamiento requeridos, teniendo la pulpa de descarga valores que oscilan entre 43 y 45 % de sólido y en ocasiones valores críticos entre 38-40%, sólo en perío--dos cortos se obtienen valores cercanos al diseño, en estos llamados períodos críticos el agua de reboso, la cual no debe contener sólidos en suspensión, se enturbia hasta alcanzar contenidos de 5-10% de sólido, lo que implica que el proceso de espesamiento se altere y la productividad de la fábrica, así como otros indicadores económicos sean muy inferiores a los valores establecidos que provoca dejar de procesar níquel y cobalto.

Se han realizado trabajos investigativos a escala de laboratorio, semi-industrial e industrial acerca de encontrar los indicadores que afectan la sedimentación de la pulpa, obteniéndose resultados a nivel de laboratorio y semi-industrial que al compararlos con los obtenidos a escala industrial no son los esperados, es por ello que en el presente trabajo trata de esclarecerse si las pulpas a escala de laboratorio y semi-industrial son reproducible a escala industrial.

1.2 Generalidades

1.2.1 Características Minero Geológicas del Yacimiento

Este mineral es una mezcla de lateritas de carácter terroso y serpentínico parcialmente descompuestas y duras.

El mineral laterítico se presenta como tierra suelta o en terrones, mientras que el material serpentínico presenta toda una gama, desde material terroso hasta fracciones duras de diversos tamaños.

La humedad promedio del mineral es de 34% oscilando desde 23 a 36%, su peso volumétrico posee las siguientes características:

- Peso volumétrico seco	1,20	t/m ³
- Peso volumétrico húmedo	1,78	t/m ³
- Factor de exposición del mineral	1,30	
- Peso volumétrico del mineral húmedo removido es de	1,38	t/m ³

Los componentes de este mineral presentan la siguiente composición granulométrica.

Laterita:	+ 0	- 0,125 m	- - - - -	85 %
	+ 0,125	- 0,400 m	- - - - -	8 %
	+ 0,400	- 0,600 m	- - - - -	2 %
Serpentinita:	+ 0	- 0,125 m	- - - - -	4 %
	+ 0,125	- 0,400 m	- - - - -	0,85 %
	+ 0,400	- 0,600 m	- - - - -	0,15 %
				100 %

La granulometría que llega a planta de Pulpa es de + 0 - 0,125 m, predomina el mineral de forma terrosa en el que abundan terrones de material laterítico y serpentinitico blando, así como fracciones de rocas duras y angulosas.

Su dureza en la escala de Mons varía de 2-5 y el mineral no se considera químicamente activo, ni abrasivo.

Los principales componentes del mineral se hallan dentro de los valores: Fe: 30-50%; Al: 4-6%

La composición Química del yacimiento:

	Ni	Co	Ca	Fe	Mg	Al
Laterita	1,36	0,125	1,6	47,5	0,62	4,2
Serpentinita	1,53	0,04	0,37	15,8	14,6	3,1
Escombros	0,64	0,03	1,8	45,5	0,8	7,6

Composición Mineralógico

Goethita	$Fe_2O_3 \cdot H_2O$	70-75 %
Alúmina	$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	10 %
Serpentinita	$3HgO \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$	2-5 %
Cuarzo	SiO_2	2,4 %

1.2.2 Nociones generales acerca del Flujo Tecnológico de la Fábrica "Comandante Pedro Sotto Alba"

Para la obtención del sulfuro de Ni y Co, la Fábrica cuenta con una serie de plantas principales, así como auxiliares que tienen el objetivo siguiente:

Planta de Preparación de Pulpa:

El mineral extraído a cielo abierto es enviado a esta Planta, donde el mismo es sometido a un proceso de beneficio, mezclándose el mineral con agua y pasándolo a través de diferentes mallas, las cuales tienen la finalidad de obtener una pulpa con partículas menores de 0,33 mm y un porcentaje de sólido de 25% que cae en un colector, de donde es enviada por gravedad a la planta de Espesadores.

Planta de Espesadores:

Esta Planta es la encargada de espesar la pulpa que viene de la planta anterior con un 25% de sólido y $d = 0,33$ mm hasta un 48% de sólido, además sirve como almacén de materia prima mineral.

Planta de Lixiviación:

El mineral espesado hasta 48% es enviado a esta planta para disolver los óxidos de Ni y Co en forma de sulfatos, utilizando como agente lixivante H_2SO_4 .

Para esto la planta cuenta con reactores que operan a una temperatura de $246^\circ C$ y presión de $3\ 657 - 880,4$ Pa, bajo estas condiciones el Ni y Co son disueltos como sales de sulfato dejando un residuo mineral, la pulpa lixiviada consiste en un mineral lixiviado y licor que contiene Ni y Co la cual es enviada a la Planta de Lavaderos.

Planta de Lavaderos:

Esta planta mediante un sistema de decantación de 7 etapas y lavado a contracorriente, se logra, separar la parte líquida de la sólida y lavar el mineral sedimentado para extraerle la mayor cantidad de Ni y Co posible.

El mineral lixiviado y lavado es enviado a un estanque o presa de cola para su posterior procesamiento como mineral de Fe, ya que posee 47% de éste.

El licor que contiene el sulfato de Ni y Co es bombeado a la Planta de Neutralización.

Planta de Neutralización:

En esta planta se crean las condiciones para la posterior precipitación de Ni y Co. Aquí se eleva el PH mediante la adición de pulpa de Coral (CaCO_3) y se elimina el H_2SO_4 parcialmente.

El licor producto es calentado posterior a la neutralización y bombeado hacia la planta de precipitación de sulfuro.

Planta de Precipitación de Sulfuro:

En ésta el licor producto es tratado con H_2S para precipitar el Ni y Co mediante reacciones químicas de reducción, lo que se ejecuta en autoclaves horizontales con agitación mecánica. Bajo estas condiciones de temperatura, agitación y acción de H_2S el Ni y Co son precipitados como sulfuros en forma de partículas de color negro y densas.

Planta de Secado:

La pulpa de sulfuro (65 % de sólido) es enviada a esta planta situada en el puerto, mediante camiones, trompos

o sulfoteras, donde se almacena y se envasa en contenedores, se le disminuye la humedad secándolo hasta un 15-25 % en el propio contenedor. Finalmente se almacena y rotula para su embarque como sulfuro de Ni y Co.

CAPÍTULO II - PARTE ESPECIAL

2.1 Fundamentos teóricos sobre la sedimentación

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

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

"La velocidad decreciente de la altura de la superficie que separa el líquido claro que sobrenada, de la capa que sostiene el sólido en suspensión, se denomina 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 concentración del porcentaje de sólido, así como las propiedades del fluido. En las situaciones en que precipitan, no una partícula si no muchas al unísono, a la resistencia que ofrece el medio se añadirán otras fuerzas que entorpecerán la caída de la partícula 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.

2.2 Factores que influyen en la sedimentación

Tamaño de las partículas:

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

Densidad de la pulpa:

Este factor se comporta similar al anterior, es decir, las partículas de mayor densidad tienen mayor velocidad de caída que las de menor densidad. Pero si la densidad de las partículas es menor o igual a la densidad del fluido en el cual se encuentran, éstas flotarán o se mantendrán en suspensión en el mismo y si es mayor irán al fondo.

Si existen partículas que posean diferentes densidades e igual velocidad de caída, se dice que estas partículas son isódromas.

Temperatura de la pulpa:

La influencia de ésta sobre la velocidad de sedimentación es de manera tal que con un aumento, se produce un aumento proporcional de la velocidad de sedimentación 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 otras concentraciones) influye de forma decisiva en la sedimentación, ya que determina el fe-

nómeno de dispersión (repulsión) o coagulación (adhesión) de las partículas, debido a que dichos iones presentes en la fase líquida actúan sobre la superficie de éstas, variando sus propiedades superficiales y su potencial cinético.

Viscosidad de la pulpa:

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

Si el medio fluído se encuentra en reposo o su movimiento es significativamente lento (régimen laminar) y las velocidades y dimensiones de las partículas que sedimentan son pequeñas, se puede decir que la resistencia viscosa es la predominante, ya que esta surge como resultado de las fuerzas de rozamiento.

Tiempo de agitación:

Al aumentar el tiempo de agitación hay una marcada disminución del peso de la fracción +20 mallas, lo que nos indica que estamos en presencia de un aumento de la efectividad del proceso de lavado, pues menor cantidad del mineral útil se irá con el rechazo en la preparación de la pulpa.

2.3 Análisis de algunos trabajos

Acerca de la temática tratada se han realizado una serie de investigaciones a escala de laboratorio, semi-industrial e industrial, no alcanzando los índices esperados a escala de laboratorio y semiindustrial al ser comparados con los de la industria es por ello que estas investigaciones resultan de interés para nuestro trabajo.

En el Trabajo de Diploma de la Ing. Bertha 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 compuesta por partículas de -325 mallas (0,040 MK) y la determinación de la composición granulométrica de diferentes capas durante el proceso de sedimentación.

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 sólo las partículas del tamaño antes mencionadas.

La composición granulométrica de la pulpa fue determinada por el método de elutriación, obteniéndose los resultados siguientes:

Tamaño	10	20	30	40
% en peso acumulativo	52	67	77	82

Los ensayos hechos a la pulpa con adición de H_2SO_4 , Na_2CO_3 , Al_2SO_4 , Mg_2SiO_3 , arrojaron como resultado que la adición de cualquiera de ellos influye negativamente en la velocidad de sedimentación, disminuyendo la misma.

En el trabajo de las Ing. Maura Castillo y Virgen Tackechel se hallaron las diferencias en cuanto a las velocidades de sedimentación entre la pulpa que se obtiene en la Planta de Preparación de la misma y la de Espesadores, siendo mayor en la Planta de Pulpa.

Estos resultados nos muestran una diferencia significativa en las velocidades de sedimentación de ambas plantas.

