

Universidad Nacional de Ingeniería

*Programa Académico de Ingeniería
Química y Manufacturera*



“PROYECTO DE INVESTIGACION: Purificación de Caolines Nacionales Destinados a la Industria Papelera”

—————:o:—————

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

Ing. Químico Manufacturero

EDWIN TELLEZ DEXTRE JARA

PROMOCION 1978 - 1

LIMA • PERU • 1980

A MIS QUERIDOS PADRES
QUIENES ME INCULCARON
LOS DESEOS DE SUPERA-
CION Y PERSEVERANCIA
PARA LOGRAR MI ANHELO.

A MIS QUERIDOS HERMA-
NOS, COMPAÑEROS INSE-
PARABLES EN LOS MOMEN-
TOS MAS DIFICILES.

A MI PRECLARO ABUELO
EJEMPLO DE OPTIMISMO
Y PERSEVERANCIA

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
AGRADECIMIENTOS	I
PROLOGO	II
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL PROYECTO	
CAP. I.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	
1.1. Denominación, Antecedentes y Ubicación del Proyecto	4
1.2. Naturaleza y Ambito del Proyecto	5
1.3. Entidades y Personas Responsables de la Promoción, Ejecución y Operación del Proyecto	7
CAP. II.- ESTUDIO DE MERCADO	
2.1. Introducción	9
2.2. Definición del Producto	10
2.2.1. Propiedades del Caolin	13
2.2.2. Especificaciones Requeridas para la Industria Papelera	17
2.2.3. Otros Usos del Caolin	22
2.3. Situación de la Industria del Caolin en el Perú.	24
2.3.1. Problemas de la Industrialización	27
2.4. Oferta y Demanda de Caolines en el Perú. Análisis	
2.4.1. Oferta Histórica del Caolin	29
2.4.2. Demanda Histórica del Caolin. Importaciones	31
2.4.3. Demanda Aparente Actual	33
2.4.4. Estructura del Mercado del Caolin en el Perú	35
2.4.5. Proyección de la Demanda Potencial en el Perú	37
2.5. Situación de la Industria del Caolin Purificado en el GRAN. Generalidades	39
2.5.1. Situación en el GRAN. Análisis	39
2.5.2. Estructura del Mercado del Caolin Purificado en el GRAN	42
2.5.3. Proyecciones de la Demanda Potencial de Caolin Purificado en los Países del GRAN	43
2.6. Precio del Caolin Purificado. Precios Históricos.	46

CAP. III.- ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS	
3.1. Introducción	51
3.2. Geología General de las Arcillas	52
3.3. Criterios de Selección. Clasificación	55
A.1. Grupo del Caolín	57
A.2. Grupo de la Halloisita	60
A.3. Grupo de la Montmorril	61
A.4. Grupo de la Illita, Bravaisita, Hidrómica	63
A.5. Grupo de la Attapulgita y Sepiolita	64
3.4. Análisis y Selección de la Materia Prima en el Laboratorio	66
3.4.1. Proceso Aplicado a las Materias Primas	67
3.4.2. Clasificación de las Materias Primas Estudiadas	68
TABLAS DE RESULTADOS	70
CAP. IV.- FUNDAMENTOS TEORICOS SOBRE LA DEFLOCULACION Y FLOCULACION	
4.1. Introduucción	73
4.2. Coloides	74
4.2.1. Propiedades de los Coloides	
a. Electroforesis o Cataforesis	76
b. Electroosmosis o Electroosmosis	78
c. Electrodiálisis	80
4.3. Potencial Z.- Concepto	84
4.4. Mecanismo de la Defloculación	89
4.4.1. La Defloculación como un Proceso Electrocínético	90
4.4.2. La Caolinita y sus Dispersiones Acuosas	92
4.4.3. Acción de los Polifosfatos Alcalinos	95
4.5. Mecanismos de la Floculación	103
CAP. V.- INGENIERIA DEL PROYECTO. INTRODUCCION	
5.1. Ensayos Preliminares de Laboratorio	107
5.1.1. Selección de Materias Primas	107
5.1.2. Tratamiento de las Materias Primas	112
5.1.3. Resultados de los Análisis	114
5.1.4. Evaluación de los Resultados	116
5.1.5. Pruebas Diseñadas en el Laboratorio	117

	<u>Pág.</u>
5.2. Selección de la Alternativa y Parámetros Optimos	121
5.2.1. Resultados Experimentales de la Optimización de los Parámetros de la Primera Extracción	122
5.2.2. Resultados Experimentales de los Parámetros de la Segunda Extracción	128
5.2.3. Discusión y conclusiones de los Resultados de la Optimización	136
5.2.4. Pruebas Experimentales de Floculación	141
5.2.5. Método Optimo de Laboratorio	145
5.3. Diseño de la Planta Piloto	
5.3.1. Proceso Productivo empleado en Planta Piloto. Descripción	147
5.4. Diagrama de Flujo	
5.5. Diseño de la Planta Piloto. Equipos	
5.5.1. Diseño de la Tolva de Alimentación	157
5.5.2. Diseño de la Zaranda	161
5.5.3. Diseño del Disgregador	168
5.5.4. Diseño del Mezclador M-1	171
5.5.5. Diseño del Mezclador M-2	173
5.5.6. Diseño del Sedimentador	175
5.5.7. Diseño del Espesador	176
5.5.8. Diseño y Selección de las Bombas	183
5.5.9. Selección del Secador	188
5.5.10. Selección del Agitador para el Disgregador	190
5.6. Estudios Experimentales en Planta Piloto	
5.6.1. Generalidades	191
5.6.2. Corridas Realizadas en Planta Piloto	192
5.7. Tecnología. Sus Alcances	
5.8. Nuevos Proyectos que se Visualizan con la Presente Investigación	
5.8.1. Producción de Alúmina a partir de las Arcillas Caoliníticas	197
5.8.2. Producción de Sulfato de Alúmina	198
5.8.3. Purificación de Caolines para Recubrimiento en Papeles	199
5.8.4. Purificación de Caolines por el Método de Flotación y Ultraflotación	
5.8.5. Estudio de la Electrodialisis y su Aplicación a los Procesos Tecnológicos.	

CAP. VI.- ESBOZO DEL ESTUDIO DE COSTOS PARA LA PLANTA PILOTO	
6.1. Estimación de los Costos de Producción	201
CAP. VII.-ANEXOS	
7.2.3. Análisis Térmico Diferencial. Estudio de las Materias Primas	
7.2.4. Resultado de los Análisis de los Cao- lines Procesados. Tablas 7.2.4.1., 7.2.4.2., 7.2.4.3.	
7.3.2. Curvas Experimentales de Optimización de la Primera Extracción	
7.3.3. Curvas Experimentales de Optimización de la Segunda Extracción	
7.3.4. Estudio Experimental de la Floculación. Gráficos Resultantes	
7.3.5. Proceso Alternativo para la Purificación de Caolines para Papel. Flotación	
7.3.6. Curvas Experimentales en Planta Piloto.	

BIBLIOGRAFIA INDICADA.

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a: Sociedad Paramonga Ltda. S.A. que ha sido la empresa auspiciadora del Proyecto, especialmente a la Gerencia de Planeamiento y Desarrollo Corporativo del Ing. Leonardo Valle Torres, a la Ing. Dorís Maraví de Muscari, Jefe del Departamento de Procesos Industriales, por su gestión y constante apoyo a la Investigación en nuestra Universidad, al Ing. Juvenal Cabezas, Director del Proyecto, a mis asesores: Ing. Luis A. Macchiavello F. e Ing. Mario Rojas Delgado por sus sugerencias en el presente trabajo, al Ing. Fernando Díaz Ruiz Director del Programa Académico de Ingeniería Química - por todas las facilidades ofrecidas, a los sres. Gabino Barrios Medina y Manuel Paredes por sus eficientes trabajos en el Proyecto.

Agradezco también al Laboratorio de Metalurgia en la persona de la Dra. María Jesús Ojeda, al Ing. Manuel Godoy, Jefe del Laboratorio de Mineralogía de INGEMMET, a la señorita Isabel Vega V. y a todas las personas que de una manera u otra hicieron posible la presentación de este - trabajo de investigación.

Finalmente, un especial agradecimiento a mi alma mater UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.

P R O L O G O

El presente trabajo es el resultado de un Estudio de Investigación Tecnológica realizado desde la fase de Laboratorio y escalado a Planta Piloto para producir caolines destinados a la industria papelera como grado de relleno I y II.

Consta de un estudio objetivo de mercado, tanto a nivel nacional como a nivel del Pacto Andino, con proyecciones de la demanda al año 1990, un análisis para determinar la situación de la industria del caolin, en nuestro país donde se demuestra que todavía no producimos caolines para papel.

En la Ingeniería del Proyecto se presenta la tecnología desarrollada la cual se ha hecho en base a los resultados obtenidos de la Investigación de la fase Laboratorio y Planta Piloto construido en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UNI y por último, se hace un esbozo del estudio de costos de todo lo referente a la producción a nivel de Planta Piloto.

Con respecto a la obtención del producto es preciso recalcar que el proceso se ha determinado netamente en base a la investigación por lo que no se ha necesitado de tecnología extranjera en ninguna de las fases del proceso. Todos los parámetros obtenidos son el producto de la misma.

Por otro lado, con respecto a los Equipos y Accesorios, casi en la totalidad son de fabricación nacional o pueden ser fabricados con la misma calidad competitiva.

En cuanto a llevarse a cabo el Proyecto a nivel Industrial se tiene la seguridad de que se obtendrán beneficios para el país, ya que traería consigo el ahorro de divisas por sustitución de la importación de productos extranjeros que en calidad son competitivos y además la generación de divisas por la puesta de nuestro producto en los países del Grupo Andino.

Dejo constancia de que el producto obtenido por el proceso que ha sido realizado en la fase de Laboratorio, es de óptima calidad, por lo que ha sido certificado por los análisis realizados en Papelera Atlas, cuyos resultados muestran que están muy por debajo de las especificaciones indicadas por las normas.

También es menester dejar constancia que toda aquella información técnica obtenida y la desarrollada a través de este estudio, ha sido originada por un proyecto de Investigación Tecnológico Industrial auspiciado por Sociedad Paramonga Ltda. S.A. con el 2% de la Renta Neta.

Igualmente, como consecuencia de la presente investigación, Sociedad Paramonga Ltda. S.A., amparada en los derechos adquiridos al concretar este Proyecto está tramitando la patente respectiva ante el ITINTEC. Por lo tanto, la información que presento será general y para mayor información recurrir a los informes de S.P.L.S.A.

EL AUTOR

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL PROYECTO

1. El presente trabajo es el resultado del Proyecto de Investigación realizado en el Dpto. de Procesos Industriales de la Universidad Nacional de Ingeniería, la cual ha satisfecho la confianza depositada por la Empresa Auspiciadora Sociedad Paramonga Ltda. a pesar de múltiples problemas financieros presentados por la situación inflacionaria del país.

2. Del estudio de mercado realizado se concluye que hasta la fecha no existe en el país ninguna empresa productora de caolin de alta pureza como el requerido para la Industria Papelera, por lo que este insumo es importado completamente.

Uno de los factores principales es que no se tenía la tecnología adecuada para la purificación de dicho mineral, por lo tanto la presente investigación tecnológica podría solucionar dicho problema.

3. El producto obtenido cumple con las especificaciones requeridas para la industria papelera, las cuales fueron fijadas por Sociedad Paramonga Ltda. S.A. para el grado de relleno Tipo I y II.

Es más, el producto satisface muy por debajo las especificaciones de otras industrias tales como de Pinturas, Cerámica, Cauchos, Refractarios, algunos tipos de plástico, etc.

4. Del estudio de la Oferta y Demanda realizado se concluye que no hay oferentes de caolin para papel en el País y al GRAN, y en cuanto a la demanda cada vez es más creciente observando que el 99% de las impor-

taciones corresponde a la Industria Papelera y estimándose una demanda aparente de 18,000 TMA para el año 1990.

5. Del estudio realizado se concluye que el problema de industrialización obedece a las siguientes causas:

Materia Prima.- Puesto que hasta la fecha no existe un estudio racional que demuestre las reservas de los yacimientos de caolin en cantidad, accesibilidad y ubicación necesarios para establecer una planta de producción de caolin económicamente. Por lo tanto se plantea hacer la investigación geológica de las canteras.

Investigación Tecnológica y "Know How" de Diseño y Construcción.- Puesto que hasta la fecha no existe en el país y el GRAN alguna entidad diseñadora y constructora de una planta para la beneficiación de los minerales no metálicos.

La presente investigación ha demostrado con pruebas en Planta Piloto tener la tecnología adecuada para beneficiar caolines.

6. Desde el punto de vista geológico el caolin nacional es relativamente joven o está en una etapa de transición de caolinización por lo que se recomienda buscar las canteras productoras de rocas altamente caolinizadas, es decir, con poca cantidad de sílice libre "grit" principal impureza indeseable, y poco contenido de fierro y sulfuros para garantizar la buena blancura.
7. En la explotación de las canteras de caolin se debe hacer en zonas donde se encuentra abundancia de agua.

8. De las pruebas realizadas con caolines de proceden -
cias diferentes, son mejores los caolines de la zona
de Cajamarca-Jaén y la Ancash - Huaraz por tener bue
na calidad y alto rendimiento, ver Tablas 7.2.4.1. y
7.2.4.3. del Anexo.
9. La defloculación es la operación utilizada para con-
seguir una buena dispersión y por lo tanto una alta
purificación.

Se presenta dos tipos, una defloculación aniónica y
otra catiónica, las cuales deben ser controlados me-
diante el pH, la temperatura, relación sólido-líquido
y tipo de defloculante.
10. Sería recomendable hacer una investigación con el ob
jeto de ver la factibilidad de producir un tipo de
defloculante que sea selectivo para los silicatos de
alúmina.
11. Para la purificación de caolines hay varios métodos
alternativos, a saber la flotación con espumantes, la
flotación con aire, la Electrodialisis, la ultra flo
tación, y el proceso seleccionado en la investiga
ción, la cual se considera el más económico de acuer
do a la magnitud y objetivos del Proyecto.
12. Uno de los problemas de la purificación de los caoli
nes nacionales es que contiene demasiada sílice li -
bre "grit" la cual se encuentra muy finamente dividi
da inclusive menores de la malla 325 y pasa a través
de los equipos de purificación.
13. En la investigación se ha desarrollado un método de
análisis de SiO_2 basado en Espectrofotometría, con
el uso de una solución patrón distribuido por la Merck
con el nombre de TITRISOL, la cual nos dá un error de

más o menos 0.02%. Con este método que es rápido y económico se desecha el método convencional del uso del crisol de platino, ver sec. 5,2.3.2.

14. Es importante la selección de los materiales de construcción de los equipos, especialmente las bombas, puesto que están sometidos a lodos de alta abrasividad, para los cuales recomiendo el uso de una bomba de desplazamiento positivo y el uso de tuberías aceradas recubiertas con un poliuretano moldeable (ADI-PRENE).
15. La presente investigación ha generado y puede generar otros proyectos de investigación según pruebas determinadas experimentalmente en el Laboratorio; son las siguientes: Producción de Alúmina a partir de arcillas caoliníticas, Producción de sulfato de alúmina, caolines para recubrimiento o pigmentos, Estudio de la flotación y ultra flotación para beneficiar caolines de alta pureza, Estudio de la Electrodialisis y sus aplicaciones tecnológicas.
16. De la estimación de los Costos de Producción realizado a nivel de Planta Piloto se puede decir que es relativamente costoso, pero cuando la producción se realice a nivel industrial éstos disminuirán sustancialmente por el volumen de producción y además habría una rentabilidad adicional debido a los productos agregados a producir como son la sílice (cuarzo) para vidrio, la alúmina y sulfato de alúmina.

CAPITULO I

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1. DENOMINACION, ANTECEDENTES Y UBICACION DEL PROYECTO

Dentro del contexto formado por el planeamiento de Sociedad Paramonga Ltda. S.A. (S.P.L.), para maximizar la utilización de sus recursos, encontramos que en el sector Industrial papelerero existía un insumo completamente importado que se conoce con el nombre de - caolín o Arcilla Inerte y que se utiliza en la industria papelera como carga en diferentes grados.

Esta arcilla que se encuentra en la naturaleza, debe ser necesariamente purificada para ser utilizada como relleno o como recubrimiento en la industria papelera ya que se encuentran contaminadas con impurezas indeseables de cuarzo, fierro, óxidos, etc., que no darían papeles de alta blancura.

Es así como de ser estudiado y aprobado por ITIN TEC, el Proyecto de Investigación Tecnológica, PURIFI-

CACION DE CAOLINES NACIONALES DESTINADOS A LA INDUSTRIA PAPELERA, S.P.L. conjuntamente con un equipo de Ingenieros-Investigadores de la Universidad Nacional de Ingenieria decidió llevar adelante el desarrollo del Proyecto.

El proyecto por tanto tiene la finalidad de determinar la tecnología más adecuada hasta Planta Piloto, partiendo de ensayos prácticos en laboratorio y la planta piloto para producir en el Perú caolines equivalentes a los que actualmente se importan, con características mejoradas en grados de: impurezas, sedimentación, color, abrasividad y tamaño de partícula.

1.2. NATURALEZA Y AMBITO DEL PROYECTO

El presente estudio es básicamente un estudio tecnológico para la producción del caolín como relleno (filling) para la industria papelera, pero cabe mencionar que según los resultados obtenidos en algunas especificaciones se ha cumplido plenamente para el grado de recubrimiento.

El estudio se hizo usando los caolines impuros de producción nacional (materia prima) con los cuales los suministradores locales no han podido satisfacer las especificaciones requeridas para la industria papelera.

Se estimó en S/.2'300,000.00 el costo global del Proyecto de Investigación y su duración en 10 meses, pero por diferentes motivos imprevistos, se tuvo que prorrogar dos meses más el proyecto teniendo una duración total de 12 meses y ascendiendo a un monto global de S/.4'500,000.00 aproximadamente.

Los resultados del proyecto de investigación permitirán determinar y ejecutar las instalaciones que se requieran en el país para producir caolines de alta pureza (sobre el 99%) y blancura a partir de caolines impuros.

Además, la producción de caolines purificados en el Perú permitirá sustituir las importaciones de este insumo, que si dependiera de abastecedores extranjeros, demandaría divisas que excederían los U.S.\$3'500,000.00 anuales siempre y cuando las plantas instaladas para producir papeles (incluyendo papel periódico) operen a plena capacidad.

También el Perú exportaría caolines a los diferentes países del Grupo Andino (GRAN) ya que según los estudios no hay ningún país del GRAN que produzca caolines en cantidades y dentro de las especificaciones para la industria papelera y casi todo el consumo es importado.

El presente proyecto de investigación, por tanto, ofrece los siguientes incentivos:

- a. Ahorro de divisas por sustitución de las importaciones de caolines.
- b. Abastecimiento regular a las industrias que actualmente requieren caolines de pureza superior al 99% y conforme a especificaciones.
- c. Mejorar la proporción de insumos nacionales como componentes en la producción de papeles.

1.3. ENTIDADES Y PERSONAS RESPONSABLES DE LA PROMOCION, EJECUCION Y OPERACION DEL PROYECTO

Sociedad Paramonga Ltda. S.A. es la Empresa responsable de la promoción y ejecución de los estudios correspondientes.

ITINTEC, es el Organismo Oficial que supervisa el Proyecto, pues los gastos ocasionados por éste son deducidos del 2% de Investigación Tecnológica (Ley # 18350).

La Universidad Nacional de Ingeniería, es responsable de proveer los servicios necesarios ya sea Servicios Industriales y el personal investigador, asistentes y operativos.

La Unidad Operativa encargada de desarrollar el Proyecto de Investigación está formada de la siguiente manera:

SOCIEDAD PARAMONGA LTDA. S.A.

Director del Proyecto: Ing. JUVENAL CABEZAS O.

Coordinador: Ing. ILDEFONSO SALINAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Investigador Ejecutivo: Ing. EDWIN T. DEXTRE JARA

Ing. ERICK JUSCAMAITA L.

Investigador Asistente: Bach. NANCY HERPERA ROJAS

Asistente: Sr. MANUEL PAREDES.

CAPITULO II

ESTUDIO DE MERCADO

2.1. INTRODUCCION

En este capítulo se hace un estudio general del Mercado con el objeto de mostrar la importancia del producto y por lo tanto de la necesidad de desarrollar una tecnología adecuada acorde a nuestra realidad.

Como observaremos más adelante, se trata de un producto de importación no sólo para el Perú sino para toda la sub-región Andina, por lo que el Estudio de Mercado se ha realizado incluyendo a los países del Grupo Andino (GRAN). Esto puede ser fundamentada por la situación favorable de aprovechar las ventajas naturales del Perú, ya que existen yacimientos de caolines en muchas zonas del Perú, como son Cajamarca, Huaraz, Trujillo, Pisco, Arequipa, etc., que actualmente están casi sin explotación, no sólo como caolín sino como otros productos agregados que también pueden ser factible de aprovecharlos, tales como obtención de Alúmina,

sulfato de alúmina, otros grados de caolín, sílice para vidrio, etc., algunos de los cuales han sido producidos en el Laboratorio de Análisis Instrumental en la presente investigación.

2.2. DEFINICION DEL PRODUCTO

2.2.1. GENERALIDADES

El caolín es el término general utilizado para la arcilla blanca de alta calidad, de grano fino y cristalizada que consiste básicamente del mineral de "caolinita" que responde a la fórmula química de un Silicato de Aluminio Hidratado: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$ y peso molecular 258.09.

La nacrita y la dickita pertenecen al mismo grupo de mineral arcilloso, y tienen la misma composición química que la caolinita, pero ligeramente diferente en su unidad estructural.

Etimológicamente, el nombre caolín proviene del chino Kaulin que significa "alta montaña",

nombre dado a una colina cerca de Jauchan Fu en China , donde el material es explotado desde hace centurias para las famosas lozas chinas.

Comercialmente se le conoce por varios nombres: Arcilla de porcelana, arcilla blanca lavada, bolblaco, bolus alba, kaulinun leve, tierra alba, etc. Específicamente, caolín (Perú, Argentina, México) arcilla blanca (Chile), Caulín (Brasil), arcilla alba (España), light kaolin (Inglaterra).

El caolín que se purificó en la presente investigación está destinado a la industria papelera, y se utiliza como relleno y recubrimiento.

a) RELLENO.- Como en el proceso de fabricación de papel se usa fibras celulósicas. Entonces esta produce una delgada trama que es necesario rellenar. La adición de minerales seleccionados, tal como el caolín, carbonato de calcio, TiO_2 , etc., permite cubrir los vacíos entre las fibras celulósicas y crear una hoja lisa y clara y con otras propiedades que faciliten la buena impresión.

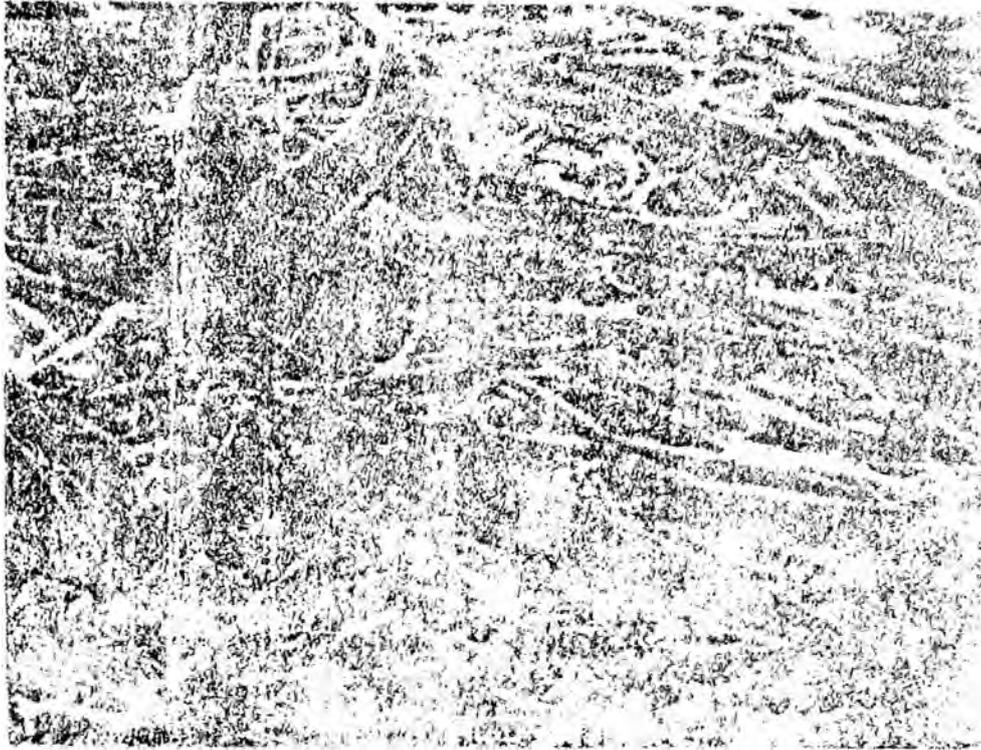


fig. (2.2.1.) VISTA MICROSCOPICA DE UNA HOJA DE PAPEL CON CAOLÍN COMO RELLENO



fig. (2.2.2) MICROFOTOGRAFIA ELECTRONICA 21,000X DEL TAMAÑO DE UNA PARTICULA DE CAOLIN COMERCIAL (Al-Sil-At-HO₂) PARA RECUBRIMIENTO EN PAPEL

El caolín para relleno representa un 8.4% en peso de la hoja y tiene una granulometría fina que se ajusta al pequeño tamaño de los espacios vacíos entre las fibras, proporcionando una buena retención en la hoja. El papel resultante tiene mayor peso y una textura suave al tacto (Ver fig. 2.2.1.)

Los microporos en la superficie absorben la tinta de tal manera que la impresión no traspasa la hoja ni se reproduce en el lado reverso (tener alta opacidad).

b) COMO RECUBRIMIENTO.- En la mayoría de las aplicaciones de imprenta se requiere una mayor suavidad final del papel que en aquel acabado desarrollado sólo por relleno con caolín. Una forma de alcanzar esta calidad es aplicando una finísima película pigmentada de caolín, grado recubrimiento en la superficie de una hoja de papel. (Ver fig. 2.2.2.).

En adición a la obtención de superficies suaves o de alta lisura, los caolines grado re-

cubrimiento proporcionan alta blancura (alto brightness) y buena capacidad así como características especiales, dependiendo del tipo de papel. Una formulación típica para recubrimiento es:

	Partes en Peso
Arcilla de recubrimiento N°2 (caolín)	<u>100.0</u>
Sólidos de unión (encolado)	17.0
Dispersante (Pirofosfato tetrasódico)	0.15
Lubricantes (Estearato de Amonio)	0.50
Dispersante	0.15
N_aOH al 10% para ajustar el PH	

2.2.1.1, PROPIEDADES DEL CAOLIN

La composición químico-teórica del caolín es:

Elemento	% Peso
Al	20,99
Si	21,71
H	1.55
O	55.81
	<u>100,00</u>

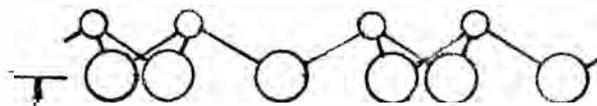
El análisis químico de una caolinita ideal y de un caolín típico se muestra en la Tabla I.

TABLA I

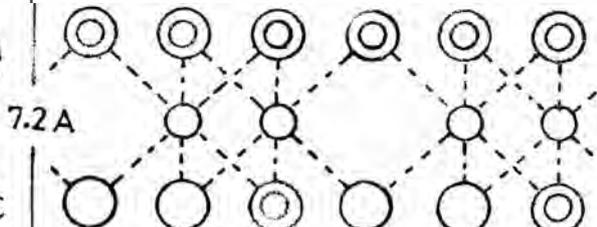
ANALISIS QUIMICO DE UN CAOLIN

OXIDO	% PESO CAOLINITA IDEAL	% PESO CAOLIN TIPICO
SiO ₂	46.54	45.20
Al ₂ O ₃	39.50	37.02
H ₂ O	13.96	13.27
Fe ₂ O ₃	---	0.27
FeO	---	0.06
MgO	---	0.47
CaO	---	0.52
Na ₂ O	---	0.36
K ₂ O	---	0.46
H ₂ O (Absorbedor)	---	1.55
TiO ₂	---	1.26
	<hr/> 100.00	<hr/> 100.38

Hoja Tetraedral
Silicio-Oxigeno



Hoja de
Gibbsite.



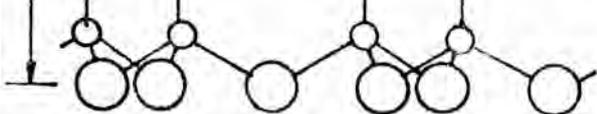
6(OH)

4 Al

Eje-C

4O + 2(OH)

Hoja Tetraedral
Silicio-Oxigeno



4 Si

6 O

Eje - B

CAOLINITA (OH)₈ Al₄ Si₄ O₁₀

FIG. Nº 2.2.3a ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA DE LA CAOLINITA.

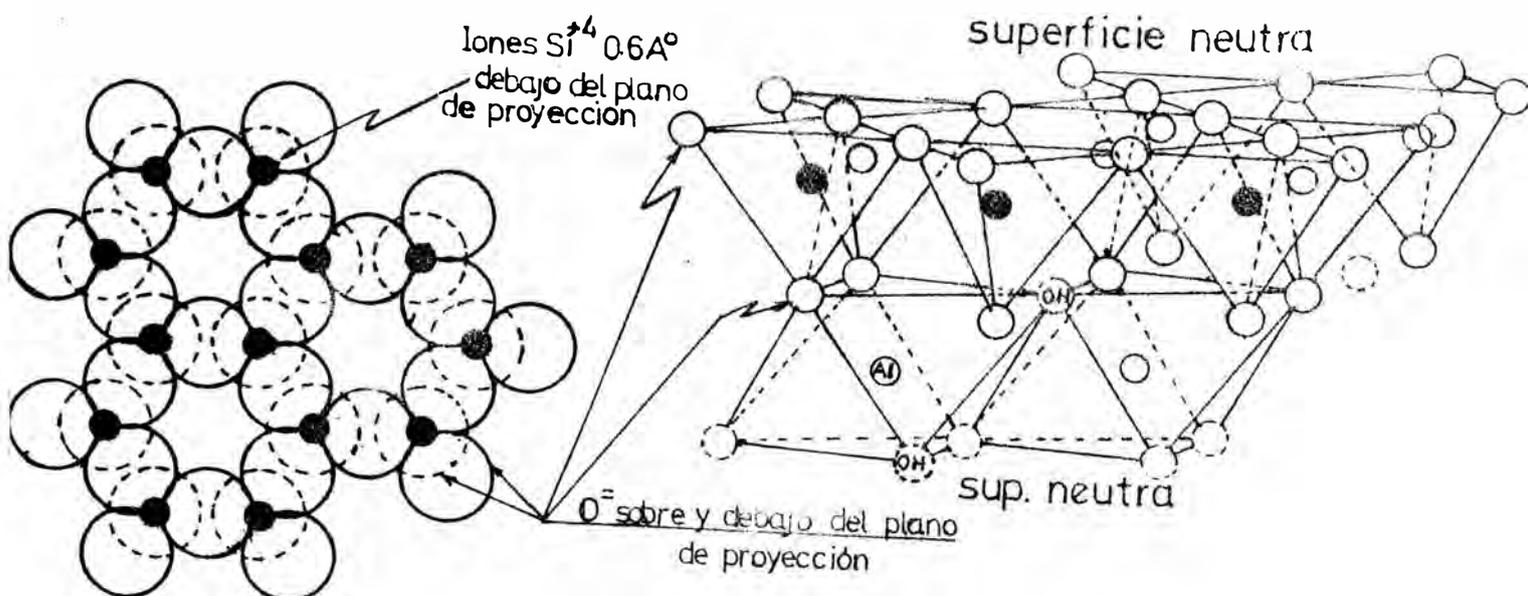


FIG.2.2.3.b - Vista de planta y elevación de los grupos de Silice contenidos en la estructura del Caolin y otros Silicatos relativos

La Unidad básica del caolín como hemos mencionado es la caolinita, ver fig. 2.2.3. cuya estructura consiste de una plaqueta de alúmina octaédrica y unas láminas de silicio tetraédrico, combinados ambos en tal forma que las puntas de los tetraedros estén orientados en una sola dirección y hacia el centro de la nueva unidad común compuesta por láminas tetraédricas y octaédricas. En las capas comunes a los grupos octaédricos y tetraédricos, dos tercios de los átomos están compartidos por silicio y el aluminio y entonces los oxidrilos se convierten en oxígenos formando luego una especie de apilamientos que parecen hojas de un libro, ver fig. 2.2.4.

Las propiedades típicas de los diferentes grados comerciales de caolín se muestran en la Tabla II.

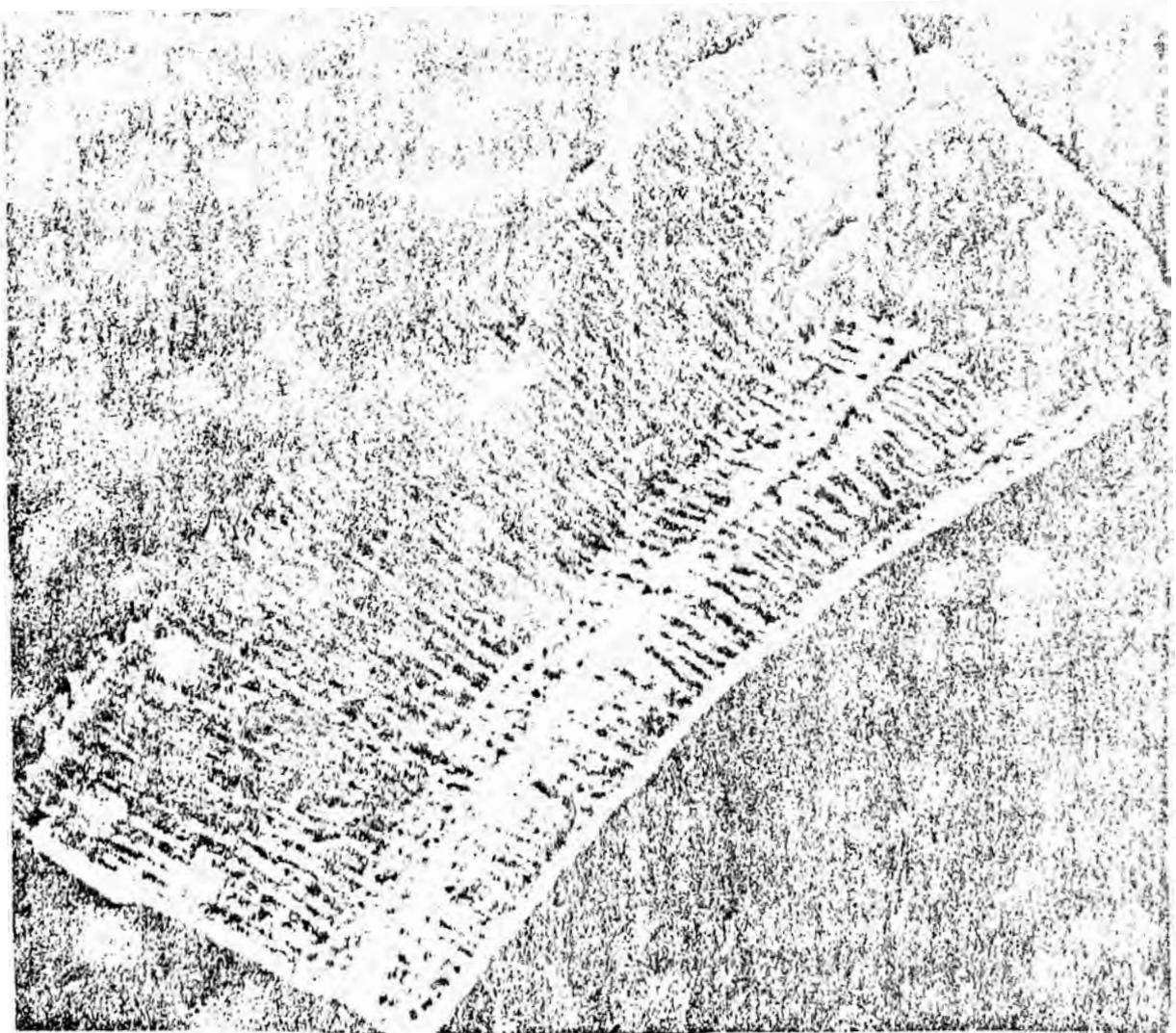


fig. (2.2.4) MICROFOTOGRAFIA ELECTRONICA 3,450X DE
UN CAOLIN BRUTO (BOOKLET) MOSTRANDO LA PLATELETA
INDIVIDUAL NATURAL

TABLA II. PROPIEDADES TÍPICAS DEL CAOLIN

PROPIEDAD	ARCILLA BRUTA	ARCILLA FINA	ARCILLA CALCINADA (*)
APARIENCIA	Polvo blanco	Polvo blanco	Polvo blanco
Brightness a Reflexión se ca 4,57mm (%)	82	87	91
Peso Específico	2.58	2.58	2.63
Indice de Refracción	1.56	1.56	1.56
Absorción de Aceite (1b/100/b)	32	45	55
Tamaño de Partícula, Diámetro equivalente esférico ESD (micras)	3.5	0.5	1.5
Residuo (%) Malla 325	0.10	0.01	0.02
Dureza (moh)	2.5	2.5	2.5

Además, la unidad básica caolinita presenta las siguientes propiedades:

Punto de Fusión 1850°C en estado puro
 Fractura : Concoidal
 Clivaje : Exfoliación perfecta en láminas hexagonales, delgadas pero no elásticas.

(*) La diferencia de la constitución de las partículas puede verse en la fig(2,2.5) que muestra un caolín calcinado grado pigmento.

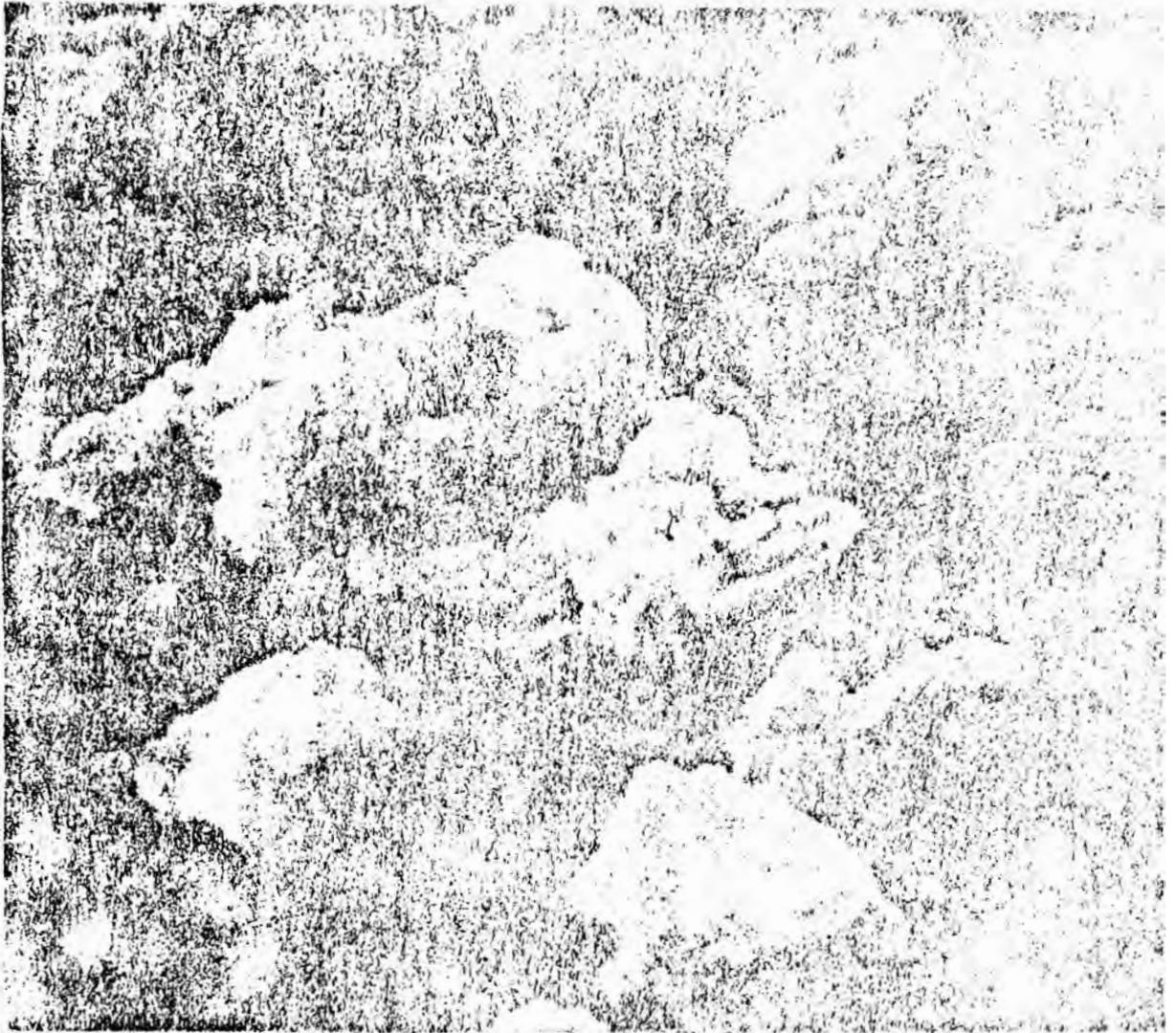


fig. (2.2.5) MICROFOTOGRAFIA ELECTRONICA (13,680X)
DE UN CAOLIN COMERCIAL GRADO PIGMENTO DE UN
ARCILLA CALCINADA. NOTAR EL RACIMO DE LAS PARTI-
TICULAS FUNDIDAS

2.2.2. ESPECIFICACIONES REQUERIDAS PARA LA
INDUSTRIA PAPELERA

Como los caolines nacionales, tienen impurezas de cuarzo, fierro, óxidos, etc., por lo que no son aptos para utilizarlos en la industria del papel. Por lo que el producto debe cumplir ciertas normas tanto para el grado de relleno (filler) del tipo I y II, ver Tabla III y para el grado de recubrimiento (coating) ver Tabla IV de Especificaciones.

Las principales especificaciones que deben cumplir los caolines para la industria papelera, son:

- a) No abrasivos, es necesario conocerlo para evitar que el equipo de producción se deteriore prematuramente. El método para evaluarlo es el "valley Abrasion Meter" (TAPPI 32, N°11, 516 19 novbre. 1949) que consiste en un aparato, por medio del cual se determina la pérdida de peso de un trozo de tela metálica estandarizada sometida a ensayo. Un bloque perforado roza, en un movimiento de vaiven, sobre un trozo de tela de máquina, previamente secada a 110°C y pesada

al mgr. mientras una suspensión acuosa de la carga a ensayar se hace pasar a través del bloque y la tela. Luego de un cierto tiempo se determina la pérdida de peso.

b) Malla fina. Más del 90% del caolin debe pasar la malla tyler 325.

c) Sedimentación Lenta.- la cual nos asegurará la buena retención en la hoja, esto implica una máxima sedimentación de 10% en 3 horas.

d) Alta blancura.- Para no bajar la claridad y brillantez de la hoja de papel. La blancura se define como la relación entre la luz reflejada difusa por un material blanco (objeto del análisis) y la luz reflejada difusa por una superficie de óxido de magnesio, preparada en condiciones "standard" fijada como valor 100% operando con una longitud de onda 457 $m\mu$ en un ángulo de incidencia de 45° y un ángulo de observación de 0° . Hay varios equipos que se utilizan como el "Photo-volt meter" que ilumina normalmente y recoge la reflexión bajo un ángulo de 45°

TABLA III. NORMA DE CALIDAD PARA RELLENOS Y OPALIZANTES SEGUN SOCIEDAD PARAMONGA LTDA. DIVISION PAPEL

ENSAYOS	UNIDADES	RELLENO TIPO I			RELLENO TIPO II		
		ESPEC.	MAX.	MIN.	ESPEC.	MAX.	MIN.
BLANCURA	% foto volt.	82	---	78	78	--	74
SEDIMENTACION	cc. en 180' susp en 10 gr en 100 cm ³	3	10	--	3	10	--
ABRASIVIDAD	Nº Valley	10	30	--	10	30	--
MALLA	Residuo sobre 325	0.10	0.20	--	0.10	0.20	--
HUMEDAD	%	1.0	2.0	--	1.0	2.0	
VISCOSIDAD	Brookfield a 70% sólidos 25°C, 20 RPM, Spindle Nº1, Cp	350	400	--	350.	400.	--

TABLA IV.- NORMA DE CALIDAD PARA RECUBRIMIENTO DEL CAOLIN DE GEORGIA (EE.UU.)