Además, en el trabajo realizado por las Ing. Lucía Arados y Caridad Cabrera, que es similar al anterior señalado se concluye que:

"El área que influye en la diferencia de las velocidades de sedimentación está enmarcada entre los registros 39-41 de la tubería de transportación de pulpa entre ambas plantas; debido a la diferencia de nivel que existe en este tramo y donde se produce la mayor turbulencia.

Además de los análisis granulométricos efectuados en distintos puntos de la línea conductora para tamices de mallas de 100, 200 y 325, no 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 influye en el proceso de sedimentación.

En el trabajo del Ing. Julio C. Torres Segura, se llegó a las conclusiones siguientes:

Al ir aumentando el tiempo de agitación de las pruebas realizadas, hay una marcada disminución del peso de la fracción +20 mallas, lo que nos indica que estamos en presencia de un aumento en la efectividad del proceso de lavado, pues una menor cantidad de mineral útil se irá con el rechazo en la preparación de la pulpa. Esto nos dice la influencia que tiene el proceso de lavado, en la preparación de la pulpa y a su vez la importancia de este último, en la velocidad de sedimentación.

También se demostró que el diámetro y la capacidad de la probeta, sí influye en la velocidad de sedimentación y que al ser mayores éstas, mayor será la velocidad de sedimentación de la pulpa.

En el trabajo del Ing. Justin Curtis Chabala se llegó a las conclusiones siguientes:

- La composición química y mineralógica es uno de los factores más influyentes en la velocidad de sedimentación y el contenido de sólido final ya que las diferencias en valor de estos depende de la variación de la composición química y mineralógica de la mena.

- La disminución de la relación Gibsite-Goethita y Caolinita-Goethita favorece la sedimentación.

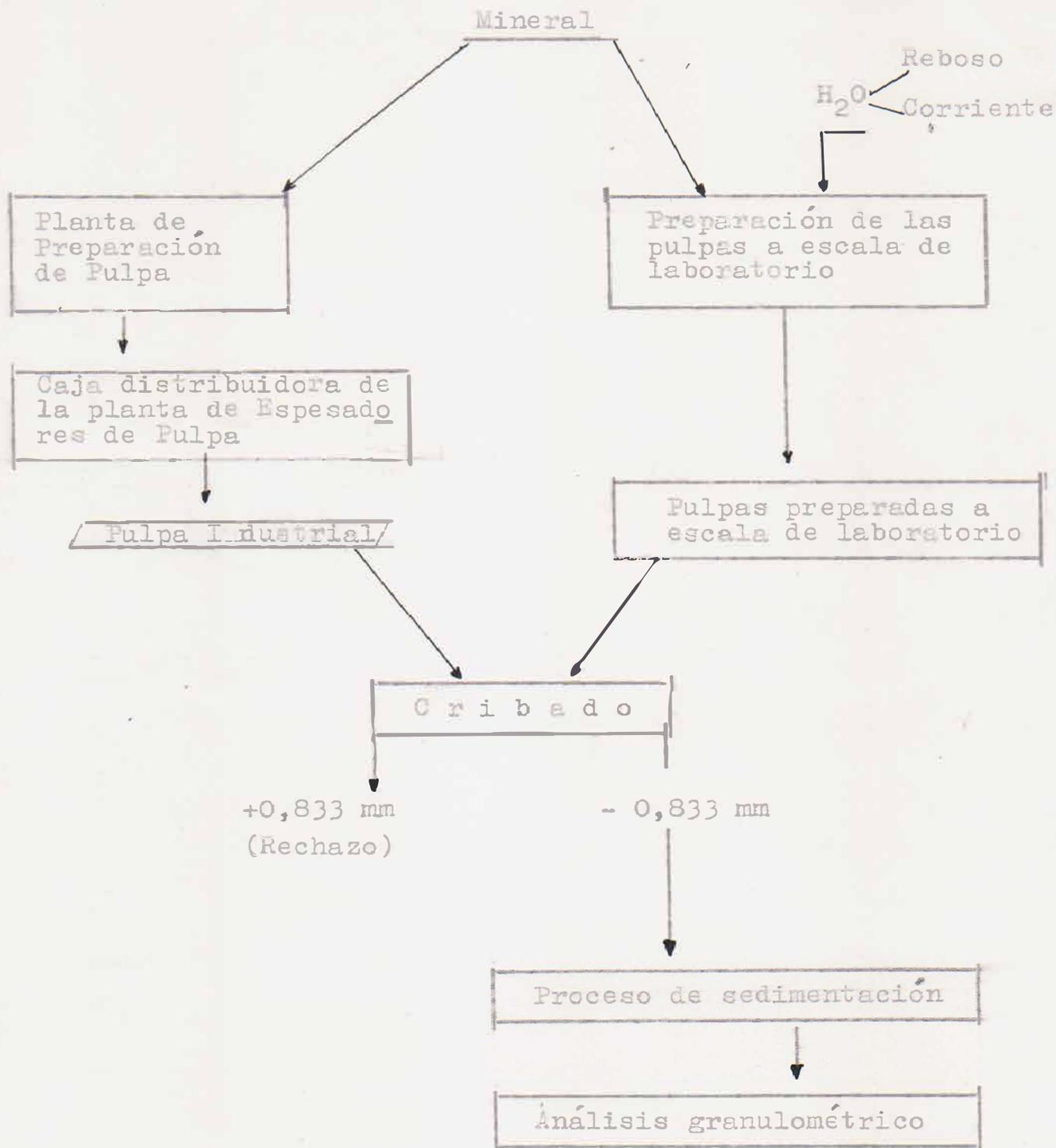
- En los frentes y mezclas con buena sedimentación se arrastra gran cantidad del mineral ligero Gibsite y mineral formador de lamas Caolinita junto con el mineral pesado por lo que aumenta el contenido de éstos en el sedimento.

- Es de gran ventaja la realización de mezclas ya que trae consigo el mejoramiento de los frentes de mala sedimentación, permitiendo la racionalización de la materia prima.

- La intensidad de los picos de los difractogramas en el sedimento es mayor que en la mezcla inicial.

Fig 1

ESQUEMA DE TRABAJO



2.4 Descripción Experimental

En el presente trabajo se realiza una comparación entre la pulpa preparada a escala industrial (P.I) y las preparadas a escala de laboratorio con agua de reboso y corriente en cuanto a la altura de sedimentación (velocidad de sedimentación) alcanzada en cada ensayo. Para ello se tomaron ocho muestras de mineral en las bandas transportadoras que alimentan el mineral a la Planta de Preparación de Pulpa con las que se prepararon las pulpas a nivel de laboratorio (PR) y (PC).

La pulpa industrial (PI) fue tomada después de su preparación y transporte hasta la caja distribuidora que alimenta la pulpa a la Planta de Espesadores de Pulpa, cuarenta y cinco minutos antes, fue realizada una toma de muestra de mineral en la banda transportadora que alimenta el mineral a la Planta de Preparación de Pulpa que fue tomada (ver fig. 1).

Las pulpas preparadas con agua de reboso y corriente se preparan simulando el proceso que ocurre en la industria, o sea a través de las operaciones de lavado que se realiza en un agitador mecánico y su posterior separación en cribas de 0,833 mm, las partículas mayores constituyen el rechazo y las menores pasan a formar la pulpa que posteriormente se pone a sedimentar en probetas de 1000 ml, a las cuáles se les hacen lecturas de la altura de sedimentación (H_{sed}) cada 10 (min) hasta 2 h, luego se lee cada 30 (min) o más hasta las 24 horas.

A cada pulpa después de sedimentadas se les determinó el % de sólido final y además se les realizó análisis granu

lométrico para analizar la posible influencia de ésta en el comportamiento de la sedimentación.

Es bueno destacar que el mineral utilizado para preparar todas las pulpas procedía de diferentes frentes de arranque para conocer la densidad inicial de la pulpa y poder calcular el porcentaje de sólido inicial se siguieron los pasos siguientes:

- Pesar la probeta vacía (PP_1)
- Llenar la probeta de pulpa hasta 100 ml y pesarla (PP_2)
- La diferencia entre ($PP_1 - PP_2$) nos da la masa mineral
- Luego como conocemos que la densidad es igual a la masa entre el volumen (1000 ml) determinamos la densidad inicial de la pulpa.

Porcentaje de sólido inicial:

$$\% \text{ sól}_i = \frac{\rho_{ip} - 1}{\rho_{ip}} - \frac{G_s}{G_s - \rho_l} \quad (1)$$

donde:

- ρ_{ip} - densidad inicial de la pulpa; kg/dm^3
- 1 - densidad del licor (agua)
- G_s - gravedad específica del sólido

Porcentaje de sólido final:

$$\% \text{ sól}_f = \frac{M_s}{M_p} \quad (2)$$

donde:

- M_s - masa de sólido
- M_p - masa de pulpa



2.5 Criterios estadísticos para el cálculo

Los métodos estadísticos de diferencia nos permiten conocer si todos los datos experimentales obtenidos pertenecen a un conjunto común. Si la diferencia entre ellos ha sido determinada entre los parámetros de la distribución estadística (por las medias o las varianzas).

Para este trabajo que deseamos conocer si entre la pulpa industrial y las pulpas preparadas a escala de laboratorio existen diferencias significativas aplicamos los criterios de Cochran y Fisher, como se explica a continuación.

Criterio de Cochran:

Este criterio plantea que si entre varios ensayos (varias mediciones), se descubre aquel (la serie de medición) cuya varianza empírica S_1^2 es mucho mayor que las demás, y cada uno de los m ensayos sometidos a prueba efectúa el mismo número n de mediciones, calcula las varianzas S_1^2 ; S_2^2 , S_m^2 (S_i^2 cuando $i = 1$) y compara la mayor varianza S_1^2 con la suma de todas las varianzas según la ecuación:

$$G = \frac{S_1^2}{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_m^2} \quad (3)$$

Si esta relación resulta mayor que el valor crítico buscado en tabla en función de los grados de libertad (n y m) entonces la diferencia de la primera varianza respecto a las otras se considera importante.