ENSAYOS	UNIDADES	RECUBRIMIENTO TIPO I			RECUBRIMIENTO TIPO II		
		Espec.	Min.	Máx.	Espec.	Min.	Máx.
BLANCURA	% G.E.	87	86.5	----	86	85.5	----
TAMAÑO DE PART.	% 2u	92	90	----	83	80	----
MALLA	% +325	0.01	----	0.02	0.01	----	0.02
VISCOSIDAD	BROOKFIELD 70% Sólidos 20RPM Spindle N°1 (cp)	200	----	300	200	-----	300

G.E. - Es el % de Brightness detectado por el General Electric Reflection Meter según Norma ASTM D-985-50.

FUFNIE.-Testing Kaolin Clays for the Paper, Vol. 55, N°6, June 1972-TAPPI

ESPECIFICACIONES PAPELERAS PARA CAOLINES, GRADO RECUBRIMIENTO (*)

T I P O	Compos. Química %	Peso Esp.	Tamaño Partícula u	Forma de la Partícula	Indice Refrac	Reflectancia % GE	457um	467um	Coefic.de Dispersión 100 S	Abrasividad mg	Compuesto no Volátiles 105°C(%)	Factor de Incineración Cenizas a Carga
CAOLIN N°2	43-52SiO ₂ 34-42Al ₂ O ₃	2.61	0.25-5	Plaquetas	1.55	84.5	87.9	14-16	11	99.6	1.160	
CAOLIN N°1	43-52SiO ₂ 34-42Al ₂ O ₃	2.60	0.25-3	Plaquetas	1.55	91.0	92.0	21	15	88.9	1.14	
CAOLIN CAL CINADO	52SiO ₂ 43Al ₂ O ₃	2.63	0.5 -7	Plaquetas	----	92.0	----	---	140-300	----	----	

(*) Según Normas establecidas por TAPPI

G.E.- Medido con el Espectrofotómetro Registrador, General Electric.

a través de una célula fotoeléctrica protegida con el filtro deseado, este equipo es el que se ha utilizado para los análisis en la presente investigación.

Entre otros equipos tenemos el "L'Electro-Synthse" tipo Spectral, el "Elrepho ", el "Loukometro zeiss".

En todos el modus operandi para determinar la blancura consiste en formar una pequeña pastilla con el polvo objeto de exámen en seco con ayuda de una prensa que le da una dimensión adecuada y se procede a medir según las instrucciones del aparato correspondiente.

- e) Libre de Carbonato. Ya que éstos reaccionarían con el ácido sulfúrico procedente de la hidrólisis del alumbre.
- f) Húmedad Mínima. Para evitar el costo ficticio del peso de agua en el transporte.
- g) Control de la viscosidad. Se hace con el propósito de cuantificar las propiedades de flu-

jo de un caolín. La viscosidad determina la facilidad del bombeo en la fábrica de papel y una baja viscosidad tiende a dar bajo color en el recubrimiento. Hay varias formas de medir la viscosidad, así las viscosidades stormer (o de esfuerzo cortante mediano) y la hércules (de esfuerzo cortante alto). La viscosidad Brookfield (o esfuerzo cortante bajo) que es el método que se ha empleado en la presente investigación.

2.2.3. OTROS USOS DEL CAOLIN

Además de la industria papelerera, los otros usos que se le da, son en:

Pintura

Como medio de carga, la que debe cumplir con:

Brillo de color : 80,5 - 83%

Absorción de aceite: 33 (ASTM.D281-31)

Residuo sobre malla 325: 0.15%

Cerámica

Para la elaboración de vajillas, alfarería, losetas de mayólica de alto grado y porcelana. Las especificaciones no pueden fijarse numéricamente pero los factores importantes son:

Debe estar exenta de fierro

Buena consistencia

Contenido de carbonato de calcio menor del 10%

Una humedad del 10-12%

Plasticidad y contracción en el secado

Tamaño de partícula malla:-200.

Además se utiliza en: Cauchos, sanitarios, calentadores radiantes, catalizadores, compuestos químicos de Al, cosméticos, insecticidas, loza, material aislante, mordientes, refractarios o en productos farmacéuticos, plásticos, etc.

Es necesario hacer notar que nuestro producto purificado según la tecnología investigada, puede cumplir plenamente las especificaciones de la industria cerámica, pintura, etc. (ver resultados de análisis, anexo 7.2.4.)

2.3. SITUACION DE LA INDUSTRIA DEL CAOLIN EN EL PERU

Actualmente, el producto caolín para la Industria Papelera en el grado relleno y recubrimiento es totalmente importada por las diferentes industrias ya que las empresas nacionales no han podido satisfacer las normas papeleras.

En nuestro país las empresas que consumen caolín, son: Sociedad Paramonga Ltda., Industrial Papelera Atlas S.A., Abbot Laboratories Perú S.A., Carlos Erba S.A., Eiba Peruana S.A., etc.

De acuerdo al informe del Ministerio de Industria y Turismo, Oficina de Planeamiento y Promoción, Área de Industrias de Minerales No-Metálicos y Diversos sobre la "situación actual e Identificación de Oportunidades para Inversión", se concluyó que el caolín es uno de los minerales que ofrece las mayores posibilidades para inversión en una planta de procesamiento, ya que representaba una alta posición en el orden de valores de importación, del orden de US\$805,000.CIF anuales.

Además, se estima un aumento en la demanda de caolín de alta calidad para papel la cual se prevee en

12,000Tm/año para cuando la planta de papel periódico de Trujillo opere a plena capacidad.

En el Perú todavía no existe una planta que produzca caolín de alta calidad como el requerido para la industria papelera a pesar de que hasta la fecha - se han realizado varios intentos.

La razón de este fracaso se debe a que hasta el momento no se disponía de una Investigación Tecnológica así como tampoco del diseño y construcción de una Planta para Purificar caolín, entonces los buenos resultados obtenidos precisamente en el presente Proyecto de Investigación, podría ser la alternativa para la implementación de una planta industrial de Purificación del Caolín de diferentes grados en forma rentable.

En cuanto a otros usos del caolín, como relleno para pintura, cerámica, ya existe en el Perú algún tratamiento aunque en forma incipiente. Las empresas productoras son: Agregados Calcáreos S.A. y Moliendas Generales S.A.

Teniendo en cuenta la ubicación de la planta de

papel en el Norte del País, se observa que la evaluación del yacimiento y la localización de la planta de purificación debería estar cerca a Trujillo, por ejemplo, aprovechar el yacimiento de Cascas.

Además, sería conveniente hacer un estudio de prefactibilidad para una planta utilizando el Caolín de Nazca, que según informaciones fidedignas es un yacimiento prometedor. También es necesario en nuestro país realizar una investigación geológica y mineralógica de las arcillas caoliníticas en la zona norte, principalmente así como en otras zonas para determinar las reservas y calidad del mineral.

Según el servicio de Geología de la Dirección General de Minería no ha podido suministrar la información requerida sobre la ubicación geográfica, reservas y calidad de los yacimientos de caolín. Se sabe que hay grandes yacimientos en el Norte como en Cajamarca, Huamachuco, Ancash, etc. Después de la consulta con algunas de las Jefaturas de Minería y ciertos proveedores privados se tiene los siguientes yacimientos denunciados:

- 1) ISABEL, Copara, Nazca, Dpto. de Ica.

- 2) PARADERO Colca, cerca a Imata Dpto. de Arequipa.
- 3) ZESTOY, San Jerónimo, Huancayo, Dpto. de Junín
- 4) BELLAVISTA, Namora, Dpto. de Cajamarca
- 5) GAVILAN, Km 13 al Sur de Cajamarca
- 6) PALO SOLO, Jaén -Cajamarca
- 7) ZANJON DE LAS BRUJAS, Humay, Dpto. de Ica
- 8) CATAAC, Recuay, Dpto. de Ancash.

2.3.1. PROBLEMAS DE INDUSTRIALIZACION

La problemática de la industrialización deberá superarse en orden de importancia como sigue:

a) MATERIA PRIMA

Hasta la fecha no hay un estudio racional que pruebe las reservas de los yacimientos de caolín en cantidad, accesibilidad y ubicación, necesarias para el establecimiento de una planta que pueda producir grados de caolín económicamente, para suministrar las necesidades futuras de la Industria del papel, pintura, jebe y plásticos en

nuestro país y los posibles mercados del Grupo Andino.

b) INVESTIGACION TECNOLOGICA Y KNOW HOW
DE DISEÑO Y CONSTRUCCION

En cuanto a este rubro no existe hasta el momento en el Perú algún diseñador-constructor de plantas que pueda instalar una planta que produzca los mejores grados de caolín.

En cuanto a este problema la presente Investigación Tecnológica realizada por Sociedad Para - monga Ltda.-Universidad Nacional de Ingeniería, ha demostrado según los resultados obtenidos en Planta Piloto, tener la tecnología adecuada para poder saldar estos problemas.

Es más, el diseño, la construcción y montaje de la Planta puede ser realizado enteramente por personal peruano.

c) OTROS FACTORES

Tenemos que el proceso usual de tratamiento del caolín requiere una gran cantidad de agua. Si

no se toma precauciones como es la recirculación sería un problema, el agua a utilizar se recomienda con una dureza regular y bajo contenido de hierro. También se debe considerar el factor transporte de materias primas.

2.4. OFERTA Y DEMANDA DE CAOLINES EN EL PERU, -ANALISIS

2.4.1. OFERTA HISTORICA DEL CAOLIN

La Oferta del caolín para papel es nula, ya que no existe ninguna planta que produzca dentro de estas normas, La producción nacional sólo provee caolín para las industrias de cerámica, pinturas y otros rellenos, las que no exigen caolines de alta pureza.

En el cuadro adjunto 2.4.1, se muestra la información estadística no actualizada de la producción nacional del caolín en forma agregada (o producción bruta), Como se observa existen variaciones significativas en la producción; esta situación no permite obtener la tasa de crecimiento

to promedio anual, ni tampoco hacer una apreciación del volumen real de la explotación y procesamiento del caolín.

CUADRO 2.4.1.

PRODUCCION NACIONAL DE CAOLIN (Bruta)

AÑO	PRODUCCION (Tm)	VALOR (Miles de Soles)
1968	115	184
1969	1,604	1,070
1970	1,549	1,167
1971	395	297
1972	1,100	3,300
1973	1,180	2,622
1974	4,077	6,343
1975	9,516	1,5194
1976	3,697	1,2588
1977	5,113	-----

FUENTE: Anuarios de Minería del Perú,
Ministerio de Energía y minas

2.4.2. DEMANDA HISTORICA DEL CAOLIN (IMPORTACIONES)

La demanda en el Perú de Caolín purificado está concentrada principalmente en la industria papelerera representada básicamente por Sociedad Paramonga Ltda. S.A. y Papelera Atlas S.A.

En el cuadro adjunto 2.4.2. presento las Importaciones del Caolín en el Perú, según se observa la dependencia del caolín de alta pureza es grande y de estas, las empresas papeleras son las que consumen un mayor potencial representando casi un 99.0% para 1978 del total de Importaciones como se ha podido deducir del listado selectivo por partidas de aduanas.

Según los datos históricos la mayor demanda fue para el año 1975 (4,107TM) y la menor para 1976; esta variación brusca se debe posiblemente a la recesión económica que hubo por estos años,

Además, para los años 1977 a 1979 la demanda disminuye y es útil observar que para este

año el valor en miles de soles es mucho mayor, casi duplicándose por TM, ésto se explica debido a los aspectos coyunturales de la situación político-económica de nuestro país, como es la devaluación de la moneda y por lo tanto la crisis económica.

CUADRO 2.4.2,

IMPORTACIONES DEL CAOLIN EN EL PERU

AÑO	CODIGO ARANCELARIO	TM/A	VALOR (Miles Soles)
1966	25.07.02.00	1,628	1,695
1967	25.07.02.00	3,543	4,483
1968	25.07.02.00	2,928	4,974 (a)
1969	25.07.02.00	2,918	4,718
1970	25.07.02.00	2,190	4,317
1971	25.07.02.00	1,944	4,513
1972	25.07.02.00	2,354	7,060
1973	25.07.02.00	2,910	11,708
1974	25.07.02.00	2,228	7,526
1975	25.07.02.00	4,107	16,843*
1976	25.07.02.00	1,027	6,277*
1977	25.07.02.00	3,387	31,803
1978	25.07.02.00	3,204	67,284
1979	25.07.02.00	2,238	77,871

FUENTES: Estadística Industrial DGE-050-MIT
Ministerio de Comercio, Sec. Estadística

(a) Este aumento de valor se debe a la gran devaluación de la moneda que se inició en Agosto de 1967 y como se observa este aumento continua cada vez mayor.

* Estos datos no se toman para la regresión, debido a que los factores que la originaron, no son normales.

2.4.3. DEMANDA APARENTE ACTUAL

Aún con una escasa información estadística disponible respecto a la producción nacional se puede mostrar en el Cuadro 2.4.3. la demanda interna aparente, o sea, la suma de las importaciones más la producción nacional ya que no hay exportación del producto.

En el cuadro se observa que debido a las variaciones sin explicación aparente en las magnitudes de producción se puede notar que para el período 1968-1973 no hay crecimiento, y después de 1973, la producción aumenta, alcanzando ésta su valor máximo en los años 1974-1975 con una tasa de crecimiento promedio de 116%.

C U A D R O 2.4.3.

DEMANDA INTERNA APARENTE

A Ñ O	PRODUCCION (TMA)	IMPORTACION (TMA)	EXPORTACION (TMA)	TOTAL (TMA)
1968	115	2,928	---	3,043
1969	1,604	2,918	---	4,522
1970	1,549	2,190	---	3,739
1971	395	1,944	---	2,339
1972	1,100	2,354	---	3,454
1973	1,180	2,910	---	4,090
1974	4,077	2,228	---	6,305
1975	9,516	4,107	---	13,623
1976	3,697	1,027	---	4,724
1977	5,113 *	3,387	---	8,500

* Calculado por Regresión Lineal y con el ajuste respectivo.

2.4.4. ESTRUCTURA DEL MERCADO DEL CAOLIN EN EL PERU

El análisis detallado de la Estructura del Mercado mostrado en el Cuadro 2.4.4; se obtuvo del listado selectivo por Partidas de Aduanas en la cual se disponía de las Libretas Tributarias de las Empresas Importadores con las cuales se pueden identificar la Razón Social de la Empresa y también la cantidad que importaron.

Los datos se obtuvieron en la Oficina de Estadística e Informática del Ministerio de Comercio.

Del cuadro se observa que el 99% de las Importaciones lo realiza la Industria Papelera y el resto está destinado a otros usos especiales, como la Industria Farmacéutica y elementos eléctricos.

CUADRO 2.4.4.

ESTRUCTURA DE MERCADO DE IMPORTACIONES DE
CAOLIN-Año 1978

<u>EMPRESA</u>	<u>Kgr. BRUTO</u>	<u>PORCENTAJE DEL TOTAL</u>
Sociedad Paramonga Ltda. S.A.	2,266,308	70.7
Industrial Papelera Atlas S.A.	894,292	27.9
Industria del Cobre S.A.	20,240	0.63
Sociedad Anónima Peruana Carlos Erba	14,175	0.44
Otros *	8,586	0.33
TOTAL	3'203,601	100.00

FUENTE: Oficina de Estadística e Informática del Ministerio de Comercio

* Aquí están incluidos una gama de empresas, que utilizan caolin para diversos usos, pero en cantidades poco significativas para ser desagregado.

2.4.5. PROYECCION DE LA DEMANDA POTENCIAL EN EL PERU

La proyección de la demanda de caolín importado se hará en forma conservadora hasta el año 1990, ver cuadro 2.4.5. El método de Proyección utilizado es por una regresión lineal para lo cual he supuesto que el conjunto total de factores que generaron el sistema de causas en el pasado permanecerá en el futuro, además la desviación estandar se supone casi constante para todos los puntos.

También considero la proyección de la demanda aparente sólo con un propósito comparativo con la proyección del caolín importado rubro en el cual está básicamente nuestro producto que es para papel.

CUADRO 2.4.5.

PROYECCIONES DE LA DEMANDA (TMA) EN EL PERU

AÑO	DEMANDA IMPORTADA (TMA)	DEMANDA APARENTE (TMA)
1980	3,174	10,197
1981	3,272	10,979
1982	3,370	11,761
1983	3,467	12,543
1984	3,565	13,325
1985	3,663	14,107
1986	3,761	14,900
1987	3,859	15,671
1988	3,957	16,453
1989	4,055	17,236
1990	4,153	18,000

Del análisis de Regresión Lineal de la demanda histórica del Cuadro 2.4.2. se llega a las siguientes expresiones:

$$D. \text{ Importada TMA} = 97.9(\text{año}_x - 1970) + 2097$$

Coeficiente de Correlación : 54%

D. Aparente TMA = $782 (\text{año}_x - 1970) + 1594$

Coeficiente de Correlación: 82%

2.5. SITUACION DE LA INDUSTRIA DEL CAOLIN PURIFICADO EN EL GRUPO ANDINO

GENERALIDADES

La línea de Producción del Caolín para la Industria Papelera en el área andina constituye un considerable factor de desarrollo pues según las informaciones todavía no hay una planta productora.

Aunque para otras industrias hay una producción que todavía es muy incipiente, tal es el caso de Venezuela y Colombia que realizaron algunas importaciones.

2.5.1. SITUACION EN EL GRUPO ANDINO. ANALISIS

En el cuadro 2.5.1. se muestra las importaciones del GRAN y como se observa la demanda es grande; por lo que en el proyecto de localizar una

Planta en el Perú debe considerarse en el Estudio de Mercado a los países integrantes de este Grupo.

Del Cuadro se deduce que el primer consumidor es Venezuela, seguido por Colombia, Perú, Ecuador y Bolivia con una demanda muy pequeña.

CUADRO 2.5.1.

DEMANDA HISTORICA DEL CAOLIN PURIFICADO EN EL GRAN

(TMA)

A Ñ O	BOLIVIA		COLOMBIA		ECUADOR		PERU		VENEZUELA		TOTAL	
	TMA	US\$(a)	TMA	US\$	TMA	US\$	TMA	US\$	TMA	US\$	TMA	US\$
1966	N.D.	N.D.	4,653	346,570	84.1	157,830	1,628	60,971	N.D.	N.D.	6,365	565,371
1967	57.0	4,300	2,255	174,682	25.2	87,587	3,543	162,428	6,478	254,702	12,358	683,699
1968	40.8	3,279	3,194	260,930	39.9	4,703	2,928	128,527	9,799	315,316	16,002	712,755
1969	96.5	10,574	2,484	211,389	49.7	7,016	2,918	123,540	9,104	280,623	14,652	633,142
1970	47.8	7,551	3,862	355,268	58.3	18,233	2,190	111,550	12,668	404,634	18,826	877,236
1971	38.3	6,096	3,948	354,751	68.6	9,774	1,944	116,615	8,862	408,700	14,881	895,936
1972	39.1	4,468	3,736	354,040	24.6	5,646	2,354	162,748*	11,136	423,527	17,289	950,429
1973	1.0	439	2,732	271,942	70.4	12,845	2,910	267,310	17,837	836,570	23,570	1'389,115
1974	32.0	7,981	5,412	671,229	11.1	1,240	2,228	173,490	17,075	1'136,873	17,075	1'990,813
1975	142.0	45,357	1,214	242,836	64.1	17,724	4,107	374,289	16,542	1'227,129	22,069	1'907,335
1976	84.7	22,796	3,208	520,774	394.1	81,921	1,027	90,490	24,530	1'879,040	29,249	2'595,021
1977	41.9	15,703	5,549	1'139,700	624.5	150,477	3,387	241,740	30,087	N.D.	39,689	N.D.

FUENTE: ONIT.- Oficina de Estadística del Acuerdo de Cartagena (Anuarios de Comercio Exterior)

N.D. Información no disponible

* A partir de este año en adelante, para convertir soles CIF a Dólares US. se usó el tipo de cambio a fin del período proporcionado por el Banco Central de Reserva del Perú

(a) US\$ son Dólares CIF.

2.5.2. ESTRUCTURA DEL MERCADO DEL CAOLIN PURIFICADO EN EL GRAN

No se ha podido obtener la información de la Estructura del Mercado existente para cada uno de los países del GRAN, por no estar disponibles estos datos en los Centros de Información del país.

Sin embargo se ha podido obtener mediante un documento del Acuerdo de Cartagena⁽¹⁾ en el cual se estima que el consumo es el siguiente, según las cantidades que exporta Estados Unidos, principal proveedor de este producto:

Industria papelera	70.5%
Como Recubrimiento	42.3%
Como Relleno	28.2%
Cauchos	12.2%
Pinturas	5.5%
Cerámica	8.2%
Otros Usos	3.6%

2.5.3. PROYECCIONES DE LA DEMANDA POTENCIAL
DEL CAOLIN PURIFICADO EN LOS PAISES DEL
GRAN

Como se observa, los datos históricos de la demanda varían mucho en cada país, entonces - de un análisis para ajustar a una regresión lineal se tomó como año base 1970, debido a que mantiene un mejor coeficiente de correlación.

La gran variación de los factores de la década del 60 y del 70 se deben a la crisis económica derivada por el alza del petróleo en esta última década,

Luego para aplicar la regresión lineal se ha asumido que el conjunto de factores que generaron el sistema de causas en el pasado se mantendrá en el futuro además se supondrá constante la desviación estándar para todos los puntos.

CUADRO 2.5.3.

PROYECCIONES DE LA DEMANDA HISTORICA DE CAOLIN PURIFICADO EN EL GRAN

(TMA)

AÑO	BOLIVIA	COLOMBIA	ECUADOR	PERU	VENEZUELA	TOTAL
1978	71	4,450	612	2,978	28,886	34,871
1979	75	4,636	698	3,076	31,452	37,552
1980	79	4,821	783	3,174	34,018	40,233
1981	83	5,006	868	3,272	36,584	42,914
1982	87	5,192	953	3,370	39,149	45,595
1983	91	5,377	1,039	3,467	41,715	48,276
1984	95	5,563	1,124	3,565	44,280	50,957
1985	99	5,748	1,209	3,663	46,846	53,638
1986	103	5,933	1,295	3,761	49,412	56,319
1987	107	6,119	1,380	3,859	51,978	59,000
1988	111	6,404	1,465	3,957	54,544	61,681
1989	115	6,489	1,550	4,055	57,109	64,362
1990	119	6,675	1,636	4,153	59,675	67,042
1991	123	6,860	2,031	4,251	62,240	69,724
1992	127	7,046	2,116	4,349	64,806	72,405

Las Ecuaciones de Regresión son las siguientes:

BOLIVIA: $TMA = 4(\text{Año}_x - 1970) + 35.2$

Coeficiente de Correlación: 48%

COLOMBIA: $TMA = 185.4 (\text{Año}_x - 1970) + 2782$

Coeficiente de Correlación: 49%

ECUADOR: $TMA = 85.3 (\text{Año}_x - 1970) - 154.7$

Coeficiente de Correlación: 80%

PERU : $TMA = 97.9 (\text{año}_x - 1970) + 2097$

Coeficiente de Correlación: 54%

VENEZUELA: $TMA = 2565.7 (\text{Año}_x - 1970) + 5795$

Coeficiente de Correlación: 89%

TOTAL : $TMA = 2,681 (\text{Año}_x - 1970) + 10742$

COEFICIENTE DE CORRELACION: 80%

2.6. PRECIO DEL CAOLIN PURIFICADO

2.6.1. PRECIOS HISTORICOS

El precio del caolín varía en general con el grado de pureza del producto y de acuerdo al tipo de industria que la consume ya que cada Industria requiere un caolín purificado - con ciertas normas específicas.

Como el producto que se ha desarrollado en la presente investigación está orientado a la Industria Papelera y siendo ésta la que consume en un 70% se puede obtener un valor del precio promedio considerando el monto total de importaciones y la cantidad total importada de este producto que como se ha mencionado en secciones anteriores, el 99% corresponde al caolín para papel, dentro del consumo nacional total.

Los precios de caolines de grado comercial para el año 1972, fueron los siguientes según procedencia norteamericana,

GRADO COMERCIAL	PRECIO ctvDólar/lb
Flotado con aire	0.70
Lavado con agua	
Grado relleno para papel	0.98
Grado N°2 para papel	1.60
Grado N°1 para papel	2.00
Delaminated (para pintu ra) y calcinado	3.40

En el cuadro 2.6.1, se muestra los precios históricos del caolín purificado de 1973 a 1979 para Colombia, Perú, siendo el segundo y tercer consumidor en el GRAN de este producto, no incluyo Venezuela por no haber información disponible del precio FOB pero se puede observar la variación de los precios CIF en el Cuadro 2.5.1.1.

CUADRO 2.6.1.1.

PRECIO DE IMPORTACIONES FOB EN EL PERU Y
COLOMBIA (HISTORICOS)

AÑO	PERU		ECUADOR		COLOMBIA	
	FOB \$/TM	FLETE \$/TM	FOB \$/TM	FLETE \$/TM	FOB \$/TM	FLETE \$/TM
1973	76	--	117	66	---	---
1974	64	--	70	42	---	---
1975	87	4	193	84	108	92
1976	94	7	146	62	70	92
1977	93	22	129	112	107	98
1978	129	120	210	111	113	105
1979	126	29	218	115	118	114

Según el Cuadro anterior se aprecia que el precio FOB de caolín considerando al Perú ha tenido oscilaciones en los últimos años y algo similar ocurre con los otros países.

Para hacer un estudio desagregado del precio total que tienen que pagar los importadores de caolín para tener el producto puesto en planta, se tomará 126\$/TM para Perú, 220\$/TM para Ecuador, ver cuadro 2.6.1.2.

Del Cuadro siguiente se puede inferir que el costo del producto caolín puesto en fábrica dependerá de cada país.

Se reitera de que el estudio tiene como fin establecer el precio de Venta en Planta Peruana del producto de tal forma que sea competitivo, se tiene que considerar los diferentes aranceles interandinos y concesiones existentes.

CUADRO 2.6.1.1.

COSTO DE CAOLIN PURIFICADO PUESTO EN PLANTA
(\$/TM)

	PERU	ECUADOR
A. FOB	126	220 (*)
B. Flete (20%FOB)	25	44
C. C&F	151	264
D. Seguro (1.25%C&F)	2	3
F. CIF	153	267
F. Derecho ad-valorem CIF (D.L.22619) ó AEMC 25% CIF	38.3	66.8
G. Impuesto (D.L.22173, prorrogado por D.L. 22376) 10% Advalorem CIF)	3.8	---
H. Impuesto (D.L.22342) 1% adValorem CIF	0.4	---
I. Impuesto (D.L.22202) 10%fletes.	2.5	---
J. Impuesto a los bienes y servicios (D.L.21947) 6% CIF Aduanero	9.0	16.0
K. Comisiones Agente de Adua na, 8%Derecho AdValorem CIF	3.1	5.3
L. Documentación	1.0	1.0
M. Transporte	5.0	5.0
TOTAL	216.1	361.0

(*) Es un valor estimado pues los datos que hallamos eran hasta el mes de Junio.

CAPITULO III

ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS

3.1. INTRODUCCION

En este capítulo desarrollo todo lo correspondiente a los criterios que se han realizado en la selección de la materia prima y en una planta industrial futura, claro está que las bases de la selección se han hecho en función a la calidad y al rendimiento que obedecía al proceso, desarrollado en el laboratorio y planta piloto porque, si bien es cierto que si una materia prima no cumple con el proceso en el laboratorio, con más razón no se podría utilizar en la Planta Piloto.

Además, se desarrolla en una forma general los aspectos geológicos de la formación de las arcillas caoliniticas, también se hace un estudio mineralógico de las arcillas, su clasificación y la situación del caolin como materia prima importante de la presente investigación en dicha clasificación.

Estos conceptos geológicos y mineralógicos son muy importantes analizarlos, debido a que con estos parámetros uno puede escoger la mejor "cantera" tanto en potencial de aprovisionamiento como en calidad de la materia prima para el proceso de la futura planta.

3.2. GEOLOGIA GENERAL DE LAS ARCILLAS

Las rocas arcillosas son rocas sedimentarias de mayor difusión y en cuanto su origen se puede ubicar en una situación intermedia entre las rocas puramente químicas y las elásticas.

En la mayoría de las rocas arcillosas su origen se debe a la meteorización química de rocas magmáticas y otras, pero también hay otras formas de originarse.

Estos productos de meteorización (o de intemperismo) pueden acumularse en el lugar de su origen formando un depósito eluvial (ó arcillas residuales), pero en la mayoría de los casos son arrastrados por las aguas corrientes, para ser depositados en los mares, ríos y lagos.

Los minerales no metálicos más importantes presentes en la composición de las arcillas son: La caolinita, montmorillonita, halloisita, Dickita, hidrómicas, etc.

Haciendo un resumen podemos decir que las arcillas pueden producirse por:

1. Hidrólisis e Hidratación de un silicato (feldespatos) mediante la reacción.



2. Acción de los agentes atmosféricos sobre rocas sedimentarias ricas en arcilla (esquistos) o efecto de una meteorización física.
3. Sustitución de una roca por arcilla-invasora y arrastre de los componentes de aquella en parte o en su totalidad por el agua.

La acción meteorizante es un proceso mediante el cual los minerales se desintegran mecánicamente o químicamente por la variación de la temperatura, la acción del agua, oxígeno, ácido carbónico y organismos. Es así que las rocas que se encuentran en la superficie

terrestre y están sometidos a un ambiente físico-químico nuevo, se tornan inestables y se empiezan a desintegrar por los factores que anteriormente se han mencionado.

Las arcillas también pueden producirse por una alteración hidrotérmica del granito; éste fenómeno de descomposición es en acción del feldespato para formar la caolinita (arcilla) que es una matriz blanda. El cuarzo y la mica permanecen endurecidas sin ningún cambio.

Muchos yacimientos de arcilla han sido transportadas después de la acción de los agentes atmosféricos por gravedad, por el viento, las corrientes de agua, etc., siendo depositados luego en lechos, capas, bolsas dentro de otras capas sedimentarias.

Después de ser depositados pueden ser alterados poco o radicalmente por soluciones que se llevan SiO_2 y álcalis o que introducen compuestos beneficiosos o perjudiciales. Puede haber sustitución de iones, fomento de cristalización o recristalización.

Las arcillas y enquistos se presentan en rocas de todas las edades desde la paleozoica hasta el período actual cuaternario.

3.2.1. CLASIFICACION MINERALOGICA DE LAS ARCILLAS

Actualmente, las arcillas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

A. Cuatro Grupos Cristalinos:

Grupo del Caolín

Grupo de la Montmorillonita

Grupo de la Illita, Bavaizita o hidrómica

Grupo de la Attapulgita.

B. Un Grupo no cristalino

Grupo de la Alofana.

3.3. CRITERIOS DE SELECCION

Si nosotros observamos superficialmente, estas arcillas son semejantes pero muestran propiedades mineralógicas, físicas términas y tecnológicas muy diferentes. Basándome en estos puntos haré una selección de

la materia prima más conveniente para el proceso. El estudio de las arcillas es muy complicado y se requiere el uso de técnicas bastante sofisticadas tales como:

Análisis de Rayos X

Microscopía polarizante

Análisis químico

Densidad de Refracción eléctrica

Deshidratación (ó cambio de base)

Microfotografías Electrónicas

Imágenes de difracción electrónica o de rayos "X".

Análisis térmico diferencial (DTA), ver el Anexo (7.2.3).

De estos análisis podemos decir que el análisis químico de una arcilla tiene un valor limitado para revelar la entidad de la muestra a utilizar pues sólo nos revela la composición como óxidos.

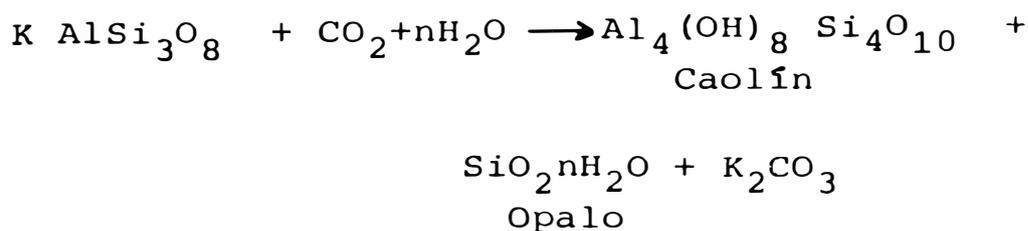
Mientras que un análisis de DTA, Rayos X sí son métodos potentes para hallar la estructura mineralógica.

Seguidamente haré un esbozo de las características mineralógicas principales del grupo cristalino y no cristalino.

A.1. Grupo del Caolín

El caolín básicamente resulta de un proceso de meteorización química mediante un fenómeno de disolución e hidrólisis de las rocas magmáticas y metamórficas ricas en aluminosilicatos (granitos neises, pórfidos cuarcíferos) especialmente feldespatos por ser minerales de mayor difusión entre las rocas magmáticas.

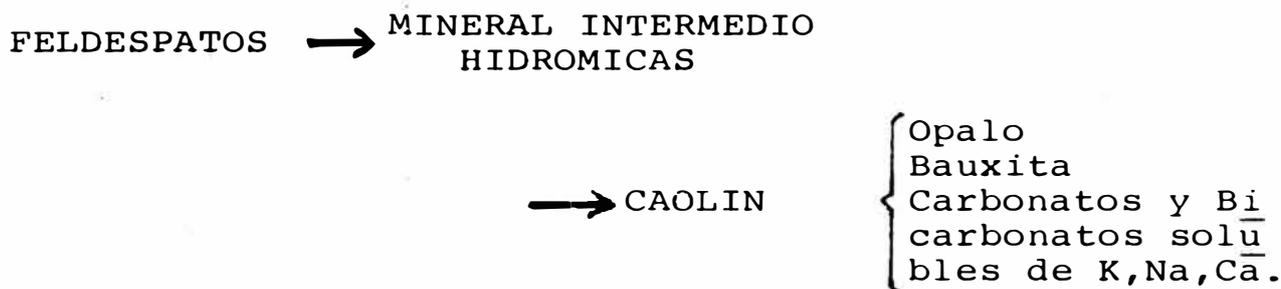
La reacción que tiene lugar es:



El caolín es un mineral bastante estable en las condiciones de la superficie terrestre. Pero la descomposición de los aluminosilicatos por hidrólisis no siempre acaba, una vez formado el

caolín, bajo condiciones favorables sino que tiene lugar un proceso de descomposición ulterior que se manifiesta en lugares tropicales y subtropicales, y así - se rompe el enlace entre el aluminio y la sílice dando origen a la bauxita, sílice, etc.

En su conjunto el proceso de descomposición total de los feldespatos por acción del H_2O y CO_2 puede representarse según GORSHKOV-YAKUSHOVA, por:



A.1.1. RECONOCIMIENTO DEL MINERAL CAOLIN

Dentro del Grupo del Caolín los minerales más importantes son:

Caolinita, Dickita y nacrita ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$)

1. Propiedades Ópticas Típicas de la Caolinita.

a) Indices de Refracción = 1.561
1.565 1.564
1.565

- b) Carácter Óptico: negativo
- c) Angulo Axial: $2v$, $10-57^\circ$
- D) Dispersión: r mayor que V
- e) Rayos X: es casi perpendicular a (001)
- f) Angulos de extinción: 3.5°

2. Los Estudios de Rayos X han mostrado que los minerales de caolín tienen una red cristalina de dos capas:

- a) Una lámina de Óxido de silicio (SiO_2)
- b) Una lámina de alúmina-gibbsita.

NOTA.- El espaciamiento interplanar normal al crucero (001) es el criterio más importante en la diferenciación con rayos X para distinguir los diferentes grupos de minerales arcillosos.

3. En el análisis térmico diferencial.-

La caolinita muestra una fuerte aguja (tipo de pico agudo) endotérmica aproximadamente a unos $620^\circ C$ y un fuerte pico exotérmico a unos $980^\circ C$ que da la diferencia de otros minerales arcillosos.

4. La micrografía y la microfotografía electrónica.- Muestra que la caolinita está constituí

da de láminas o plateletas pseudo exagonales. Aproximadamente equidimensionales.

5. La capacidad para el cambio de cationes de la caolinita es pequeña menos de 10 miliequivalentes por 100 grs. de arcilla seca.
6. El teñido de los minerales del caolín con materias colorantes, produce "pleoclorismo" artificial variado, que puede ser suficientemente selectivo para el diagnóstico de las especies minerales.

A.2. La Halloisita (ó Halloisita)

Este mineral se ha encontrado también en sitios en que ha dominado la descomposición por los agentes atmosféricos. Esta puede originarse en el mismo medio que la caolinita y en algunos casos precede a ésta, en el cual se convierte por -recristalización.

Se han encontrado indicios que la intervención de aguas con sulfato ácidos en la formación de la halloisita. La diferencia entre la halloisita y la caolinita es pequeña; en su estructura

tienen el mismo tipo de capas de silicato de alu-
minio, pero la diferencia está en que las capas
están sobrepuestas de una manera menos ordenada
en la haloisita que en la caolinita.

En la Tabla (3.2.1.) se muestra un análisis
típico de unas muestras de rocas con contenido de
caolín. Se hizo con un difractómetro de Rayos
X.

TABLA 3.2.1. ANÁLISIS TÍPICO DE MUESTRAS DE ROCAS

MUESTRA	% CAOLIN	% CUARZO	% CALCITA	% ILLITA	% HEMATITA	% TOTAL
A	37	61	---	---	2	100
B	29	52	4.5	10*	2	97.5
C	23	59	0.6	13*	2	97.6
D	14	49	1.2	26	2	92.2
E	--	45	0.5	97	2	94.5

* Se halló por diferencia.

A.3. GRUPO DE LA MONTMORILLONITA

Las rocas de bentonita están formadas gene-
ralmente por la montmorillanita, saponita, beide-
lita.

1. Las propiedades ópticas de los minerales de este tipo no puede ser posible debido a que los cristales son muy pequeños. Sin embargo, evaporando suspensiones de las arcillas en una placa de cristal, se deposita una película pseudocristalina pudiéndose determinar en ella los índices "Y" de refracción.

La técnica indica que las películas de arcilla deben mojarse con acetona para expulsar al aire y después se deja reposar varias horas en el aceite de inmersión antes de medir los índices de refracción.

2. El análisis con rayos X muestra que las arcillas de la montmorillonita tienen red cristalina de tres capas.

3. Las curvas de análisis térmico diferencial (DTA) para la montmorillonita muestran tres picos endotérmicos y uno exotérmico que caen respectivamente entre los límites:

150-320; 695-730; 870-920; 925-1050°C

4. La capacidad general de cambio de cationes en este grupo es la más elevada entre los minerales arcillosos, esto se debe a que la red-

cristalina está ligada débilmente, además, las tres capas se dilatan a un volumen mayor cuando la arcilla está mojada. Esto hace que puede activarse la unidad y utilizarse como absorbentes de blanqueo y catalizador.

Este grupo se ha formado por descomposición superficial de rocas por: Agentes atmosféricos, Procesos hidrotermales a baja temperatura, acción de las aguas circulantes de origen desconocido a lo largo de las fracturas y vetas.

Es menester hacer saber que, esta unidad puede formarse por síntesis artificial en los laboratorios, además la formación de la montmorillonita es opuesta al de la caolinita. Es así si se cambia el sistema montmorillonita en otro de oxidación con una pequeña acidez, se manifiesta cierta tendencia a formarse la caolinita.

A.4. GRUPO DE LA ILLITA-BRAVAISITA-HIDROMICA

Estos minerales contienen potasio, su estudio todavía no está definido ya que se encuentra mezclado con capas identificatorias de la montmorillonita.

A medida que el Ca, Mg, Na son sustituidos por el K en condiciones que pueden fijarse, la arcilla va cambiando de los tipos de capas mixtas a BRAVAISITA.

1. Las propiedades ópticas todavía no son bien conocidas debido a las dificultades técnicas para hacer las medidas en cristales muy pequeños de los minerales.
2. Las curvas de DTA de la Illita muestran tres agujas endotérmicas en los intervalos 100-150, 500, 650; y 900°C. Una aguja exotérmica aproximadamente en 940°C, inmediatamente después de la aguja endotérmica más alta.

A.5. GRUPO DE LA ATTAPULGITA Y SEPIOLITA

Su estructura es reticular en forma de una cadena. Se extrae como una tierra de batán. La arcilla tiene una gran riqueza en Mg.

1. La Curva de DTA presente:

Fuertes agujas endotérmicas entre 100-200°

Débiles agujas endotérmicas entre 250-300°

Moderada aguja endotérmica en 500°

Aguja exotérmica aproximadamente a los 875°
que asciende hasta 950°.

La Sepiolita o Espuma de Mar es un silicato de Mg hidratado, tiene semejanza a la attapulgita.

B.1. GRUPO DE ALOFANAS

Este mineral corresponde a los llamados no cristalinos. Es un arcilla amorfa, la cual está en forma de una solución sólida de $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3$ y agua. Su composición y cantidad de agua es variable.

1. Los análisis de difracción de Rayos X no muestran las líneas características dadas por los cristales. La pérdida de agua gradual durante el calentamiento confirma el carácter amorfo de la alofana.

Luego de haber hecho un estudio de la mineralogía de las arcillas y observar sus diferencias creo que podemos establecer un resumen para la selección óptima del material que como se ha visto se necesita de equipo y técnicas sofisticadas.

En el caso del Caolín hay dos formas que la originan, una residual o in situ que es producto de la descomposición del granito y otras rocas, las cuales son muy cuarcíferos y no aptos para la industria papelera. Mientras que los yacimientos de caolín provenientes de los pegmatitas ricas en feldespatos y otros que se han formado en lechos sedimentarios son bastante puros y muestran propiedades coloidales más acentuadas que el residual.

En cuanto a los caolines peruanos sabemos que son muy jóvenes, es decir, todavía están en una etapa geológica de transición y son en su mayoría productos de la meteorización de los granitos y de la andesita de grado fino permaneciendo compactadas y mezclados con cuarzo muy finamente distribuidos que aumenta la abrasividad del producto y no ser apta para la utilización en la industria papelera.

3.4. ANALISIS Y SELECCION DE LA MATERIA PRIMA EN EL LABORATORIO

Antes de hacer un estudio comparativo de control de calidad de las muestras nacionales, se describirá brevemente el proceso de obtención del caolín puro seguido

en el laboratorio en la presente investigación.

3.4.1. PROCESO APLICADO A LAS MATERIAS PRIMAS

La materia prima es fraccionada a un tamaño de partícula adecuado en función a su disgregación, en una chancadora o un pulverizador de discos. Luego se disgrega en agua usando la relación de dilución óptima (ver capítulo V, Sección 5.2.3.), se agita por un tiempo durante el cual se consigue una mezcla lo más homogénea posible, después se controla al tiempo de sedimentación durante el cual separamos residuos gruesos que sedimentan.

La solución en suspensión es decantada con bastante cuidado y es filtrada. Luego la torta es secada y pesada teniendo así un caolín impuro (ejm LO-1M-MB-IM).

Después, el caolín impuro es tratado en una segunda extracción con la relación de dilución óptima, adicionándose primero un defloculante (PF TSA), obteniendo una dispersión bastante homogénea se agita durante el tiempo seleccionado para cada

muestra. Seguidamente sedimentamos durante el tiempo requerido y se extrae el caolín puro de un recipiente especialmente diseñado para una decantación uniforme. Luego se lleva a una centrífuga el producto obtenido y es secado y pesado.

Luego el producto es analizado en Papelera Atlas. Evaluándose los resultados del análisis de abrasividad residuo sobre malla 325, índice photovolt, velocidad de sedimentación y porcentaje de rendimiento.