Criterio de Fisher:

Dos conjuntos muestrales sin diferenciarse considerablemente por sus valores medios, pueden diferir en cuanto a su varianza S_1^2 y S_2^2 .

Si la diferencia entre S_1^2 y S_2^2 se halla dentro de los límites de las posibles oscilaciones aleatorias, entonces ambas distribuciones pertenecen al mismo conjunto general.

Para poder solucionar el problema acerca de la divergencia aleatoria o no aleatoria de las varianzas se calcula la relación entre la varianza empírica mayor y la menor

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} = F \quad (4)$$

Seguidamente se establece la fiabilidad deseable de la deducción $P = 0,95$ ó $P = 0,99$ y por tabla se halla el valor crítico de la relación F , correspondiente a los grados de libertad F_1 y F_2 (F_1 pertenece a la mayor varianza empírica).

Si la F calculada por los datos de las mediciones resulta mayor que el F_{tab} de tabla entonces la diferencia entre las varianzas se considera no aleatoria (significante) con una fiabilidad P .

2.6 Análisis de los resultados

Los resultados expuestos en las tablas 1 y 2, muestran los valores de las varianzas calculadas según las fórmulas (3) y (4) para cada tipo de pulpa en base a la altura de sedimentación de los ensayos realizados.

Analizando el criterio de Cochran, obtuvimos los siguientes resultados como se muestra en la tabla (1), pudiéndose comprobar que el error experimental que se pudo cometer entre la lectura de altura de sedimentación en las muestras no existían diferencias significativas entre las mediciones.

El criterio Fisher permitió establecer que en la inmensa mayoría de los experimentos realizados comparando la pulpa industrial con la pulpa preparada a escala de laboratorio (con agua corriente y agua de reboso) no existieron diferencias significativas entre ambas pulpas, lo que indica que la forma de preparación de la pulpa no influye significativamente en la velocidad de sedimentación (ver tabla #2).

Sin embargo se puede observar que para las series 1, 5 y 6 existen diferencias de una respecto a las otras.

En la serie 1, al comparar la pulpa industrial con la preparada a escala de laboratorio con agua corriente observamos que: $F_{\text{calc}} = 2,5$ y $F_{\text{tab}} = 2,174$, donde se demuestra que existe diferencia significativa, algo similar ocurre en la serie 5, pero con la pulpa preparada con agua de reboso donde $F_{\text{cal}} = 2,69$ y $F_{\text{tabla}} = 2,174$.

En la serie número 6, también se observa que en ambos ca

sos existen diferencias.

Por otra parte se pudo apreciar que el coeficiente de Cochran para estas series (1, 5 y 6) el error experimental no era significativo. O sea, que es similar para las tres pulpas de estudio, lo que expresa que la forma de preparación de la pulpa no influye en la velocidad de sedimentación, sino que estas diferencias pueden estar dadas por causas aleatorias por lo que es lo mismo la incidencia de otros factores que afectan el proceso de sedimentación.

En el trabajo también se realizan análisis granulométricos para cada una de las muestras, para estudiar la posible influencia en la sedimentación para esto se valora la fracción (-0,074 mm) que como es conocido tiene un efecto negativo en el proceso, por ejemplo en las series 1, 3, 6, 8 (ver tablas 3, 5, 8 y 10) existe una tendencia de que al incrementarse la salida de la fracción señalada hay una disminución de la altura de sedimentación, esto tiene cierta correspondencia con unas de las posibles causas aleatorias que pueden incidir en el proceso de sedimentación, se debe recordar que para la serie 1 y 6 existían diferencias significativas en cuanto a lo que dice el criterio de Fisher analizado, además es necesario analizar también que el mineral con que se prepararon las pulpas procedían de diferentes frentes de minería lo cual es conocido que presentan características de sedimentación diferentes de forma independientes y al mezclarse en determinadas proporciones cada uno de ellos, lo cual puede ser una causa de que la sedimentación tenga este comportamiento en el trabajo realizado como se observa en las diferentes gráficas realizadas para cada serie.

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

Entre las pulpas preparadas a escala industrial y de laboratorio no existen diferencias significativas en base a la altura de sedimentación alcanzada por estas pulpas, lo cual indica - que la forma de preparación de la pulpa a escala de laboratorio no influye significativamente en la sedimentación por lo que estas son reproducibles.

El error experimental que se pudo cometer en cuanto a la lectura de altura de sedimentación entre estas pulpas no es significativo, lo cual confirma lo planteado en la primera conclusión.

La granulometría del mineral tratado y la procedencia del frente de minería del mismo tienen una gran incidencia en el comportamiento de las pulpas analizadas.

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

Estudio de estas pulpas donde se analicen otros indicadores - del proceso de sedimentación.

Realizar un análisis de varianza a estas pulpas.

B I B L I O G R A F Í A

- 1 - CHABALA CURTIS, JUSTIN. "Estudio de la homogenización del mineral laterítico II a escala semi industrial. Trabajo de Diploma, Biblioteca, 1991.
- 2 - CASTILLO HAURA Y TACKECHEL, VIRGEN. "Diferencia de velocidad de sedimentación en la línea conductora desde la Planta de Preparación de Pulpa hasta Planta de Espesadores". Trabajo de Diploma, Biblioteca, 1980.
- 3 - DRSC. DEBÉN GUERRA, JORGE Y PAREDA SEVILLA, ELIDA. "Introducción al análisis estadístico para proceso I, - 1986.
- 4 - DIXON-MASSEY. "Introducción al análisis estadístico". - 1995.
- 5 - FALCÓN HERNÁNDEZ, JOSÉ. "Consideraciones sobre la sedimentación de la pulpa limonítica en la Fábrica "Pedro Sotto Alba".
- 6 - Efectos de la composición iónica de la pulpa sobre la sedimentación de los minerales limoníticos.
- 7 - HIDROFANOV, S.I. "Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales, 1974.
- 8 - SEGURA TORRES, C. JULIO. "Ensayos de preparación del mineral y sedimentación". Trabajo de Diploma, Biblioteca.

A N E X O S

Tabla #

- 1 Valores de Cochran calculados
- 2 Comparación del criterio de Fisher para la valoración de las pulpas
- 3-10 Análisis granulométrico
- 11-18 Por ciento de sólido inicial, final, altura de se
dimentación en 2 y 24 horas y velocidad de sedimen
tación en 2 y 24 horas

Gráficas de la velocidad de sedimentación para cada muestra.

Tabla #1

VALORES DE COCHRAN CALCULADOS

SERIES	G_{calc}	G_{tab}
1	0,52	0,7226
2	0,36	0,7226
3	0,40	0,7226
4	0,34	0,7226
5	0,48	0,7226
6	0,61	0,7226
7	0,42	0,7226
8	0,44	0,7226

Tabla #2

COMPARACIÓN DEL CRITERIO DE FISHER PARA LA VALORACIÓN DE LAS PULPAS.

SERIES	TIPO DE PULPA	S_1^2	S_2^2	$F_{\text{cálculo}}$	F_{tabla}
I	1 PR	3,11	2,50	1,24	2,174
	2 PC	6,25	2,50	2,50	
II	1 PR	1,38	1,45	1,05	2,174
	2 PC	1,17	1,45	1,23	
III	1 PR	1,39	0,86	1,61	2,174
	2 PC	1,52	0,86	1,76	
IV	1 PR	1,14	1,06	1,04	2,174
	2 PC	1,11	1,06	1,07	
V	1 PR	2,10	0,78	2,69	2,174
	2 PC	1,44	0,78	1,84	
VI	1 PR	0,37	0,81	2,19	2,174
	2 PC	1,93	0,81	2,38	
VII	1 PR	1,11	0,81	1,37	2,174
	2 PC	1,41	0,81	1,74	
VIII	1 PR	0,86	1,25	1,45	2,174
	2 PC	0,73	1,25	1,17	

S_1^2 - corresponde a los valores de las varianzas de las pulpas preparadas a escala de laboratorio.

S_2^2 - Valor de la varianza de la pulpa industrial.

Tabla #3

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

FRENTE DE EXPLOTACIÓN D-38; D-43; D-52 y D-34

SERIE I		PULPA INDUSTRIAL	
Clase (mm)		Peso (g)	%
	+0,247	14,50	4,74
-0,247	+0,149	29,80	9,70
-0,149	+0,075	52,40	17,40
-0,075	+0,044	41,80	13,60
-0,044		167,01	54,60
Total		305,51	100

		PULPA PREPARADA CON H ₂ O REBOSO	
	+0,247	5,10	1,61
-0,247	+0,149	20,90	6,67
-0,149	+0,075	36,60	11,69
-0,075	+0,044	37,20	11,80
-0,044		213,96	68,10
Total		313,96	100

		PULPA PREPARADA CON H ₂ O CORRIENTE	
	+0,247	5,10	1,61
-0,247	+0,149	18,80	5,93
-0,149	+0,075	35,10	11,08
-0,075	+0,044	34,00	10,74
-0,044		223,57	70,62
Total		316,57	100

Tabla #4

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

FRENTE DE EXPLOTACIÓN D-38; D-43; D-24 y D-34

SERIE II		PULPA INDUSTRIAL	
Clas (mm)		Peso (g)	%
	+0,247	5,9	1,94
-0,247	+0,149	23,6	7,78
-0,149	+0,075	38,5	12,69
-0,075	+0,044	31,1	10,25
-0,044		204,12	67,30
Total		303,22	100
PULPA PREPARADA CON AGUA DE REBOSO			
	+0,247	9,7	3,2
-0,247	+0,149	23,7	7,82
-0,149	+0,075	37	12,2
-0,075	+0,044	28,4	9,37
-0,444		203,66	66,22
Total		302,96	100
PULPA PREPARADA CON AGUA CORRIENTE			
	+0,247	7,4	2,54
-0,247	+0,149	20,8	7,16
-0,149	+0,075	37,5	12,9
-0,075	+0,044	23,5	8,09
-0,044		201,1	69,27
Total		290,3	100