3.4.2. CLASIFICACION DE LAS MATERIAS PRIMAS ESTUDIADAS

Para aplicar el proceso en forma comparativa a las muestras lo he clasificado en función a su proveedor y/o procedencia:

1. Caolines de García Rigallo (Cajamarca-Jaén)
Ver Tabla (3.4.1.)
2. Caolines Hache & EME (Cajamarca) Ver Tabla
(3.4.2.)
3. Caolines de Ronald Maraví (Ancash-Catac) Ver
Tabla(3.4.2.).
4. Caolines de Eduardo Sánchez (Junín) Ver Tabla
(3.4.2.).

5. Caolines de Héctor Vallve (Ancash-Huaraz)
Ver Tabla (3.4.2.)
6. Caolines de Carlos Angulo (Cajamarca-Cajabamba) Ver Tabla (3.4.3.)
7. Caolines de Minera Baribent (Huaraz)
Ver Tabla (3.4.3.)

El Proceso aplicado para cada muestra se puede ver en las Tablas adjuntas donde se observan las conclusiones a que se llega. Además el resultado de los parámetros aplicados se muestran en el anexo (7.2.4) y las Tablas correspondientes.

TABLA 3.4.1. ESTUDIO DE LOS CAOLINES DE CAJAMARCA (JAEN)

MUESTRA PRUEBA	PALO SOLO 1 GF-01	PALO SOLO 2 GF-02	PALO SOLO 3 GF-03	PALO CABEZON GF-04	PALO ROSADO 1 GF-05	HUECO GF-07	CARBON GF-08	FARALLO GF-09
TAMAÑO DE LAS ROCAS	1-3 pulg	2-3 pulg	3-4 pulg	3-4 pulg	3-4 pulg	3-4 pulg	3-4 pulg	3-4 pulg
COLOR	Blanquesino	Plomizo	Plomizo y Blanquesino	Parduzco Oscuro	Rosado Parduzco	Plomizo Blanco	Oscuro Chocolate	Plomizo Amarillento Variado
UNTUOSIDAD	El polvillo es untuoso al tacto	Es untuoso	Es Untuoso	Es untuoso	Regular (Abrasivo)	No Ligeramente Abrasivo	No (Abrasivo)	Muy Poca
DISGREGACION EN AGUA	Poca	Poca	Poca	Muy Poca	Muy Pobre	Muy Pobre	Muy Pobre	Muy Pobre
PROCESO	El descrito en el ítem 3.4.1. y Parámetros de LO-1	El mismo que el anterior	BASICAMENTE EL MISMO SEGUIDO ANTERIORMENTE, LOS PARAMETROS DE OPERACION SE MUESTRAN EN EL ANEXO (7.2.4.) TABLA N°1					
RESULTADOS	LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS SE MUESTRAN EN EL ANEXO (7.2.4) TABLA N°1							
	Ver muestra GF-01D1	Ver GF-02D1	Ver GF-03D1 y GF-03D2	Ver GF-04D1	Ver GF-05D1	Ver GF-07D1	Ver GF-08D1	Ver GF-09D1
CONCLUSION	Cumple con todas las especificaciones	No cumple Las normas de oper. no son óptimas	La muestra GF-03D1 no cumple normas GF-03D2 si cumple	No cumple normas Ajustar los Parámetros	No Cumple normas	Incumple abrasividad Pero las otras si cumple	No cumple normas Muy oscura	No cumple las normas

TABLA 3.4.2. ESTUDIO DE LOS CAOLINES DE HACA & EME, RONALD MARAVI, EDUARDO SANCHEZ Y HECTOR VALLVE

LUGAR-MUESTRA	CAJAMARCA	HUARAZ	CATAC ZONA BAJA	CATAC ZONA ALTA	JUNIN	HUARAZ
PRUEBA	HM-01	HM-02	RM-01	RM-02	ES-01	HV-01
TAMAÑO DE LAS ROCAS	1-1.5 pulg	3-5 pulg	1-4 pulg	1-4 pulg	3-5 pulg	2-3 pulg
COLOR	Blanco grisáceo	Blanco grisáceo	BLANCO opaco	Blanco	Blanco con rasgos pardos	Blanco plomizo
UNTUOSIDAD	Polvillo disgregado es untuoso al tacto	el Polvillo es untuoso	Es untuoso	Es Untuoso	Es Untuoso	Poca
DISGREGACION EN AGUA	Muy buena La masa es muy plástica	Buena y se vuelve plástica	Muy Buena	Buena	Regular, poco	Regular
PROCESO	ES EL MISMO DESCRITO EN EL ITEM 3.4.1., LOS PARAMETROS DE OPERACION SE MUESTRAN EN EL ANEXO (7.2.4.) TABLA N°2					
RESULTADO	LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS SE MUESTRAN EN EL ANEXO (7.2.4.) TABLA N°2					
	Ver HM-01D1	Ver HM-02D1 y D2	Ver RM-01D1 y RM-01D2	Ver RM-02D1	Ver ES-D1D1 ES-01D2-D3-D4	Ver HV-01D1 y HV-02D1
CONCLUSION	No cumple literalmente las normas solo de abrasividad	No cumple con abrasividad Las otras	No cumple con las normas de abrasividad	Cumple con todas las normas pape ^l eras	No cumple con abrasividad Bastante	No cumple normas Tiene bajo rendimiento

ESTA INFORMACION...

TABLA 3.4.3. ESTUDIO DE LOS CAOLINES DE CARLOS ANGULO
Y MINERA BARIBENT

LUGAR Y MUESTRA PRUEBA	CAJABAMBA-CAJAMARCA SH-01	HUARAZ MB-02	HUARAZ MB-03
TAMAÑO DE ROCAS	1-3 pulg	Variado máx.2 pulg	1mm-2pulg
COLOR	Blanco-Plomizo	Blanco li- geramente crema-pardo	Blanco- crema
UNTUOSIDAD	Es Untuoso al tacto	No es un- tuoso (es abrasivo)	Es untuo- so
DISGREGACION DE AGUA	Fácil	Regular	Muy buena
PROCESO	ES EL MISMO DESCRITO EN EL ITEM (3.4.1.) LOS PARAMETROS DE OPERACION SE MUESTRA EN EL ANEXO (7.2.4.) TABLA N°3		
RESULTADO	RESULTADOS DE LOS ANALISIS SE MUESTRAN EN EL ANEXO (7.2.4.) TABLA N°3		
	Ver SH-01-D1	Ver MB-02 D1 y MB-02 D2	Ver MB-03D1
CONCLUSION	Alto rendimiento Cumple casi con las normas	No cumple las normas Tiene mu- cha sílice fina	Cumple las normas No conviene molerla

CAPITULO IV

FUNDAMENTOS TEORICOS SOBRE LA DEFLOCULACION Y FLOCULACION

4.1. INTRODUCCION

La Defloculación y Floculación son operaciones importantes que se han aplicado en el Proceso de Purificación del caolín en la presente Tecnología.

Claro está que estas operaciones son opuestas y fueron aplicados para el proceso en etapas diferentes.

La Defloculación efectiva en medio acuoso de las arcillas se utiliza en varios campos como son: cerámica, perforación de pozos de petróleo, estabilización de sólidos, detergentes, punturas latex y recubrimiento para papel (que en nuestro caso es el caolín).

Para el caso en estudio la defloculación será utilizada como una operación de separación o purificación de la arcilla caolinítica de los residuos gruesos, basándonos en la propiedad de dispersión obtenidos has

ta el grado de coloide. Mientras que la floculación es la operación inversa que consiste en captar las partículas dispersas para formar los "flocs" que es un aglomerado de partículas y de esta manera facilitar la concentración de sólidos y la velocidad de sedimentación.

4.2. COLOIDES

Los coloides no es un grupo especial de sustancia sino podemos decir que es la representación de un estado de la materia, debido a ciertas condiciones especiales. Para poder abstraer lo que es físicamente podemos establecer una serie de rangos comparativos - de las partículas granulométricas en tamaños decrecientes, hasta donde la materia es fraccionada en tamaños moleculares; las características de los coloides pueden mencionarse como las siguientes:

1. Toda solución coloidal es capaz de dispersar (desparramar) la luz o crear una opalescencia.
2. La difusión de las partículas en soluciones coloidales es muy lenta.
3. La presión osmótica en soluciones coloidales

es muy baja lo cual es difícil de detectar. Esto significa que las soluciones contienen largas partículas de soluto.

4. Las soluciones coloidales pueden experimentar el fenómeno de diálisis, esto es que pueden ser separados por medio de compartimientos semipermeables de otras impurezas disueltas en ellos.
5. Las soluciones coloidales pueden ser sujetas (pero no siempre) a electro-fóresis. Este es un fenómeno que consiste en la transferencia de partículas coloidales a uno de los electrodos en un campo eléctrico. Es un fenómeno contrario a la electrólisis.
6. Presenta gran superficie por unidad de peso. En cuanto al caolín que tratamos se pudo observar que un porcentaje del caolín purificado se comportaba como un coloide satisfaciendo las características (1), (5) que pudo ser comprobado experimentalmente, es conveniente aclarar que las otras pruebas no se pudieron demostrar por la falta de equipos adecuados.

4.2.1. PROPIEDADES ELECTRICAS DE LOS COLOIDES

a) ELECTROFORESIS O CATAFORESIS

Si tenemos un sistema altamente dispersado o sea del tipo coloidal en solución como es el caso del caolín defloculado, se observa algunas propiedades especiales tal es el caso cuando el "Sol" es sometido a la acción de un campo eléctrico, la partícula viajará a uno u otro electrodo lo cual demuestra que estas poseen cargas eléctricas. Este fenómeno por el cual las partíclulas se transfieren en un campo eléctrico es conocido como ELECTROFORESIS O CATAFORESIS.

Para el caso del presente trabajo para poder determinar experimentalmente tal propiedad, en arcillas caolínificas, lo que hice fue - lo siguiente:

Tomé una muestra altamente dispersada producto de la segunda extracción (o sea después de haber sido defloculada) en un recipiente; luego coloqué dos tubos de vidrio dentro del recipiente que contenía la arcilla defloculada de la

muestra MB-01D, llene los tubos de agua destilada y ubique los electrodos inmersos dentro del agua (ver fig. 4.2.1.a).

Lo que pude observar fue de que en el polo positivo la solución se tornó lechosa o nublada mientras que el agua en el tubo con el electrodo de carga negativa se tornó completamente claro o sea no se observó el color lechoso inicial; entonces esto demostraba que las partículas coloidales de caolín habían sido transferidas a una velocidad constante en el campo eléctrico sometido.

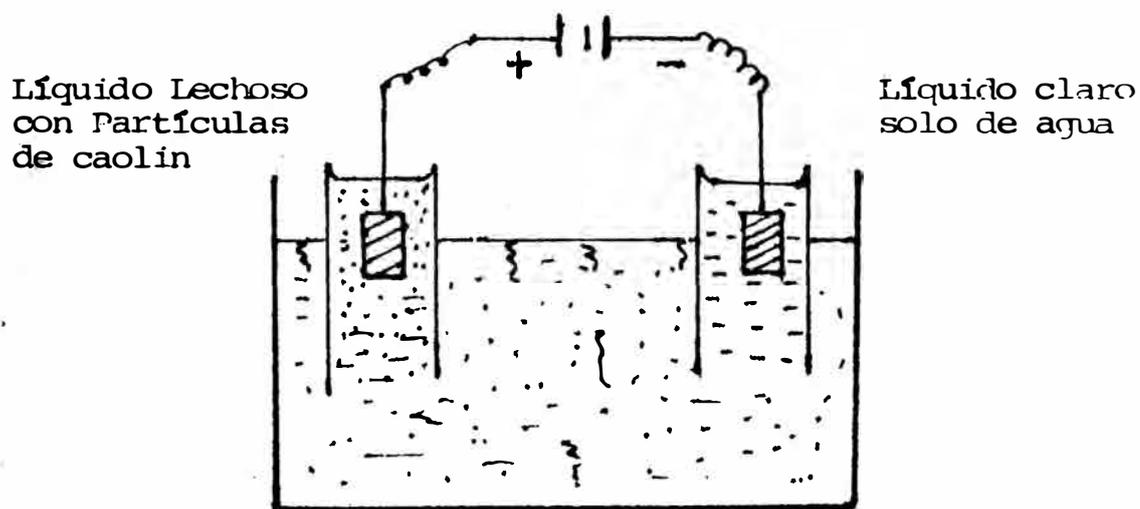


Fig. (4.2.1.a)

EXPERIMENTO PARA LA DEMOSTRACION DE LA ELECTROFORESIS DEL CAOLIN DISPERSADO.

Del experimento anteriormente mencionado se deduce que los coloides de caolin poseen cargas negativas. Pero la solución en suspensión es eléctricamente neutra.

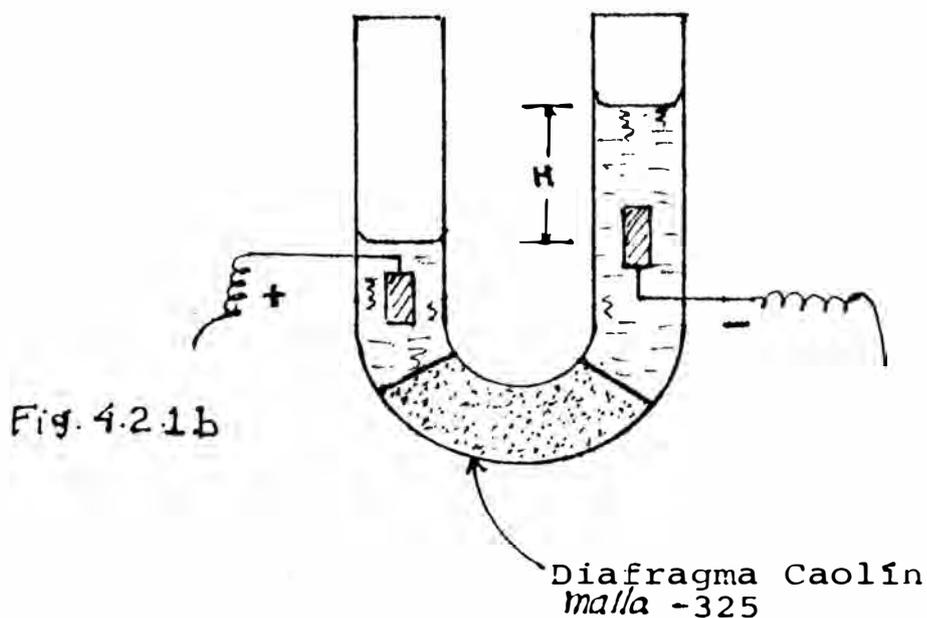
La explicación del fenómeno de la Catafóresis o electroforesis y que a su vez explique la neutralidad del coloide sol, se basa en hacer un estudio Electrocinético del sistema, en el presente trabajo éste no es el caso y sólo nos limitaremos a explicar los fenómenos inherentes al proceso que se quiere presentar como es la purificación del caolín.

Pero para dar una idea clara de lo que ocurre podríamos explicarlo con la teoría propuesta por Helmholtz sobre la doble capa iónica. Este fenómeno puede ser demostrado con el potencial Z que más adelante se explicará.

b) ELECTROOSMOSIS O ELECTROENDOOSMOSIS

Otro fenómeno que puede ser demostrado para la solución coloidal de caolín es la ELECTROOSMOSIS para lo cual se debe disponer de un equipo, que se muestra en la fig.(4.2.1.b).

Se coloca en un tubo en U caolín finísimo malla -325, se tapa ambos lados con algodón, luego se lléna de agua destilada y se coloca los electrodos, cuando se aplicó la diferencia de potencial se observó que el nivel en la rama que se encontraba el electrodo negativo comenzó a subir hasta tomar una altura constante, con esta experiencia se demuestra la propiedad de la Electroforesis y además se comprueban las investigaciones de Wildemans' que dice que la cantidad de líquido que pasa a través de los capilares finísimos de caolín es proporcional a la intensidad de corriente y no depende de la sección transversal del diafragma, a este fenómeno se conoce como ELECTROOSMOSIS ó ELECTROENDOOSMOSIS.



C) ELECTRODIALISIS

Es un método mediante el cual aplicando un campo eléctrico a una solución dispersada puede ser separada de algunas sales o iones mediante una membrana semipermeable, es decir, que puede ser acelerada la Diálisis mediante un campo eléctrico. En experimentos hechos con arcillas; por Electrodiálisis se separa los cationes metálicos y cualquier anión presente produciendo una arcilla saturada con iones hidronio y oxidrilos.

Muchos equipos pueden ser diseñados de acuerdo al sistema que se está trabajando, pero el más sencillo y fácil de construir en el laboratorio, consiste de una celda con tres compartimientos, el compartimiento central separado de los otros dos exteriores mediante membranas capaces de retener las partículas coloidales mientras los iones comunes la atraviesan (Ver fig.4.2.1c).

Un ánodo de Platino o grafito se sumerge en agua destilada en uno de los comparti -

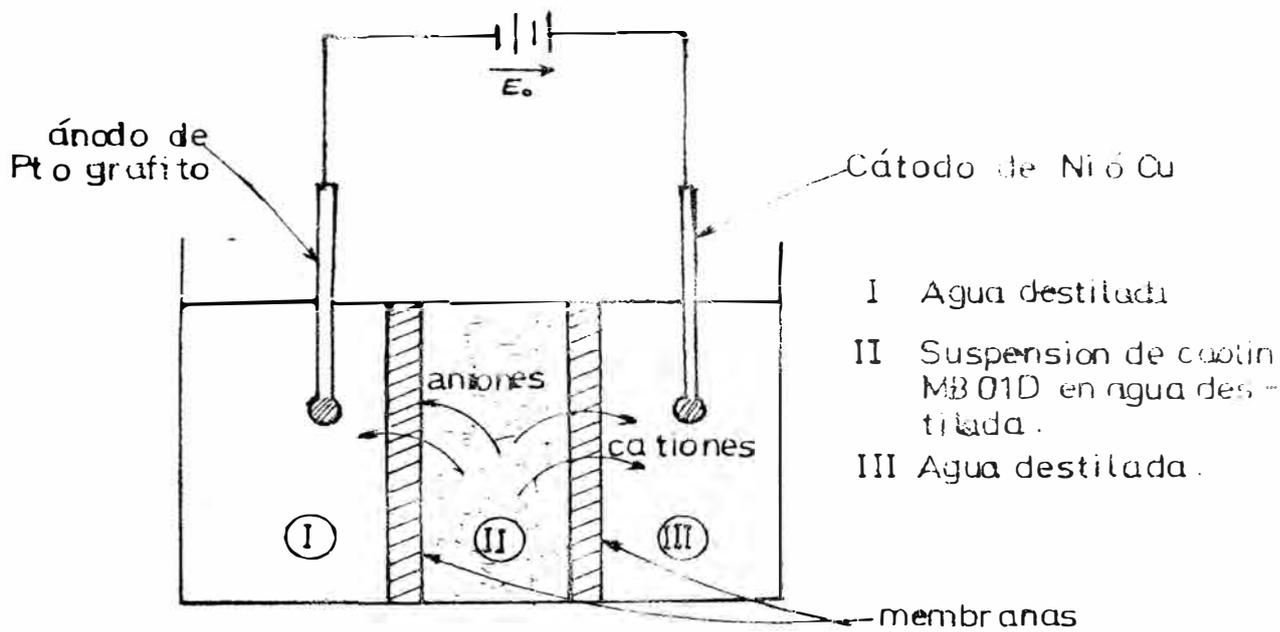


FIG. 4.21.C -Esquema de un equipo para la prueba de la Electrodiálisis

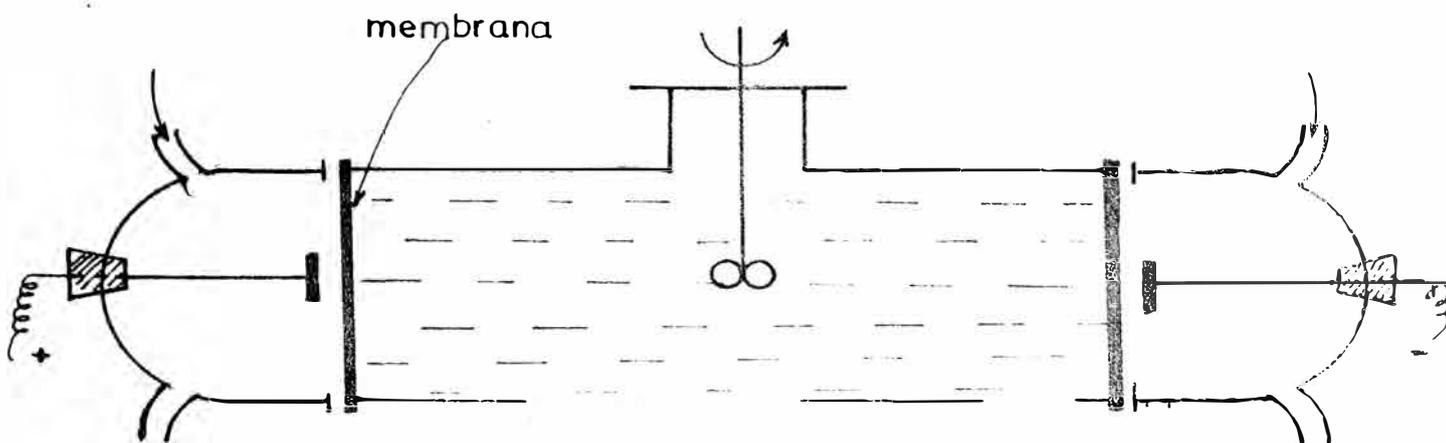


Fig. 4.21 C - Otro esquema de Electrodiálizador con agitación

mientos exteriores y un cátodo de cobre o níquel en el otro.

Si ubicamos una suspensión de arcilla defloculada en agua destilada en la sección central y se aplica una corriente eléctrica directa a los electrodos, los cationes absorbidos sobre la arcilla serán separados atravesando la membrana hacia la celda catódica mientras que cualquier anión absorbida se dirigirá al ánodo.

Las arcillas de dimensiones coloidales serán retenidas en el compartimiento central y a fin de reemplazar las bases separadas (cationes) tomará iones hidrógeno del agua.

Para poder demostrar lo anteriormente puntualizado lo que se hace es titular la solución de arcilla hidrogenada con NaOH y veremos que, haciendo un ploteo de la cantidad consumida de NaOH contra el pH, lo que resulta es lógicamente una curva característica de la reacción de un ácido fuerte y una base débil.

Inicialmente y por algún tiempo el PH permanecerá algo constante pero luego en al gún punto de la curva sufrirá un salto brusco, esto nos indica que todos los iones H_2 han sido reemplazados por el sodio y que existe un ex ceso de sodio. Esta inflexión indica la capacidad de intercambio de la arcilla.

Las capacidades de intercambio básico usualmente es expresada como los miliequivalentes de un catión particular absorbidos por 100gr de arcilla.

El intercambio básico de las arcillas tiene diferentes posiciones para los autores que realizaron la experiencia pero un resumen podría ser el siguiente:

ARCILLA	Intercambio Básico (*)	Observaciones Según
MONTMORRILORITA	60-100	Hansey-Reed, no varía con el tamaño de la partícula
ILLITA	20-40	Shaw-Debido a su tendencia de Fragmentarse hasta la más pequeña unidad.
CAOLINITA	3-15	Tamaño de partículas definidas-Johnson Lawrence, han demostrado que la capacidad de intercambio está ligada a las áreas superficiales.

(*) Según GRIM.

La capacidad de intercambio básica⁴ relativamente bajo de la CAOLINITA se explica debido a que la estructura balanceada de este mineral, limita la capacidad normal de intercambio a valencias desligadas del oxígeno e hidrógeno de los hidroxilos en los extremos de bordes de los cristales.

Además, el hecho de que este mineral no se fragmenta fácilmente a láminas delgadas, limita el número de iones OH expuestos al reemplazo del hidrógeno por un catión.

Según Marshall dice que hay dos tipos de intercambio básico.

1. Uno, la reacción general superficial, que es característica de todos los coloides.
2. Asegura que el intercambio de cationes ocurre entre las redes cristalográficas, siendo afectado por los iones transportados en agua que fluye entre los intersticios.

En otros casos ocurre como una función de la superficie (caso de la caolinita) y las reac

ciones de intercambio participa de las características de las reacciones de intercambio de los electrolitos verdaderos.

Según las pruebas de la ELECTRODIALISIS es más efectiva cuando la arcilla ha sido purificada previamente por el proceso que plantearemos en la Ingeniería del Proyecto y luego este producto deberá ser purificado por una Diálisis Ordinaria.

Además, la ELECTRODIALISIS es un fenómeno que se puede aplicar para realizar la purificación de la caolinita con un alto grado de pureza; pues se puede eliminar impurezas de bajo peso molecular, tal es el caso del SiO_2 libre que es la principal impureza.

4.3. POTENCIAL Z

Como habíamos mencionado oportunamente el comportamiento electrocinético de las suspensiones coloidales dependen de la teoría de Helmholtz ó de la doble capa ióni

ca, con la cual podemos explicar el fenómeno de la catafóresis y al mismo tiempo explicar la neutralidad del coloide sol.

Según Helnhotz dice que existe una "doble capa eléctrica" en la interfase líquido-sólido aproximadamente como se muestra en la fig. (4.4.).

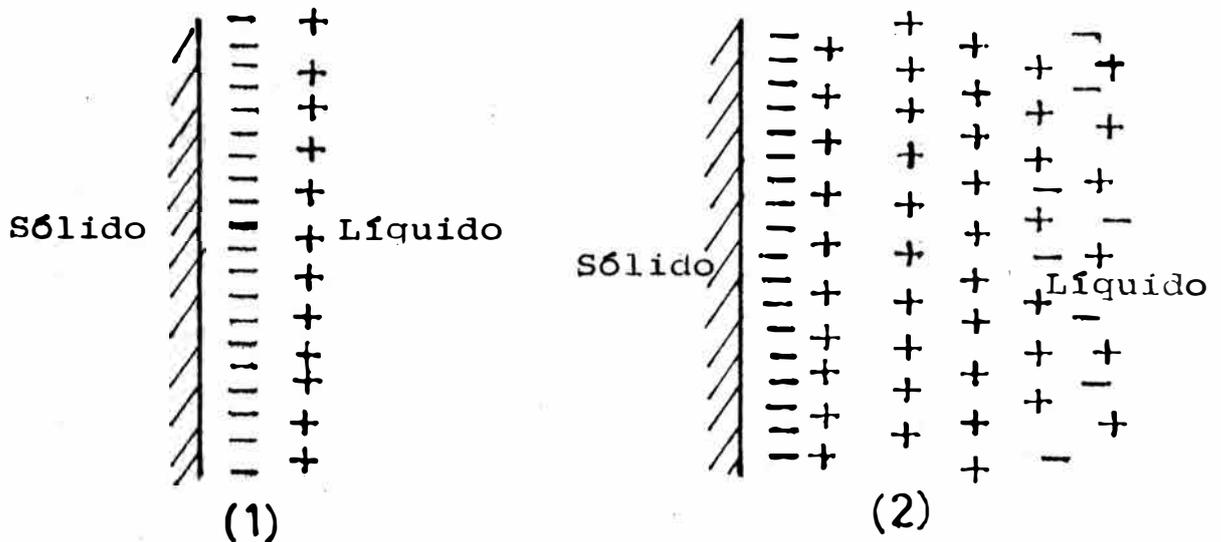


Fig. (4.4.) ESQUEMA DE LA DOBLE CAPA IONICA (1) HELMHOTZ, (2) GOUY-FREUNDLICH

A continuación de la superficie de la partícula ó embebida a ésta, existe una capa de cargas eléctricas, mientras que a una distancia monomolecular, se ubica otra capa con cargas eléctricas de signo contrario. Las dos capas pueden ser consideradas como un

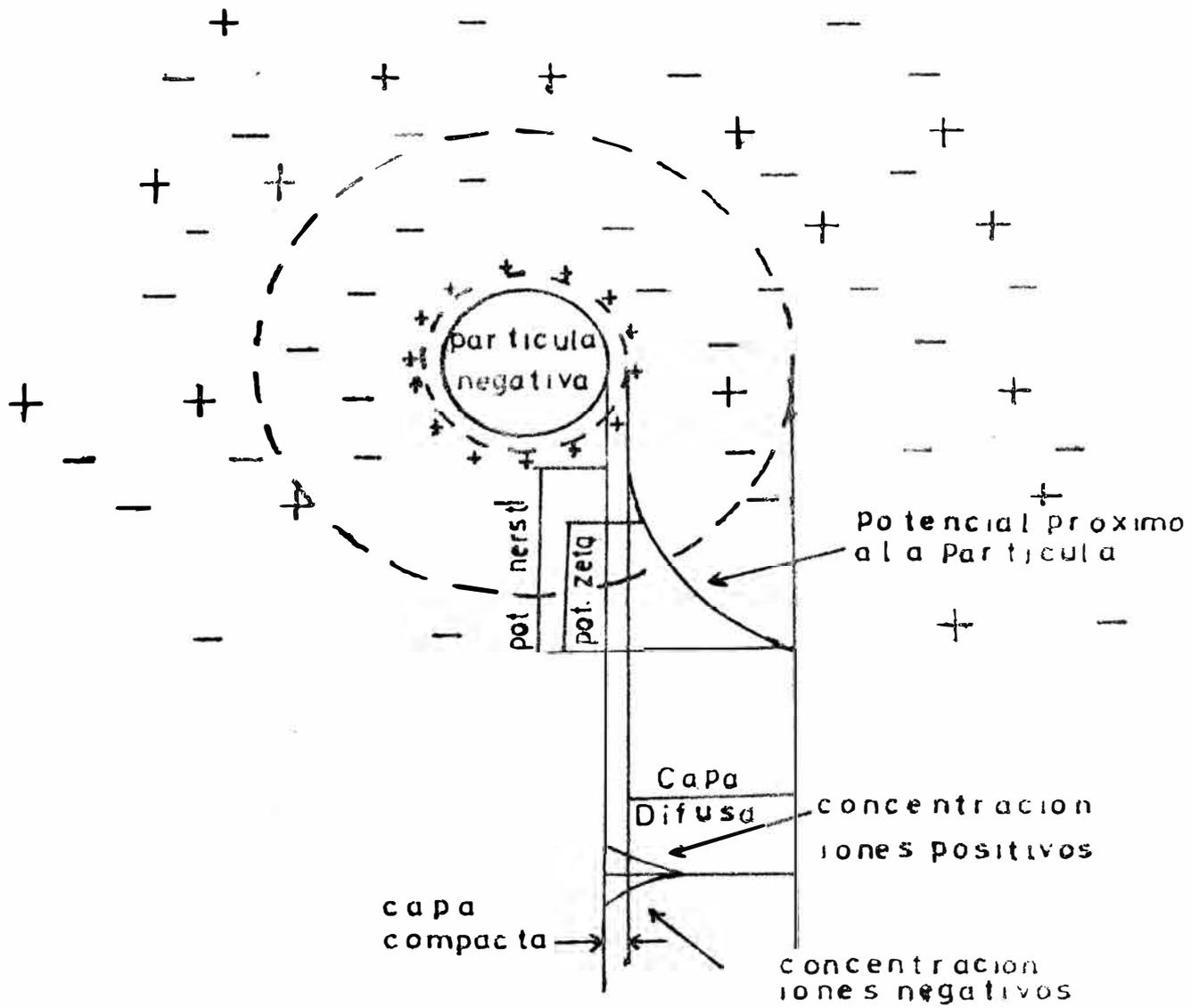


Fig. N°43.b-CONCEPTO POTENCIAL ZETA

condensador eléctrico, cuyo potencial podría ser expresado matemáticamente como:

$$Z = 4\pi \frac{ed}{D}$$

Donde:

Z = potencial electrocinético

e = densidad de carga sobre la superficie de la partícula

d = espesor de la doble capa

D = constante dieléctrica del líquido

Según Gouy-Freundlich, la doble capa iónica sería en observación a la de una capa de iones de signos contrarios a una distancia monomolecular, una atmósfera iónica difusa como se muestra en la fig.(4.4) (2).

Hay además otras teorías que explican el significado del Potencial Zeta, así Johnson y Alexander lo definen como la energía requerida para atraer una carga unitaria desde el infinito hasta el "Plano de Cizallamiento", el cual se entiende como aquel que separa del resto de la dispersión a una sección de capa, que se mueve conjuntamente con una partícula y que está situada entre una superficie interna y externa de la doble capa.

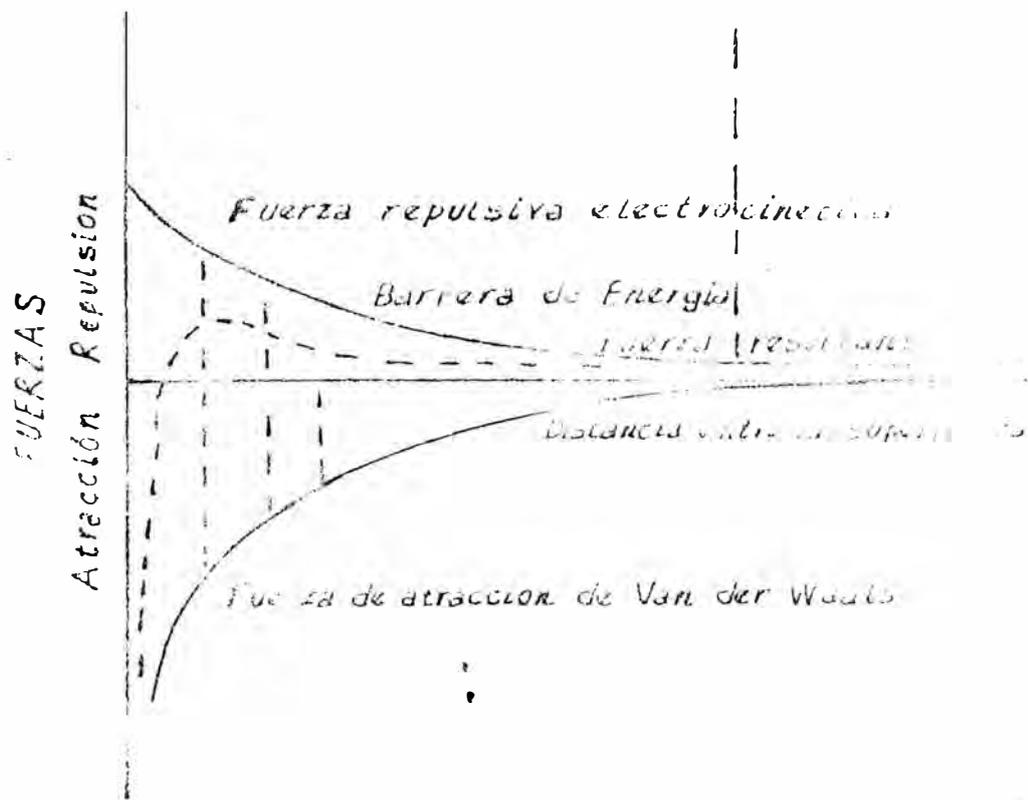
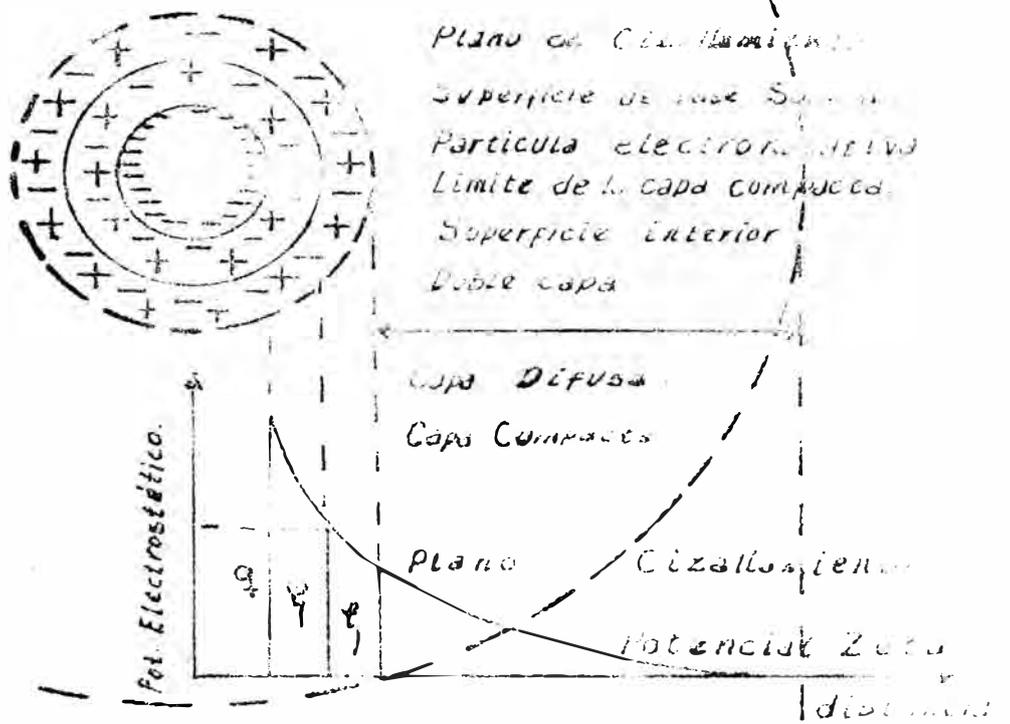


FIG. Nº 43 C - POTENCIAL ZETA

El potencial Z es proporcional a la velocidad de ELECTROFORESIS como lo muestra la Ec. de Helmholtz-Smoluchonsky:

$$Z = 4 \frac{\pi Vn}{Hp \cdot D}$$

Donde:

- n = viscosidad absoluta del agua (poise)
- Hp = Gradiente de potencial en V/cm
- D = Constante dieléctrica del líquido

4.4. MECANISMO DE LA DEFLOCULACION

La defloculación efectiva en medio acuoso de las arcillas y otros minerales sólidos granulados es importante. Los factores que influyen a la defloculación son el pH y las fuerzas iónicas de la solución intermicelares, además la estructura del agente dispersante aniónico que determinan la efectividad de la defloculación para arcillas. También es importante conocer la estructura de las partículas a deflocular.

Los defloculantes o dispersantes varían ampliamente en naturaleza química y en el carácter específico de

su acción como son Lignosulfonatos, taninos (como el quebracho), sulfonatos aldehído aromáticos, polielectrolitos sintéticos, almidones modificados y derivados de la celulosa, y fosfatos condensados.

De estos defloculantes en el presente trabajo haré hincapié de los llamados polifosfatos alcalinos básicamente los de sodio, porque han sido aplicados al proceso de purificación.

Esta selección se realizó en base a su grado de dispersabilidad y su costo relativamente bajo. En la bibliografía muy poco se ha encontrado sobre la forma como se realiza la defloculación.

El estudio de la Interacción de los polifosfatos con un mineral común como en este caso es la caolinita se basa en una explicación del comportamiento Físico-Químico (Teoría electrocinética).

4.4.1. LA DEFLOCULACION COMO UN PROCESO ELECTROQUIMICO

Los factores físico químicos que influyen en la estabilidad de las dispersiones han sido tratados en secciones anteriores.

La habilidad de ciertas sustancias ionizantes para dispersar un sistema en suspensión acuosa floculado en partículas primarias se debe en primer lugar a un incremento en el potencial electrocinético de las partículas, en tanto que un incremento en la movilidad electroforética de las partículas invariablemente resulta de tal tratamiento.

Este incremento en potencial puede surgir del reemplazo de cationes polivalentes por cationes monovalentes, ejemplo del sodio, en la doble capa difusa vía una precipitación metatética o un proceso de quelatización o por una adsorción selectiva sobre una superficie sólida de un componente defloculante ionizado con consecuente incremento de la densidad de carga.

Los defloculantes que operan por un intercambio catiónico en la doble capa son usualmente activos con todos los coloides aniónicos capaces de experimentar dispersión, mientras aquellos que operan por adsorción pueden ser altamente específicos en su acción dispersiva, ver fig. (4.4.1.).

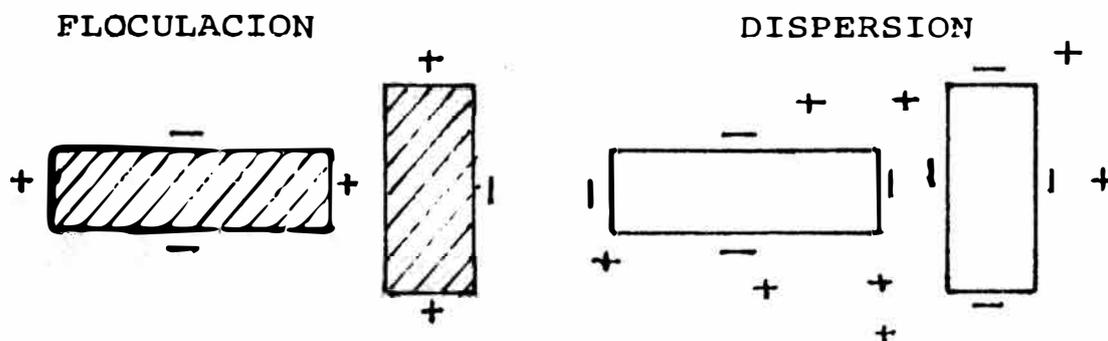


fig. 4.4.1. DISPERSION ANIONICA DEL CAOLIN

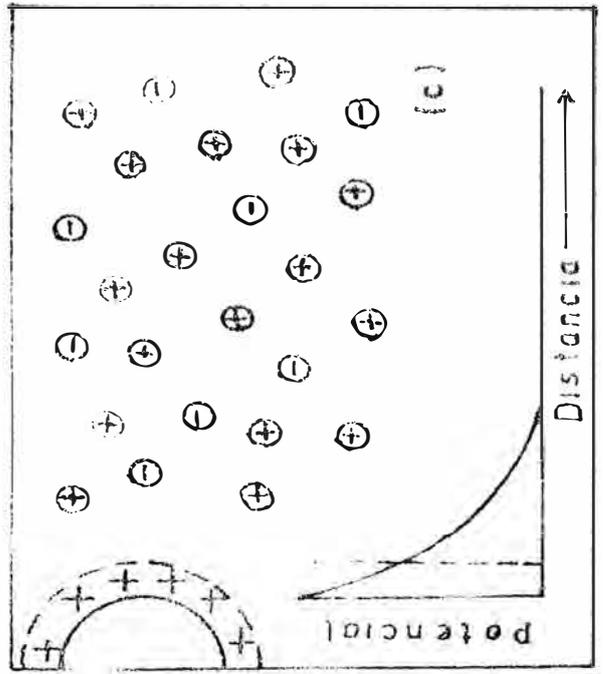
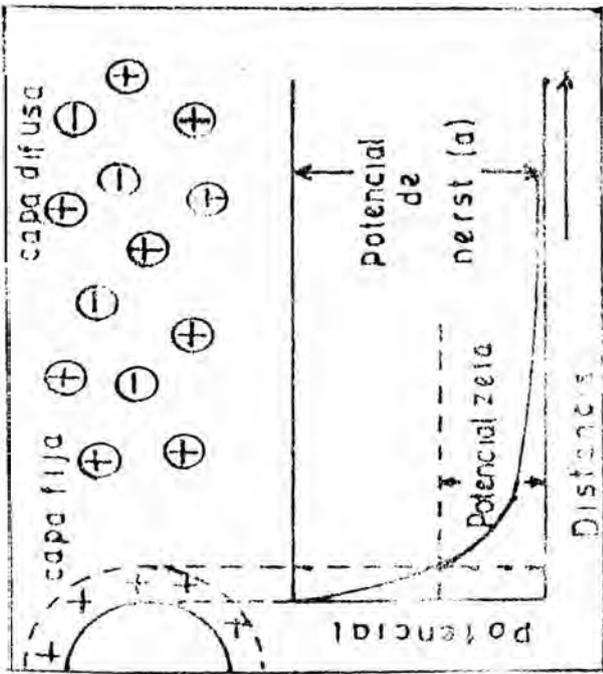
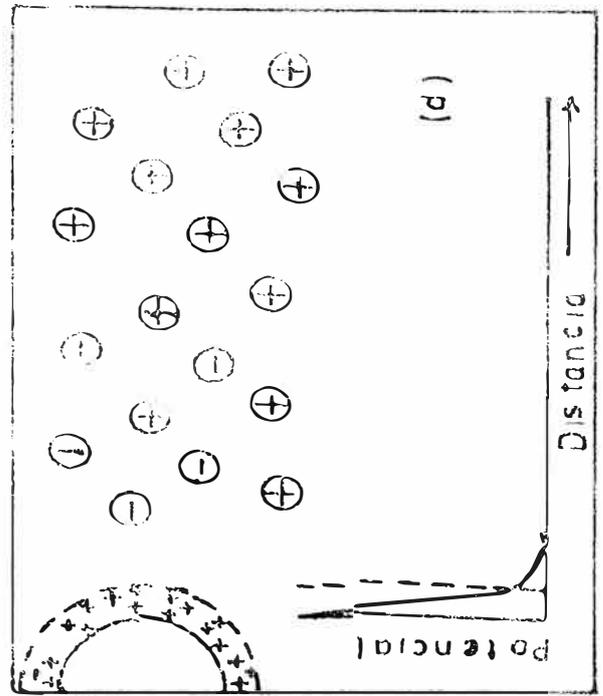
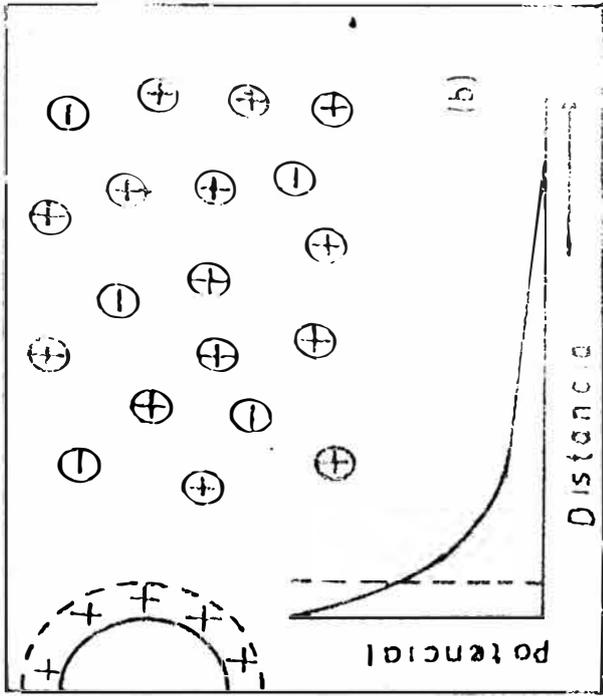
Generalmente, los agentes defloculantes sólo son efectivos en sistemas esencialmente libres de sales. sales extrañas y la defloculación máxima ocurre a niveles de concentración relativamente bajos.