Tabla #5

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

FRENTE DE EXPLOTACIÓN D-38, D-43, D-52 y D-34

SERIE III		PULPA INDUSTRIAL	
Clase (mm)		Peso (g)	%
	+0,247	21,8	7
-0,247	+0,149	22,7	7,2
-0,149	+0,075	26,4	8,4
-0,075	+0,044	21,2	6,8
-0,044		219,82	70,6
Total		311	100

		PULPA PREPARADA CON H ₂ O REBOSO	
	+0,247	6,7	2,20
-0,247	+0,149	20,9	6,86
-0,149	+0,075	30,4	10
-0,075	+0,044	22,8	7,49
-0,044		223,5	73,4
Total		304,3	100

		PULPA PREPARADA CON H ₂ O CORRIENTE	
	+0,247	5,4	1,71
-0,297	+0,149	22	6,99
-0,149	+0,075	34,7	11,04
-0,075	+0,044	38,9	12,37
-0,044		213,29	67,8
Total		314,29	100

TABLA #6

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

FRENTE DE EXPLOTACIÓN D-38; D-43, D-52 y D-24

SERIE IV		PULPA INDUSTRIAL	
Clase (mm)		Peso (g)	%
	+0,247	6,7	2,1
-0,247	+0,149	17,6	5,53
-0,149	+0,075	39,5	12,42
-0,075	+0,044	35,5	11,16
-0,044		218,6	68,76
Total		317,9	100
		PULPA PREPARADA CON H ₂ O DE REBOS	
	+0,247	12,5	3,96
-0,247	+0,149	27,4	8,68
-0,149	+0,075	41,9	13,3
-0,075	+0,044	42,5	13,1
-0,044		192,06	60,9
Total		315,36	100
		PULPA PREPARADA CON AGUA CORRIENTE	
	+0,247	12,8	4,09
-0,247	+0,149	26	8,52
-0,249	+0,075	42,3	13,5
-0,075	+0,044	23,3	7,45
-0,044		208,9	66,6
Total		312,49	100

Tabla #7

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

FRENTE DE EXPLOTACIÓN D-38; D-34; D-52 y D-43

SERIE V		PULPA INDUSTRIAL	
Clase (mm)		Peso (g)	%
	+0,247	15,8	5,03
-0,247	+0,149	34,1	10,9
-0,149	+0,075	48,2	15,3
-0,075	+0,044	47,8	15,2
-0,044		167,6	53,4
Total		313,5	100

		PULPA PREPARADA CON AGUA REBOSO	
	+0,247	13,6	4,35
-0,247	+0,149	22,1	7,07
-0,149	+0,075	49,2	15,7
-0,077	+0,044	47	15,04
-0,044		180,6	57,8
Total		312,5	100

		PULPA PREPARADA CON AGUA CORRIENTE	
	+0,247	9,2	2,9
-0,247	+0,149	27,3	8,7
-0,149	+0,075	49,3	15,5
-0,075	+0,044	43,8	13,8
-0,044		186,8	59
Total		316,4	100

Tabla #8

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

FRENTE DE EXPLOTACIÓN D-38; D-43 y D-24

SERIE VI		PULPA INDUSTRIAL	
Clase (mm)		Peso (g)	%
	+0,247	16,8	5,43
-0,247	+0,149	20,5	7,92
-0,149	+0,075	37,1	12
-0,075	+0,044	33,7	10,9
-0,044		196,96	63,72
Total		309,06	100
		PULPA PREPARADA CON AGUA REBOSO	
	+0,247	11,6	3,7
-0,247	+0,149	22,6	7,2
-0,149	+0,075	33,3	10,6
-0,075	+0,044	33,1	10,5
-0,044		232,4	74,3
Total		333,0	100
		PULPA PREPARADA CON H ₂ O CORRIENTE	
	+0,247	14,4	4,57
-0,247	+0,149	23,6	7,49
-0,149	+0,075	31,3	9,94
-0,075	+0,044	32,4	9,97
-0,044		214	68
Total		314,7	100

Tabla #9

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

FRENTE DE EXPLOTACIÓN D-43; D-52 y D-23

SERIE VII		PULPA INDUSTRIAL	
Clase (mm)		Peso (g)	%
	+0,247	15,3	4,9
-0,247	+0,149	28	9
-0,149	+0,075	40	12,9
-0,075	+0,044	41,3	13,3
-0,044		184,76	59,7
Total		309,36	100
		PULPA PREPARADA CON H ₂ O REBOSO	
	+0,247	15,2	4,9
-0,247	+0,149	29	9,3
-0,149	+0,075	41	13,2
-0,075	+0,044	40,2	13
-0,044		183,66	59,4
Total		309,06	100
		PULPA PREPARADA CON H ₂ O CORRIENTE	
	+0,247	15,3	4,9
-0,247	+0,075	29	9,3
-0,075	+0,149	41	13,2
-0,149	+0,044	40,2	13
-0,044		183,66	59,4
Total		309,6	100

Tabla #10

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

FRENTE DE EXPLOTACIÓN D-38; D-52; D-43 y D-24

SERIE VIII		PULPA INDUSTRIAL	
Clase (mm)		Peso (g)	%
	+0,247	8,8	2,7
-0,247	+0,149	9,6	2,9
-0,149	+0,075	11	3,3
-0,075	+0,044	13,8	9,2
-0,044		280,6	86,6
Total		323,8	100
PULPA PREPARADA CON AGUA DE REBOSO			
	+0,247	4,5	1,4
-0,247	+0,149	9	2,9
-0,149	+0,075	12,6	9,1
-0,075	+0,044	13,3	9,3
-0,044		266,9	87,1
Total		306,3	100
PULPA PREPARADA CON H ₂ O CORRIENTE			
	+0,247	3,8	1,2
-0,247	+0,149	8,3	2,6
-0,149	+0,075	11,7	3,6
-0,075	+0,044	13,5	4,2
-0,044		279,12	88,2
Total		316,42	100

Tabla #11

VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

SERIE I			
	PI	P.R	P.C
% Sol _I	25,05	25,55	25,79
% Sol _F	34,73	32,23	33,76
H _{sed} (2 h)	41,6	18,66	20
H _{sed} (24 h)	110,3	73,93	85
V _{sed} (2 h)	21,8	10,1	10,8
V _{sed} (24 h)	4,59	3	3,5

PI - Pulpa Industrial

P.R - Pulpa preparada con agua de reboso

P.C - Pulpa preparada con agua corriente

%Sól_I - Por ciento de sólido inicial

%Sól_F - Por ciento de sólido final

H_{sed} (24 h) - Altura de sedimentación (24 h)

V_{sed} (24 h) - Velocidad de sedimentación (24 h).

Tabla #12

VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

SERIE II

	PI	P.R	P.C
% Sól _I	25,15	25,14	25,13
% Sól _F	29,27	29,19	29,36
H _{sed} (2 h)	11,6	12	16
H _{sed} (24 h)	49	60	69,33
V _{sed} (2 h)	11,6	6	8
V _{sed} (24 h)	2,04	2,5	2,8

Tabla #13

SERIE III

% Sól _I	25,42	25,59	25,64
% Sól _F	29,43	27,81	28,35
H _{sed} (2h)	12,3	10	13,6
H _{sed} (24 h)	43,3	31	37,6
V _{sed} (2 h)	6,15	5,65	6,8
V _{sed} (24 h)	1,5	1,2	1,8

Tabla #14

SERIE IV

% Sól _I	25,88	25,71	25,52
% Sól _F	28,65	30,53	29,6
H _{sed} (2 h)	12	11,6	13
H _{sed} (24 h)	38	61,6	52,6
V _{sed} (2 h)	6	5,8	6,5
V _{sed} (24 h)	1,5	2,5	2,1

Tabla #15

VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

SERIE V			
	PI	P.R	PC.
% Sól _I	29,59	25,52	25,78
% Sól _F	28,10	31,1	30,88
H _{sed} (2 h)	3,83	9,16	7,83
H _{sed} (24 h)	32,66	70,66	64
V _{sed} (2 h)	1,9	4,1	3,9
V _{sed} (24 h)	1,3	2,9	2,6

Tabla #16

SERIE VI			
% Sól _I	25,29	25,55	25,67
% Sól _F	27,76	27,57	28,44
H _{sed} (2 h)	6,3	5,8	4,66
H _{sed} (24 h)	35	27	34
V _{sed} (2 h)	3,15	2,9	2,3
V _{sed} (24 h)	1,45	1,12	1,41

Tabla #17

SERIE VII			
% Sól _I	25,31	25,29	25,10
% Sól _F	27,81	27,81	28,35
H _{sed} (2 h)	4,16	5,83	5,33
H _{sed} (24 h)	43	43	41,6
V _{sed} (2 h)	1,9	2,9	2,6
V _{sed} (24 h)	1,79	2,79	1,73

Tabla #18

VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

SERIE VIII			
	PI	PR	PC
% Sól _I	25,94	25,39	25,78
% Sól _F	28,74	27,16	28,31
H _{sed} (2 h)	5,5	2,5	4,5
H _{sed} (24 h)	37	33	26
V _{sed} (2 h)	5,5	3,5	2,25
V _{sed} (24 h)	1,54	1,37	1,08