4.4.2. LA CAOLINITA Y SUS DISPERSIONES ACUOSAS

La caolinita como la unidad básica del caolín, debido a su estructura cristalográfica y las propiedades químicas, físicas y coloidales de la caolinita $Al_2(OH)_4Si_2O_5$ fueron estudiadas por Gruner (47) y Bradley.

La unidad básica cristalina es una hoja compuesta de una capa coordinada octaédrica de alúmina (gibbsita) condensada con una red plano exagonal de tetraedros de sílice. En la partícula primaria estas hojas están amontonadas juntas para producir una hojuela ligeramente exagonal de aproximadamente 0.1 micrones (aproximado 150 hojas) de espesor y 1 micrón de longitud.

La caolinita exhibe intercambios catiónicos (entre 1 a 10 meq. por 100 gramos). Esta capaci-



dad de intercambio catiónico se cree que resulta de una pequeña cantidad de sustitución isomorfa de iones de valencia más baja, ejemplo Al por Si, ó posiblemente Mg por Al en la red cristalina.

Bajo condiciones alcalinas la ionización de los hidroxilos superficiales asociados con el aluminio puede contribuir apreciablemente a la capacidad de intercambio catiónico como se manifiesta por el incremento marcado en la fijación de los cationes con el aumento del pH.

A pH moderadamente bajo los bordes de las hojas de caolinita contienen sitios cargados positivamente que atraen aniones de la solución y son responsables por la floculación "Borde a cara" en soluciones neutras o ácidas.

Estos sitios catiónicos resultan evidentemente de la coordinación de los iones aluminio en los bordes con agua (en vez de OH) cuando la concentración de OH es baja.

De estas observaciones realizadas se puede proponer los siguientes mecanismos para la deflocula

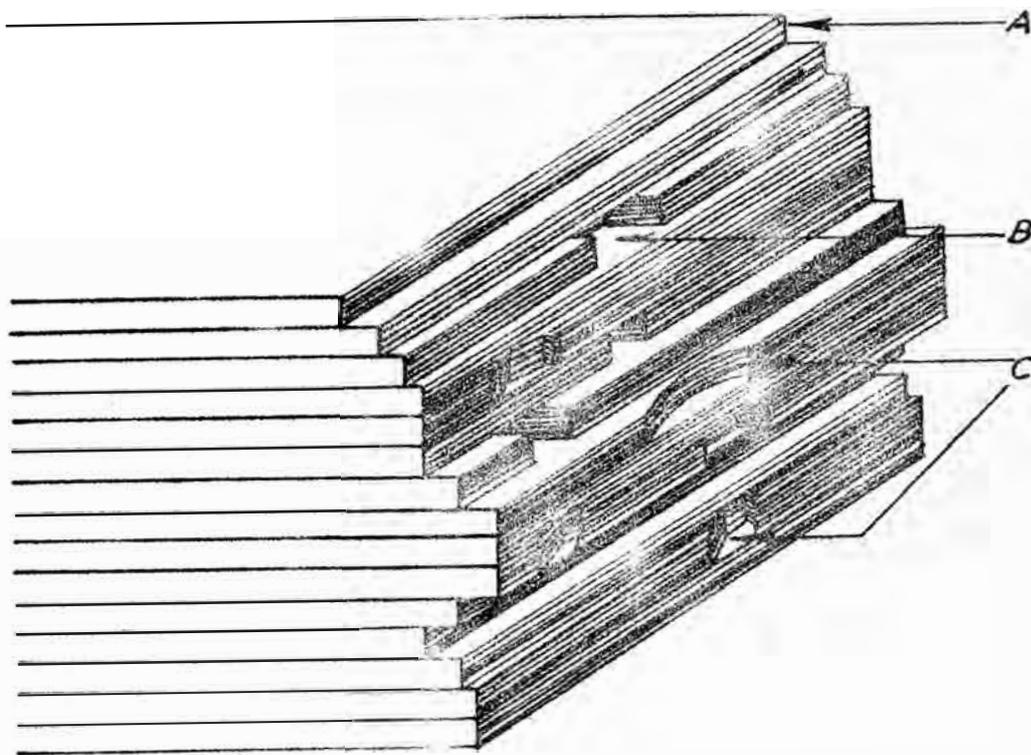
ción de la caolinita:

1. Reemplazo de cationes polivalentes por cationes monovalentes en la doble capa difusa asociada con las caras de la plateleta.
2. Eliminación (vía una retención polianiónica en la doble capa) de sitios en los bordes cargados positivamente.
3. Adsorción de aniones en las caras de la plateleta.
4. Adsorción de aniones en los bordes de la plateleta en exceso del número de sitios catiónicos iniciales.

De estas cuatro posibilidades la última tendría el más potente efecto defloculante, pues ello haría volver aniónicas todas las superficies de la partícula y causaría repulsiones entre partículas en todas las posiciones configuracionales.

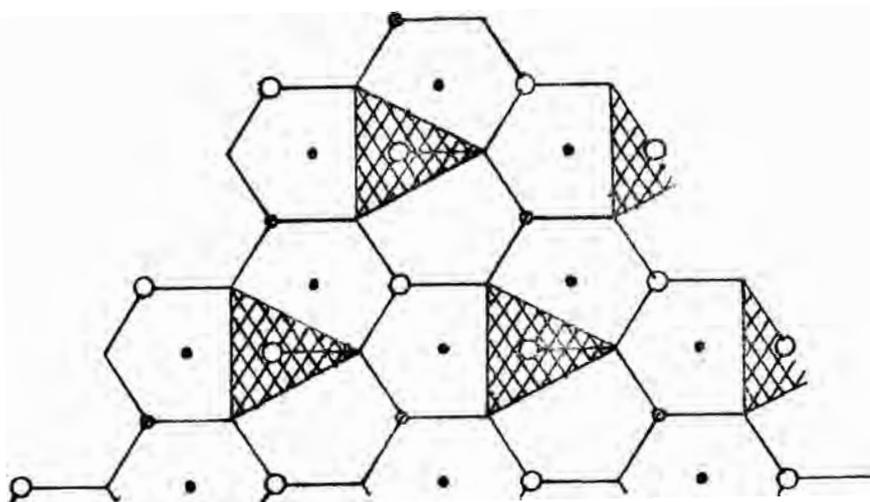
4.4.3. ACCION DE LOS POLIFOSFATOS ALCALINOS CONDENSADOS

Los polifosfatos tienen una estructura li



- A.-ESTRATO INDIVIDUAL
- B.-GRIETA DEL ESTRATO
- C.-EXFOLIACIONES CURVAS

FIG. Nº4.43 BORDE DE UNA PLACA DE CAOLINITA



- Al
- OH
- VACIOS DE CORDINACION

FIG. Nº4.43.1 CLIVAJE DE UNA GIBSITA EN UN ESTRATO DE CAOLINITA MOSTRANDO EL ORTOFOSFATO DE CORDINACION TETRAEDRAL (TRIANGULOS)

neal pero para algunos de menor peso molecular son cíclicos, su estructura es polimérica compuesta de tetraedros fosforo-oxígeno enlazados con la fórmula general $\text{Na}_{n+2}\text{P}_n\text{O}_{3n+1}$.

En solución acuosa, los compuestos se ionizan para dar una cadena aniónica extendida, rodeada de un enjambre de cationes sodio (Na^+).

Los polifosfatos lineales que tienen tres o más átomos de fósforo pueden secuestrar o quelatizar iones metálicos polivalentes, ejm. calcio, aluminio, hierro como complejos solubles con pequeñas constantes de disociación.

Se ha encontrado experimentalmente en el proyecto que la habilidad de los polifosfatos para deflocular la CAOLINITA y otros minerales se incrementa con el peso molecular (ver secc. 5-1).

- El DIMERO (PIROFOSFATO) es relativamente poco efectivo.

El TRIMERO (TRIPOLIFOSFATO $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) es mucho mejor.

El TETRAMERO (TETRAFOSFATO) es aún más efectivo.

Más allá del Tetrámero hay poco aumento en la efectividad con la longitud de la cadena. Los polifosfatos de sodio sufren hidrólisis lenta (reversión) a ortofosfato cuando están en solución. Los iones de sodio o calcio aceleran la hidrólisis mientras que el magnesio la suprime. Los hidróxidos insolubles en agua de muchos metales, ej. el Al, aceleran grandemente la hidrólisis de los polifosfatos.

La habilidad quelatante de los polifosfatos lineales sugiere que el intercambio de cationes podría ser la causa primaria de su acción defloculante.

Pero se ha observado que la caolinita sódica homoiónica es mucho menos defloculada que la misma arcilla después del tratamiento con polifosfatos pero si aumenta la capacidad de intercambio de cationes en forma sustancial como lo determina la lixiviación con acetato de amonio y el análisis subsecuente (ver tabla 4.4.3.).

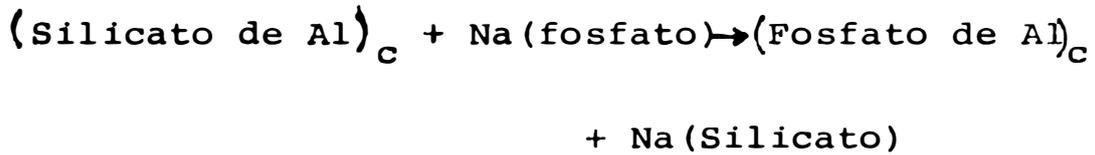
TABLA (4.4.3.) EFECTO DE TRATAMIENTO DE POLIFOSFATO SOBRE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DE LA CAOLINITA

<u>MUESTRA DE CAOLINITA</u>	<u>Tratamiento (gr) Tripolifosfato de Na/ 100gr. Caolinita</u>	<u>CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO Meq/100gr. de Caolinita</u>		
A	0.0	6.2	<u>+</u>	0.8
	0.5	8.4	<u>+</u>	0.5
B	0.0	4.2	<u>+</u>	0.4
	0.5	6.7	<u>+</u>	0.4

Además de las experiencias realizadas de la hidrólisis de Polifosfatos por la caolinita se ha observado que la caolinita aceleraba grandemente la hidrólisis de ambos tetrafosfatos y tripolifosfatos de sodio. Lo cual demuestra que los polifosfatos son absorbidos por la caolinita y que el Calcio o el Mg intercambiable sobre la arcilla es parcialmente reemplazado por sodio, con la formación de quelatos alcalinos terreos en solución.

Además, se demuestra que la retención de fosfato por la caolinita no es solamente un proceso adsortivo, sino una combinación de absorción y precipitación metálica de un fosfato de aluminio menos soluble

que el mineral mismo, según:



Como la reacción describe la interacción del ortofosfato y la caolinita y la retención de fósforo en el mineral no es una función única de la concentración del ión fosfato en la solución sino que depende también de la proporción arcilla-solución, concentración de silicato y orden de cristalinidad, ejm. solubilidad del mineral mismo.

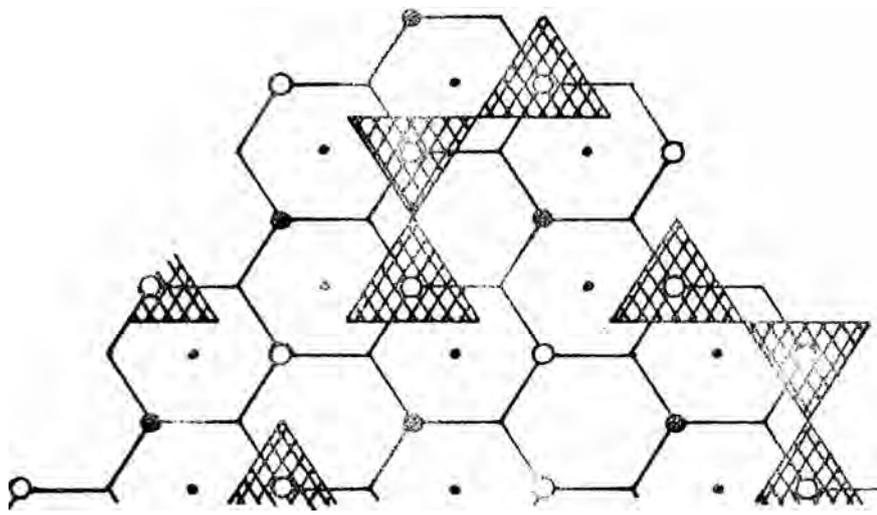
Es menester también hacer una aclaración que uno de los factores que influyen en el efecto de la defloculación es la estructura y cristalinidad de la caolinita, se ha encontrado que la solubilidad de ésta es de 0.16 mmol de aluminio por litro a un (pH \approx 5.5).

En una hoja típica de caolinita la mayor parte de cada placa componente está estabilizada por las placas enlazadas a aquella en cada lado. Pero además - presentan exfoliaciones que satisfacen los requerimientos de aluminio-silicatos "anormalmente reactivo" que

serían las primeras partes de la estructura retiradas en cualquier proceso de disolución.

Cuando esta hojuela exfoliada es atacada por fosfato o polifosfato, el lugar del ataque es probablemente el enlace Si-O-Al, así el primer paso en el proceso de descomposición es el clivaje de la gibsita de la capa de sílice donde el tetraedro de fosfato reemplaza al tetraedro de sílice en la capa de gibsita en el plano de clivaje. La capa de sílice es así liberada como un anión polisilicato planar.

Observando la proyección de la capa de gibsita después de retirada la capa de sílice revela que para satisfacer esta deficiencia de carga negativa debe insertarse un anión por cada átomo de aluminio (ver fig.4.4.3.2). Sin embargo cuando se trata de la placa de gibsita puede ser más eficientemente neutralizada pues los vértices tetraédricos compartidos en estos compuestos hace posible que los sitios catiónicos adyacentes sean ocupados (ver fig.4.4.3.2). De lo expuesto anteriormente se puede extraer que: "Lo importante en la defloculación es que los polifosfatos aparentemente pueden ser mantenidos en el borde de la gibsita sin una pérdida significativa de su carácter iónico.



• Al ● OH
 O LUGAR VACIO DE COORDINACION DESPUES
 DEL CLIVAJE

FIG. 4.4.3.2 ESTRATO DE GIBSITA Y CAOLINITA CON EL ENLACE DE COORDINACION DEL TRIPOLIFOSFATO TETRAEDRAL (TRIANGULO RAYADO)

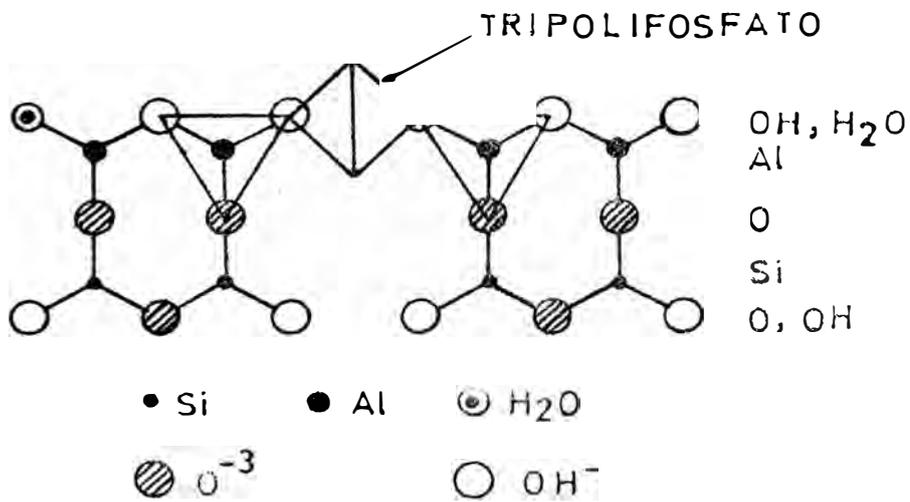


FIG. N° 4.4.3.3 VISTA PLANA DE LA CAOLINITA MOSTRANDO EL BORDE DE POSIBLE COORDINACION DEL ANION TRIPOLIFOSFATO CON EL BORDE DE UNA PLACA DE GIBSITA.

Los polifosfatos se encuentran enlazados a la gibsita por un enlace de una fracción pequeña de su tetraedro, flotando el resto de las moléculas libres en solución como un "esjambre ionizado" proyectándose a partir de la periferia de la partícula.

Esta atmósfera altamente aniónica así producida alrededor de los bordes de la plateleta puede tomarse en cuenta para la potente habilidad defloculante de los polifosfatos lineales de mayor peso molecular.

4.5. MECANISMOS DE LA FLOCULACION

Hay varios conceptos derivados sobre la coagulación-floculación. Coagulación que se deriva del latín "coagularse" que significa juntar (o alcanzar el punto isoeléctrico) y flocular se origina de "floculare" que significa producir flocs .

Para el caso del presente trabajo, la floculación la aplicamos para destruir el efecto de la dispersión, es decir, la destrucción del sistema eléctricamente neutro para que nos facilite la operación de filtración o decantación.

El mecanismo se funda en la desestabilización de los coloides mediante la adición de ciertos polielectrolitos de alto peso molecular que gozan de la propiedad de presentar puntos ionizables a lo largo de sus cadenas y que enlazan a las partículas en suspensión para formar cadenas fuertes o "FLOC" de mayor peso, las cuales pueden sedimentarse fácilmente.

La explicación teórica del fenómeno se funda en una propiedad electrocinética y el potencial Z.

Otro mecanismo de la floculación es la formación de una ligadura entre los grupos activos de polielectrolitos moleculares los cuales son adheridos a las partículas de la suspensión.

Los factores que influencias en la coagulación-floculación son:

a) Alcalinidad.-

Está en estrecha relación a la coagulación, que generalmente para nuestros casos deben estar entre 6 a 8 ppm.

b) Temperatura

La formación de los flocs se ve influenciada grandemente con la variación de la temperatura, un aumento puede acelerar la floculación o puede descomponer al agente floculante.

c) Concentración de los Floculantes

Es importante ya que un aumento del reactivo aumentará la sedimentación pero una excesiva adición no surgirá efecto o actuará de una manera contraria a lo que se observa inicialmente.

d) El PH

En función a este parámetro nosotros podemos seleccionar el floculante adecuado, pero no se ha encontrado una relación general que asegure el pH óptimo. Para altos PH la coagulación es pobre porque los hidróxidos son solubles.

Existen otros factores, influye también la valencia del ión metálico del coagulante y el tamaño de las partículas, etc.

Ver las curvas experimentales obtenidas de la floculación para la arcilla caolinítica, aplicando estos conceptos teóricos en el capítulo de Ingeniería del Proyecto. Anexo (7.3.4.).

V. INGENIERIA DEL PROYECTO

CAPITULO V

INGENIERIA DEL PROYECTO

INTRODUCCION

En este capítulo se desarrolla todo lo correspondiente a la investigación propiamente dicha. Es decir, se incluye las pruebas experimentales, interpretadas y luego plasmadas a gráficos, las cuales describen el comportamiento del fenómeno que se está estudiando.

En este ítem enfoco todas las pruebas importantes realizadas en la fase de Laboratorio a la cual la llamo Investigación Básica y luego con estos resultados obtenidos se hace el escalamiento correspondiente a la fase de Planta Piloto o llamada Ingeniería Básica, para luego escalarlo a nivel de Planta Industrial o Ingeniería propiamente dicha.

Fundamentalmente, el desarrollo seguido corresponde al cronograma de la investigación, esto es, ha-

cer una revisión bibliográfica e interpretarla, acondicionar y montar equipos para laboratorio así como - para Planta Piloto, hacer los ensayos previos, evaluar los, establecer el proceso productivo y luego optimizarlos con el objetivo de cumplir las especificaciones de la industria papelera (ver sección 2.2.2.)

5.1. ENSAYOS PRELIMINARES DE LABORATORIO

Los ensayos preliminares consistieron en hacer un estudio de las propiedades físicas de un caolín tratado (fuera de especificaciones) al cual se le hicieron pruebas de sedimentación, densidad, viscosidad, índice de refracción, etc.

Se observó que no había similitud con los caolines dentro de las normas papeleras. Entonces, la decisión era investigar.

¿Cómo surge la idea del Proceso? La idea se desarrolló básicamente en una observación detenida, cuando se hacía un estudio de la prueba de sedimentación, en ella se pudo observar que conforme el tiempo de sedi

mentación transcurría la separación del material sea en varias zonas perfectamente definidas, entonces surgió la idea de hacer una separación de éstas.

De estas separaciones se hizo un análisis sobre malla #325 y vimos que el porcentaje de residuo variaba, y que las calidades con respecto a la materia original tenían una gran diferencia.

La operación de sedimentación se repitió agregando un dispersante y confirmamos la idea ya que se mejoró el porcentaje de extracción y calidad del producto como se muestra en los siguientes resultados.

(1) Muestra LO-01-M(-800)

Peso: 10gr sin defloculante.

(2) Muestra LO-01M(-800)

Peso: 10 gr con defloculante al 1.0%

(Volumen total V = 100ml)

MUESTRA L0-01M

t (min)	H (ml) ⁽¹⁾	H (ml) ⁽²⁾	L (ml)
0	100	100	--
1	95	100	00
2	88	99.5	5
5	75	99	8
10	50	98	8.5
20	25	97	9
30	18	96	10
60	15	96	11
120	13	95	11
150	13	95	11
% Extracción	2.0%	85%	

Donde $\% \text{ Extracción Caolín} = \frac{H-L}{V} \times 100$

5.1.1. SELECCION DE MATERIAS PRIMAS

Se contaron con cuatro muestras que te
nían los siguientes análisis de óxidos que a
continuación se especifican:

- 1) CAOLIN DE HUANUCO. Proveedor: Sr. LOPEZ
OTERO

Análisis Químico del Caolín Bruto

Húmedad, % H ₂ O	1.82
Pérdidas por Ignición %	7.08
Sílice, SiO ₂ %	62.70
Al ₂ O ₃	28.30
Oxido de Hierro %	0.10
Cobre ppmCu	0.10
Magnesio ppmMn	0.10
Gravedad Específica	2.55

- 2) CAOLIN DE MINERA BARIBENT, Muestra N°1.-
Análisis Químico

<u>Oxido</u>	%
SiO ₂	69.60
Al ₂ O ₃	15.51
Fe ₂ O ₃	1.63
H ₂ O Hidratada	13.20

3) CAOLINES DE GARCIA FIGALLO: Palo Solo 1 y Palo Solo 2

Los análisis fueron los siguientes:

Palo Solo 1		Palo Solo 2
Oxido	%	%
SiO ₂	59.80	61.06
Al ₂ O ₃	39.00	36.60
CuO	0.00	0.00
MgO	0.72	0.18
Fe ₂ O ₃	1.00	1.40
P.x I.	No deter	No deter
	99.24	100.52

Además, se tuvieron otras muestras de Mine ra Baribent y de García Figallo, pero no se hicieron sus análisis.

De las muestras mencionadas se seleccionó las proveídas por el sr. López Otero (LO) y

por la Cía Minera Baribent (Muestra N°1).

El factor más importante para la selección de estas muestras fueron que eran fácilmente disgregables en agua mientras las otras, requerían una molienda previa, pero esto - no implica que se descartó su investigación.

5.1.2. TRATAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS

PRUEBA N°1

De acuerdo a las pruebas preliminares se sometieron los materiales a las siguientes operaciones:

A) Disgregación con agua y agitación:

Se tomaron 200 gr. de muestra y se disgregó en agua en una relación de 1: 10, se agitó durante 5 min. y se tamizó en malla 800 um.

B) Sedimentación, Filtración y Secado

Se sedimentó por gravedad lo obtenido en (A)

de 30-60 seg y a continuación se filtró la suspensión y se secó (por lo menos durante tres horas) obteniendo un producto cuyo análisis se muestran en el ítem 5.1.3.

C) Tratamiento con Acido Clorhídrico

Como la muestra tenía un regular contenido de Fe_2O_3 , por lo cual se pensó que podría influir en el color del producto final y con el objeto de eliminar este óxido se trató con ácido clorhídrico aproximadamente al 10% y a una temperatura de 50 a 60°C.

Luego este producto es lavado hasta eliminar totalmente el Hcl, se filtra y se seca. Los resultados fueron buenos.

PRUEBA N°2

A) Esta prueba se hizo igual que (A) de la prueba N°1.

B) Esta prueba se hizo igual que en (B) de la prueba N°1.

C) Esta prueba no fue necesario

D) Tratamiento con defloculante

Habiendo observado que en las pruebas previas se conseguía una separación mejorada, se hizo este tratamiento con el objeto de eliminar la máxima cantidad de sílice para de esta manera bajar la abrasividad del producto.

D (SP) P.R. RESC
006

Se dispersó la solución con PFTSA en una relación agua-caolín de 10:1, se agitó por 5 min luego lo sedimentamos por 25 minutos, se filtró la suspensión y se secó a 105°C.

TA IN OS
EDD
GIRAS
U. DE
PL (CE)
CUBA
CHAD
ADIC
Prey

5.1.3. RESULTADOS DE LOS ANALISIS

Estos análisis se realizaron en los Laboratorios de Paplera Atlas S.A. (PASA), bajo normas estandares de la TAPI.

MUESTRA N°1.-

LOPEZ OTERO (LO).- Sin defloculante:

Rendimiento: 33.0%
abrasividad: 517.0 mgr Valley
Blancura : 76.0% Photovolt
Residuo sobre malla: #325 = 10% Peso.

MUESTRA N°2.-

MINERA BARIBENT(MB).- Con poco defloculante:

Rendimiento: 19.5%
Abrasiividad: 68.0mgr Valley
Blancura : 79.0% photovolt
Residuo sobre malla 325; 0.04%

Después se hizo un tratamiento de la muestra con un defloculante, con el objeto de dispersar las partículas y purificarlas, obteniendo los siguientes resultados:

MUESTRA LOPEZ OTERO N°2,- (LO)

Rendimiento: 8%
Abrasividad: 32 mg Valley (máximo 30mg)
Blancura : 80% Photovolt (mínimo 74)

Residuo malla + 325:0.03 (máximo 0.20)

.1.4. EVALUACION DE LOS RESULTADOS

De acuerdo a los valores obtenidos en (5.1.3.) podemos concluir que las especificaciones para la blancura era satisfactoria por lo que se descartó su tratamiento con Hcl u otro blanqueador.

En cuanto a la abrasividad se observa que inicialmente era muy alta, 517mg Valley, pero como vemos en la muestra (MB) N°2 y (LO) N°2 disminuye considerablemente, aproximándose a las especificaciones de la Tabla III Sección 2.2.2., cap. II. De donde concluimos que el proceso debe ser tratado con defloculante y que el esquema de operación planteado es satisfactorio y económico quedando por optimizar dicho proceso.

Es menester aclarar que además del método descrito se ensayó otros procesos de purificación que consiste en la "FLOTACION", proceso que fue diseñado fuera de los alcances del presente convenio de investigación y que las pruebas competen solamente al autor.

Las pruebas realizadas se describen en el Anexo (7.3.5.) y aún continua en estudio a la fecha.

5.1.5. PRUEBAS DISEÑADAS EN EL LABORATORIO

Luego de haber establecido el método de purificación lo que se hizo fue acondicionar los equipos a utilizarse en el laboratorio.

Además se tuvo que seleccionar los parámetros que influenciaban en el proceso de extracción, a saber:

- Relación de agua-caolín (R.S.)
Tiempo de agitación (tag)

Velocidad de agitación (RPM)

Tiempo de sedimentación primera extracción

Porcentaje de defloculante (%PTSA)

Porcentaje de sedimentación con defloculan
te (θ_2)

Con el propósito de establecer las condiciones óptimas del proceso se estableció el siguiente Plan de Trabajo.

5.1.5.1. PLAN DE TRABAJO

Muestra para prueba: 300 gr.

Cantidad de Pruebas: mínimo 6.

1) PRIMERA EXTRACCION

1.1. Determinación de la relación de solvente óptimo (manteniéndose constantes: tiempo de agitación, RPM, presión, temperatura

y tiempo de sedimentación) estableciéndose en función a las relaciones siguientes de caolín-agua: 4:1; 6:1; 8:1; 12:1, 15:1.

1.2. Determinación del tiempo de agitación óptimo, se trabajará con la relación de solvente obtenido en el ítem 1.1 y manteniéndose constante, RPM, temperatura (T°) presión y tiempo de sedimentación (θ_1). Se tomó 5min, 10min, 15mn, 20 mn, 25 min y 30 min., etc.

1.3. Determinación del RPM óptimo, se trabajará con los valores obtenidos en 1.1. y 1.2. manteniéndose constante θ_1 , T° y presión, se tomó para las pruebas: 300, 400, 500, 600 y 700 RPM.

1.4. Determinación del tiempo de sedimentación óptimo, se trabajará con los valores obtenidos en 1.1, 1.2, 1.3, T° y presión. 1/2', 1', 1 1/2', 2', 3', 5'.

2) SEGUNDA EXTRACCION

En esta segunda extracción los parámetros que influyen son también los mismos que se hallaron en la primera extracción pero con diferentes condiciones de operación.

2.1. Porcentaje de Defloculante, se trabajará con la muestra obtenida en la primera extracción con los parámetros obtenidos siguientes:

- Relación de solvente agua-caolín: 10:1

Tiempo de Agitación: 10 min

RPM : 600

- Tiempo de Sedimentación: controlado hasta 30'

Altura de Sifoneo: 12 cm

% de Defloculante: 0.3, 0.4, 0.6, 0.8
1.0, 1.2.

Se usará un polifosfato (PFTSA).

5.2. SELECCION DE LA ALTERNATIVA Y PARAMETROS OPTIMOS
DE LABORATORIO

Habiendo evaluado los resultados preliminares y obtenido resultados satisfactorios, se seleccionó el presente método que se describe a continuación por ser más sencillo y económico.

Se pesa una cantidad de 200-300 gr. de materia prima y se le somete a la Primera Extracción que consistía en disgregar en agua en una relación adecuada controlando los parámetros mencionados en (5.1.5.). Luego se controla el tiempo de sedimentación y se decanta el caolín impuro (asignado como LO-OIM o MB-OIM dependiendo de la muestra), la cual se filtra, se seca y pesa, reportando así los rendimientos de la primera extracción.

Luego, con este caolín impuro, se hace la Segunda Extracción, disgregando en agua a una relación con caolín adecuado; se controlan los parámetros mencionados, luego se le adicionaba el dispersante adecuado, (PFTSA), dejando sedimentar por un tiempo adecuado, se decanta la suspensión, se floclula o neutraliza la dis

67
SERVICIO DE
Y MUESTRA
SERVICIO DE
DE SER (E. PRO

persión, seguidamente se centrifuga para extraer el a gua, luego se seca y pesa el producto (llamado L0-01D MB-01D dependiendo de la muestra). En otra alternativa una vez concentrada la solución se hacía un secado por atomización en el spray-dryer del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UNI, obteniéndose el producto.

5.2.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA OPTIMIZACION DE PARAMETROS DE LA PRIMERA EXTRACCION

El proceso que se aplicará para la optimización de los parámetros es el mismo que se ha descrito en el item 5.2.

MUESTRA (LO-01) y (MB-01)

5.2.1.1. DETERMINACION DE LA RELACION DE SOLVENTE OPTIMO

Peso: 250 gr.

Parámetros constantes:

Tiempo de agitación: 20 min

Velocidad de agitación: 600RPM
Tiempo de Sedimentación: 1 min
Relación de solvente (agua-caolín):
Variable.

EVALUACION.- Se realizó por el % de Extracción

MUESTRA LO-01		MB-01	
Relación Solvente/Sólidos	% Extr.	Relación Solvente/Sólido	% Extr.
4 : 1	25.86	1:1	40.39
5 : 1	28.77	2:1	39.54
6 : 1	28.36	3:1	40.38
8 : 1	25.88	4:1	42.19
9 : 1	26.86	6:1	40.18
10 : 1	29.044	8:1	39.26
11 : 1	26.76	10:1	37.40
12 : 1	28.84	12:1	35.07
14 : 1	28.04	14:1	35.12

Ver Anexos 7.3.2., Fig. (7.3.2.1a) y (7.3.2.1b)

La discusión y conclusión se muestra en el ítem 5.2.3.1.

5.2.1.2. DETERMINACION DEL TIEMPO DE AGITACION OPTIMO

Peso : 250 gr

Tiempo de agitación : Variable

Parámetros constantes:

R -S : 10 : 1 para (LO-01)

6 : 1 para (MB-01)

RPM ; 600

θ_1 : 1 min

(LO-01)		(MB-01)
tag	% Extr	% Extr
5'	24.37	31.69
10'	24.77	34.23
15'	26.02	38.27
20'	27.85	39.43
25'	27.30	41.86
30'	28.54	40.39
40'	27.65	39.5
45'	28.10	40.50
60'	27.68	40.0

Ver anexo 7.3.2., Gráfico (7.3.2.2a) y (7.3.2.2B).

Ver conclusiones Item 5.2.3.1.

5.2.1.3. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE AGITACION OPTIMA

Peso: 250 gr

Velocidad de Agitación: Variable(RPM)

Parámetros constantes:

R.S. : 10:1 (LO-01) y 6:1 (MB-01)

tag : 30 min (LO-01) y 25 min(MB-01)

θ : 1 min

(LO-01)		(MB-01)	
RPM	% EXTRAC	RPM	% EXTRAC
315	23.2	228	29.02
350	26.4	319	38.7
400	22.4	396	41.2
470	25.48	480	40.4
560	26.40	564	43.61
600	30.83	698	40.70
680	29.56	816	40.86
740	25.20		
790	26.00		

Conclusiones en el Item 5.2.3.1. Ver Anexo (7.3.2.)

Gráficos (7.3.2.3a) y (7.3.2.3b)

5.2.1.4. DETERMINACION DEL TIEMPO DE SEDIMENTACION OPTIMO DE LA PRIMERA EXTRACCION

MUESTRA N°1.- (LO-01)

Peso = 250 gr

Tiempo de Sedimentación (θ_1) = variable

PARAMETROS CONSTANTES:

RS : 10:1

tag: 30'

RPM: 600

Se efectuaron primero extracciones a diferentes tiempos de sedimentación, pero con el porcentaje de extracción no se podía evaluar, entonces lo que se hizo fue un estudio de la velocidad de sedimentación, tomando 10 gr. de cao lín impuro producto de la primera extracción a diferentes θ_1 , para determinar así la mejor extracción y con el mejor rendimiento. En todas las pruebas se tomaron como base un tiempo de sedimentación de 10 min.

Tiempo de Sedimentación θ_1 (min)	H(CC) Para 10 min
0.5	37.5
1.0	43.0
1.5	48.0
2.0	51.5
3.0	59.0
5.0	51.5

Ver conclusiones en el Item 5.2.3.1. y Anexo (7.3.2.) Gráfico (7.3.2.4a.)

MUESTRA N°2.- MINERA BARIBENT(MB-01)

Peso : 250 gr.

Tiempo de Sedimentación (θ_1) = Variable

Parámetros Constantes:

RS : 10:1

tag: 25min

RPM: 600

Evaluación.- Como esta muestra contenía alta cantidad de silice libre muy finamente dividida se determinó el residuo sobre malla 325 y se tomó co

mo la mejor muestra aquella que tenía la menor cantidad de residuo a diferentes tiempos de sedimentación.

RESULTADOS.- Se muestran en la siguiente TABLA

006/78

θ_1 (min)	Peso Extraído (gr)	Residuo (gr)	Porcentaje Residuo /Peso Extrac.
0.5	96.73	8.33	8.61
1.0	94.77	7.89	8.33
1.5	96.17	6.94	7.22
2.0	93.90	7.19	7.66
3.0	91.85	7.29	7.94
5.0	90.66	6.94	7.85

Ver conclusiones Item 5.2.3.1. y Anexo (7.3.2) Gráfico (7.3.2.4b).

5.2.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA OPTIMIZACION DE PARAMETROS DE LA SEGUNDA EXTRACCION

En este caso se mantuvo constante la velocidad de agitación, y el tiempo de agitación,

se varió la relación de agua-arcilla, porcentaje de defloculante y el tiempo de sedimentación.

5.2.2.1. OPTIMIZACION DEL PORCENTAJE DE DEFLOCULANTE

MUESTRA (LO-01)

Después de aplicar los parámetros de la primera extracción se obtuvo una muestra (LO-01M) de caolín impuro y se hizo la segunda extracción manteniendo constante los siguientes parámetros:

RS : 10:1
tag: 5 min
 θ_2 : 30 min
RPM: 600

Base : 40 gr

<u>% Defloc.</u>	<u>% Extrac.</u>	<u>Calidad</u>
0.5	1.24	Regular
1.0	38.5	Buena
1.5	26.64	Buena
2.0	22.25	Regular

Ver fig (7.3.3.1.)

MUESTRA SR. RONALD MARAVI (RM-01)

Para hacer este estudio nos basamos en los siguientes métodos:

-) Por la velocidad de sedimentación
-) Por el porcentaje de extracción

Por la calidad de la muestra extraída, basado en el análisis de % SiO₂.

Para realizar estas pruebas se mantuvo constante los siguientes parámetros:

R.S. : 1:5

tag : 10 min

RPM : 570

: 30 min (tiempo de sedimentación de la 2da. extracción)

Ø paletas: 5 cm

Base: 80 gr de (RM-01M)

El proceso de evaluación y las curvas resultantes se muestran en el anexo (7.3.3.2). A1 y B1

Los resultados del análisis de % SiO₂ y del % de Extracción se muestra en la Tabla (5.2.2.1) y de la velocidad de sedimentación en la Tabla (5.2.2.2).

Tabla (5.2.2.1) Análisis de SiO₂ y % Extrac

%PTSA	Peso (gr) Extraído	% Peso	% SiO ₂
0.5	3.61	4.71	59.25
0.6	5.43	6.78	58.20
0.8	6.27	7.84	55.80
1.0	7.99	9.98	56.05
1.2	9.22	11.52	55.70

TABLA 5.2.2.2. VELOCIDAD DE SEDIMENTACION

t min	% de Defloculante PFTSA								
	0.5%	0.6%		0.8%		1.0%		1.2%	
	H	H	L	H	L	H	L	H	L
0	5.6	5.6	0.0	5.6	0.0	5.6	0.0	5.6	0.0
1	5.4	N.O.	0.3	N.O.	0.2	N.O.	0.3	N.O.	0.3
2	5.1	N.O.	0.5	N.O.	0.4	N.O.	0.4	N.O.	0.5
4	4.6	N.O.	0.6	N.O.	0.6	N.O.	0.6	N.O.	0.6
6	4.3	N.O.	0.8	N.O.	0.5	N.O.	0.8	N.O.	0.7
8	4.0	4.3	0.8	N.O.	0.6	1.4	---	4.4	---
10	3.8	4.2	---	3.6	0.9	4.2	---	4.1	---
12	3.4	3.7	---	3.7	---	4.0	---	3.9	---
15	3.0	3.2	---	3.5	---	3.5	---	3.3	---
20	2.4	2.7	---	3.2	---	3.1	---	2.9	---
25	---	2.3	---	2.8	---	2.3	---	2.4	---
30	2.35	2.25	---	2.5	---	2.2	---	2.2	---

Donde H y L están en cm y el área de la sección transversal del vaso fue de 95cm².

N.O. No observado.

PROCESO
S.A. (S)
S.A. (S)
S.A. (S)
S.A. (S)
006/78

MUESTRA SR. GARCIA FIGALLO (GF-01)

La Evaluación se hizo muy parecida a la de la muestra anterior, sólo que para esta muestra en los métodos (a) y (b) se estableció las siguientes condiciones de operación:

R.S. :10:1

tag :10 min

ROM :600

θ_2 :30 min

%PTSA :Variable

Altura de Sifoneo = 12 cm

\emptyset de paletas : 5 cm

Base: 70 gr de GF-01M

El resultado de las curvas se muestran en el Anexo (7.3.3.3). A.2 y B.2

Los Datos Experimentales del % de extracción y de la velocidad de sedimentación se muestran en la Tabla (5.2.2.3) y (5.2.2.4), respectivamente.

TABLA (5.2.2.3).- PORCENTAJE DE EXTRACCION

<u>% PFTSA</u>	<u>PESO EXTRAIDO (gra)</u>	<u>% PESO</u>
0.3	8.43	12.04
0.4	21.24	30.34
0.6	28.00	40.00
0.8	22.32	31.88*
1.0	21.15	30.21*
1.2	19.95	28.50

* Estas muestras aparentemente tenían mejor calidad.

TABLA (5.2.2.4.) SEDIMENTACION A DIFERENTES
PORCENTAJES DE PFTSA

θ (min)	% DE DEFLOCULANTE PFTSA						
	0.3	0.4	0.6	0.8		1.0	
	H	H	H	H	L	H	L
0	9.4	9.3	9.2	9.2	0	9.3	0.0
1	8.9	8.7	8.8	9.0	0.3	9.3	0.2
2	8.7	8.5	8.4	8.9	0.4	N.0	0.3
4	8.4	8.3	8.1	N.0	0.6	N.0	0.4
6	8.0	8.0	7.75	N.0	0.7	N.0	0.55
8	7.7	7.7	7.4	N.0	0.8	N.0	0.6
10	7.3	7.3	7.0	N.0	0.9	N.0	0.88
15	6.5	6.6	5.9	N.0	0.95	N.0	0.76
20	5.6	5.8	5.2	N.0	1.0	N.0	0.82
25	4.8	5.2	4.3	N.0	1.0	N.0	0.88
30	4.1	4.4	3.5	N.0	1.0	N.0	0.9

H, L = en cm

N.0 = No observado

821908-1
 4-1-00678

5.2.3. DISCUSION Y CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS DE LA OPTIMIZACION

5.2.3.1. PRIMERA EXTRACCION

Del análisis de los resultados y gráficas obtenidos en el Laboratorio se concluye:

<u>PARAMETROS OPTIMOS</u>	<u>L0-01</u>	<u>MB-01</u>
Relación de Agua-caolín <u>Ópti</u> mo	10:1	6:1
Tiempo de agitación <u>Óptimo</u>	30 min	25min
Velocidad de agitación <u>Óptimo</u>	600RPM	600RPM
Tiempo de Sedimentación <u>Óptimo</u>	2 min	2 min

2. En la optimización de los diferentes parámetros se tomó como índice de medida el porcentaje en peso de extracción, debido a que es un parámetro que está ligado con el rendimiento y calidad del producto.
3. Quedó pendiente el análisis químico de esta fracción extraída, en base a la cual se puede obtener una mejor conclusión sobre el porcentaje de caolín obtenido en el proceso

de extracción, la razón por las que no se efectuaron dichos análisis es que no se contaron con los crisoles de platino indispensables para dicho análisis, ya que al tratar de usar los crisoles de níquel como sustituto de los anteriores, los resultados obtenidos no eran concordantes.