GRAFICO I

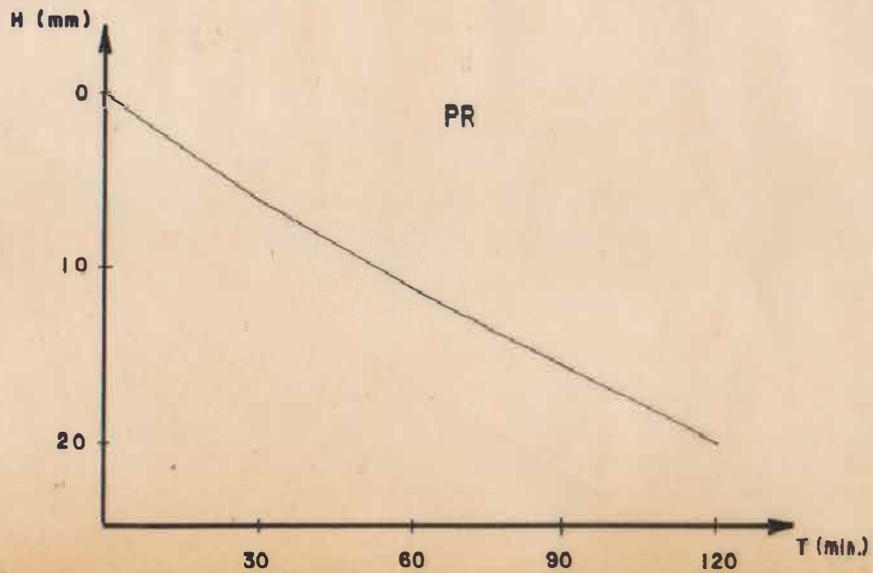
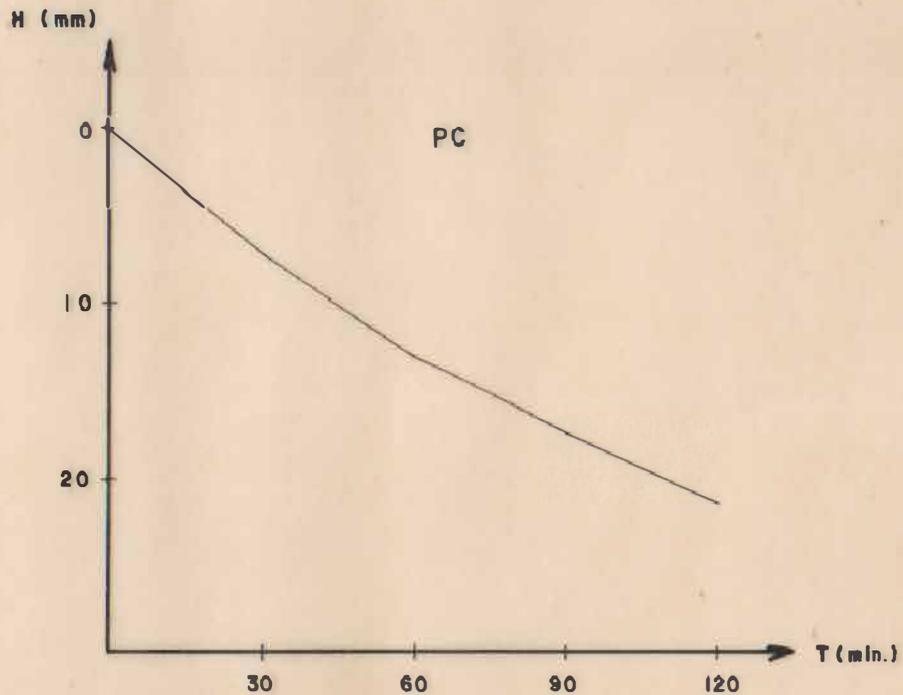
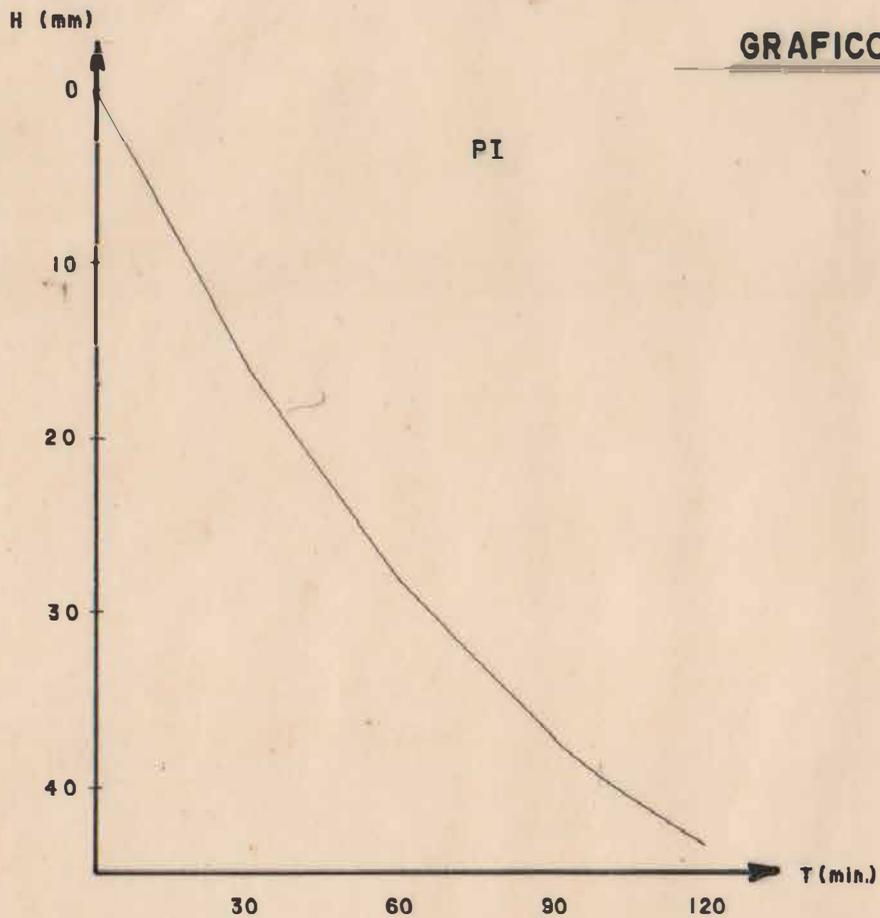


GRAFICO II

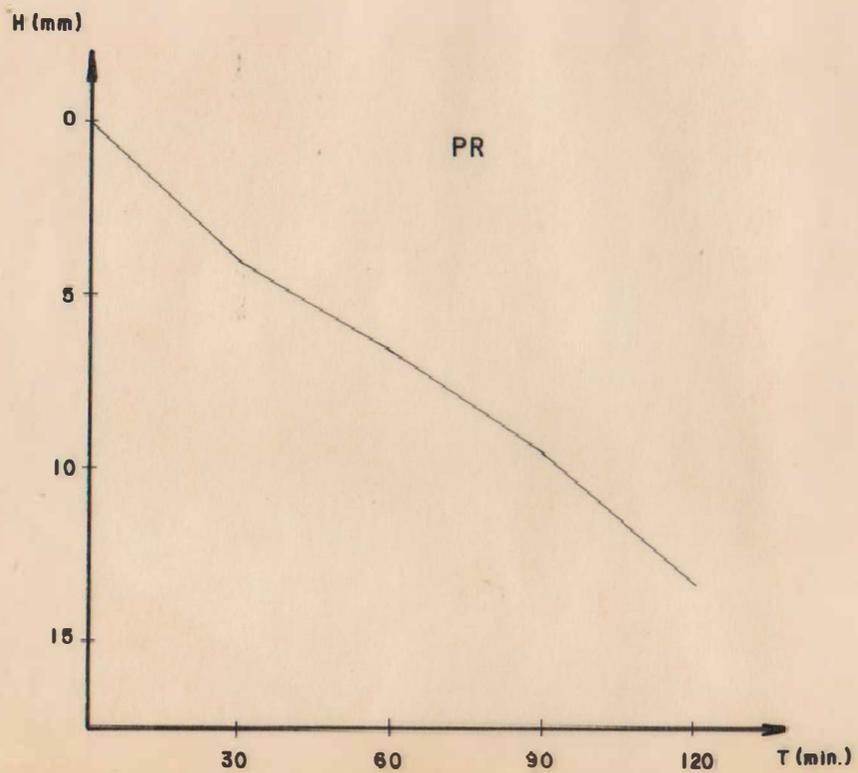
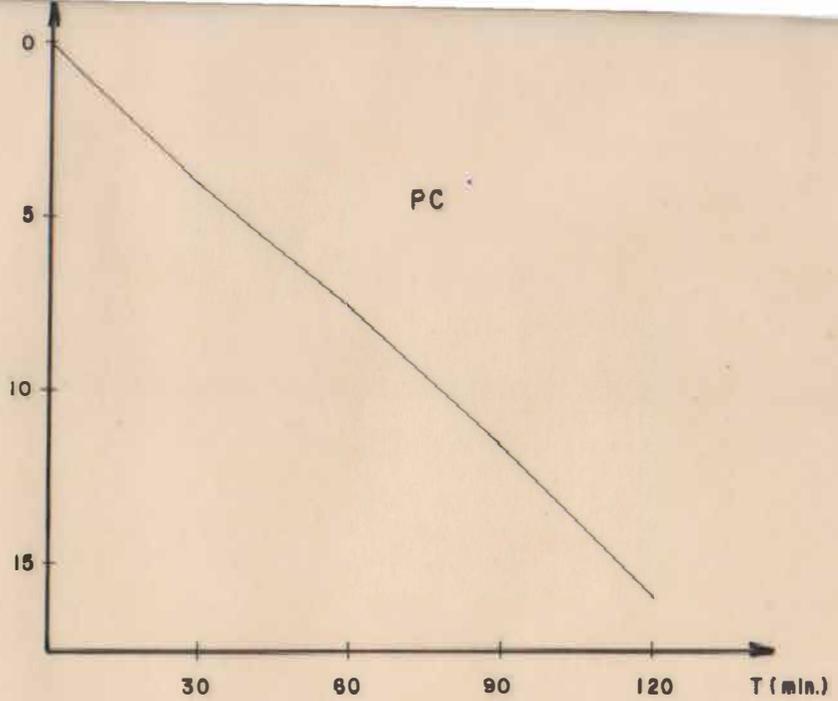
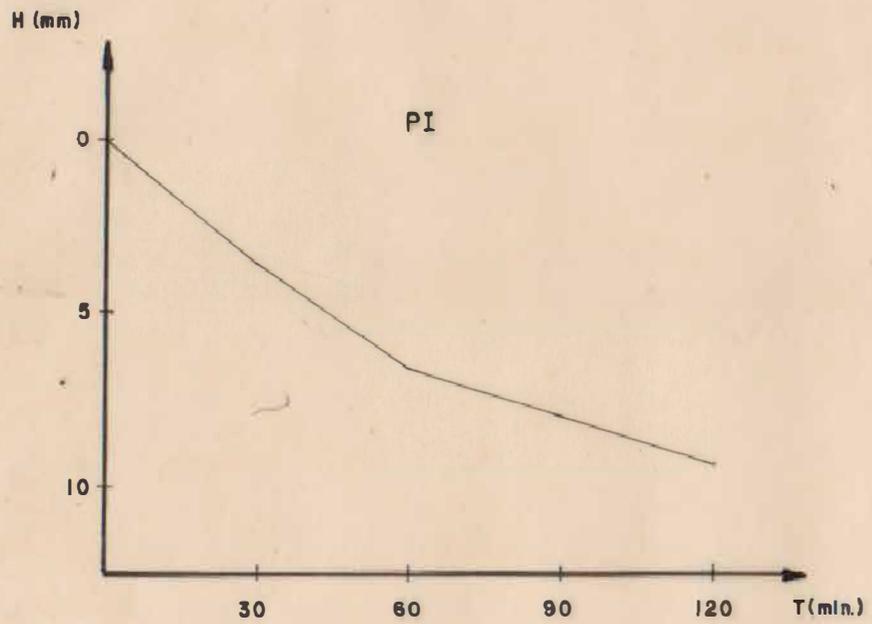