- 4) El agua que se ha utilizado en todas las pruebas proviene de los pozos de la UNI, cuyos análisis son los siguientes:

PH : 6.45 a 26°C

Dureza total: 407.6ppm CaCO_3

Calcio (Ca) : 336.8ppm Como CaCO_3

Magnesio (Mg) : 70.8 ppm como CaCO_3

Alcalinidad ph : 0.0

Alcalinidad MO : 186.6mgr de CaCO_3

Cloruros (cl) 72.2 ppm.

5.2.3.2. SEGUNDA EXTRACCION

- 1) Del análisis de los resultados y de los gráficos obtenidos se concluye que los parámetros óptimos de operación son:

<u>Párametros</u>	<u>LO-01M</u>	<u>RM-01M</u>	<u>GF-01M</u>
Relación agua-caolín(RS)	10:1	6:1	10:1
Tiempo de agitación (tag)	5min	10min	10min
Tiempo de sedimentación (θ_2)	30min	30min	30min
Velocidad de agitación(RPM)	600	570	600
Porcentaje de Defloculante(%PFTSA)	1.0%	0.8%	0.8%

- 2) En la optimización del % de defloculante para la muestra RM-01M se hizo el análisis de SiO_2 por el método de Espectrofotometría (ó sea no se uso crisol de platino). El método se basa en establecer una muestra patrón de sílice que fue proporcionado por la MERCK bajo el nombre comercial de TRITRISOL y luego con este patrón se establece una curva calibrada según la ecuación de Lambert basado en la absorvancia de la sustancia que es de-

tectado por el Spectronic 20 (Equipo del Laboratorio de Análisis Instrumental de la Universidad Nacional de Ingeniería).

Luego la muestra problema es comparada con la muestra patrón registrándose su absorvancia que se ubica en la curva calibrada y dará la concentración respectiva de óxido de silicio

Se pudo comprobar que hay una relación funcional entre el porcentaje de defloculante a agregar, la relación de solvente y la cantidad de sólidos presentes.

La correlación experimental se encuentra todavía en estudio.

- 4) Del Estudio realizado de la velocidad de sedimentación se puede inferir que hay hasta tres zonas perceptiblemente definidas que pueden llamarse en orden de sedimentación: Sílice gruesa-caolín más sílice finísima caolín puro.

- 5) Conforme se aumentó el porcentaje de PFTSA (más del 0.6%) no se podía observar la altura H de sedimentación debido a que la solución dispensada era muy "difusa".

Se usó "Luz polarizada" para observar la interfase de sedimentación, pero tampoco dio resultado. Tal vez sería mejor utilizar un poco de mayor potencia y polarizarlo mediante un prisma de "Nichols" pero no se hizo la prueba por falta del equipo.

- 6) Con estos datos obtenidos en esta parte de la investigación ya se estaba en condiciones reales de encaminarnos hacia la elección del diseño de la mejor planta piloto para el procesamiento de las materias primas estudiadas.

5.2.3.3. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES GENERALES

1. Se pudo comprobar experimentalmente que el tripolifosfato de sodio (Dímero) es menos efectivo en su poder dispersante que el Pirofosfato Tetrasódico Anhidro (Tetrámero), esto

se realizó mediante un estudio de la velocidad de sedimentación en iguales condiciones. Luego podemos inferir que conforme aumente la cadena mejora la acción dispersante de los polifosfatos pero esto sucede hasta cierto rango y fuera de éste actúa como floculante.

2. El fundamento de agregar el pirofosfato tetrasódico obedece a crear un campo eléctrico neutro, es decir, formar una estructura "quelatizada". Este fenómeno se verifica cuando al agregar Hcl se rompe el equilibrio de la adsorción que exhibía el caolín (bajo la estructura de kaolinita) y precipita.
3. La floculación que se hizo con "Magnafloc" en una suspensión dispersada se debe a la presencia de centros activos que producen una atracción entre ángulos positivos y cargas hundidas negativas de cristales adyacentes de caolinita.

5.2.4. PRUEBAS EXPERIMENTALES DE FLOCULACION

Una de las operaciones necesarias en el proceso de purificación era concentrar las soluciones, ya que el objetivo era hallar el mejor floculante que pueda usarse en la floculación de caolines, a partir de

soluciones diluídas, como un paso previo a su filtración y secado.

Las pruebas se efectuaron a nivel de Laboratorio, por lo que este informe se circunscribe a ese nivel. No obstante, sus conclusiones se aprovecharon en las pruebas de Planta Piloto del presente proyecto.

5.2.4.1. ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES FLOCULANTES

Floculantes Evaluados.- Se probaron 4 flocuantes con un mismo caolin; (MB-01C).-

Magnafloc

Percol 351

Almidón

Tunafloc

Prueba de Sedimentación.- Se uso como elemento principal de trabajo la Prueba de Sedimentación

Consiste en disolver en agua, usando una probeta de 100c.c., una cantidad conocida de caolín; se agrega un peso conocido de floculante, se agita durante un minuto para homogenizar bien y se deja reposar. A partir de este momento se va anotando el nivel de interfase entre el líquido claro (arriba) y el lodo en suspensión (abajo), cada 5 minutos hasta que la interfase se mantenga constante.

en las curvas resultantes de los gráficos del 7.3.1. al 7.3.14.

Las Principales conclusiones son:

De los 4 floculantes evaluados el mejor es el Percol 351. Ver gráficos 7.3.9, 7.3.10 y 7.3.11.

A una definida concentración de sólidos, se mejora la floculación incrementando la dosificación de floculante. Ver gráficos 7.3.1. al 7.3.8.

El incremento de la dosificación de floculante mencionado anteriormente tiene un límite ante el cual, por más que se adicione floculante no se mejora la floculación. Ver gráfico 7.3.12. Este comportamiento varía con el floculante usado y el sólido a flocular.

Si antes de usar floculante se ha usado un defloculante, éste tiene una acción adversa sobre el primero. Ver gráfico 7.3.13. Aquí las curvas (1) y (2) son sedimentaciones realizadas sin defloculante (PFTSA) y las curvas (3) y (4) son con defloculante. Para eliminar esta acción adversa debe primero diluirse la solución con agua, dejar sedimentar y eliminar el agua de lavado que contendrá buena parte de defloculante. Estos lavados deben efectuarse unas 3 a 4 veces para minimizar el defloculante en la solución.

Para una misma dosificación de floculante se requiere diluir el lodo para mejorar la floculación. Ver Gráfico 7.3.14. La misma conclusión se obtiene al comparar los Gráficos 2 vs. 1; 4 vs 3; 6 vs 5; y 8 vs 7, del anexo 7.3.4.

Superponiendo la curva de Percol 351 del Gráfico 7.3.9. en el Gráfico 7.3.12. se puede notar que se requiere alrededor de 30 veces más Tunafloc para alcanzar el mismo efecto floculante del Percol 351. Nótese que en el Gráfico 7.3. el Percol 351 está a una concentración de 0.001% y si se le dibuja en el Gráfico 12 resulta ubicado muy cerca de la curva N°5 que corresponde a una concentración de Tunafloc de 0.033%.

Como recomendación se puede expresar que para flocular caolin es mejor usar Percol 351 que tiene un comportamiento muy superior a los otros floculantes estudiados.

5.2.5. METODO OPTIMO DE LABORATORIO

Después de haber optimizado las pruebas de Laboratorio que se tuvo que hacer fue determinar el proceso productivo a emplearse el cual consiste en lo siguiente: Ej. Muestra LO-01M.

La materia prima disponible se reduce a un tamaño de partícula de más o menos 1 mm., ésto es dependiendo de la muestra con que se esté trabajando, Ver capítulo III, Item 3.4. y seguidamente se tamiza. Luego la muestra se disgrega en una relación de agua-caolín de 10:1 controlando el tiempo de agitación por 30 min. y la velocidad de agitación de 600 RPM, luego se detiene la agitación y se le dá un tiempo de sedimentación de 2 min., seguidamente se decanta para separar una suspensión de caolín impuro, luego se filtra y se seca la torta en una estufa, registrándose el rendimiento de la primera extracción.

Después este caolín impuro es tratado en una segunda extracción, disgregando en una relación de agua caolín de 10:1 a la cual se le agrega el 1% de defloculante (PFTSA). Luego se agita durante 5 minutos a una velocidad de 600 RPM y se deja sedimentar durante 30 min., para luego decantar la suspensión dispersada que es el caolín puro. Esta es sedimentada por centrifugación utilizando una centrifuga de rotor tubular de alta velocidad y finalmente se seca y pesa el producto.

No se utiliza la sedimentación por gravedad o filtración ya que las partículas de la suspensión de caolín son muy pequeñas y estas operaciones son inoperantes.

Este método se aplicó a varias muestras para evaluar su rendimiento y calidad, ver anexo 7.2.4.

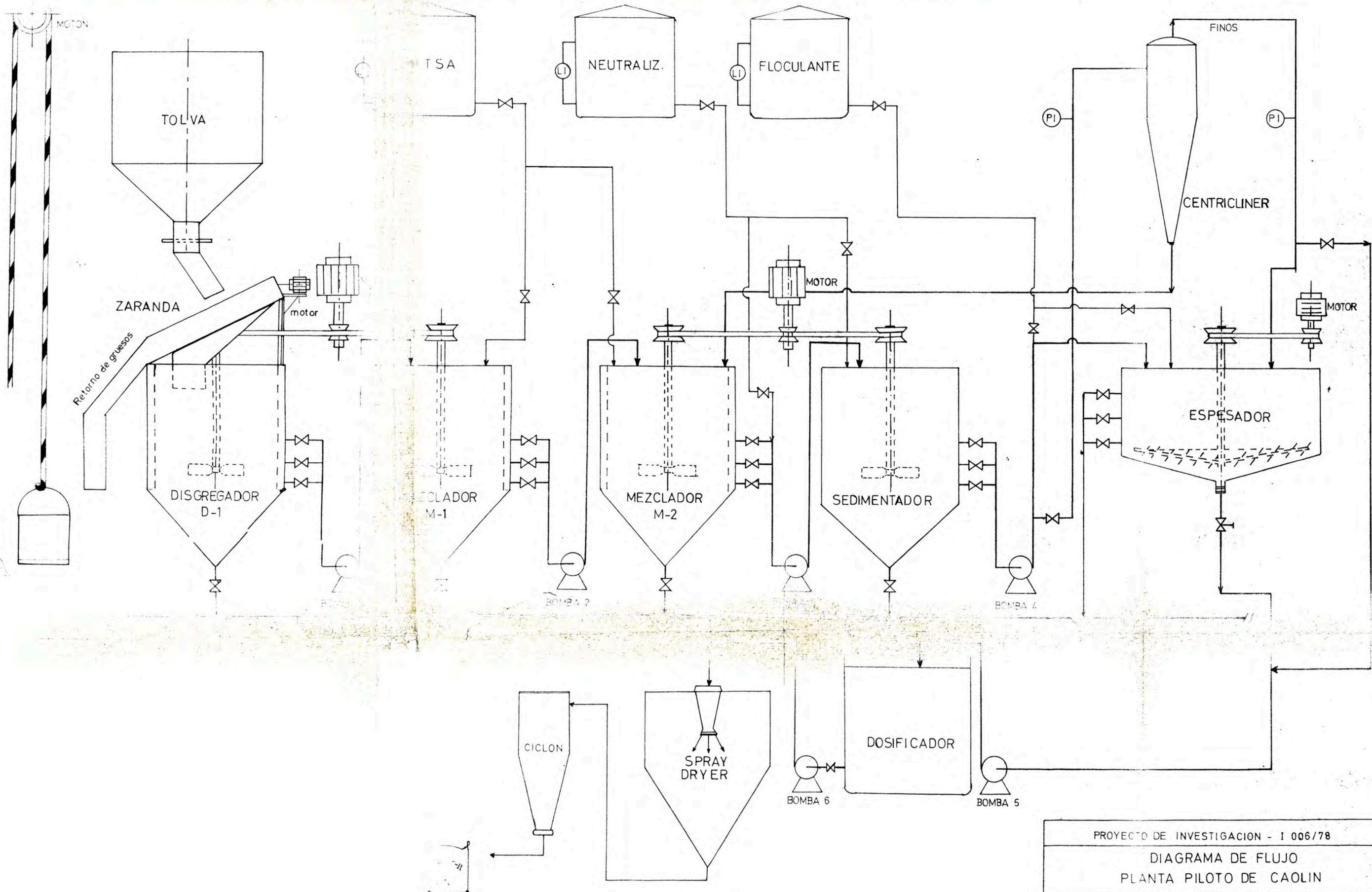
Antes de establecer el proceso a nivel de planta piloto lo que se hizo fue simular el proceso descrito anteriormente en forma continua a nivel de Laboratorio; ésto para poder estimar la factibilidad de dicho proceso. Los resultados mostraron que, seleccionando correctamente la materia prima y controlando con cuidado los parámetros los resultados serían muy buenos.

5.3. DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO

5.3.1. PROCESO PRODUCTIVO EMPLEADO EN PLANTA PILOTO (DIAGRAMA DE FLUJO)

Luego de haber ajustado el proceso a nivel de Laboratorio, lo que se hizo fue determinar las operaciones a nivel de planta piloto.

A continuación se hará una descripción en forma es -
cueta del proceso a emplearse en planta piloto, para
una mayor información el interesado, puede recurrir a
los informes en propiedad de Sociedad Paramonga Ltd.



PROYECTO DE INVESTIGACION - I 006/78	
DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA PILOTO DE CAOLIN	
DEPARTAMENTO DE PROCESOS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	Dibujado y Revisado por: Edwin Dextre J.
ESCALA : IND	Fecha 22-07-80
	Nº —

A) TRANSPORTE Y ALIMENTACION DE LA MATERIA PRIMA

El caolin con un grado de molienda máxima de + 1/4" en promedio de espesor, esto depende de su textura granulométrica que presenta y el grado de disgregación que tiene en agua, son alimentadas mediante un elevador de cangilones, a una tolva la cual alimenta por gravedad a una zaranda vibratoria que posee una malla 20 tyler, que tiene 10.8mm de abertura la cual alimenta directamente al tanque de disgregación N°1.

El agua se alimenta directamente al tanque de Disgregación N°1 (D-1) en una relación de 10 a 15 veces la cantidad de arcilla bruta alimentada a la malla 20 tyler.

B) DISGREGACION

Los materiales que se alimenta al tanque de disgregación son sometidas a una agitación vigorosa mediante un agitador de paletas formando una mezcla de lodos uniforme.

En esta fase del proceso lo que se quiere es extraer el caolin en su mayor porcentaje de la roca madre. Además, las condiciones de operación en el tanque son:

Presión de una atmósfera

Temperatura de la suspensión máxima 25°C

Tiempo de operación comprendido entre
30 min a 2 días de disgregación.

En esta fase del proceso puede suceder como inconveniente que se disgregue también la sílice que es la impureza indeseable, esto puede suceder debido a una agitación muy vigorosa. Se recomienda en este caso un cambio en el tipo de paletas por ejemplo, tipo turbina con paletas inclinadas, o de lo contrario una agitación con aire a presión la cual genera buena turbulencia y por lo tanto buena disgregación pero sin romper las partículas de cuarzo, en todo caso si el inconveniente persiste el grado de molienda no es el adecuado.

Luego el lodo disgregado se sedimenta por un tiempo adecuado y se bombea al mezclador N°1 (M-1).

C) PRIMERA PURIFICACION

C.1. DESLAMADO

La suspensión alimentada en el mezclador N°1 es agitada mecánicamente mediante un agitador de paletas con la cual se continua la disgregación y además la primera purificación, pues se drena los materiales gruesos que sedimenta.

Además, en este mezclador se le agrega el deflocu

lante (PFTSA) en pquena cantidad para favorecer la dispersión en una relación al contenido de sólidos y el volumen total de dilución (generalmente es de 0.5% al 1.0% de los sólidos).

En esta fase del proceso se debe tener en cuenta:

El control de la densidad de solución

Temperatura de la suspensión menor de 25°C

Control del tiempo de sedimentación de 5 a 10min.

Control del P.H. que debe estar entre 7-8.25

Tanto el recipiente como el agitador deben de estar forrados con una resina o fibra de vidrio.

El tamaño de partícula de la suspensión menor de 63 u.

El material previamente dispersado es bombeado por sobre una malla Tyler 250 al mezclador # 2 (M-2) y el residuo sedimentado es drenado o recuperado.

C-2. DEFLOCULACION CONTROLADA

La suspensión dispersada parcialmente del mezclador N°1 ingresa al mezclador N°2 (M-2) donde es agitada mecánicamente y es adicionado nuevamen-

te el defloculante en una cantidad en función al % de sólidos y al volumen de dilución formándose una pulpa de caolin homogéneamente defloculada y con partículas menores de 63 μm .

En esta fase del proceso se debe tener en cuenta que:

- La presión de trabajo es atmosférica
- La temperatura debe ser menor de 25°C
- El PH de la pulpa debe de ser el adecuado
- El tiempo de sedimentación debe de estar entre 10 a 60 min.

El tanque puede ser construido de fierro negro pero forrándose con fibra de vidrio

- El brightnes (blancura) de una muestra seca de caolin debe de estar dentro de los patrones estandarizados, en caso inverso realizar el blanqueamiento mediante hidrosulfito de Zn o Hcl.
- La densidad de solución debe estar entre 1.01 y 1.13.

El caolin así beneficiado es bombeado a través de una malla 300 al sedimentador N°1 (S-1) para lo cual se debe diluir la suspensión.

D) SEDIMENTACION

El caolin beneficiado entra a esta etapa donde se

lleva a cabo la última purificación basándonos en el comportamiento de las partículas en cuanto a su velocidad de sedimentación que está controlado por su densidad, tamaño y forma de las mismas.

Para nuestro fines en esta etapa de proceso debe de considerarse que:

El tiempo de sedimentación debe ser el adecuado, entre 0.5 a 1.5 hr.

La suspensión debe estar completamente dispersada por comparación con la densidad de la solución agitada y la suspendida que no debe haber mucha diferencia.

La velocidad de agitación debe ser menor que 30 RPM

La altura de decantación de la suspensión caolinílica debe de estar bien definida

La presión y temperatura no excedan la del ambiente.

Luego de obtener la suspensión caolinílica pura es bombeada al Espesador (E-1)

El residuo sedimentado tiene una buena cantidad de caolin y también sílice finísima por lo que se recupera reciclándose al mezclador M-1.

E) CLASIFICACION CENTRIFUGA EN UN CENTRICLINER

Luego que los lodos han sido purificados parcialmente, en algunas de las materias primas tratantes, la presencia de sílice es abundante en partículas relativamente pequeñas pero que tienen una forma especial angulosa* que atraviesan inclusive la malla 325, entonces una alternativa de separación era utilizando un Centricliner pero con un diseño especial para minimizar los efectos de turbulencia y favorecer la separación en comparación con otros equipos convencionales disponibles. El concepto teórico aplicado para la selección del equipo nace de que una separación ciclónica una sedimentación en el cual se utiliza una fuerza centrífuga radial elevada con un patrón de flujo uniforme, en vez de la débil fuerza de gravedad.

DE SPL. REF.

Se debe cuidar en esta operación:

Control del porcentaje de sólidos: menor del 30%

Densidad de los sólidos entre 2.5 y 3.2

El fluido no debe ser viscoso

Control de la presión de entrada y salida con una caída no más del 5 a 15 psi.

Control del flujo de acuerdo al tamaño de partícula de separación.

* Estas partículas fueron estudiadas aproximadamente en tamaño y forma en el Microfotómetro del Laboratorio de Metalurgia.

F) CONCENTRACION O ESPESADO

Los lodos completamente dispersos son concentrados en un espesador aumentando el % en sólidos de los lodos para lo cual se le agrega un floculante magnafloc u otro equivalente o un neutralizante de la dispersión para romper de esta forma el efecto neutral de las cargas iónicas por lo cual se mantienen dispersos.

Esta operación es muy importante realizarlas con cuidado teniendo presente que:

Agregar el floculante no mayor de 5-10 ppm

Mantener un PH entre 5-6 o 8 a 10.

Diluir la solución

La capacidad del espesador debe almacenar la producción de 4 hr de operación a 10 kgr/hr.

El caolin purificado que se concentra, se tiene de 15-20% en sólidos, lo cual es alimentado a un tanque dosificador para luego secarlos en el spray dry del Laboratorio de Ingeniería Química de la UNI.

En otro caso alternativo se bombea los lodos del espesador a un filtro prensa de marcos obteniendo un "cake" con una humedad de + 13% los cuales son desmenuados y llevados a secarlos en una estufa o un horno de bandejas y después ser molidos en un moli-

no de bolas de porcelana y ser pesados.

G) SECADO

Del espesador se alimenta el lodo en un secador tipo atomizador, en el cual se transforma la suspensión o "slurry" en un sólido en forma de polvo con un diámetro de partícula uniforme en una sola operación.

El principio básico es la atomización de la alimentación que inmediatamente al salir choca con un flujo de aire caliente.

Para esta fase del proceso debe cuidarse que:

La alimentación tendrá un 20% en sólidos como máximo.

El pH de la solución deberá ser 7-8,0

La viscosidad de la suspensión será aproximadamente 7-9

La densidad de la alimentación 1,075-1,11

El producto final debe tener una humedad de 2-3%

El residuo sobre malla 325 debe ser menor 0.2%

La temperatura de entrada del aire sea 400°F

La temperatura de salida del aire sea de 200°F

Como elemento atomizador se usará un disco rotatorio de 24 ventanas rectangulares.

Sería conveniente recubrir las ventanas del rotor

con un material resistente a la abrasión

En estas condiciones la operación de secado por atomización tiene las siguientes ventajas:

- 1) El producto a secar flota continuamente sin chocar con la superficie caliente del metal
- 2) La temperatura del producto es baja, aún cuando la del aire de secado está a temperaturas relativamente altas
- 3) El tiempo de operación de secado es pequeño debido a una gran superficie de contacto
- 4) El producto final es un polvo estable fácil de almacenar y transportar
- 5) La eficiencia de la operación es mayor respecto a las operaciones convencionales para obtener un polvo seco de tal calidad

H) ENVASADO Y ALMACENAJE

La descarga del secador es el producto final listo para su comercialización. Este producto puede ser transportado desde el secador mediante un sin fin a una embolsadora que llenará en 20 kilos por bolsa y luego serán almacenadas en el almacén de productos terminados para su comercialización.

5.5. DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO

5.5.1. DISEÑO DE LA TOLVA DE ALIMENTACION

Función.- Alimentar constantemente 149.3 kg/hr de carga a la zaranda vibratoria.

1) BASES DEL DISEÑO

1.1. Tomando el peor de los casos y de acuerdo a las experiencias de Laboratorio se procesará una materia prima que tenga un rendimiento promedio del 10% referido a la etapa de disgregación o 6.7% respecto a la carga.

1.2. El flujo de producción será de 10kg/hr de caolin refinado en el espesador

1.3. La sección de la tolva será cuadrada

1.4. El diseño se hará en función del ángulo de reposo de las partículas

$$\text{Alimentación de Caolin Bruto al disgregador} = \frac{10}{0.10} = 100\text{kg/hr}$$

$$\text{Densidad aparente del material} = 1.13\text{TM/m}^3$$

Turno de Operación: 8 hr

2) BALANCE DE MATERIAL EN LA ZARANDA

Como pasa el 67%, la malla 20 Tyler según las pruebas experimentales entonces el flujo de alimenta -

ción de la tolva será:

$$\frac{100}{0.67} \text{ kg/hr} = 149.25 \text{ kg/hr}$$

con un 33% de retorno de materiales gruesos.

Carga por turno de operación: $8 \times 149.25 = 1,194 \text{ kg}$

Capacidad de la Tolva = 1.19TM

3) CALCULO DEL ANGULO DE INCLINACION (θ)

3.1. Determinación del Angulo de Reposo del Material (β).-

El ángulo de reposo del material es aquel sobre el cual una parte del material sólido empieza suavemente a deslizarse. El diseño en función de este parámetro garantiza una alimentación continua del material sin causar problemas de retención.

De múltiples pruebas realizadas se obtuvo para nuestro caso que:

$$\beta = 32^\circ$$

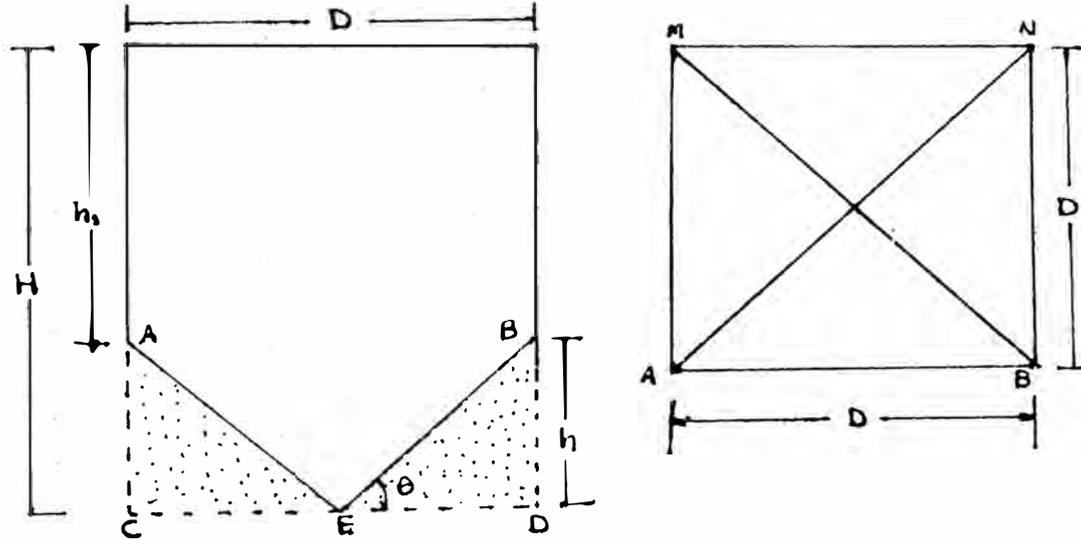
Pero el ángulo de inclinación de diseño está dado por; (catálogos de la Denver y revistas especializadas)

$$\theta = \beta + 15^\circ$$

$$\theta = 47^\circ$$

4. DEDUCCION DE LA ECUACION BASICA DE DISEÑO

Supongamos el siguiente perfil de la tolva:



Sea: W = el "volumen muerto" de la tolva (espacio punteado en la figura)

V_T = Volumen total del espacio que ocupa la tolva incluyendo W

$$V_T = D^2 H \dots\dots\dots (1)$$

W = Volumen del paralelepipedo ABCDE - Volumen de la pirámide ABMN

$$W = D^2 h - \frac{1}{3} D^2 h$$

$$W = \frac{2}{3} D^2 h \dots\dots\dots (2)$$

Dividiendo (2) entre (1) :

$$\frac{W}{V_T} = \frac{\frac{2}{3} D^2 H}{D^2 H} = \frac{2}{3} \frac{h}{H} \dots\dots\dots (3)$$

También: .

$$\text{tg}\theta = 2 \frac{h}{D} .$$

$$h = \frac{D}{2} \text{tg}\theta \dots\dots\dots (4)$$

Reemplazando (4) en (3)

$$\frac{W}{V_T} = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{H}\right) \text{tg}\theta \dots\dots\dots (5)$$

Para el diseño, el volumen total V_T y el Volumen W está en función del espacio disponible en la Planta. Para el problema se asumirá que:

$$V_T = 1.3 \text{ (capacidad de la tolva)} = 1.3V$$

$$V = \frac{1.19 \text{ TM}}{1.13 \text{ TM/m}^3} = 1,053\text{m}^3$$

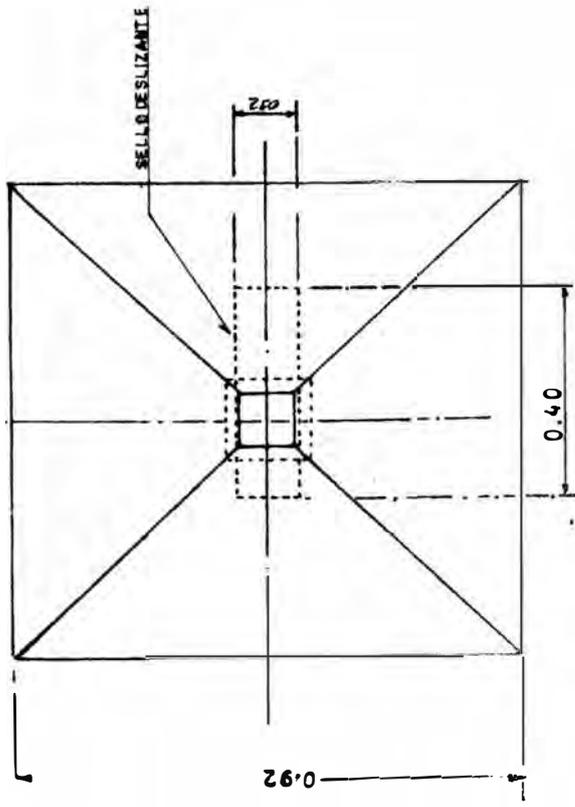
$$V_T = 1,369\text{m}^3$$

El volumen muerto W asumiremos que es el 20% del Volumen V_T .

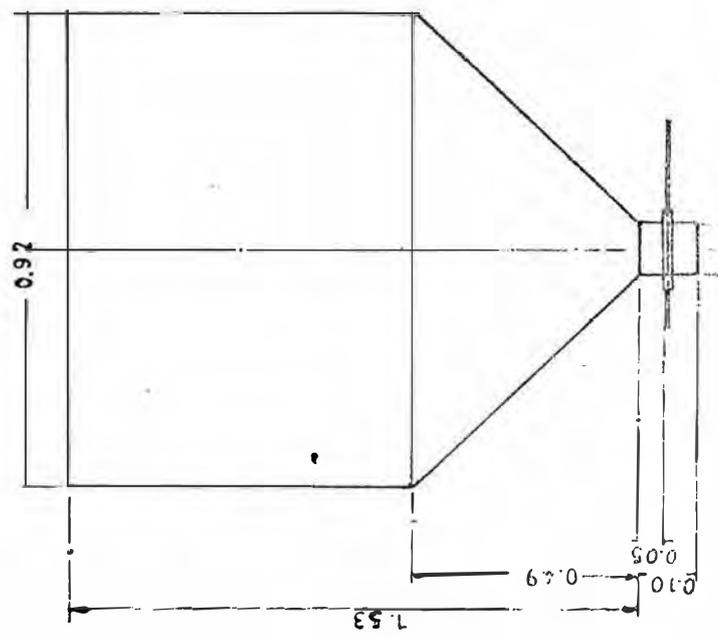
$$W = 0.2 \times 1.369 = 0.274\text{m}^3$$

$$\text{De (1)} \quad D^2 H = 1.369 \dots\dots\dots (6)$$

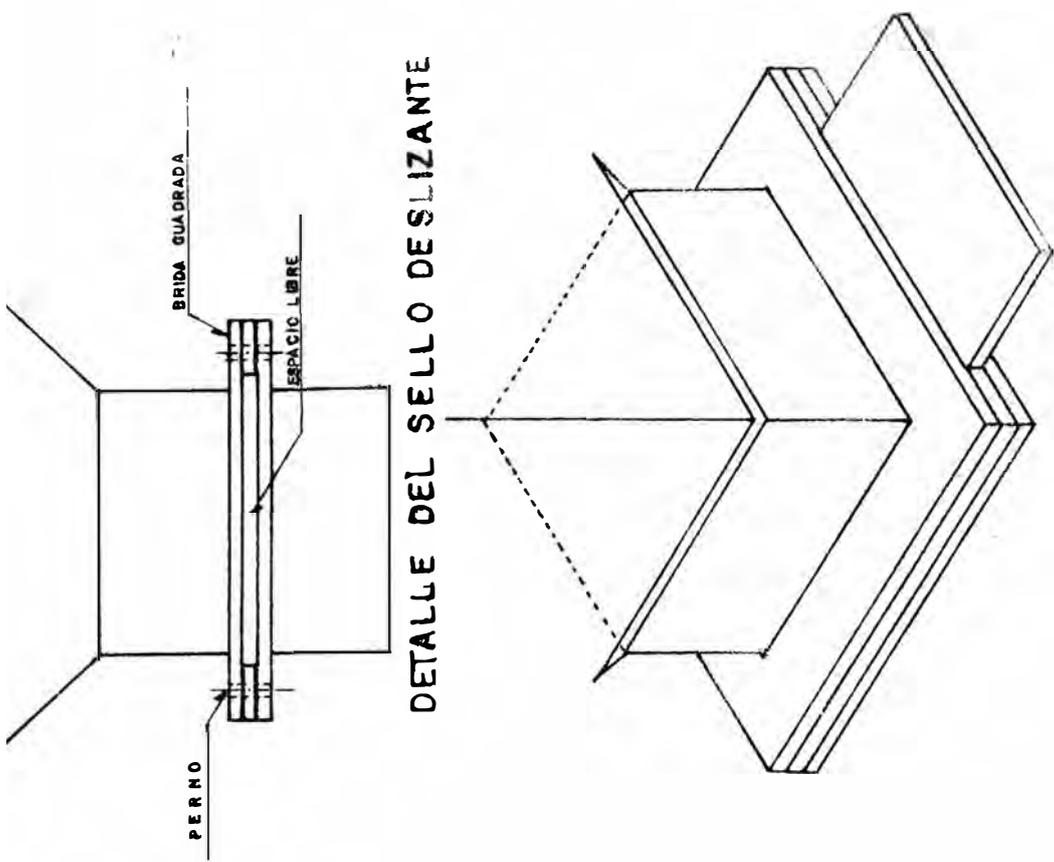
$$\text{De (2)} \quad D^2 h = 0.411 \dots\dots\dots (7)$$



PLANTA



VISTA LATERAL



PROYECTO CAOLIN I-006/78	
TOLVA	
PLAZAMIENTO CORPORA S E L	DIB Y RVDO E. BENTRE
BSC	PEC 27-01-80 FIG. S 1

De (4) $h = 0.536D \dots\dots\dots (8)$

(8) en (7) $D = 0.915m$

De (16) $H = 1.63m$

$h = 0.49m$

$h_1 = 1.14m$

5. RESUMEN.- Dimensiones de la Tolva:

$D = 0.915m$

$h = 0.49m$

$h_1 = 1.14$

$\theta = 45^\circ$

6. CARACTERISTICAS DE LA CONSTRUCCION

- Material Fierro 1/8"

- Con pernos de anclaje

Cota a 4 mt sobre el nivel del piso

- Forrado con fibra de vidrio

Ver detalles del diseño en la fig. 5.5.1.

5.2. DISEÑO DE LA ZARANDA

Función.- Separar partículas mayores que la malla 20 Tyler y alimentar continuamente 100kg/hr al Disgregador D-1.

1. BASES DEL DISEÑO

1.1. Se usará una malla N°20 Tyler, de acuerdo a las pruebas realizadas para establecer la mejor molienda.

1.2. De los análisis de tamizado realizado se determinó que menores de malla N°20 tyler era el 67%.

1.3. Capacidad 149.3 kg/hr

2. CALCULO DEL AREA DE LA ZARANDA

El área requerida por una zaranda está dado por la siguiente correlación experimental:

$$\text{Area} = A \times B \times C \times D \times E$$

Donde:

T = Son las TM/hr de alimentación para un material de densidad 100 lb/ft³. En el caso de que la densidad difiera de este valor el factor C corregirá en una forma directamente proporcional.

A = Es un factor de corrección del porcentaje de material que no pasa al tamiz escogido.

B = Factor de corrección para el % de material que pasa una malla de abertura igual a 1/2 de la abertura del tamiz escogido.

C = Capacidad en $\text{TM}/\text{ft}^2 \times \text{hr}$ pasado por el tamiz para un material de densidad $100 \text{ lb}/\text{ft}^3$.

D = Factor que relaciona la eficiencia de la zaranda.

E = Factor que involucra la humedad del material.

Los factores mencionados se encuentran tabulados o graficados en la bibliografía especializada, en las tablas se muestra algunos valores.

FACTOR A		FACTOR B	
% de Material que no pasa el tamiz	Factor	% de Material menor que 1/2 del tamiz	Factor
10	0.84	0	0.70
20	0.97	20	0.80
30	1.03	30	0.90
40	1.09	40	1.00
50	1.18	50	1.20
60	1.32	60	1.40
70	1.55	70	1.60
80	2.00	80	1.80
90	3.60	90	2.00

FACTOR C		FACTOR D	
Abertura del tamiz (pulg)	Factor	Eficiencia de la Zaranda (%)	Factor
0.028	0.4	88	1.34
0.033	0.5	90	1.10
0.046	0.6	92	1.05
0.065	0.7	94	1.00

FACTOR E

Para materiales que tengan una humedad menor que el 3% el factor E = 1

Si sobrepasa este valor E varía de acuerdo a la abertura del tamiz.

Abertura	Factor
1/32"	1.25
1/16"	3.00
1/8"	3.50

3. DATOS DISPONIBLES

3.1. Capacidad: $T = 149.25 \text{ kgr/hr} = 0.1493 \text{ TM/hr}$

3.2. Densidad: 70.55 lb/ft^3

3.3. Abertura de la malla: 833u malla 20 en la escala estandarizada Tyler

3.4. La abertura de la malla que es igual a 1/2 de la malla 20 tyler a usar es la N°35 (de 417u de abertura)

3.5. De las pruebas experimentales con el material se obtuvo:

+ malla 20 : 33.02%

+ malla 35 : 16.67%

- malla 35 : 50.91%

100.0

3.6. Se adquirirá y acondicionará el equipo de modo que su eficiencia mínima sea del 90%,

incluyendo además otras variables tales como amplitud de oscilación, RPM, ángulo de inclinación, etc.

3.7. Humedad del material 3.0%

4. DISEÑO

4.1. Cálculo del Factor A:

De la información experimental del acápite 3.5. se tiene que el % de material que no pasa el tamiz es 33.02%.

De la tabla, interpolando se obtiene que:

$$\text{Factor A} = 1.048$$

4.2. Cálculo del Factor B:

De los datos el % de material que pasa la malla 35 es 50.31%. Luego:

$$\text{Factor B} = 1.202$$

4.3. Cálculo del Factor C:

Para un tamiz de 0.031 pulg. de abertura, asumiendo que se trata de un material de densidad de 100 lb/ft³

$$\text{Factor C} = 0.46$$

Corrigiendo el factor C para el material de densidad 70.54 lb/ft³.

$$\text{Factor C} = 0.46 \times \frac{70.54}{100}$$

$$\text{Factor C} = 0.324 \text{ TM/ft}^2 \text{ xhr}$$

4.4. Determinación del Factor D:

De acuerdo al ítem 3.6 la eficiencia mínima del equipo será del 90%. Luego de las tablas se halla que:

$$\text{Factor D} = 1.10$$

4.5. Determinación del Factor E:

Puesto que la humedad promedio del material es del 3.0%, entonces podemos asumir que el material está casi seco. Luego de las tablas:

$$\text{Factor E} = 1.0$$

Reemplazando estos factores en la Ecuación (I) se encuentra que el área mínima requerida de la zaranda en ft^2 , es:

$$A = \frac{0.1493 \text{TM/hr}}{(1.048)(1.202)(0.324 \text{TM/ft}^2 \text{hr})(1.10)(1.0)}$$

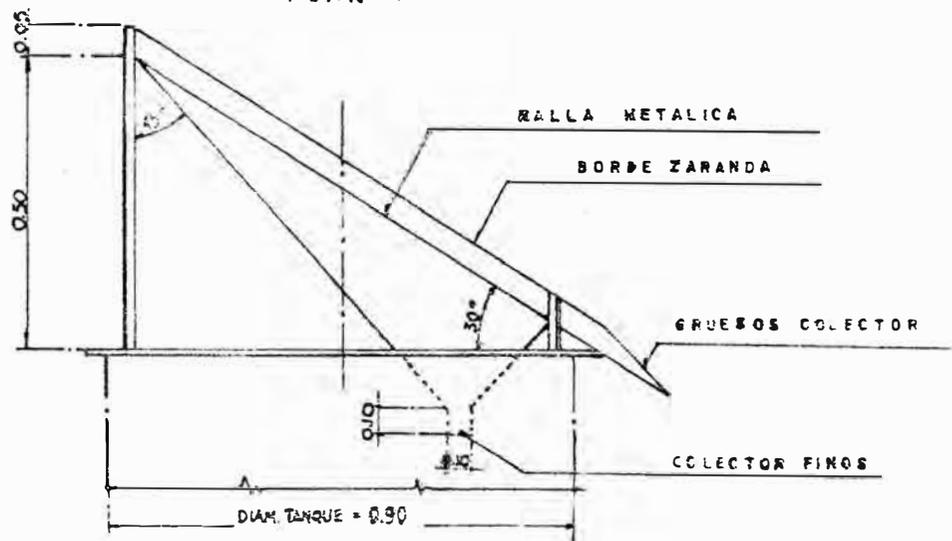
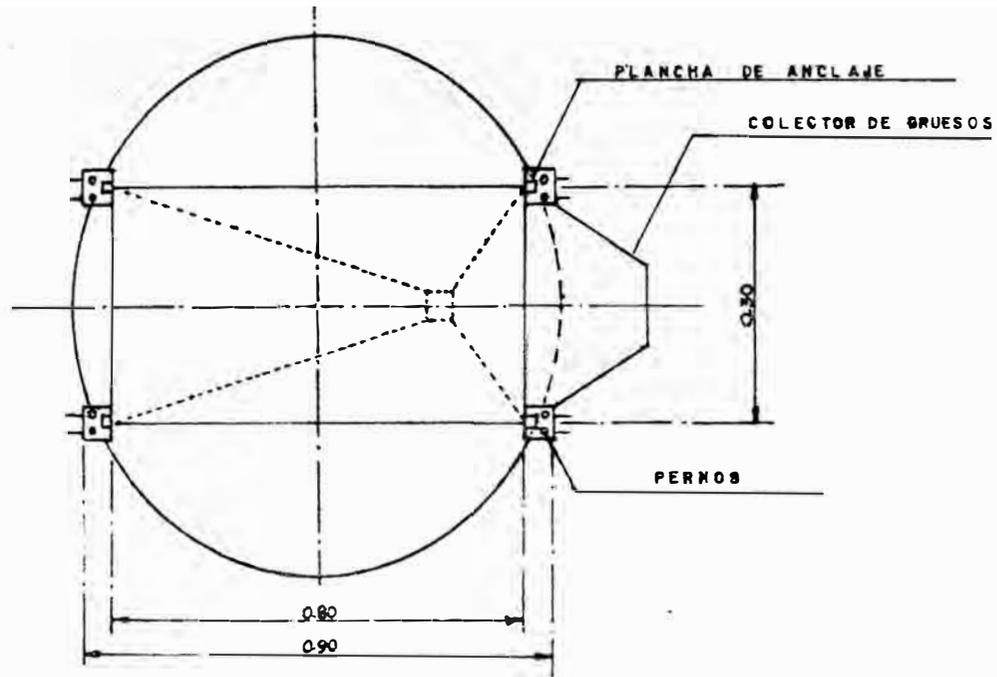
$$A = 0.33 \text{pies}^2$$

Dando un 30% de seguridad

$$A = 0.43 \text{pie}^2 \text{ ó } 0.04 \text{m}^2$$

5. RESUMEN

Puesto que el área encontrada por el diseño no se encuentra en el mercado, debido al pequeño flujo de material, entonces se tuvo que seleccionar el tamaño más pequeño disponible.