GRAFICO III

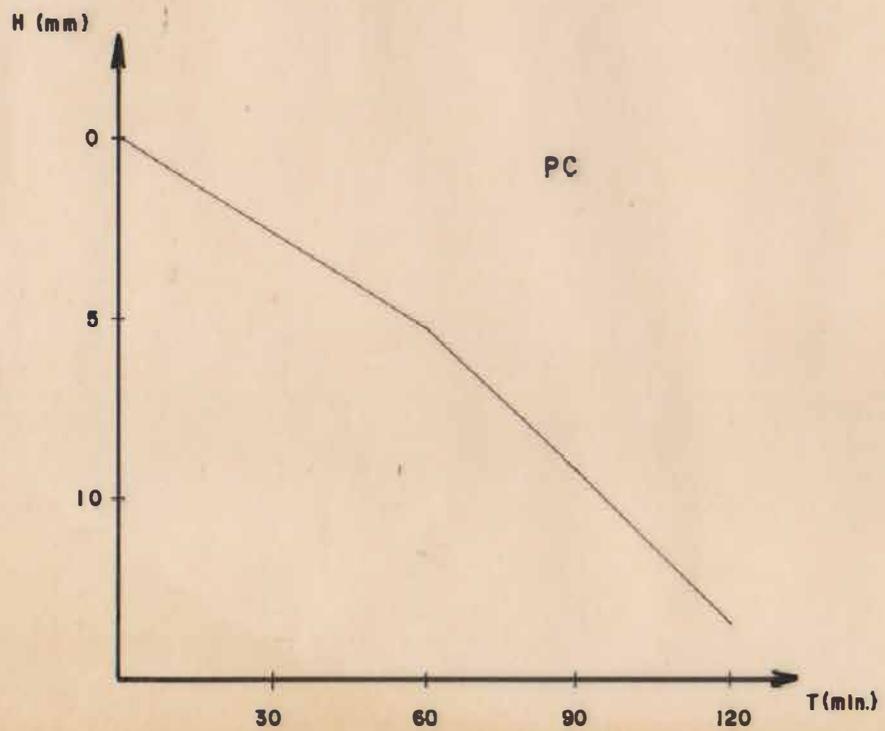
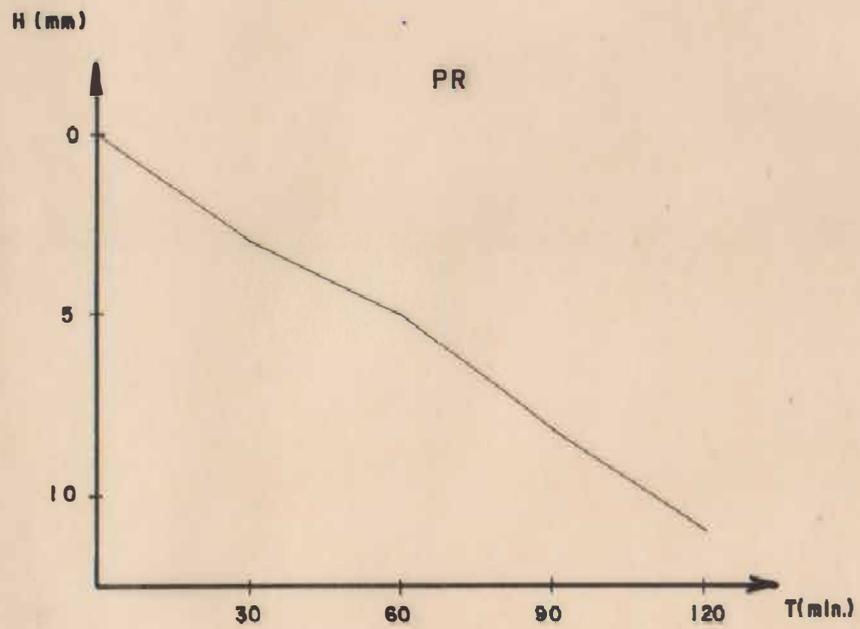
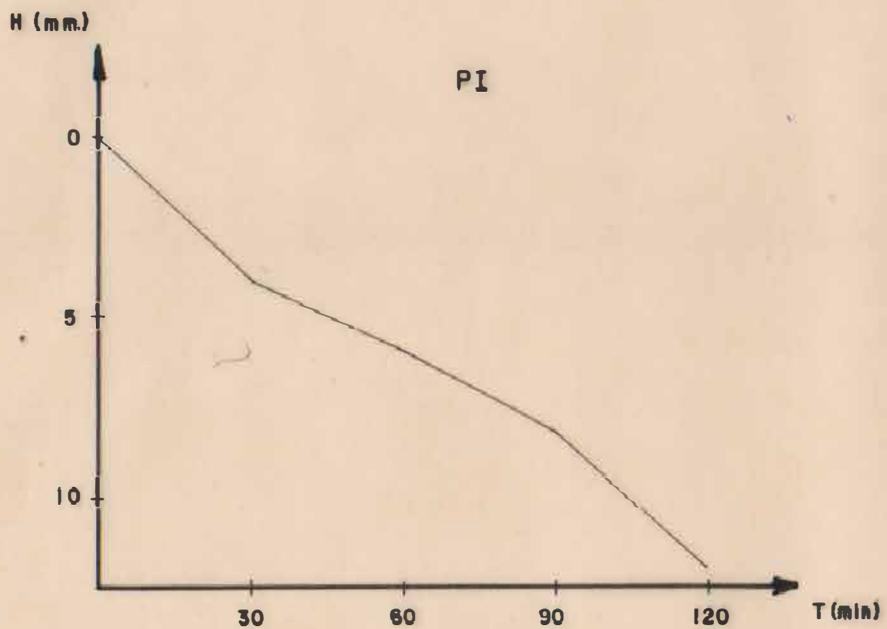


GRAFICO IV

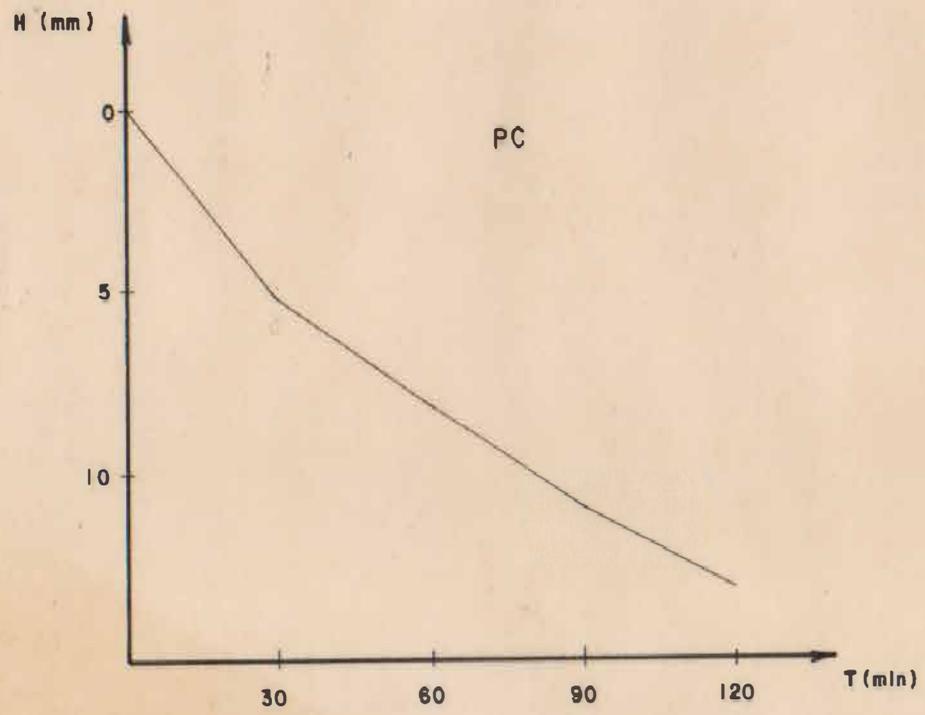
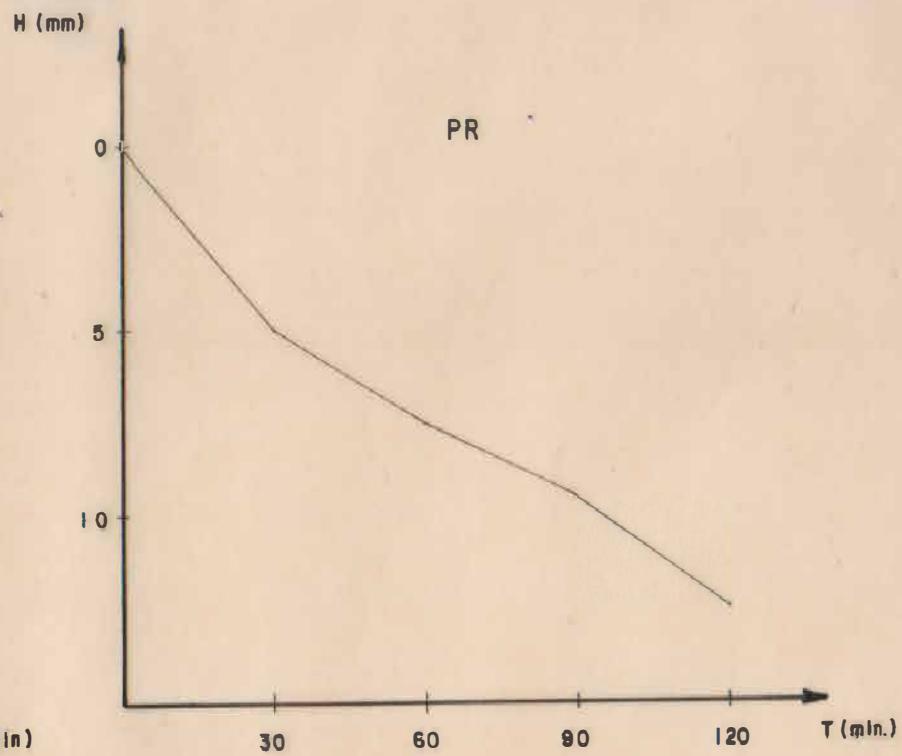
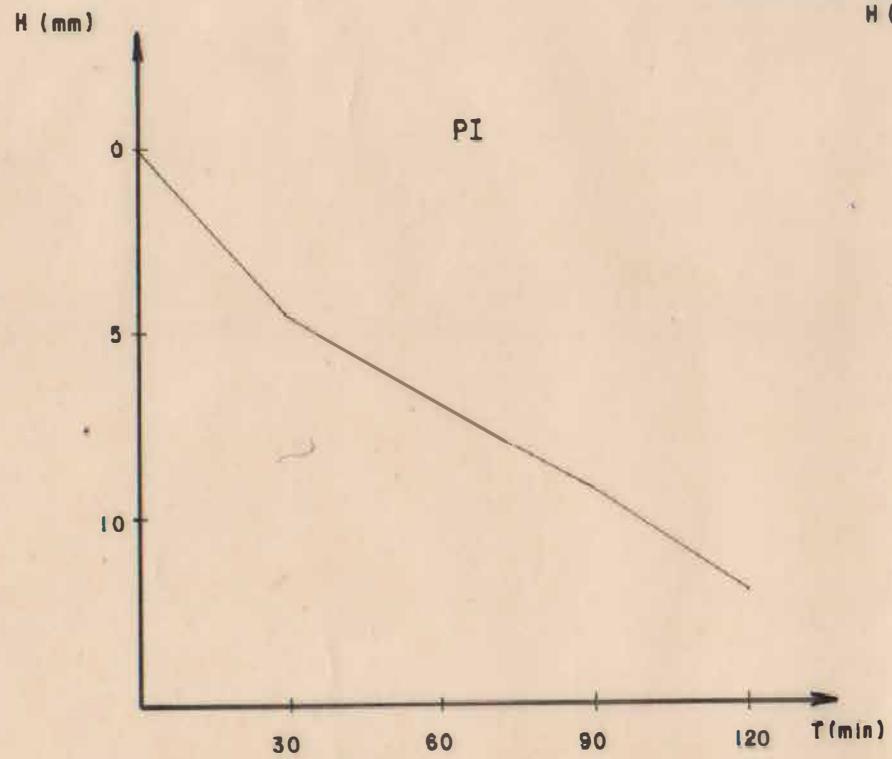


GRAFICO V

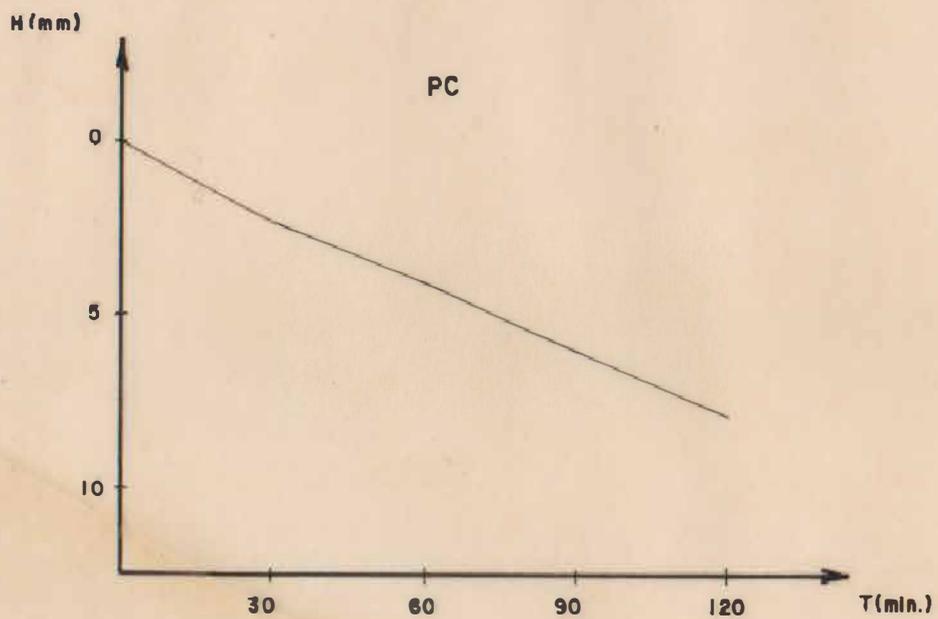
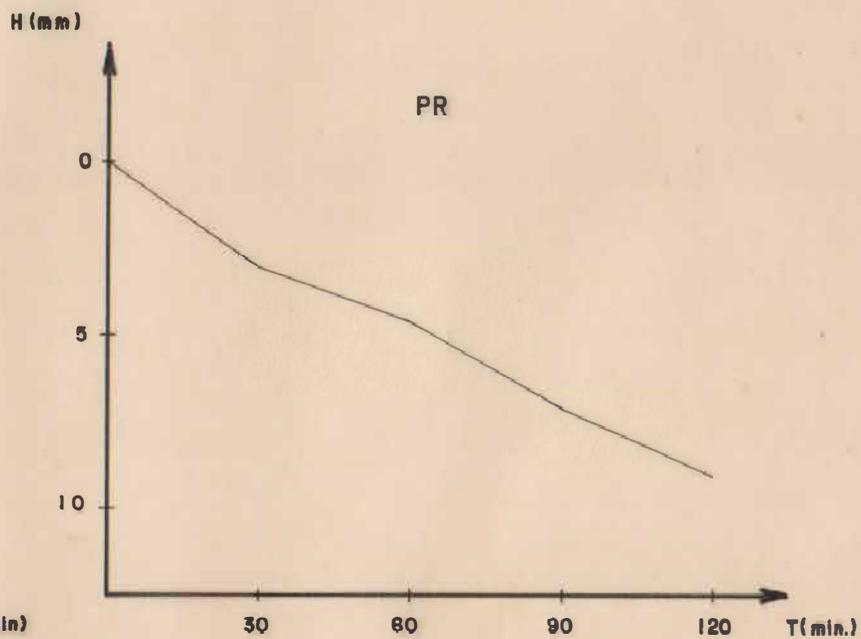
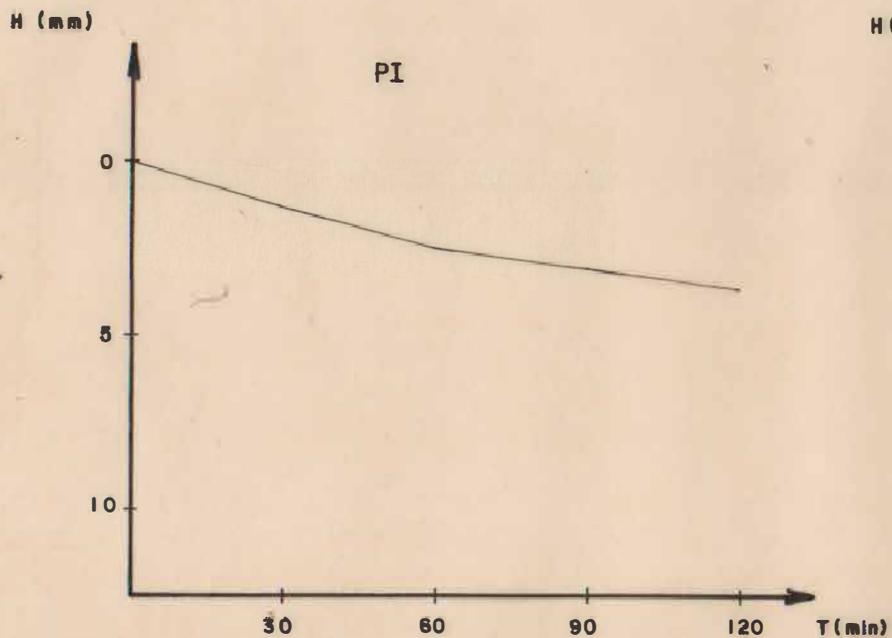