PROYECTO CAOLIN I 006/78

ZARANDA

S. P. L.

E DEXTRE

Es: -

27-06-80

FIG 5-5-2

$$\text{Area} = 0.24\text{m}^2$$

$$\text{Longitud} = 0.80\text{m}$$

$$\text{Ancho} = 0.30\text{m}$$

$$\text{Angulo de Inclinación} = 30^\circ$$

6. CARACTERÍSTICAS

- Material de estructura fierro de 1/8"
- Malla metálica N°20 Tyler
- Vibratoria con polea excéntrica
- Soportes para su montaje

Ver detalles del diseño en la fig. 5.5.2.

5.5.3. DISEÑO DEL DISGREGADOR

Función.- Extraer y disolver 100kg/hr de cao lin bruto con agua, mediante agitación mecánica.

1 BASES DEL DISEÑO

1.1. Flujo de caolín bruto = 100kg/hr

1.2. Flujo de agua = 1000kg/hr

1.3. Densidad promedio de la solución (dato de Laboratorio) = $1.041\text{TM}/\text{m}^3$

1.4. Tiempo de agitación 30 min(0.5hr)

1.5. Densidad del agua = 1.0

2. DISEÑO

2.1. Cálculo de la Capacidad.-

Caolín Bruto: 100 kg/hr

Agua : 1000 kg/hr

El reciclaje se ha estimado en un 1.3 veces de la carga de caolín, incluyendo un % de seguridad.

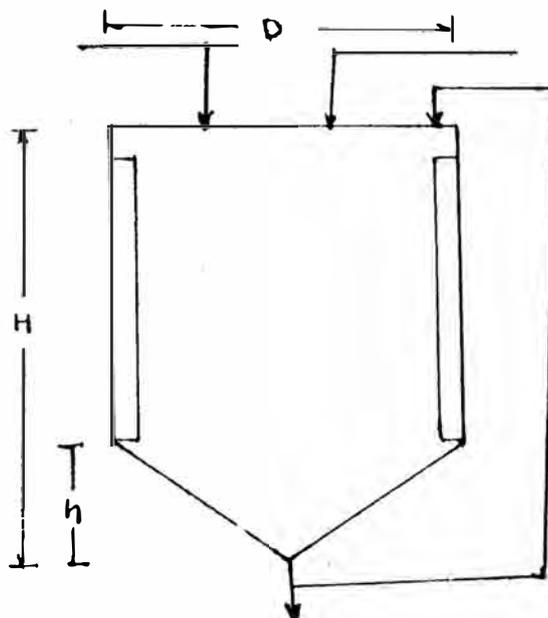
Flujo de Reciclo : 130 kg/hr

Total : 1230 kg/hr

$$\text{Flujo} = \frac{1.23 \text{ TM/hr}}{1.041 \text{ TM/m}^3} = 1.2 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Tiempo de residencia o de agitación = 30 min = 0.5 hr

$$\text{Capacidad} = 1.2 \times 0.5 = 0.60 \text{ m}^3$$



2.2. DIMENSIONAMIENTO

Capacidad = 0.6 x 1.30 = 0.78m³

Con un 30% de seguridad

Según la bibliografía y la recomendación de los fabricantes se asume que:

H = 1.5D + 30% por seguridad

H = (1.5D) (1.3)

θ = 30°

V_{neto} = V_{total} - V_m = 0.78m³

Donde:

V_{total} = Volumen total del espacio que ocupa el disgregador

V_m = Volumen "muerto" debido al ángulo de inclinación dado.

V_{neto} = $\frac{\pi D^2 H}{4} - \left(\frac{\pi D^2 h}{4} - \frac{1}{3} \left(\frac{\pi D^2}{4} h \right) \right) \dots\dots (1)$

V_{neto} = $\frac{\pi D^2 H}{4} - \frac{1}{6} \pi D^2 h$

Como:

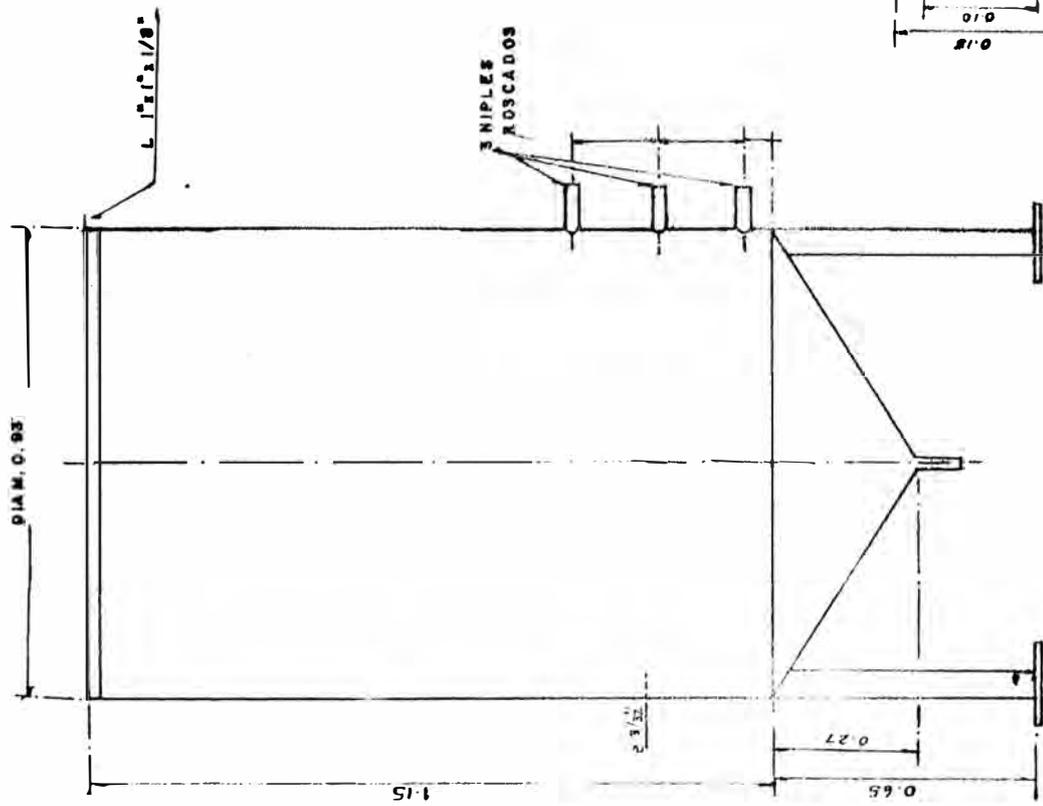
h = $\frac{D}{2} \text{tg } \theta \dots\dots\dots (2)$

V_{neto} = $1.5 \frac{\pi D^3}{4} - \left(\frac{\pi D^3}{4} \right) \frac{1}{3} \text{tg}(30)$

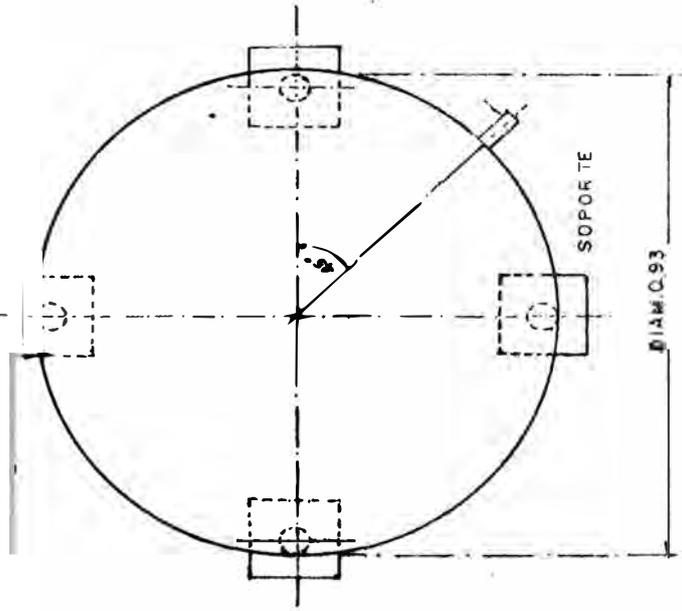
V_{neto} = $1.31 \left(\frac{\pi D^3}{4} \right) \dots\dots\dots (3)$

De las ecuaciones (3) y (2) se obtiene:

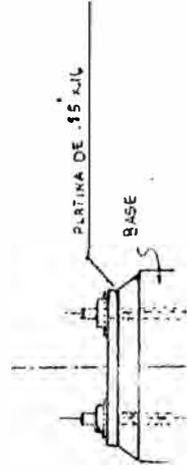
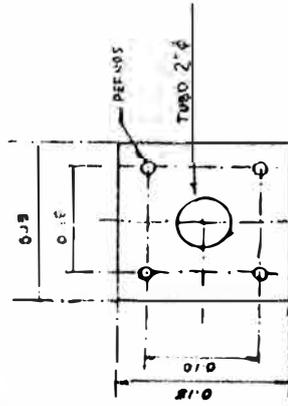
D = 0.93m



ELEVACION



PLANTA



BASE

PROYECTO CADLIN I-006/78

DISGREGADOR

S . P . L E DEXTRE

ESC. - 27-05-60 FIG. 5.5.3

$$H = 1.80\text{m}$$

$$h = 0.30\text{m}$$

$$H-h = 1.50\text{m}$$

2.3. CARACTERISTICAS

1. Material acero de 1/8" de espesor
2. Recubierto interiormente con un antiabrasivo
3. Con 4 baffles o deflectores de 1/4" x 37 1/2" x 3 1/4"
4. Soportado por 4 patas de tubos de 2" \varnothing por 65cm de altura
5. Con salidas laterales, la primera salida a 0.35m de la base y las otras distanciadas en 0.20m. Como se muestra en la fig. 5.5.3.

5.5.4. DISEÑO DEL MEZCLADOR M-1

Función.- Continuar la disgregación y realizar la primera purificación de la materia prima.

1. BASES DEL DISEÑO.- Del balance de materia

- 1.1. Flujo de sólidos : 57kg/hr
- 1.2. Flujo de Agua : 570kg/hr
- 1.3. Densidad solución : 1.04
- 1.4. Tiempo de residencia: 0.5hr

1.5. Flujo de recicló : 130kg/hr

1.6. Flujo de PFTSA : 12kg/hr

2. CALCULO DE LA CAPACIDAD

Capacidad = 769kg/hr

Caudal = $\frac{0.769\text{TM/hr}}{1.4\text{TM/m}^3} = 0.739\text{m}^3/\text{hr}$

Volumen = $0.739 \times 0.5 = 0.370\text{m}^3$

Sobredimensionando en un 30%

Volumen = 0.481m^3

3. DIMENSIONAMIENTO

El procedimiento de cálculo es el mismo que para el Disgregador resultando lo siguiente:

$$D = 0.80 \text{ m}$$

$$H = 1.60 \text{ m}$$

$$h = 0.25 \text{ m}$$

$$H-h = 1.35 \text{ m}$$

4. CARACTERISTICAS

Las mismas que el disgregador.

5.5.5. DISEÑO DEL MEZCLADOR N°2

Función.- Realizar una segunda purificación y formar una suspensión homogéneamente dispersada.

1. BASES DEL DISEÑO

- 1.1. Del balance de materia ingresa al mezclador N°2: un 35% de la carga : 35kg/hr
- 1.2. Flujo de agua: 350 kg/hr
- 1.3 Densidad solución: 1.03
- 1.4. Tiempo de residencia: hasta 75min
- 1.5. Flujo de recicló: 81kg/hr
- 1.6. Flujo de PFTSA aprox: 12kg/hr

2. CALCULO DE LA CAPACIDAD

$$\text{Capacidad} = 478\text{kg/hr}$$

$$\text{Caudal} = \frac{0.478\text{TM/hr}}{1.03\text{TM/m}^3} = 0.464\text{m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Volumen} = 0.464\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \cdot 0.75\text{hr} = 0.348\text{m}^3$$

Sobredimensionando en un 30%

$$\text{Volumen} = 0.450\text{m}^3$$

3. DIMENSIONAMIENTO

Los cálculos son los mismos que para el mezclador N°1 y según los resultados las dimensiones son aproximadas al del mezclador N°1. Luego por razones de costo de materiales de construcción se decidió construir con las mismas dimensiones que el equipo mencionado. Resultando:

$$D = 0.80\text{m}$$

$$H = 1.60\text{m}$$

$$h = 0.25\text{m}$$

$$H-h = 1.35\text{m}$$

CARACTERISTICAS

Son las mismas que para el Mezclador N°1, con ciertas características especiales propias de la investigación.

5.5.6. DISEÑO DEL SEDIMENTADOR

Función.- Completar la segunda purificación y neutralizar la acción del FFTSA empezando la sedimentación.

1. BASES DEL DISEÑO

- 1.1. Del balance de materia ingresa al sedimentador el 18% de la carga: 18kg/hr
- 1.2. Flujo de agua : 216kg/hr
- 1.3. Densidad de la solución: 1.02 (promedio)
- 1.4. Tiempo de residencia: hasta 90 min.

2. CALCULO DE LA CAPACIDAD

$$\text{Capacidad} = 234 \text{ kg/hr}$$

$$\text{Caudal} = \frac{0.234\text{TM/hr}}{1.02\text{TM/hr}} = 0.229\text{m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Volumen} = \frac{0.229\text{m}^3}{\text{hr}} \times 1.5\text{hr} = 0.344\text{m}^3$$

Sobredimensionando en un 30%:

$$V \approx 0.450\text{m}^3$$

3. DIMENSIONAMIENTO

Los cálculos son parecidos que para los equipos anteriores, según los resultados las dimensiones son aproximados al del equipo anterior.

$$D = 0.80m$$

$$H = 1.60m$$

$$h = 0.25m$$

$$H-h = 1.35m$$

4. CARACTERISTICAS

En cuanto a la construcción son las mismas que los equipos anteriores. Pero, con ciertos detalles especiales propios de la investigación.

5.5.7. DISEÑO DEL ESPESADOR

Función.- Concentrar la suspensión caoliní-
tica hasta el 20% en sólidos para
facilitar la filtración y/o el se-
cado por atomización.

1. BASES DEL DISEÑO

1.1. Del balance de materia ingresa al espesador:

10 kg/hr

1.2. Flujo de agua: 1000kg/hr

Del proceso 140kg/hr

Agregado 860kg/hr

- 1.3. Floculante para facilitar la concentración en una proporción del 0.001%
- 1.4. Tiempo de residencia: hasta 3 hr
- 1.5. Densidad de la solución promedio: 1.015
- 1.6. El espesador funcionará continuamente.

2. CALCULOS DEL DISEÑO

Para el diseño del espesador lo primero que se hizo fue obtener la curva de sedimentación intermitente en el laboratorio.

Las pruebas que se hicieron fueron con diferentes tipos de floculantes de los cuales seleccionamos el mejor de acuerdo a las condiciones de la operación. Ver Anexo 7.3.4.

Los datos de sedimentación intermitente son los siguientes:

TABLA 5.5.7.1. DATOS DE SEDIMENTACION

θ (tiempo en min)	Altura de la Interfase (cm)
0	25.5
1.0	12.75
2.0	8.42
3.0	7.65
5.0	6.89
5.5	6.38
9.0	6.12
10.0	6.12
15.0	6.12
30.0	6.12
60.0	6.12

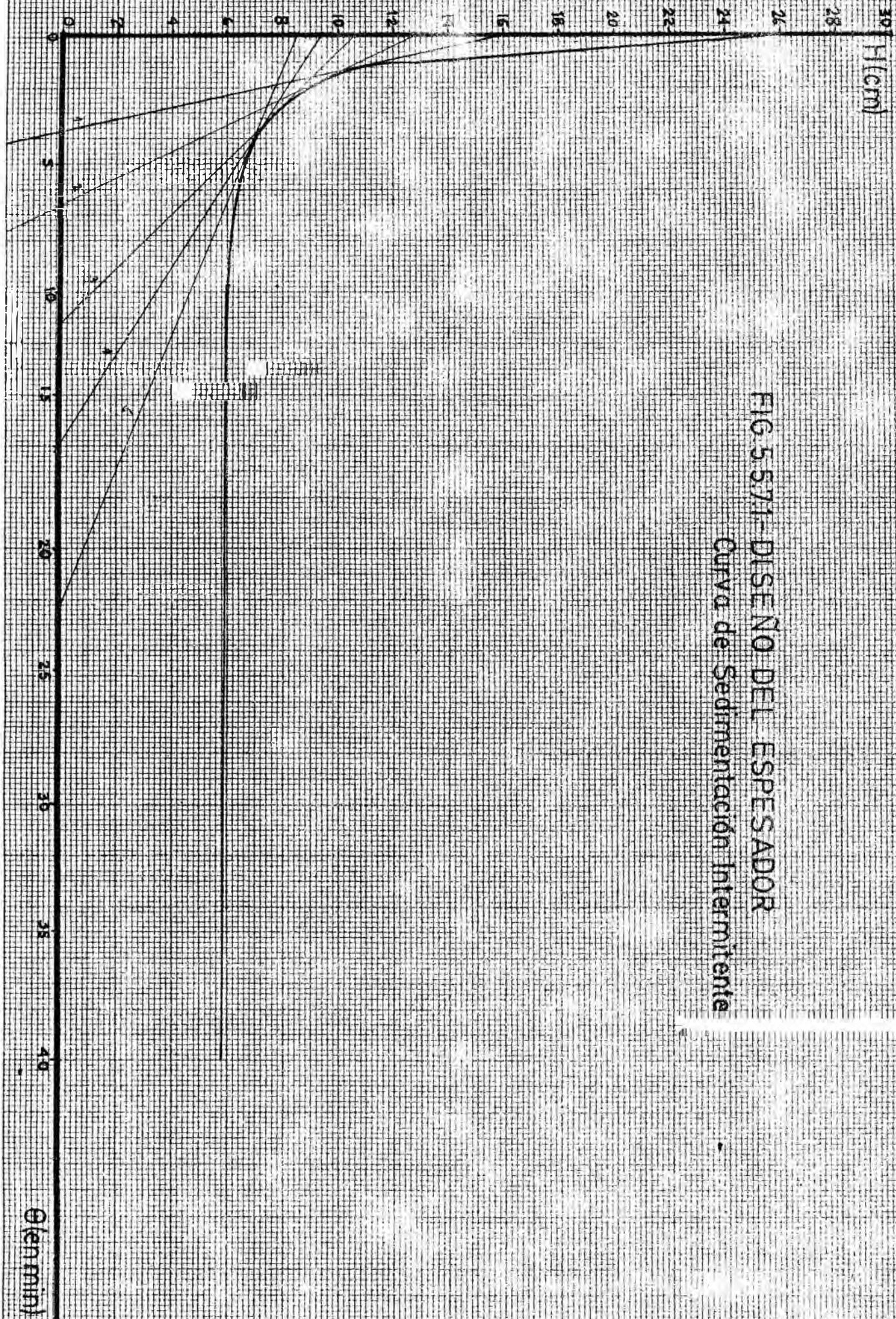


FIG. 5.571- DISEÑO DEL ESPESADOR
Curva de Sedimentación Intermitente

Concentración Inicial: $C_o = 10 \frac{\text{gr}}{\text{lt}}$

$L_o = 1000 \frac{\text{lt}}{\text{hr}}$

Densidad = 1,015 con floculante.

a) Cálculo de la Velocidad de Sedimentación

Con los datos de la tabla anterior se grafica $H V_s \theta$ obteniendo la fig(5.5.7.1.)

Para la concentración de los sólidos de la suspensión inicial:

$$C_o Z_o = 10 \times 25.5 = 255 \frac{\text{gr-cm}}{\text{lt}}$$

Puesto que: $C_L Z_i = C_o Z_o^{(*)}$

Donde:

C_L = Concentración en la capa límite

Z_L = Altura de la Interfase a θ_L

Z_i = Es la intersección de la ordenada con la tangente a la curva de sedimentación fig. (5.5.7.1.) a un θ_i .

$$C_L = \frac{C_o Z_o}{Z_i} \dots\dots\dots (1)$$

$$C_L = \frac{255}{Z_i} \text{ gr/lt} \dots\dots\dots (2)$$

Para hallar Z_i se traza tangentes a la curva, así se encuentra que para $\theta = 2\text{min}$ la tangente inter-

(*) E.W. Comings, Ind.Eng.Chem. 32,663-667(1940)

v (cm/min.)

FIG. 5.572.- DISEÑO DEL ESPESADOR
Veloc. de Sed. Vs Concentración

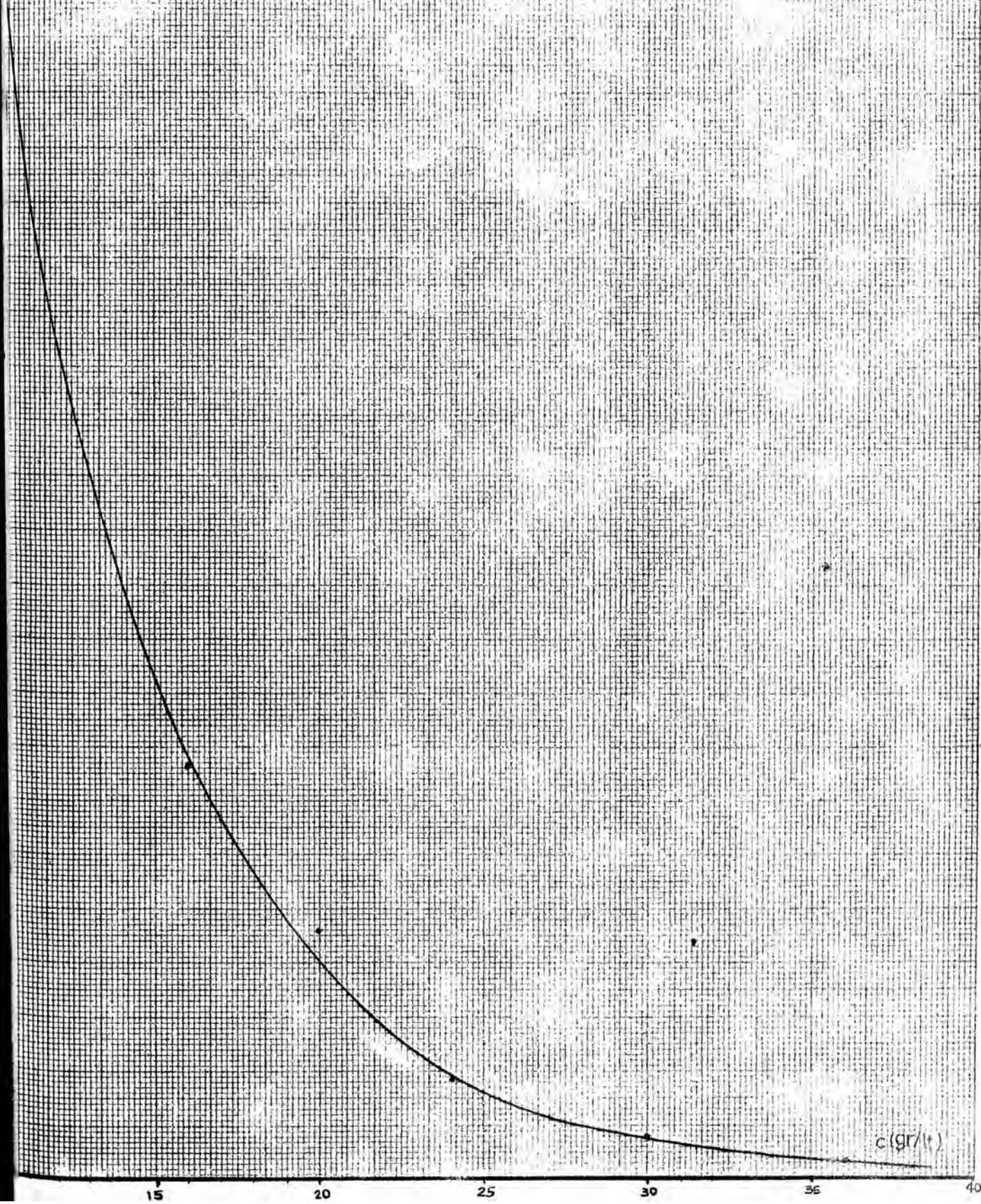


GRÁFICO DE

NOMBRE DEL ALUMNO

FECHA

c (gr/t)

seca en $Z_i = 12.8\text{cm}$. Luego la velocidad de sedimentación será de la Ec.(2) $C = 101\frac{\text{gr}}{\text{lt}}$ del mismo modo podemos hallar para los otros puntos. Ver Tabla (5.5.7.2.).

TABLA 5.5.7.2. VELOCIDAD DE SEDIMENTACION

θ (min)	Z_i (cm)	V (cm/min)	C (gr/lt)
0.5	25.5	12.75	10
1.0	25.5	12.75	10
1.5	16.0	3.80	16
2.0	12.8	2.28	20
3.0	10.5	0.91	24
4.0	9.4	0.588	27
5.0	8.4	0.385	30.4
6.0	7.2	0.167	36.0

Se establece la gráfica Velocidad de Sedimentación versus la concentración. Ver fig.(5.5.7.2.)

b) Cálculo del Area del Espesador.

El área se fija de acuerdo con la concentración de la capa que requiere el área máxima (39) para el paso de una cantidad unitaria de sólidos.

Balace de Materia

Para los sólidos: $L_o C_o = L_u C_u$

$$L_u = \frac{L_o C_o}{C_u} \dots \dots \dots (3)$$

Balance total de líquidos:

$$L_o (o - C_o) = V \rho_w + L_u (\rho_u - C_u) \dots\dots\dots (4)$$

De (3) y (4) : $V = L_o C_o \left(\frac{\rho_o}{C_o} - \frac{u}{C_u} \right) \frac{1}{\rho_w} \dots\dots (5)$

Dividiendo Ec(5) entre S, sección transversal del espesador y usando ρ_{av} densidad promedio de la suspensión se tiene que la velocidad lineal ascendente del líquido claro es:

$$v_a = \frac{V}{S} = \frac{L_o C_o}{S} \left[\frac{1}{C_o} - \frac{1}{C_u} \right] \frac{\rho_{av}}{\rho_w} \dots\dots\dots (6)$$

Como aproximadamente $V_a \cong v_{sed} \dots\dots\dots (7)$

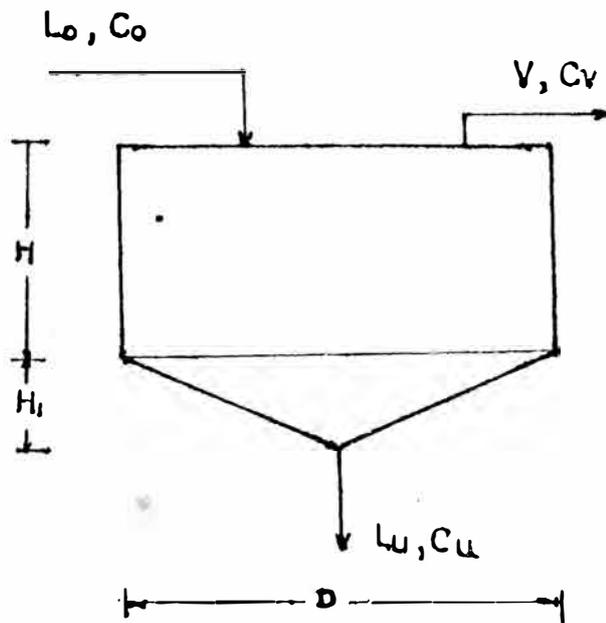
Entonces, escribiendo en función de la capa que limita la capacidad: C_L y L_L el flujo descendente se tiene:

$$L_o C_o = L_L C_L \dots\dots\dots (8)$$

De (7) y (8) en (6):

$$\frac{L_L C_L}{S} = \frac{v}{\left[\frac{1}{C_L} - \frac{1}{C_u} \right] \frac{\rho_{av}}{\rho_w}} \dots\dots\dots (9)$$

De la Ec.(9) podemos hallar S, graficando $\frac{L_L C_L}{S}$ vs v; la cual nos dará el área mínima del espesador.



De la fig. (5.5.7.2.) se tiene v y C_L y de la Ec. (9) se tiene:

TABLA 5.5.7.3.

v cm/min	C_L	$1/C_L$	$\frac{1}{C_L} - \frac{1}{C_u}$	$\frac{L_L C_L}{S}$
9.2	11	0.090	0.036	105
7.75	12	0.083	0.079	97
5.5	14	0.071	0.067	80
3.8	16	0.063	0.058	64.5
2.0	20	0.05	0.045	43
1.0	29	0.04	0.037	27
0.40	30	0.033	0.028	13.6

Se toma el mínimo valor de $\frac{L_L C_L}{S}$

$$\left(\frac{L_L C_L}{S}\right)_{\min} = 13.6 \frac{\text{cm}/\text{min}}{\text{lt}/\text{gr}} = 816 \frac{\text{cm}/\text{hr}}{\text{lt}/\text{gr}}$$

Cuando: $v = .24 \text{cm/hr}$ y $C_L = 30 \text{gr/lt}$

Como no hay sólidos en el derrame, entonces del balance de materia:

$$L_L C_L = 10 \text{ kg/hr}$$

$$S = \frac{10}{816} \frac{\text{Kg-lt}}{\text{cm-gr}}$$

El área de la sección transversal del espesador es:

$$S = 1.2255 \text{m}^2, D = 1.25 \text{mt}$$

25% sobredimensionado:

$$D = 1.56 \text{ mt}$$

c) Profundidad del Espesador

Como el Espesador es a pequeña escala las dimensiones mínimas recomendadas por los fabricantes son:

Por inclinación del fondo : $H_1 = 7 \text{ cm}$

Por capacidad de almacenamiento $H = 60 \text{cm}^{(*)}$

Profundidad total = 67 cm

(*) En realidad H comprendería la suma de las alturas para la zona de compresión, por capacidad del tanque y por sumersión de la alimentación.

3) CARACTERISTICAS

1. Material Acero de 1/8" de espesor
2. Recubierto interiormente con un antiabrasivo
3. Soportado por 4 patas de tubo de 2" \varnothing por 1.0 mt de altura
4. Dispondrá de un agitador tipo rastrillo que gira a 3 RPM
5. Con 3 salidas laterales para el rebose dimensionados a 15 cm.

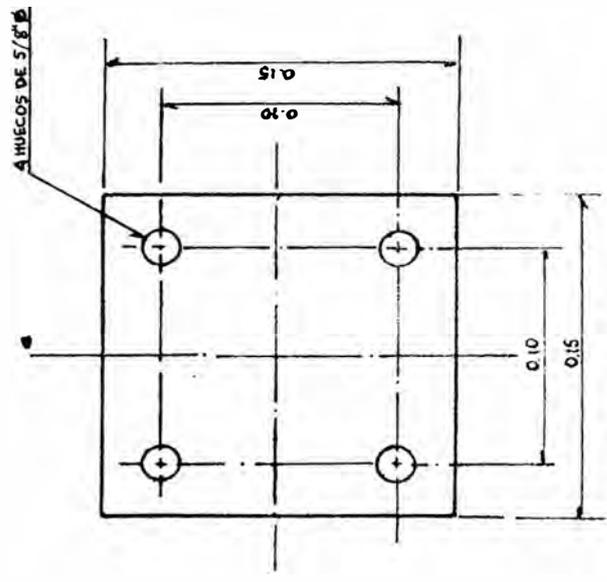
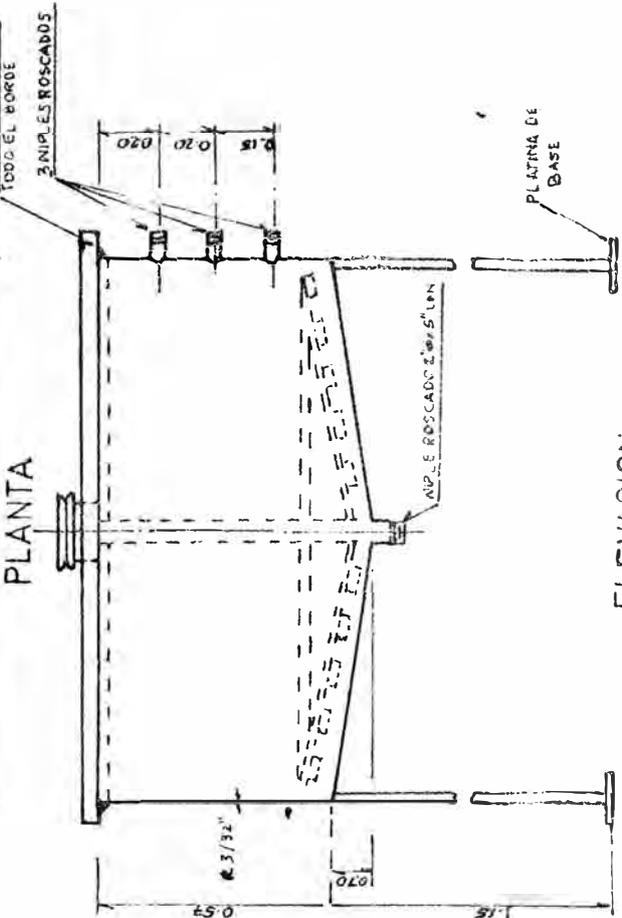
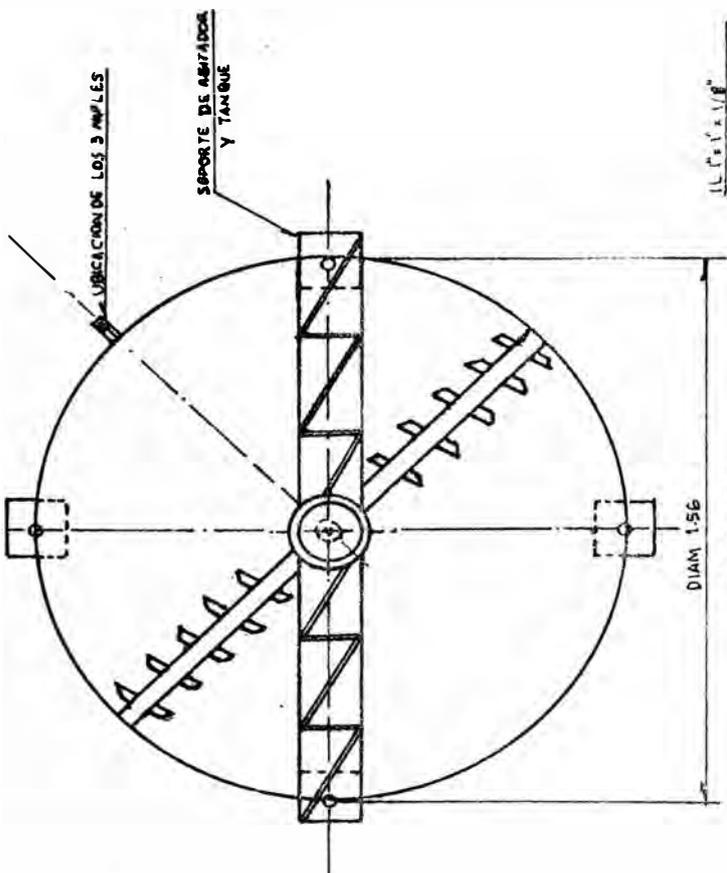
5.5.8. DISEÑO Y SELECCION DE LAS BOMBAS

5.5.8.1. CRITERIOS DE SELECCION

Puesto que la naturaleza abrasiva del lodo es una función de la dureza y forma de las partículas y esto afecta a la elección de la bomba, y al diseño y metalurgia de las partes fungibles, entonces los materiales de construcción deben ser elegidos cuidadosamente.

D.F. Sambells(3B), basado en pruebas experimentales recomienda el uso de una Bomba de Desplazamiento positivo y el uso de tuberías aceradas revestidas con un poliuretano moldeable (ADIPRENE) con una vida media de 20 años.

La razón para la elección de este tipo de bomba es



DETALLE PLATINA DE APOYO

PROYECTO CAOLIN I-006/78	
ESPESADOR	
S.P.L	DIG Y RUDD.
	R. DEXTRE
ESC. 26-07-80	F-5-5-4

que existe un sello de agua pura entre el lodo abrasivo y el elemento de sellado que se inyecta antes del relleno en el pistón de succión, de tal forma que el relleno no toca o apenas toca el líquido abrasivo. En estas condiciones estas bombas pueden funcionar a presiones de hasta 4000 P.s.i.

Pero también se pueden usar bombas centrífugas revestidas de caucho, o una bomba tipo pistón pero que resultan antieconómicas por su mantenimiento.

Para el caso de la Planta Piloto se tomó como base para la selección, la Bomba N°1 por estar sometida a las condiciones más severas de transportar los lodos del disgregador al mezclador M-1.

Fluido : 24°C
Capacidad: 769kg/hr
Densidad : 1.04TM/m³
Flujo : 0.740m³/hr = 3.30GPM
Ø Tubería: 1"

De los catálogos y textos especializados, se selecciona la siguiente bomba disponible en el mercado:

Capacidad : 6-8 GPM
Presión de diseño: 18 pies (4.5 psi)
Potencia : 1/3 HP

5.5.9. SELECCION DEL CENTRICLINER

Función.- Su función es separar partículas finas (tyler 325) de las gruesas. Se basa en un movimiento en espiral del fluido que imparte una aceleración radial hacia adentro de la partícula, mientras que simultáneamente la fuerza gravitacional la imparte una aceleración hacia abajo. Esto ocasiona que las partículas gruesas caigan hacia abajo y las finas salgan por la parte superior.

1. CONDICIONES DE OPERACION

Gravedad específica de los sólidos media: 2.56

Líquido madre : agua

Concentración de la alimentación : 15-20% solidos

Flujo de alimentación : 45 GPM

Separación requerida malla-325 (44micrones)

Rango de caída de presión requerida : 5-15psi

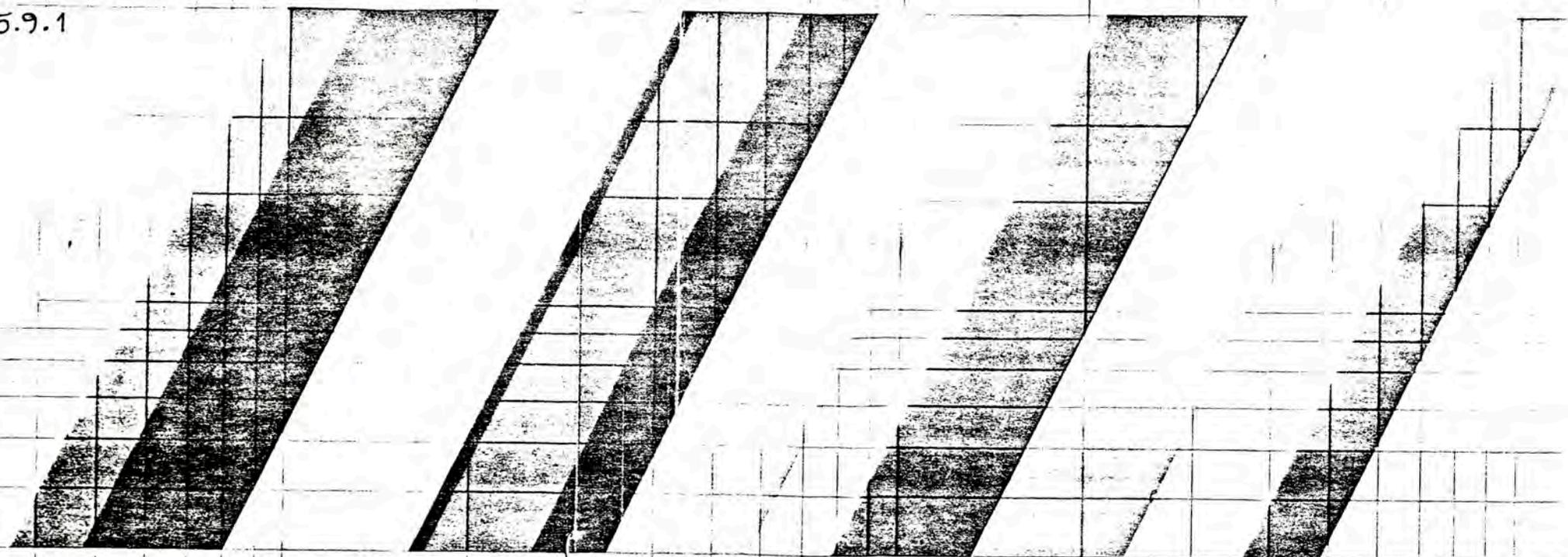
2. SELECCION

Como los sólidos suspendidos son abrasivos según el catálogo N°21-130 de la KREBS Engineers nos recomienda el tipo KREBS MODEL -D.

Cyclone Performance Chart

FIGURA.-5.5.9.1

PRESSURE DROP, PSI



Model D-4

25 to 65 Mu

Model D-10

40 to 100 Mu

Model D-20

60 to 120 Mu

Model D-30

100 to 200 Mu

35 to 75 Mu

Model D-6

50 to 110 Mu

Model D-15

70 to 150 Mu

Model D-26

150 to 250 Mu

Model D-50

SEPARATION RATE

CYCLONE CAPACITY—U.S. GPM

De acuerdo a la "Carta de Performance" mostrada en la fig (5.5.9.1) y los datos anteriores, seleccionamos:

- Ciclón de 4" (Model D-4) que nos garantiza un rango de separación de 25 a 65 μm
- Caída de presión 12.5 Psi
- Número de unidades = 1

También podría seleccionarse el Modelo de 6" (Model D-6) pero con una caída de presión máxima de 6 Psi, como se trata de una Planta Piloto, la primera alternativa es preferible por su mayor versatilidad.

5.5.10. SELECCION DEL SPRAY-DRYER O SECADOR POR ATOMIZACION

Función.- Secar la suspensión caolinítica en una sola operación obteniendo un polvo de partículas uniformes y menor de 45 μm y con un 2% de humedad.

1. CRITERIOS DE SELECCION

Comprende los siguientes aspectos:

- a) Atomización de la alimentación o sea la transformación en una partícula pulverizada, una mayor concentración de sólidos (entre 15-20%) ele

vará la cantidad de agua evaporada.

- b) Contacto del aire con el spray flotando sin colisionarse con la superficie caliente del metal.
- c) Separación del producto seco del aire en forma ciclónica.
- d) Control de la energía de atomización, un incremento de ella traerá gotas pequeñas y aumentará la velocidad de atomización del atomizador produciendo pequeñas gotitas y en consecuencia un producto de alta densidad bulk.
- e) Control de las propiedades de la alimentación tales como la viscosidad y tensión superficial que involucra la producción de sprays uniformes.

2. SELECCION DEL EQUIPO

En base a las múltiples pruebas realizadas con el spray dryer del Laboratorio de Ingeniería Química (UNI), la elección del equipo de atomización será:

Atomizador tipo rotatorio con 24 ventanas de 0.583 pulg de altura

Cinco resistencias y/o calentador a gas propano para el calentamiento del aire.

Presión del aire a 4 Psi que ejerce: 31,000RPM

Material del rotor acero inoxidable revestido con un antiabrasivo (algún tipo de poliuretano resistente a mayor de 100°C).

Las pruebas fueron realizadas en un atomizador de la NIRO ATOMIZER-MINOR, obteniendo buenos resultados.

5.5.11. SELECCION DEL AGITADOR PARA EL DISGREGADOR

Del laboratorio se obtuvo que:

$$RPM_1 = 600$$

$$V_1 = 10 \text{ lt}$$

Para hacer el escalamiento de laboratorio a Planta Piloto para suspensiones se dispone de la ecuación siguiente: (*)

$$R = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$N_2 = N_1 \left(\frac{1}{R}\right)^{\frac{3}{4}}$$

Donde:

V_1 = Volumen en laboratorio

V_2 = Volumen en Planta Piloto = 780lt

N_1 y N_2 = Las revoluciones por minuto en
Laboratorio y Planta Piloto

(*) Chem. Eng., Enero 1975.

Luego:

$$R = \left(\frac{780}{10}\right)^{\frac{1}{3}} = 4.3$$

$$N_2 = 600 \left(\frac{1}{4.3}\right)^{\frac{3}{4}}$$

$$N_2 = 200\text{RPM}$$

2.2. CARACTERISTICAS

1. Eje de acero recubierto con un antiabrasivo
2. Diámetro del impulsor 8 1/2"
3. Las dimensiones del eje será de 1 1/2" ø por 1.60mt de largo

5.6. ESTUDIOS EXPERIMENTALES EN PLANTA PILOTO

5.6.1. GENERALIDADES

En este Item se trata la parte más importante de la investigación, puesto que el objetivo fue de poner en marcha el proceso de producción estable cido en el Laboratorio; pero con un manejo de materiales en una mayor escala, lo que lleva consigo que la calidad y rendimiento del producto variarían para lo cual se tuvo que ajustar algunos parámetros.

En el presente item se tratará de dar una visión general de la tecnología seleccionada cuidando de no dar ciertos parámetros que son propiedad de la Empresa Auspiciadora Sociedad Paramonga Ltda. S.A., para una mayor información el interesado puede recurrir a dicha empresa.

Para el presente estudio las fases importantes fueron:

La selección óptima de la materia prima con un alto contenido de caolinita, baja abrasividad y buena blancura.

La calibración de los equipos para el control de la producción

Las pruebas propiamente dichas, estableciendo curvas de comportamiento del sistema.

5.6.2. CORRIDAS REALIZADAS EN LA PLANTA PILOTO

Basados en el proceso descrito en el item 5.3.1. se tratará de objetivizar las pruebas realizadas para cada muestra.

5.6.2.1. CORRIDAS REALIZADAS CON LA MUESTRA (MB-01C)

CORRIDA N° 1.-

Objetivo.- El objetivo fue probar el funcionamiento de los equipos en conjunto.

Proceso.- El proceso fue como se ha descrito en el item (5.3.1.).

En esta corrida no se chequeó el balance de materiales ni se controló las operaciones; pero si se corrigió algunos problemas con el transporte de los lodos por la alta abrasividad que se tenía.

CORRIDA N° 2.-

El proceso fue el mismo descrito en (5.3.1.).

El producto resultó de una alta abrasividad debido a la presencia de finísimas partículas de sílice libre. En cuanto a la blancura, está dentro de lo especificado, así como tamaño de partículas.

Para la floculación se usó magnafloc a diferentes proporciones.

CORRIDAS N°s 3,4,5,6,7,8,9,10.

Proceso.- El mismo seguido que los anteriores, pero se ajustó ciertos parámetros de operación para mejo-

rar el producto, no obstante no se logró mejorar significativamente la calidad del caolin obtenido.

CONCLUSION

Todas las corridas realizadas demuestran que la muestra no era la más adecuada en su estructura mineralógica. La sílice causante principal de la abrasividad se encuentra finamente dividida y pasa a través de los equipos hasta recuperarse con el producto final.

5.6.2.2. CORRIDAS CON LA MUESTRA MB-02

En cuanto a características, ésta muestra era muy parecida a la anterior con poca untuosidad al tacto, presencia de sílice libre muy finísima, color blanquesino-plomiso.

Proceso.- Teniendo la experiencia de las corridas anteriores se varió algunas operaciones en cuanto a la disgregación y la defloculación y se optimizó la floculación.

Se hicieron varias corridas de las cuales 3 se cuantificaron obteniendo en cada una de ellas mejoras ostensibles.

El producto obtenido cumple plenamente con todas las especificaciones papeleras excepto en cuanto a la abrasividad debido a la presencia de sílice muy fina (malla-400), esto se explica porque la muestra es una roca poco caolinizada o se encuentra en una etapa de transición y no es la más adecuada para el proceso.

5.6.2.3. CORRIDAS CON LA MUESTRA MB-03 y RM-03

Las características de esta muestra eran mejores que las anteriores.

Proceso.- Con la experiencia anteriores se corrigió el proceso, mejorando algunas operaciones. En estas pruebas se instaló un Centricliner y un sistema de tamizado especial mejorando bastante bien la calidad del producto.

Los detalles y resultados cuantitativos son propiedad de Sociedad Paramonga Ltd S.A.

5.7. TECNOLOGIA.- SUS ALCANCES

La presente investigación tecnológica fundamentada en una numerosa cantidad de experiencias tanto en el laboratorio y planta piloto, ponen las bases reales para el escalamiento e implementación del proyecto a nivel Industrial, lo cual traería beneficios para el país por la sustitución de productos importados; la generación de divisas por la puesta del producto en calidad y precios competitivos en los países del Grupo Andino y también la generación de empleos en lugares descentralizados del país.

Como se ha mencionado en el ítem 2.5. todavía no se produce caolín purificado para la industria papelera a nivel del GRAN, lo cual es un mercado potencial para explotar.

En cuanto a la Asistencia Técnica, damos el respaldo por tener una amplia experiencia en el proceso y la constancia de un buen producto. Esta asistencia comprende:

- Dar los criterios para la buena selección de la materia prima
- Establecer todos los parámetros que rigen cada una de las fases del proceso, por ejemplo, rela

ción de solvente, tiempo de agitación, RPM, concentración del PFTSA, ph, etc.

- Diseño y selección de los equipos y accesorios

- Entrenamiento del personal

- Puesta en marcha de la planta y optimización de la misma

Consumo unitario de las materias primas

- Calidad del producto final conforme especificaciones.

5.8. NUEVOS PROYECTOS QUE SE VISUALIZAN CON LA PRESENTE INVESTIGACION

La investigación realizada ha generado y puede generar otros proyectos de investigación, los cuales fueron determinados con pruebas realizadas experimentalmente en el Laboratorio.

5.8.1. PRODUCCION DE ALUMINA A PARTIR DE ARCILLAS CAOLINITICAS

En base a pruebas realizadas en el Laboratorio se pudo demostrar la factibilidad de producir Alúmina a partir de arcillas caoliniticas pudiendo obtenerse hasta con una pureza mayor que el 96%.

El estudio a realizarse es bastante ambicioso puesto que la materia prima no será la Bauxita que es la fuente convencional de producción de la alúmina y es más, en el país no se dispone de esta arcilla con fines industriales, pero sí otro tipo de silicatos de aluminio como es el caolin.

El presente proyecto se justifica por la necesidad de determinar la tecnología más conveniente que permita la instalación de una planta para la producción de alúmina a partir de los recursos disponibles sin pagar costo de tecnología, maximizando el uso de equipos de fabricación nacional, la sustitución de las importaciones y en el aspecto social ofrece la generación de empleos en forma descentralizada.

A la fecha ya se ha presentado la formulación del anteproyecto para la ejecución del mismo, a ITINTEC, Organismo que auspiciará la investigación en convenio con la UNI.

5.8.2. PRODUCCION DE SULFATO DE ALUMINA A PARTIR DE ARCILLAS CAOLINITICAS

Este proyecto se realizaría colateralmente al mencionado en el anterior item.

Su importancia es creciente pues el producto tiene gran demanda en la purificación de aguas., etc.

5.8.3. PURIFICACION DE CAOLINES NACIONALES PARA EL GRADO RECUBRIMIENTO DESTINADOS A LA INDUSTRIA PAPELERA Y OTROS USOS

Este proyecto sale a la vista debido a los buenos resultados que se obtuvieron en la presente investigación. Este proyecto posiblemente lo desarrolle S.P.L. como una continuación y perfeccionamiento del presente trabajo.

5.8.4. PURIFICACION DE CAOLINES POR EL METODO DE FLOTACION Y ULTRAFLOTACION

Los estudios se están realizando actualmente por el que suscribe como una alternativa de purificación y según las pruebas experimentales preliminares dan la factibilidad de la idea. Ver Anexo 7.3.5.

5.8.5. ESTUDIO DE LA ELECTRODIALISIS Y SU APLICACION EN LOS PROCESOS TECNOLOGICOS

En los estudios realizados con suspensiones dispersadas de caolin se pudo observar la posibilidad

de utilizar la electrodiálisis o sea un método de separación utilizando una membrana semipermeable de ciertas impurezas de bajo peso molecular como son algunas sales o iones metálicos (sílice libre SiO_2).

El objetivo de la investigación sería la obtención de caolinita de alto grado de pureza.

Además, este principio se puede aplicar a otros campos como remover algunas sales disueltas en el suero quedando éste con una valiosa cantidad de lactosa y otras proteínas útiles para la producción de alimentos.

CAPITULO VI

ESBOZO DEL ESTUDIO DE COSTOS PARA LA
PLANTA PILOTO

6.1. ESTIMACION DE LOS COSTOS DE PRODUCCION

En este capítulo se tratará de estimar los costos de producción debido a que el tratamiento se está haciendo a nivel de Planta Piloto por lo que el costo de producto será elevado pero a nivel industrial, éstos disminuirán sustancialmente.

Producto: Caolin grado relleno tipo II

Capacidad de la Planta Piloto: 10 kg/hr

El costo lo referimos a 1 kg de producto.

a) Materia prima.-

Las materias primas son el caolin bruto extraídos de las canteras, el PFTSA, floculante y el agua de proceso libre de iones fierro que será considerado como un costo de servicio.

$$\text{Consumo de Caolin Bruto} = \frac{149.3}{10} = 14.93 \frac{\text{kg CBruto}}{\text{kg CPuro}}$$

El costo del caolín Bruto incluido el flete es:

$$12000 \frac{\text{soles}}{\text{TM}} \cdot \frac{\text{TM}}{1000\text{kg}} = \text{S}/.12/\text{kg}$$

* Costo del Caolin Bruto = $14.93 \times 12 = \text{S}/.179.2$

Consumo de PFTSA = $\frac{2}{10} = 0.2 \text{ kg/kgde C.P.}$

Costo del PFTSA (FOB) = $0.24 \frac{\text{S}/.}{\text{lb}} = \text{S}/.148.5/\text{kg}$

Costo del PFTSA = $0.2 \times 148.5 = \text{S}/.29.7$

* Costo del PFTSA puesto en Lima = $\text{S}/.38.61$

COSTO DE MATERIAS PRIMAS + = $\text{S}/.217.8$

b) Mano de Obra y Supervisión

Para la operación de la planta se requerirá de un Ingeniero, un empleado y 2 obreros para la ejecución hasta que la planta esté optimizada, ya que el diseño de esta planta piloto no incluye la automatización de la misma.

	S/./mes
1 Ingeniero	90,000.00
1 Empleado	50,000.00
2 Ayudantes (sx30,000)	60,000.00
Beneficios Sociales y otros	60,000.00
COSTO TOTAL MANO DE OBRA P.MES	260,000.00

* Costo Total de la Mano de Obra por kg de Producción y Supervisión:

$$260,000 \frac{\text{soles}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{20 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{80 \text{ kg}} = \text{S}/.162.5$$

c) Depreciación

Inversión en Equipos:

1. Tolva de acuerdo al diseño 113,000.00
2. Zaranda Vibratoria por motor 188,000.00
- 3) 4 Tanques de acuerdo al diseño ...
 - 1 disgregador
 - 2 mezcladores
 - 1 sedimentador 451,000.00
- 4) 4 Agitadores de acuerdo al diseño
(eje, poleas, motores y accesorio) 511,000.00
- 5) 5 bombas de acero autocebantes
de 6-8 GPM con motor trifásico
1/3 HP 340,000.00
- 6) Un tanque espesador de acuerdo al
diseño sin agitador rastrillo 100,000.00
- 7) Estructuras de 4" x 4 mt de alto
con viga de 4" x 1/4", Escalera
y baranda 164,000.00

8) Elevador de Cangilones de 125kg/hr para transportar material 4 mt altura con motor y reductor	523,000.00
9) Otros accesorios, válvulas y tuberías, etc.	50,000.00
<hr/>	
COSTO TOTAL DE PLANTA PILOTO	2'440,000.00

Lo depreciaremos en 10 años (10% anual) trabajando un turno por día lo que nos producirá 80kg. de caolín purificado por día.

* Depreciación por kg de caolín purificado: ~~S/~~10.00

$$244,000 \frac{\text{soles}}{\text{anos}} \times \frac{1 \text{ año}}{300 \text{ día}} \times \frac{1 \text{ día}}{80 \text{ kg}} = S/.10.00$$

d) Servicios

Se considera para el tipo de planta piloto desarrollada que los costos de electricidad y agua están incluidos dentro del alquiler de las instalaciones. Además dentro de este rubro se considerará el alquiler de Equipos de laboratorio y de algunos equipos de Planta Piloto como es el spray dryer.

* Costo de los Servicios:

$$120,000 \frac{\text{soles}}{\text{mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{20} \times \frac{1 \text{ día}}{90 \text{ kg}} = S/.75.0/\text{kg}$$

* Costo de alquiler del Spray Dryer:

$$8000 \frac{\text{soles}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{80 \text{ kg}} = \text{S}/.100.0/\text{kg}$$

e) Mantenimiento

Se considera que este varía entre 2 y 10% del capital fijo de inversión, para el caso se considera el 5% del valor de los equipos.

$$\text{Valor de los equipos} = 2'440,000.00$$

* Costos de Mantenimiento:

$$2'440,000 \frac{\text{soles}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{300 \text{ días}} \times 0.05 = \text{S}/.5.0$$

f) Seguro e Impuestos

Se considera que estos costos representan el 2% del valor de los equipos.

$$\text{Valor de los equipos: } 2'440,000$$

$$\begin{aligned} * \text{ Costo por seguros} &= 2'440,000 \times \frac{1}{300} \times \frac{1}{80} \times 0.02 \\ &= \text{S}/.2.0/\text{kg} \end{aligned}$$

En resumen el costo total referido a 1 kg de producto es:

a) Materia Prima	S/.	217.8
b) Mano de Obra	"	162.5
c) Depreciación	"	10.0
d) Servicios Totales	"	175.0
e) Mantenimiento	"	5.0
f) Seguros	"	2.0
COSTO POR KG, CAOLIN PURG	"	<u>572.3</u>

CAPITULO VII

A N E X O S

7.2. ESTUDIO DE LAS MATERIAS PRIMAS

7.2.3. ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL.- (DTA)

Puesto que las arcillas tienen una variedad de minerales, para determinar su naturaleza se hace uso del DTA, el cual tiene las siguientes ventajas:

- 1) Determina la naturaleza y carácter de ciertos minerales, mezclas de minerales e identifica pequeñas transformaciones en los metales.
- 2) Revela ciertas características que no pueden ser detectadas por el análisis químico, ni por técnicas de difracción de Rayos X.

El método del DTA se basa en los siguientes conceptos:

- a) Las sustancias poseen cantidades distintas de energía que dependen de los reactantes y de los productos.
- b) Todo proceso está acompañado por una absorción o liberación de energía en forma de calor, en estas condiciones el cuerpo pierde el equilibrio continuo térmico con su ambiente.
- c) La diferencia máxima de temperatura entre un material térmicamente activo y su ambiente está en función de la masa, calor específico, conductividad térmica y calor liberado o absorbido por las reacciones.
- d) Se debe tener presente que la conductividad térmica entre minerales varía ampliamente, así para el caolín compacto se tiene que el k varía sólo en un 25% de la del polvo de cuarzo compacto.

, Para polvos y sustancias porosas, la conductividad térmica (K) es una función de la temperatura del gas en la estructura porosa.

En cuanto a la mayoría de minerales el calor específico en cal/gr asciende entre 0.18-0.25 frente a 1.0 que el valor para el agua. Por esto, las variaciones en la humedad absorbida pueden tener influencia en la velocidad de calentamiento de la muestra en las zonas de temperatura baja produciendo efecto endotérmicos anómalos.

En el análisis térmico diferencial se supone que las propiedades son uniformes en toda la muestra, lo cual no siempre es cierto ya que debe insertarse un par termoeléctrico en su centro para medir la temperatura. Así el flujo calorífico por los hilos del par termoeléctrico tiende a compensar la diferencia de temperatura.

7.2.3.1. DESCRIPCION DE CURVAS DE ANALISIS TERMICO

El equipo de DTA proporciona ciertas curvas muy particulares las cuales deben de ser interpretadas correctamente para que sean útiles al analista, entre los más convencionales tenemos:

- a) Picos.- Son deflexiones hacia arriba o abajo de la línea recta. Cuando la deflexión es hacia arriba se entiende que son exotérmicas y hacia abajo son endotérmicas.
- b) La temperatura nos define el ambiente del horno por el desplazamiento horizontal a lo largo de la curva térmica.
- c) La amplitud vertical del pico, se interpreta como la temperatura diferencial entre dos materiales en el horno y se define por su altura relativa.

- d) El área del pico, es el área incluida por la curva y la línea que une los puntos en que la deflexión se inicia y termina.

7.2.3.2. TIPOS DE CURVAS CUALITATIVAS

- a) Curva externa de poca amplitud, endotérmica, es característica de la eliminación del agua entre los 100 y 300 °C.
- b) Curva extensa de deflexión asimétrica exotérmica de las arcillas plásticas que son causadas por la oxidación de la materia orgánica entre una temperatura de 200 y 600°C.
- c) Deflexión simétrica de gran amplitud y extensa, caracterizada por la eliminación endotérmica de agua reticular y ocurre entre 450 y 700°C.
- d) Gran deflexión endotérmica asimétrica, que es típica de los carbonatos que se produce en algún punto del intervalo 450-900°C.
- e) Pico exotérmico alto y de intervalo estrecho de temperatura que es propio de los minerales del tipo del caolin, el cual es el punto que interesó en la investigación al cual se hace un pequeño análisis.

7.2.3.3. CURVAS TERMICAS PARA MINERALES DEL GRUPO DEL CAOLIN

Según las experiencias se han encontrado que todas las curvas representantes de este grupo se caracterizan por un área endotérmica cerca de los 600°C, la cual es causada por la destrucción de hidróxido en la estructura cristalina.

También se ha observado que a 980°C se presenta un pico exotérmico que corresponde a la transformación de alúmina amorfa en alúmina gamma (γ).

Las curvas de nacrita, dickita, caolinita sólo se desvían ligeramente de la línea, y son causadas por pequeñas transformaciones de humedad absorbida.

El mineral de halloysita se distingue por sus depresiones inferiores a 150 y 305°C.

La Alofina se considera en gránulos tan finos que se le considera amorfa. Toda desviación sensible de la continuidad lineal en la curva tiempo-temperatura debe de estar acompañada de efectos en la curva del análisis térmico diferencial.

7.2.3.4. ANÁLISIS CUANTITATIVO

En función a la importancia se tiene que el área bajo una curva implica la medición del efecto térmico total. Así el área es proporcional a la concentración de sustancia térmicamente activa.

La concentración de una sustancia en una mezcla se determina obteniendo los siguientes datos:

- 1) Con un análisis cualitativo se averigua de que sustancia se trata
- 2) Se mide el área encerrada en el pico elegido
- 3) Se divide esta superficie entre un área tipo
- 4) Se compara con una de las curvas patrón de una sustancia pura analizada con el mismo equipo
- 5) Se encuentra la relación en que están los componentes en la mezcla analizada

7.2.3.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS RESULTADOS

a) Compacidad.- Es un carácter físico de la muestra empacada en la cavidad para la prueba.

Así se tiene que el efecto térmico será más definido cuanto mayor sea la compacidad de la muestra.

Según Gruver, el empaque de la muestra en que soporte tiene escaso efecto sobre el área o intensidad de la curva .

- b) Pares Termoeléctricos. Posición y capacidad caloríficas de los pares termoeléctricos.

Para un mejor registro debe colocarse en el centro de la muestra.

Son eficaces, alambres fino, calibre 22.

Se debe cuidar que la cantidad de calor absorbida o liberada durante el calentamiento no debe afectar el par termoeléctrico de gran capacidad calorífica y gran conductividad térmica.

Es aconsejable que los alambres tengan la menor capacidad térmica posible y son eficaces los alambres finos, menores que el calibre 22.

- c) Tamaño de las Partículas. Las partículas pequeñas reducen la energía de reacción asociada con las deflexiones térmicas diferenciales. Se aconseja usar las muestras que estén comprendidas entre -60 y +200 malla tyler para que se mejore las propiedades de empaquetamiento.

- d) Velocidad de calentamiento.- Se debe tener presente que la velocidad de calentamiento afecta la posición y picos térmicos de la curva; pero no influye apreciablemente en el área situada en dichos picos.

Los picos se hacen más agudos al aumentar la velocidad de calentamiento presentándose a temperaturas mayores. El incremento de la temperatura más común es de 10 a 15°C/min.

- e) Difusividad.- La difusividad provoca una marcada diferencia entre la sustancia patrón y la muestra problema, lo que contribuye a un arrastre observado en la línea base. Al producirse el arrastre

debe establecerse una línea base oficial (auxiliar) para interpretar los resultados del análisis.

- f) **Atmósfera del Horno.**- Se debe tener en cuenta que la facilidad de oxidación se regula con la atmósfera del horno, así como con el grado de empaquetamiento del polvo. El ambiente debe de ser especial cuando se trata de muestras con caracter orgánico. Cuando se produce oxidación, la deformación y emigración de los picos hace muy difícil la identificación. Generalmente los compuestos de fierro son los que interfieren.
- g) **El material de Crisol.**- Es muy importante la capacidad calorífica del material de que está hecho el crisol.

Los recipientes de elevada capacidad calorífica, actúan absorbiendo energía calorífica de la muestra o bien le dan energía, ejemplo: el níquel. Esto reduce la intensidad de los picos.

Los crisoles de platino son ideales para dispositivos sensibles a cambios térmicos pequeños.

Se debe tener presente que las curvas de DTA sirven analítica y cuantitativamente como registros dinámicos, no como representaciones estáticas o en equilibrio en las reacciones térmicas que se producen en el interior de la mezcla estudiada.

7.2.4. RESULTADO DEL ANALISIS DE LOS CAOLINES PROCESADOS

En este ítem se presentan los análisis que se realizaron para la abrasividad, blancura, residuo sobre malla 325 y humedad en el Laboratorio de Papelera Atlas S.A.

Los análisis mencionados requieren de una técnica y equipos standarizados según normas de la TAPPI. Algunos

análisis no se pudieron realizar por carecer de los equipos requeridos.

También se muestra los parámetros de operación, con los cuales se obtuvieron dichos productos. Ver tablas 7.2.4.1., 7.2.4.2., y 7.2.4.3.

El análisis químico de algunas materias primas y productos se muestran en la tabla 7.2.4.4., 7.2.4.5., con los cuales se puede establecer una relación entre la abrasividad y el contenido de sílice como óxido de silicio.

TABLA 7.2.4.1. ANALISIS DE CAOLINES DE CAJAMARCA PROCESADOS

	GF-01-D1	GF-02-D1	GF-03-D1	GF-04-D1	GF-05-D1	GF-07-D1	GF-08-D1	GF-09-D1
Preparacion Muestra	Chancada y Molida	Chancada y Molida	Chancada y Molida	Chancada y Molida	Chancada y Molida	Chancada y Molida	Molida Ta miz 800u	Chancada y Molida
<u>RESULTADOS DE ANALISIS</u>								
Abrasividad (máx.30mg)	13.0	16.3	20.6	29.8	121.4	36.0	89.8	96.1
Residuo (máx.0.2%) malla 325	0.08	0.02	0.21	0.53	0.079	0.018	0.0368	0.0747
Blancura (min.74%)	76	76.5	75.5	75	65	77	50	74.5
<u>1ra.Extracción</u>								
R.Agua-Caolin	10:1	10:1	10:1	10:1	8:1	10:1	10:1	10:1
Tiempo de Agit. (min)	30	30	30	30	30	30	30	30
RPM	600	600	600	600	600	600	600	600
Tiempo Sedim. (min)	2.0	2.0	2.0	2.0	2	1.5	1.0	1.0
% Rend.	51.0	41.0	36.5	44.4	12.1	17.7	13.7	15.1
<u>2da.Extracción</u>								
% FFTSA	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0
R. Agua-Caolin	10:1	10:1	10:1	10:1	8:1	10:1	10:1	10:1
T. de agitac. (min)	10	10	15	10	15	15	15	10
RPM	600	600	600	600	600	600	300	300
T. de Sediment. (min)	30	45	45	30	30	45	30	30
% Rend.	37.1	32.0	34	47.3	55.8	33.9	33.4	33.5
Rendimiento Total %	19.0	13.0	12.4	21.0	6.7	6.0	4.6	5.1
% Humedad	0.51	0.40	0.41	0.64	0.51	0.51	0.54	0.51
Rend.en Base Seca	19.1	13.0	12.5	21.1	6.7	6.0	4.6	5.1
SECADO	Estufa	Estufa	Centrífuga y Estufa	Estufa	Centrífuga y Estufa	C/E	C/E	C/F

TABLA 7.2.4.2. ANALISIS DE LOS CAOLINES DE ANCASH Y JUNIN (ES-01)

CODIGO MUESTRA	HM-01D1	HM-02D1	HM-02D2	HV-01D1	HV-02D1	RM-01D1	RM-01D2	RM-02D1	ES-01D1	ES-01D2	ES-01D3	Norma P pelera
PREPARACION MUESTRA	Disgre. Natural	Chancada	Chancada	Molida Tam800u	Tamizad -6.3	Molida -800u	Molida -800u	Molida -800u	Pulveri zada	Pulveri. zada	Pulveri zada	
RESULTADOS												
Abrasividad (mg/Valley)	31.9	71.7	177.9	87.8	48.0	61	32.7	8.9.	162.7	197.4	111.8	30Máx.
Resid.Malla+325%	0.02	—	0.06	—	0.42	0.03	0.04	0.07	0.217	1.082	—	0.20Máx
Blancura % PHOTOV	77	—	—	85.0	85.0	80.0	80	87	83		83.5	74Máx.
1ra.Extracción												
Relac.Agua-Caolin	10:1	6:1	10:1	6:1	6:1	6:1	6:1	6:1	10:1	8:1	6:1	
θ Agitación (min)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
RPM	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
θ Sediment. (min)	2	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0	
% Rendimiento	32.6	23.7	28.3	26.0	25.4	49.1	45	49.4	48.3	51.1	40.6	
2da.Extracción												
% PFTSA	1.0	0.5	1.0	0.6	1.0	5.1	5.1	5.1	1.0	1.0	1.0	
Relac.Agua-Caolin	10:1	5:1	10:1	6:1	10:1	0.4	0.6	0.5	10:1	8:1	6:1	
θ Agitación (min)	10	5	10	15	5	5	5	5	30	30	30	
RPM	600	317	300	480	300	317	320	317	600	600	600	
θ Sedimentac (min)	30	60	45	30	45	50	60	75	30	30	30	
% Rendimiento	42.5	15.0	13.3	20	12.7	28.6	30.3	20.6	41.4	44.0	40.4	
Rend.Total	14.0	3.6	3.76	5.2	3.2	14.0	13.6	10.2	20.0	22.4	16.4	
% Humedad	1.47	—	0.5	0.5	3.3	7.1	2.37	--	0.4	0.4	0.4	
Rend.en Base Seca	14.2	—	3.8	5.2	3.3	15.0	14.0	—	20.1	22.5	16.5	
TIPO DE SFCADO	Spray Dryer	Estufa	Estufa	Estufa	Estufa	Estufa	Spray Dryer	Spray Dryer	Estufa	Estufa	Estufa	



Fig.7.2.4. - PARTICULAS DE CAOLIN SECADOS CON EL SPRAY DRYER. VISTA EN EL MICROSCOPIO CON UNA AMPLIFICACION APROXIMADA DE 75X. EL PRODUCTO MUESTRA PARTICULAS DE FORMA ESFERICA, DE TAMAÑO Y DISTRIBUCION UNIFORME, HUMEDAD PROMEDIO 13 Y ALTA DENSIDAD BULK.

TABLA 7.2.4.3.- ANALISIS DE LOS CAOLINES DE HUARAZ Y CAJAMARCA

M U E S T R A	MB-01 D2	MB-01 D4	MB-01 D5	MB-01 D6	MB-01 D7	MB-02 D7	MB-02 D2	MB-03 D1	MB-01 D1
Preparación Muestra		sin moler	molida -6.3mm	Pulveri Malla 20	sin Moler -6.3mm	sin moler -6.3mm	Idem		
<u>Resultados</u>									
Abrasividad (máx.30mg Valley)	69.0	8.7	33.5	43.2	6.0	87.0	52.6	53.1	27.0
R. Malla 325 (máx.0.2%)	0.05	0.01	0.01	0.62	0.03	2.97	0.124	0.34	0.03
Blancura (min 74% Pht)	84	82	81	70	84.5	71.0	82.0	72.0	72
<u>1ra. Extracción</u>									
Relación Agua-Caolin	6:1	6:1	6:1	6:1	6:1	6:1			10:1
θ de Agitación (min)	25	30	30	30	30	30			30
RPM	600	600	600	600	600	600			600
θ de Sedimentación (min)	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	2.0			1.0
% Rend.		29.6	70.1	72.3	50.3	41.0			---
<u>2da. Extracción</u>									
% PFTSA	1.0	0.5	6.5	5:1	5.:1	5:1			10:1
Relación Agua: Caolin	10:1	5:1	5:1	0.5	0.5	0.5			1.0
θ Agitación (min)	10	5	5	5	5	5			10
RPM	600	317	317	317	317	317			600
θ Sedimentación (min)	30	90	60	90	60	60			30
% Rend.	---	23.6	26.4	20	25.5	15.85			---
Rend. Total	19.0	7.0	18.8	14.5	12.8	6.5			31.5
% Humedad		0.28	0.28	---	---	8.5			---
Rend. en base Seca		7.0	18.5			7.1			
Tipo de Secado	Estufa	Estufa	Estufa	C/F	C/F	C/F			

ESTE TRF. ... EQUIPADO DE

7.3.2. CURVAS EXPERIMENTALES DE OPTIMIZACION DE
LA PRIMERA EXTRACCION

% Ext.

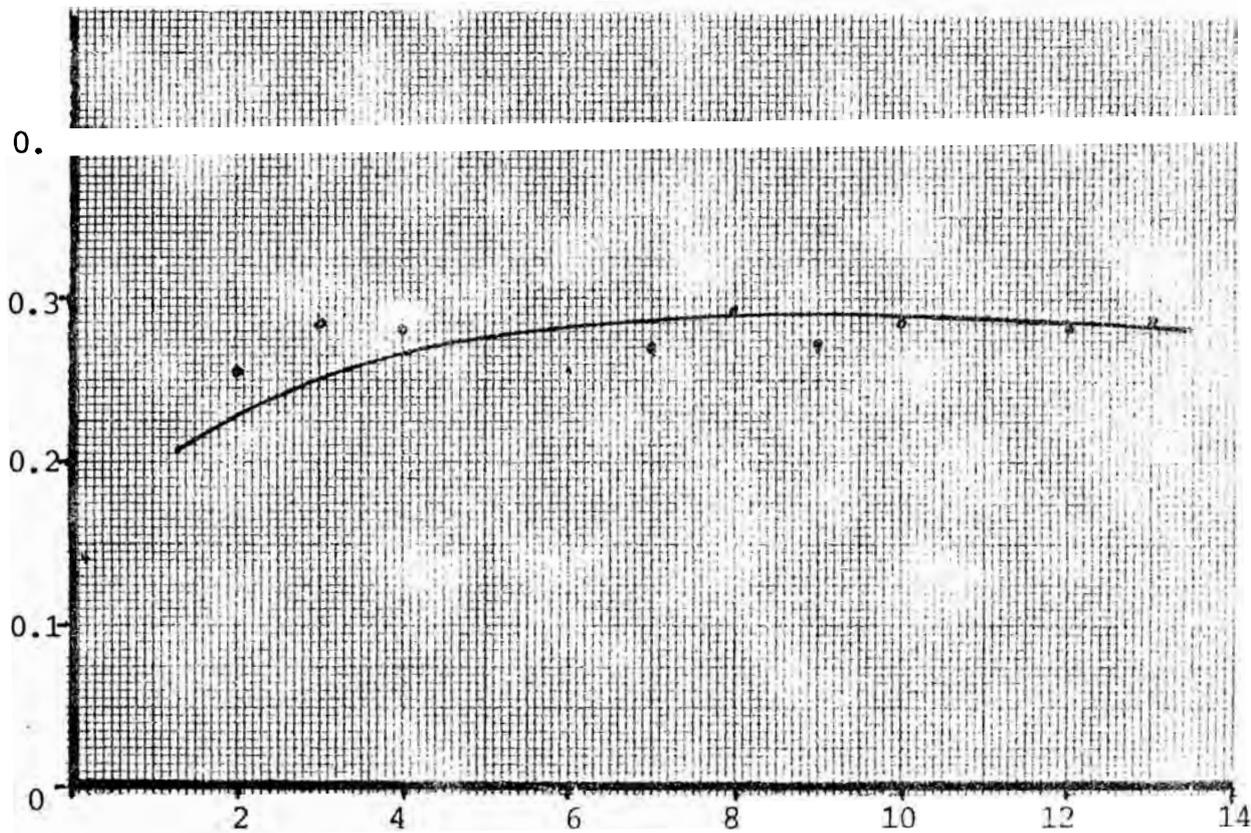


Fig.7.3.2.1.a.- DETERMINACION DE LA RELACION DE SOLVENTE OPTIMO (LO-01)

Rel. de Solvente

% Ext.

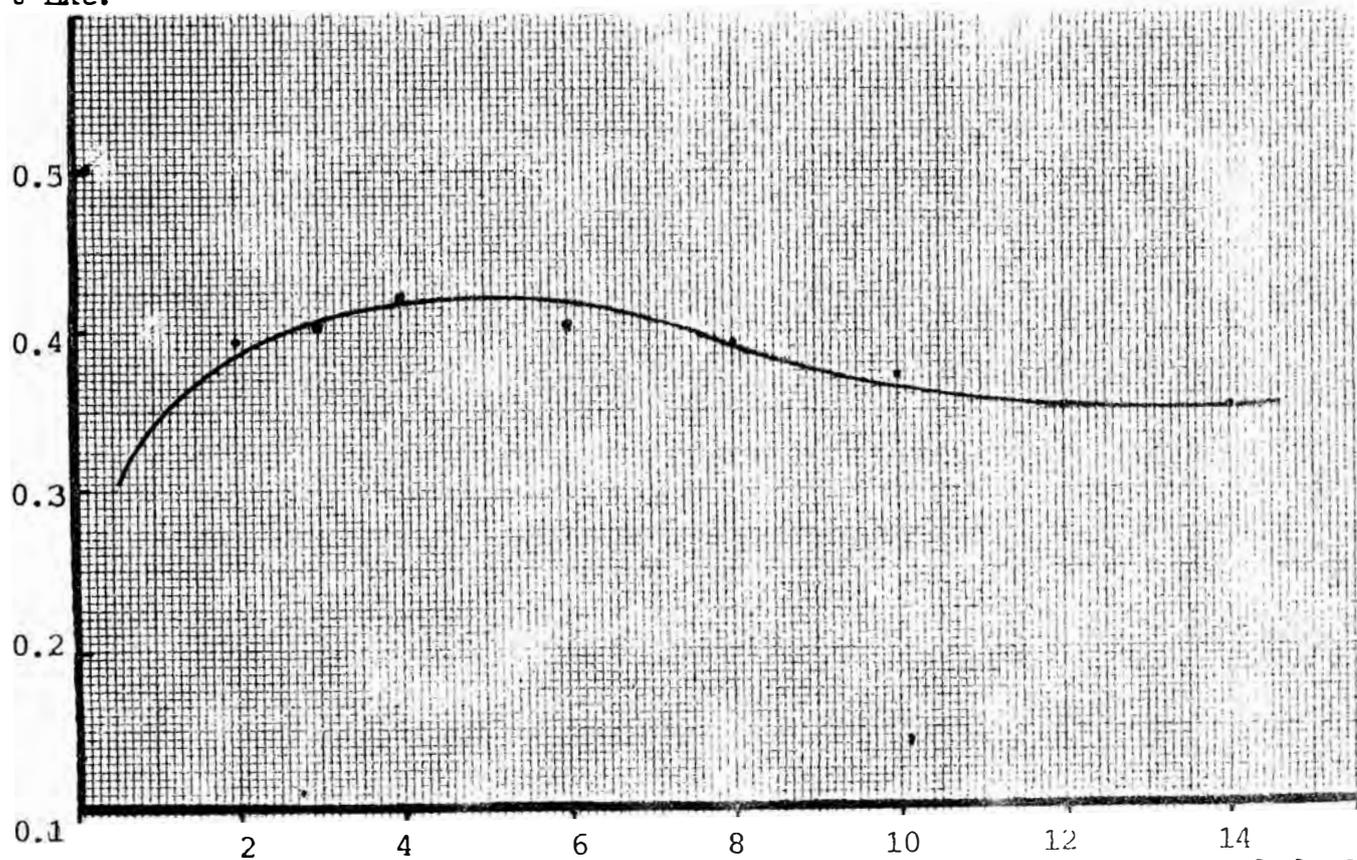


Fig.7.3.2.1.b.- DETERMINACION DE LA RELACION DE SOLVENTE OPTIMO (Muestra MB-01)

Rel. de Solvente

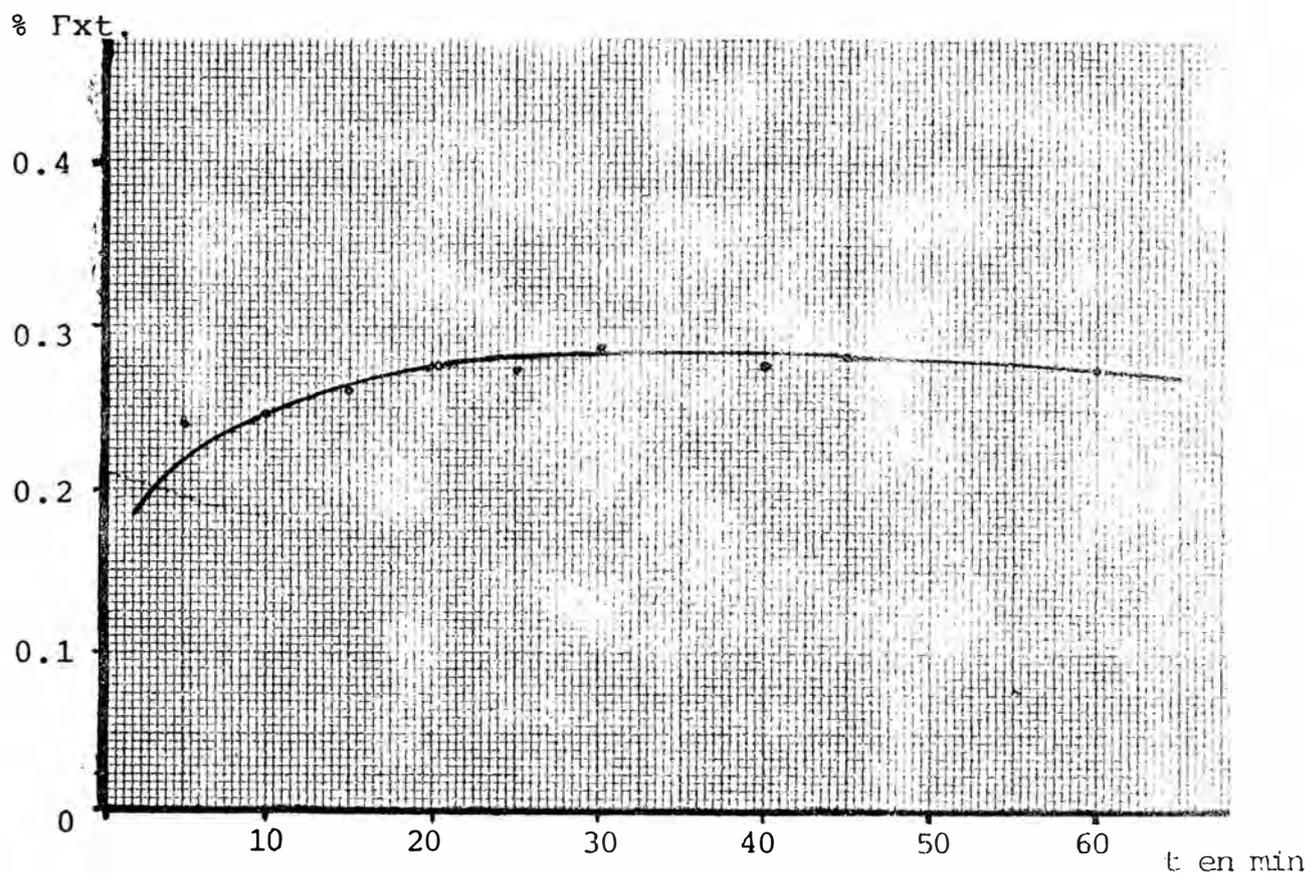


Fig.7.3.2.2.a.- DETERMINACION DEL TIEMPO DE AGITACION OPTIMO (Muestra LO-01)

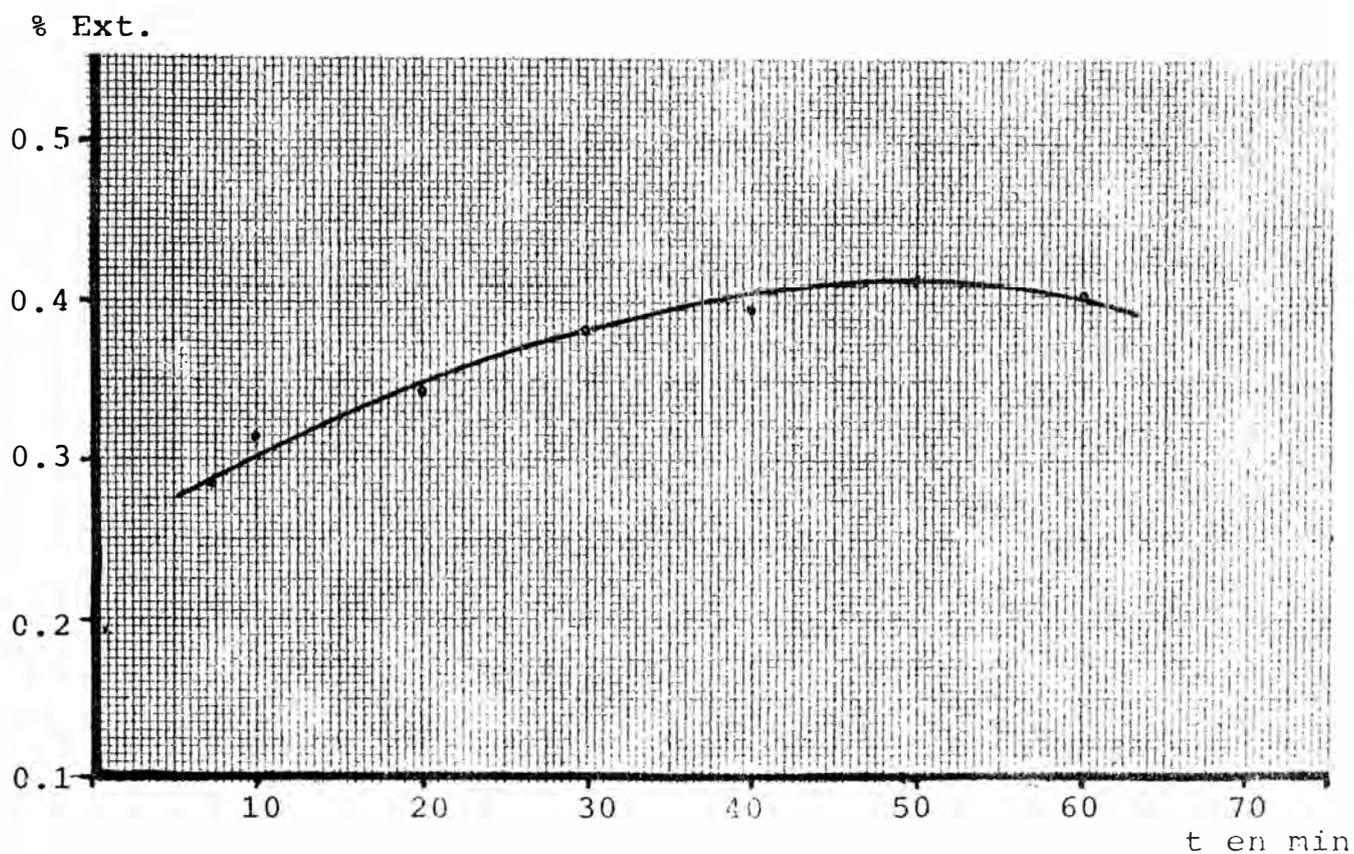


Fig.7.3.2.2.b.- DETERMINACION DEL TIEMPO DE AGITACION OPTIMO (Muestra MB-01)

% Ext.