GRAFICO VI

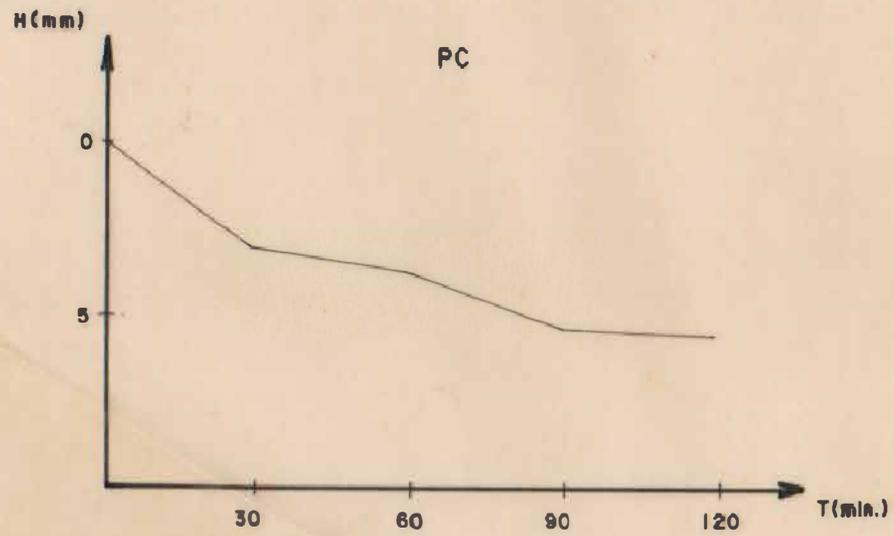
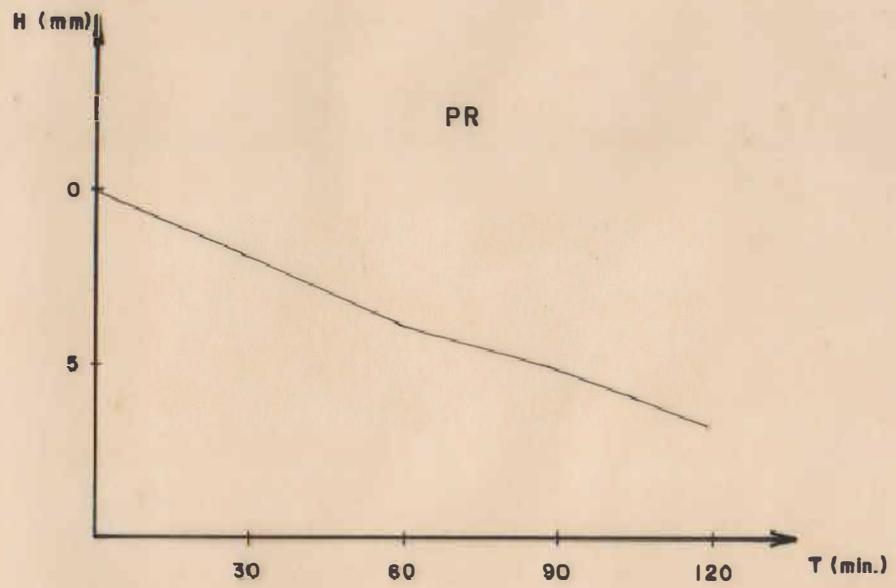
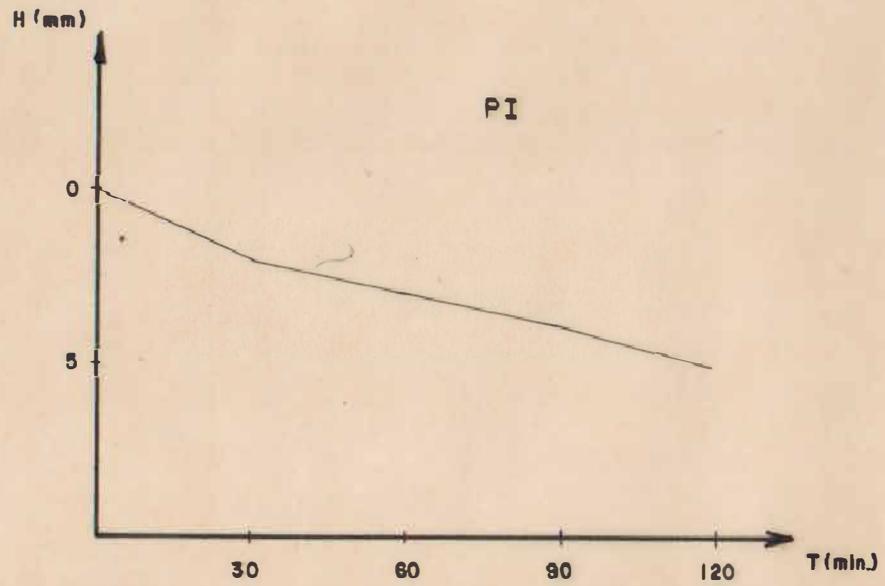


GRAFICO VII

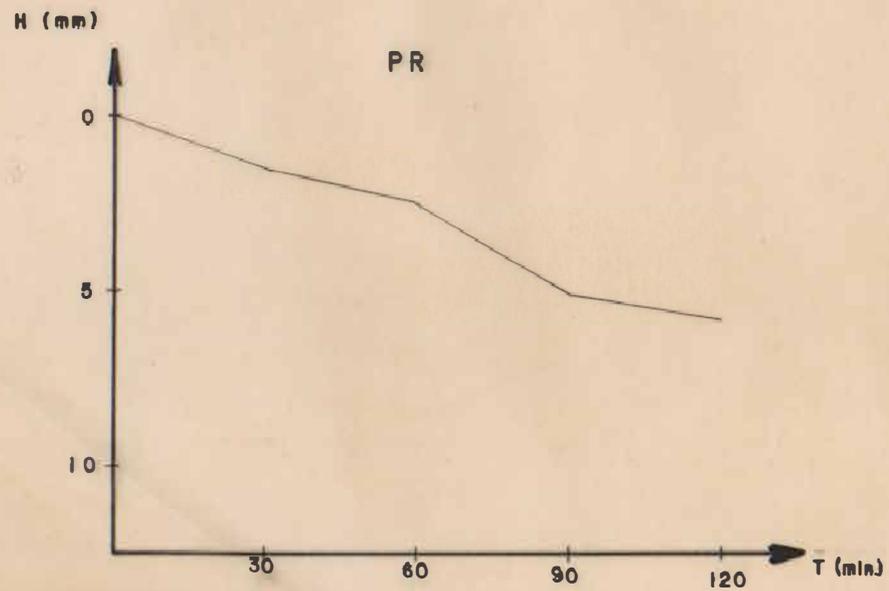
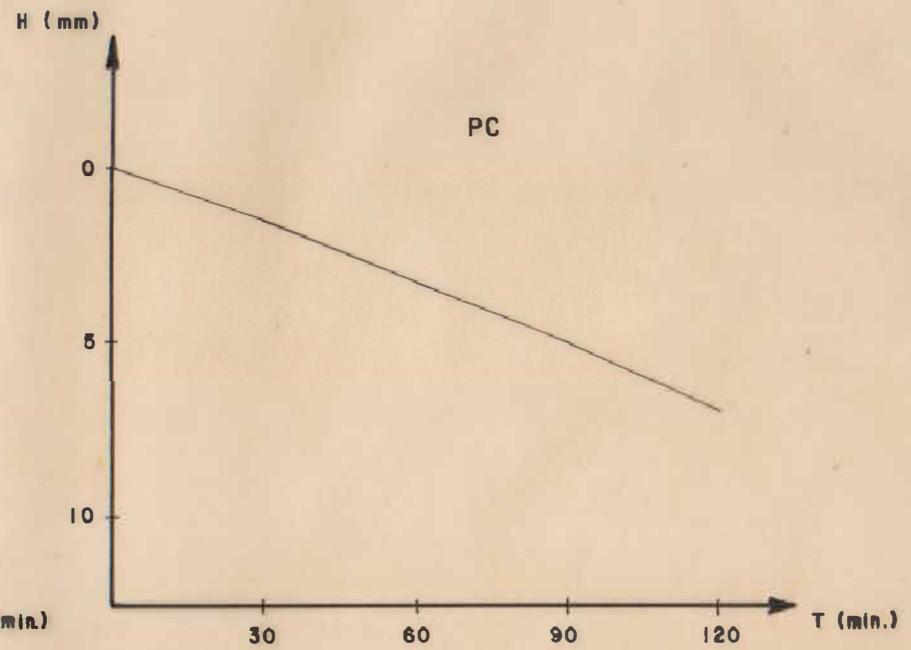
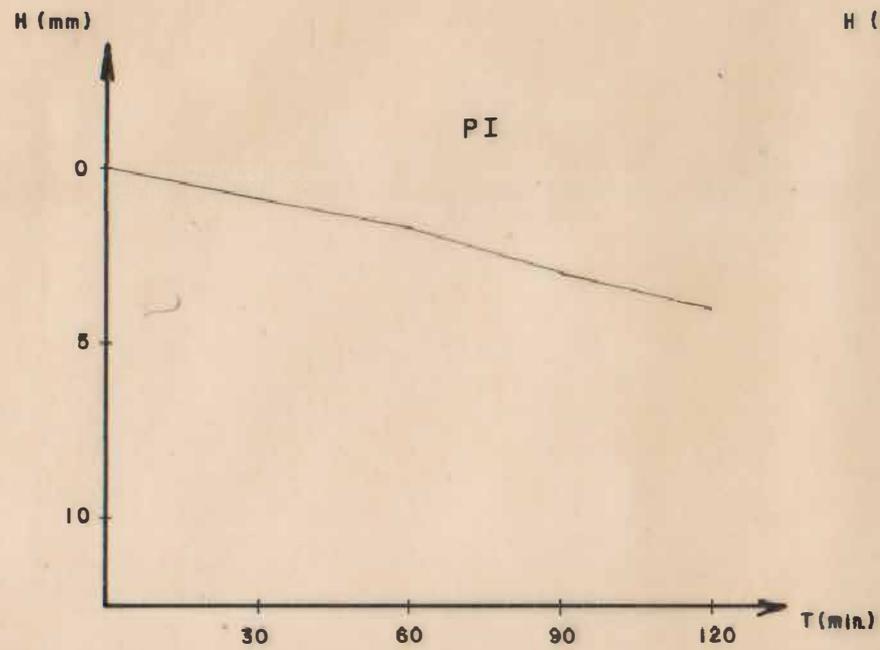


GRAFICO VIII