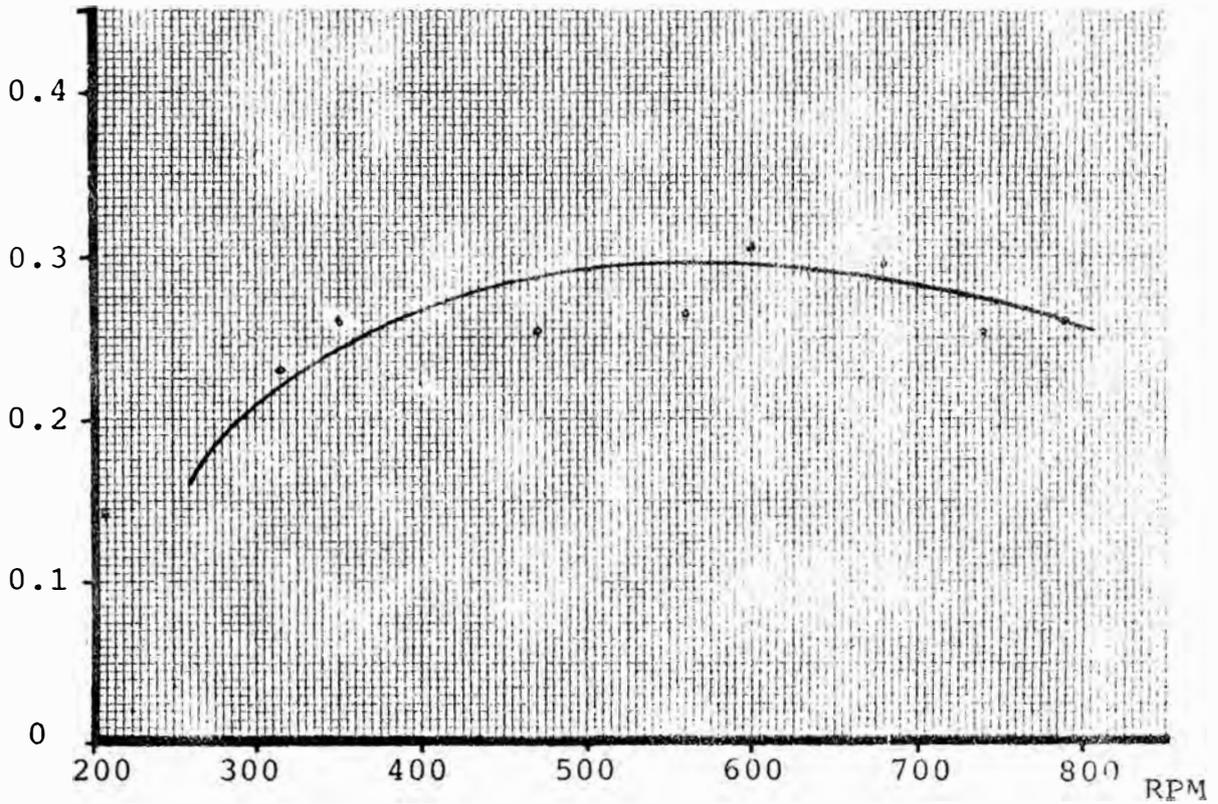


Fig.7.3.2.3.a.- DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE AGITACION OPTIMA (Muestra I.O-01)

% Ext.

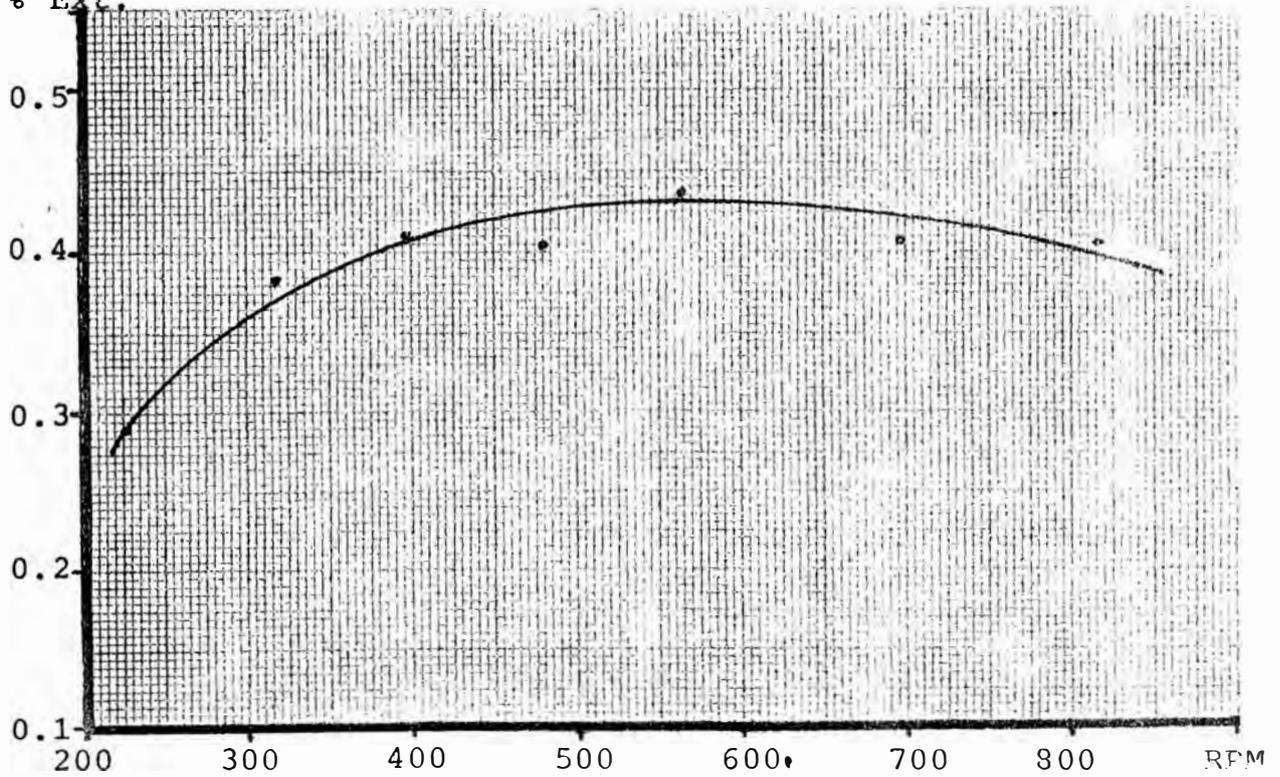


Fig.7.3.2.3.b.- DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE AGITACION OPTIMA (Muestra MB-01)

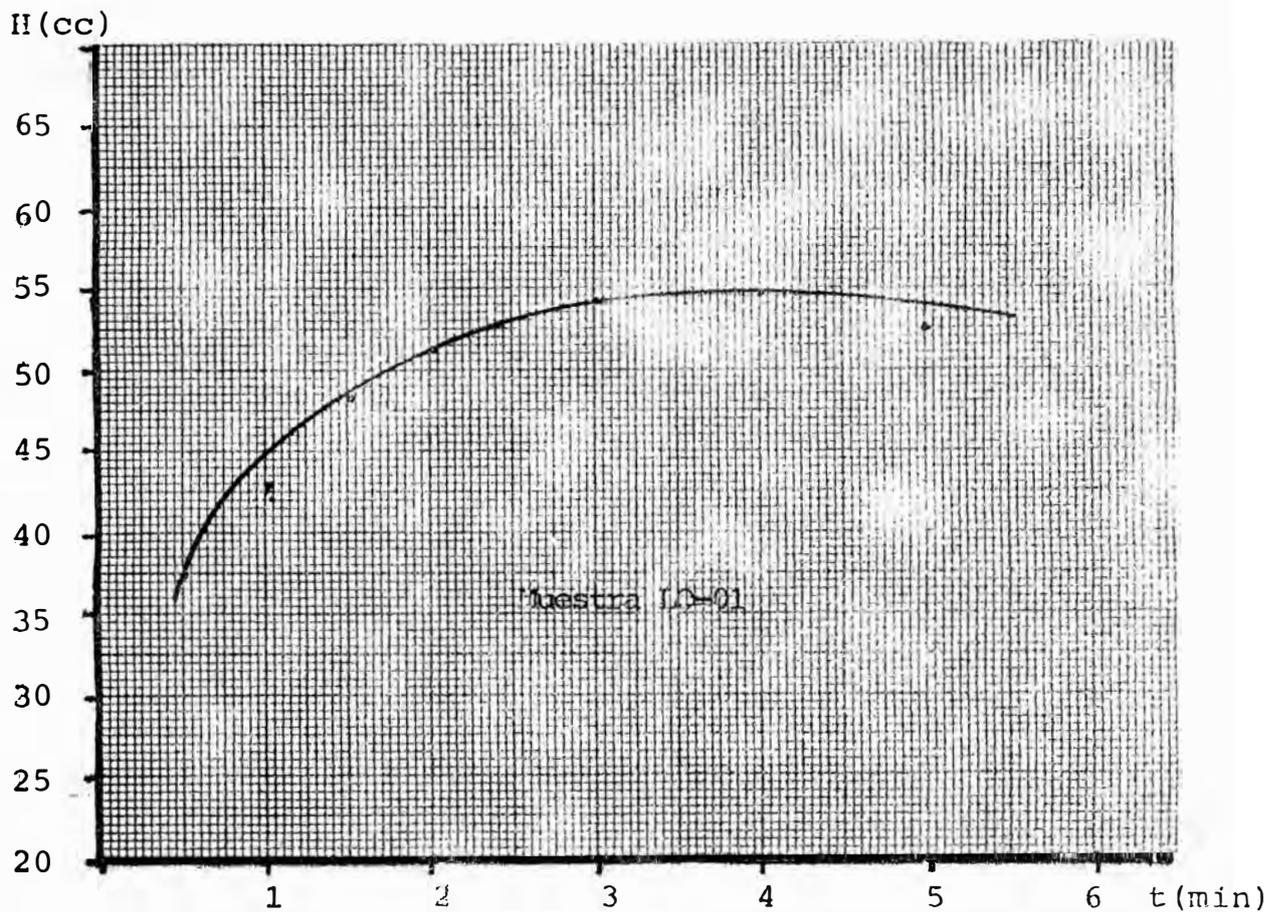


Fig.7.3.2.4.a.- TIEMPO OPTIMO DE SEDIMENTACION PRIMERA EXTRACCION

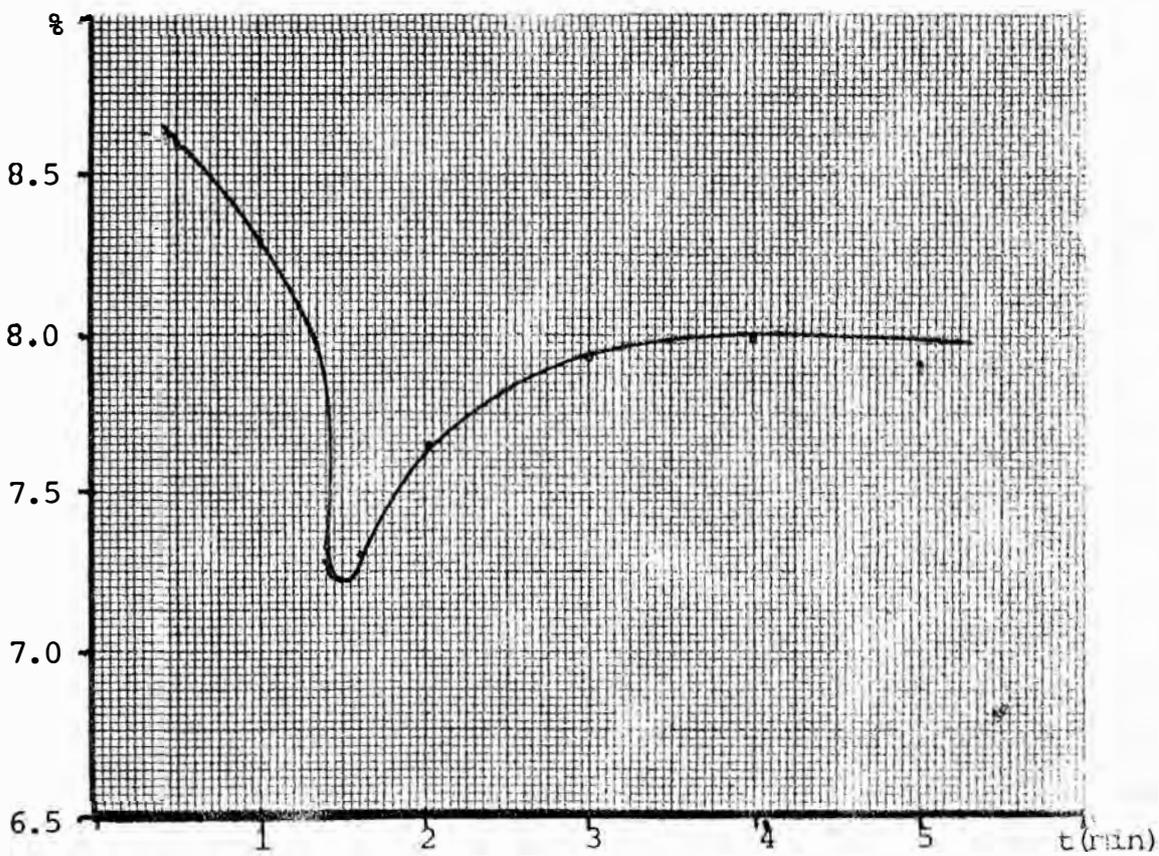


Fig.7.3.2.4.b.- TIEMPO OPTIMO DE SEDIMENTACION PRIMERA EXTRACCION (Muestra MB-01)

TABLA 7.2.4.4. ANALISIS QUIMICO DE ALGUNAS MATERIAS PRIMAS

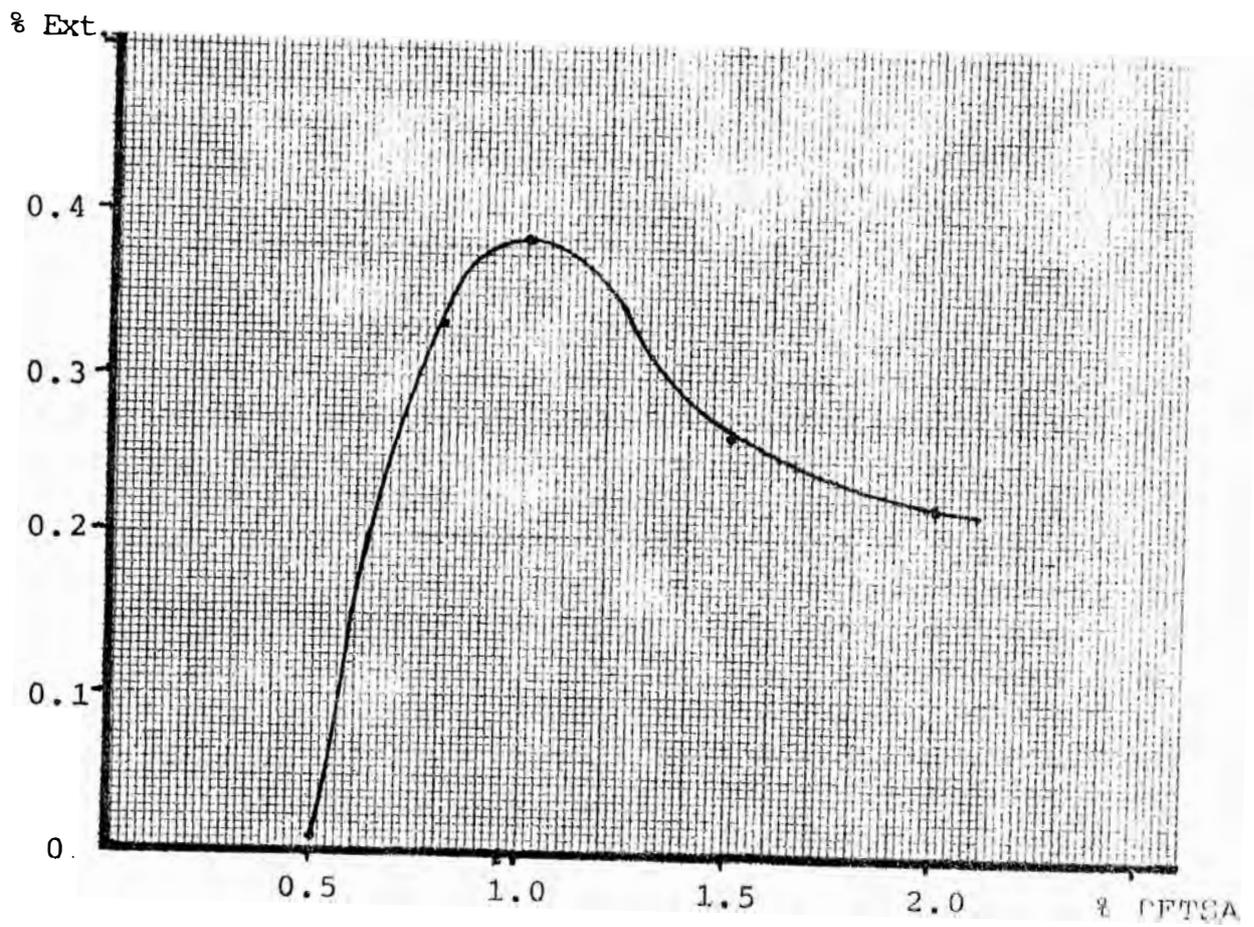
COMPUESTO	MUESTRA	GF-01	GF-02	MB-01C	MB-02	MB-03	RM-03
SiO ₂ %		61.06	59.8	81.5	72.0	67.0	75.8
Al ₂ O ₃ %		36.60	39.0	10.20	19.60	21.5	17.0
Fe ₂ O ₃ %		1.40	1.0	0.45	0.35	0.30	0.30
CaO %		0.00	0.0	0.38	0.13	0.14	0.16
MgO %		0.13	0.72	0.38	0.22	0.20	0.08
K ₂ O %		0.80	---	---	0.5	1.68	0.10
Na ₂ O %		---	----	----	0.07	0.13	0.11
PxC %		N.D.	N.D.	5.68	6.80	8.72	5.8

TABLA 7.2.4.5. ANALISIS QUIMICO DE ALGUNOS PRODUCTOS PURIFICADOS

COMPUESTO	MUESTRA	LO-01D1	GF-01D1	MB-01D2	MB-02CD2	SH-01D1
SiO ₂ %		47.98	54.38	51.80	61.0	45.83
Al ₂ O ₃ %		21.82	22.50	22.33	23.95	22.81
CaO %		13.37	2.62	2.83	1.70	2.41
MgO %		0.87	0.95	0.87	0.55	1.02
Fe ₂ O ₃ %		0.43	3.43	0.79	0.54	1.07
Na ₂ O %		---	---	---	0.0	----
K ₂ O %		---	---	---	0.3	----
P x C %		11.36	13.50	13.50	10.6	11.92
Humedad %		1.30	0.78	0.46	1.31	1.33

**7.3.3. CURVAS EXPERIMENTALES DE OPTIMIZACION DE
LA SEGUNDA EXTRACCION**

7.3.3.1. OPTIMIZACION DEL % DE DEFLOCULANTE PARA LA SEGUNDA EXTRACCION (Muestra LO-01)



7.3.3.2. CURVAS DE OPTIMIZACION DEL PORCENTAJE DE DEFLOCULANTE PARA LA MUESTRA RM-01 y GP-01.-

A.1. CURVAS DE SEDIMENTACION A DIFERENTES PORCENTAJES DE PFTSA, MUESTRA RM-01

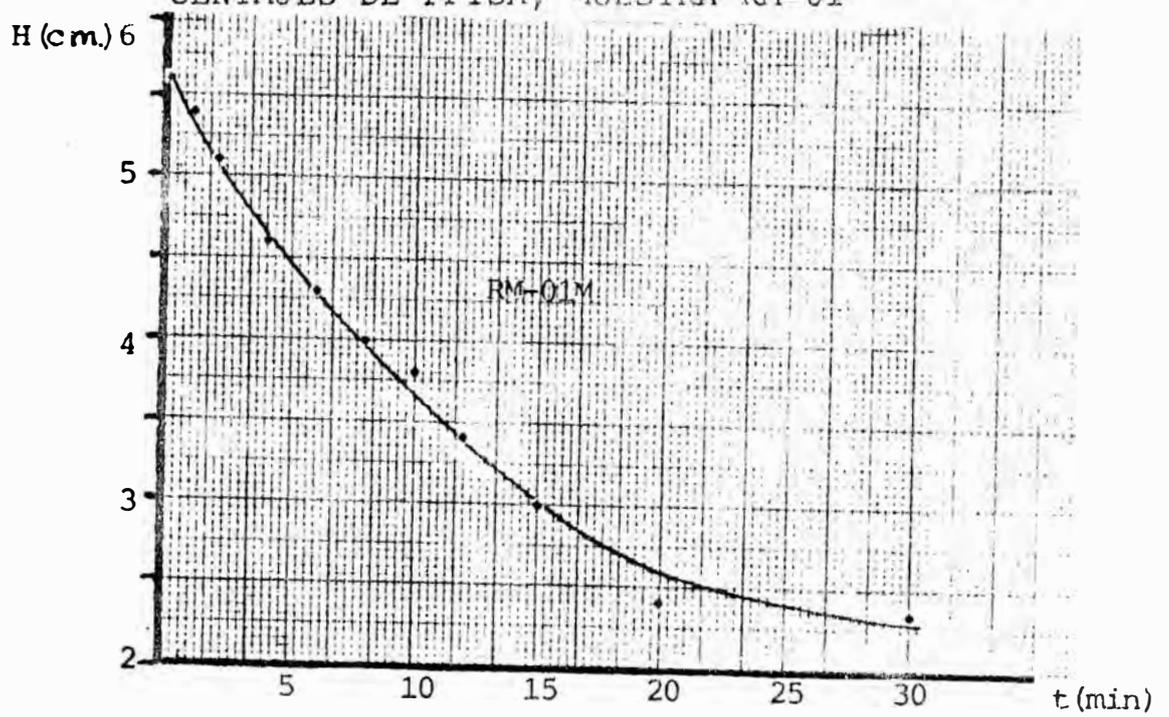


fig.(1) Con 0.5% de PFTSA

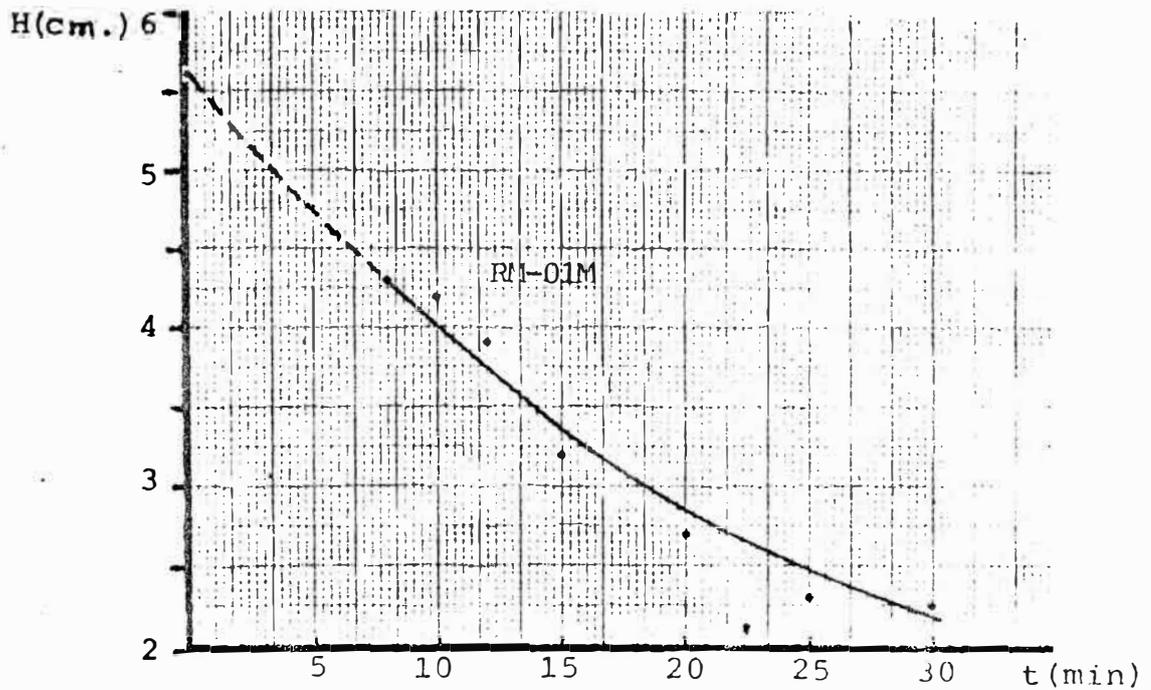


fig.(2) Con 0.6% de PFTSA

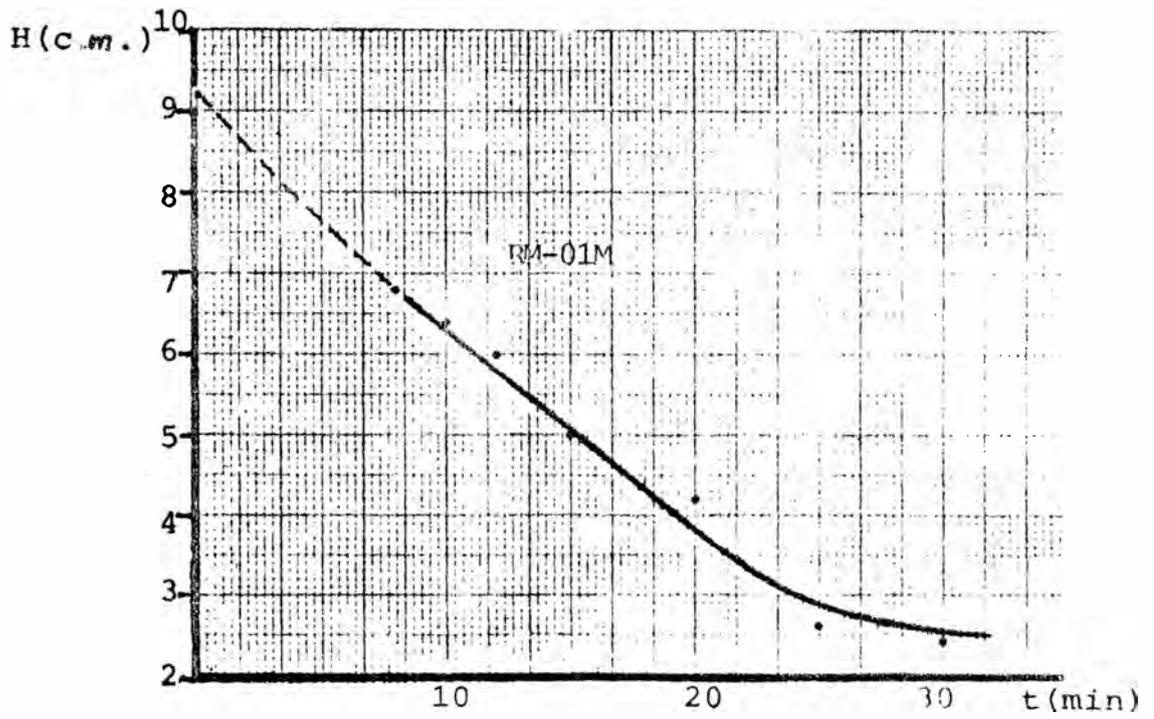


fig. (3) Con 1.0% de PFTSA

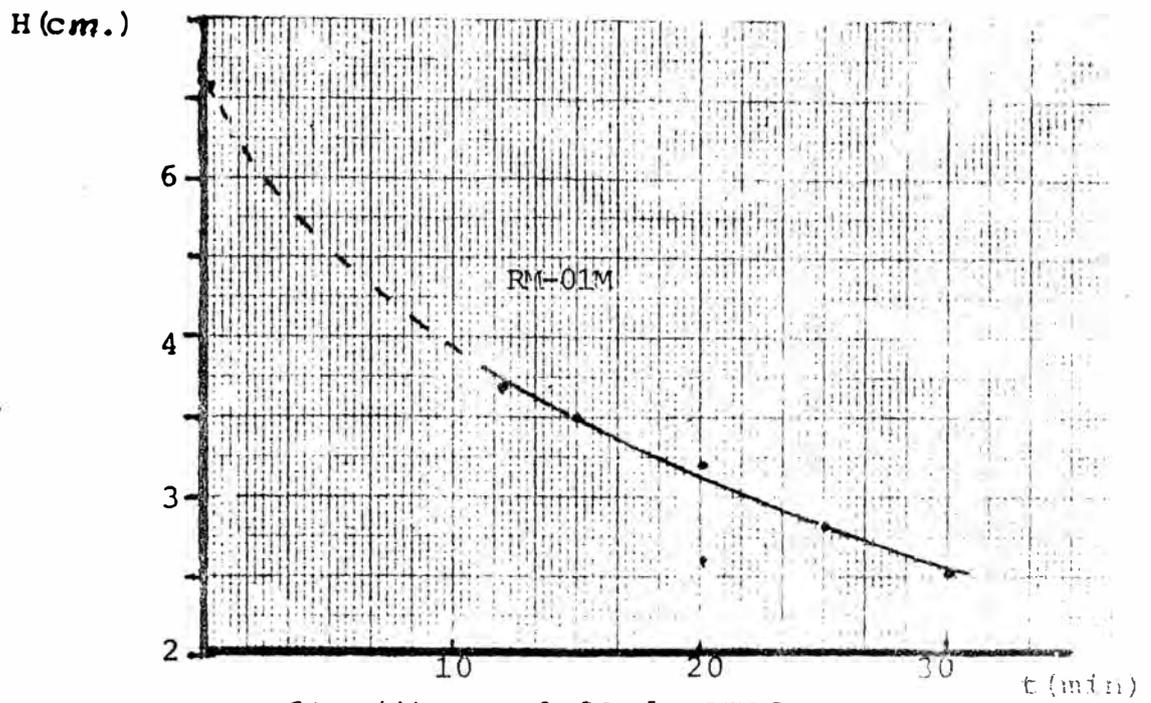


fig. (4) Con 0.8% de PFTSA

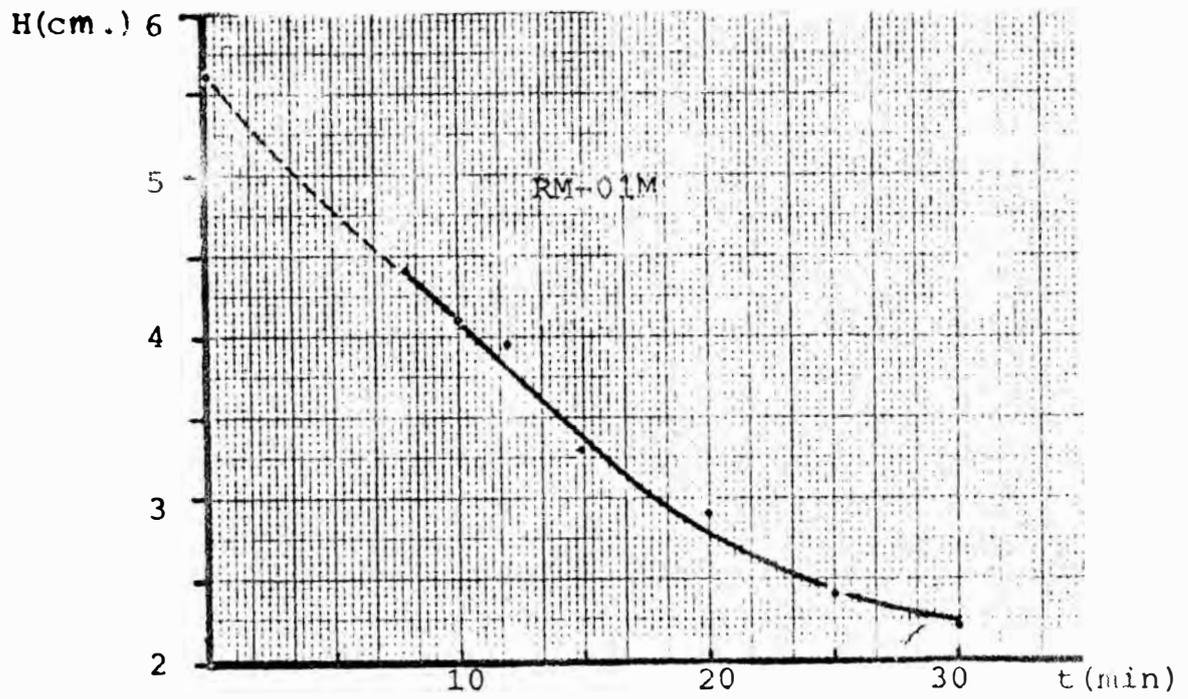


fig. (5) Con 1.2% de PFTSA

.A.2. CURVAS DE SEDIMENTACION A DIFERENTES PORCENTAJES DE PFTSA (GF-01M)

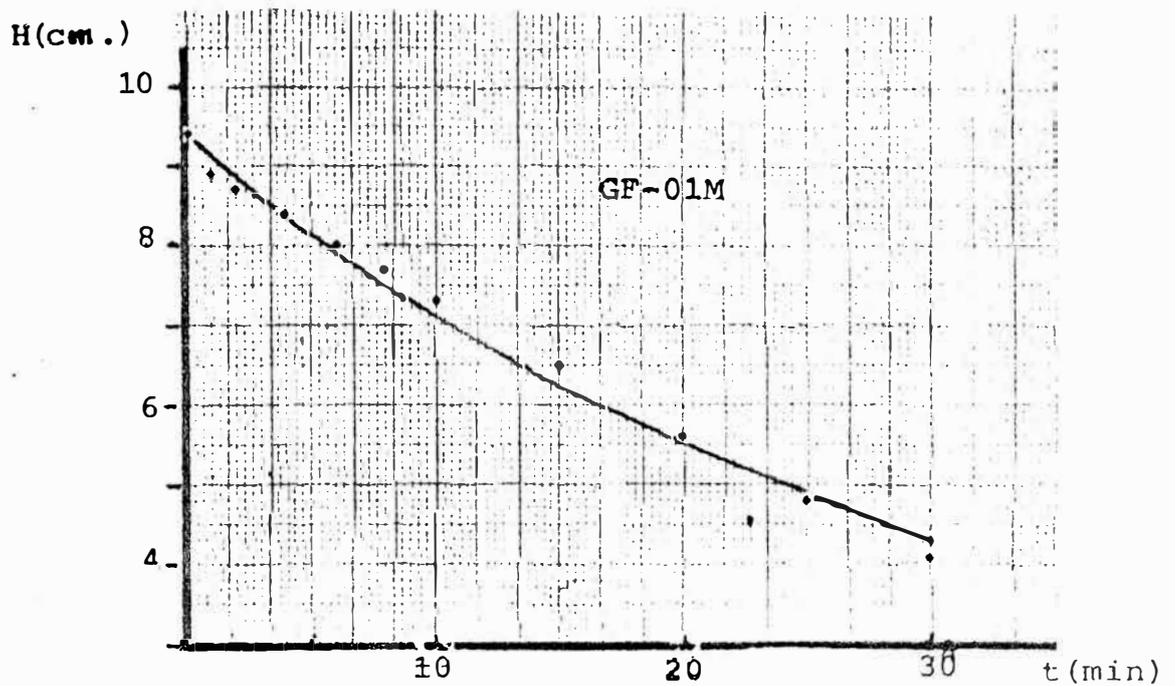


fig. (1) Con 0.3% de PFTSA

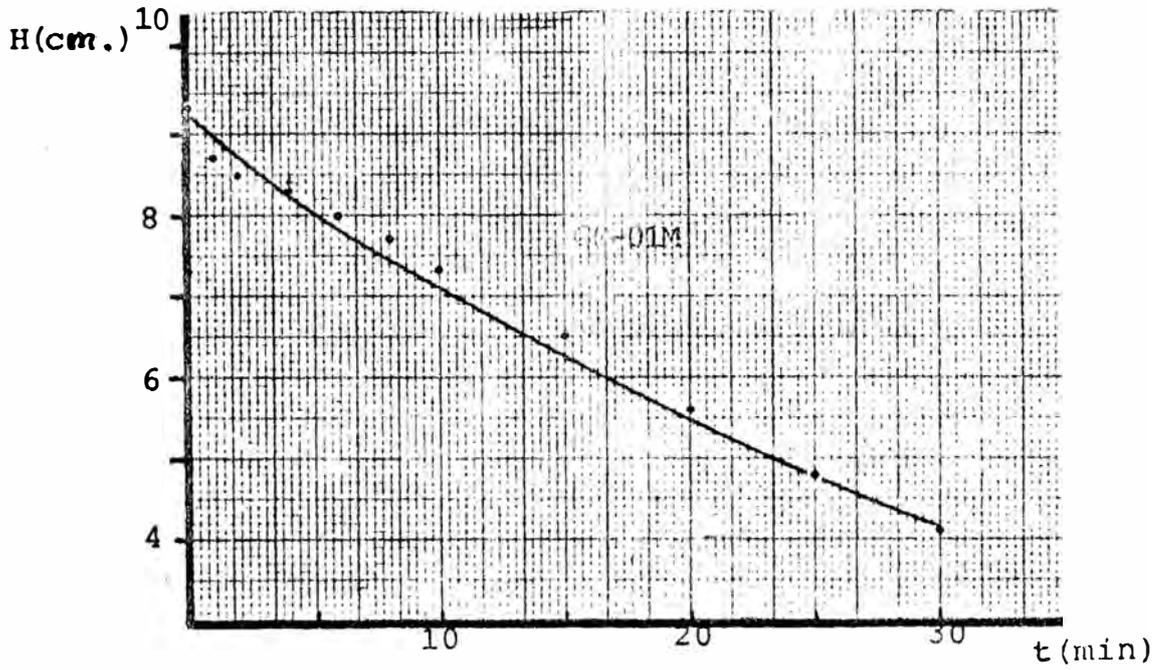


fig. (2) Con 0.4% de PFTSA

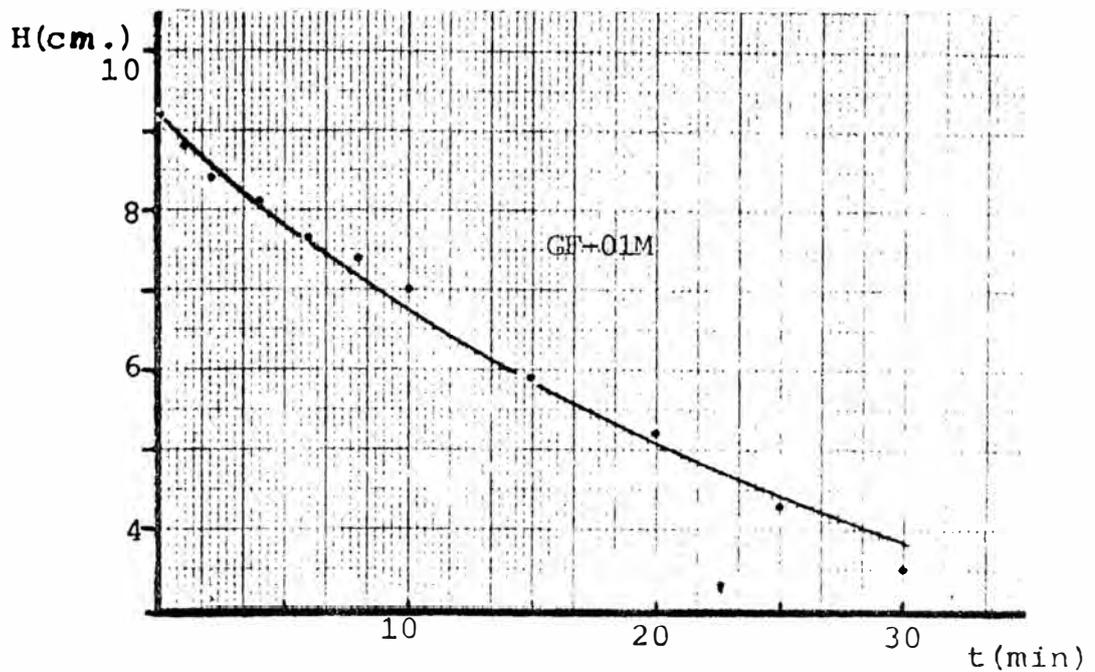


fig. (3) Con 0.6% de PFTSA

NOTA.- A mayores porcentajes de PFTSA no se pudieron observar la altura de sedimentación por ser muy opaca la solución.

B.1. ANALISIS DE CURVAS PARA LA OPTIMIZACION DEL % PFTSA PARA LA MUESTRA RM-01M.

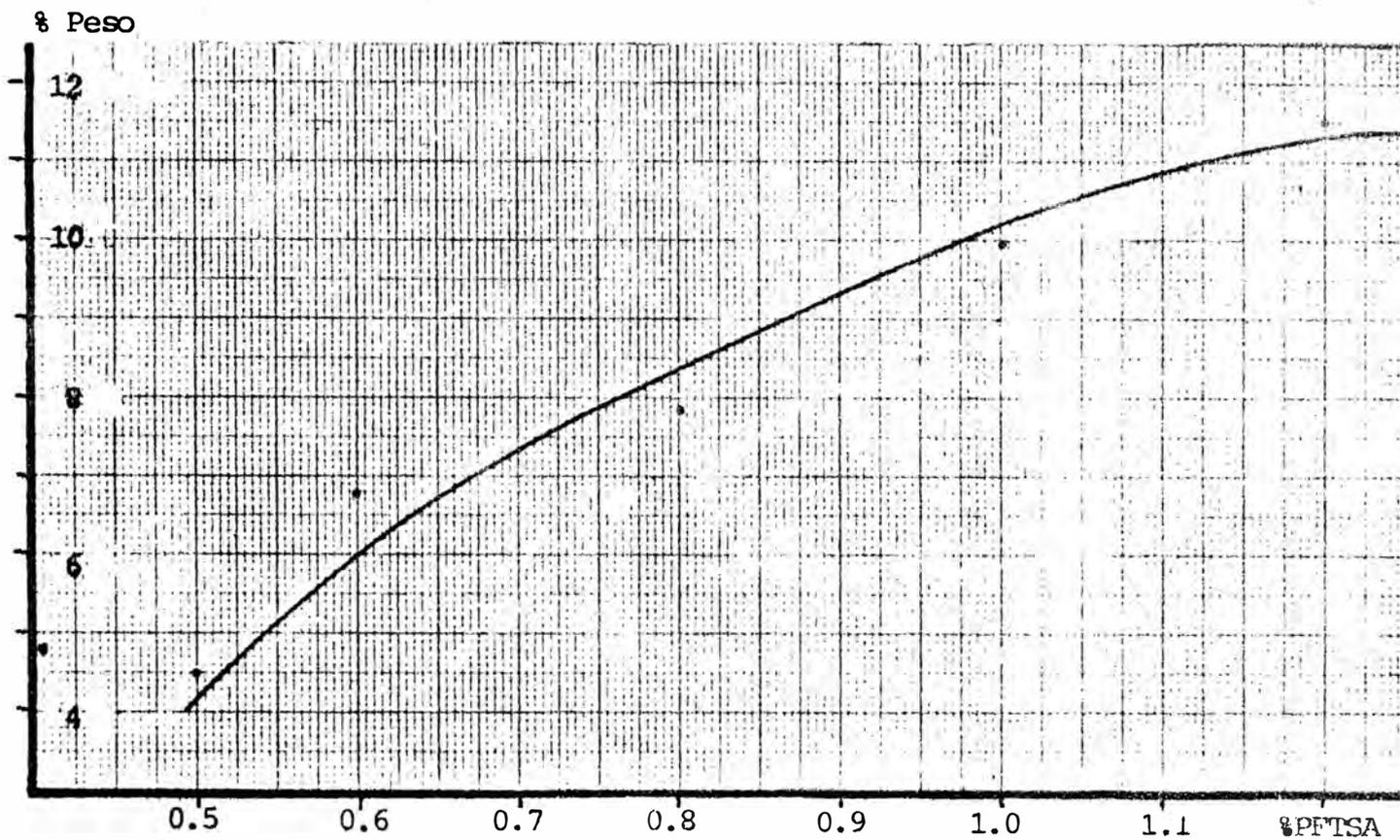


fig. (B.1.1.) % en Peso de Extracción vs % PFTSA Muestra RM-01M

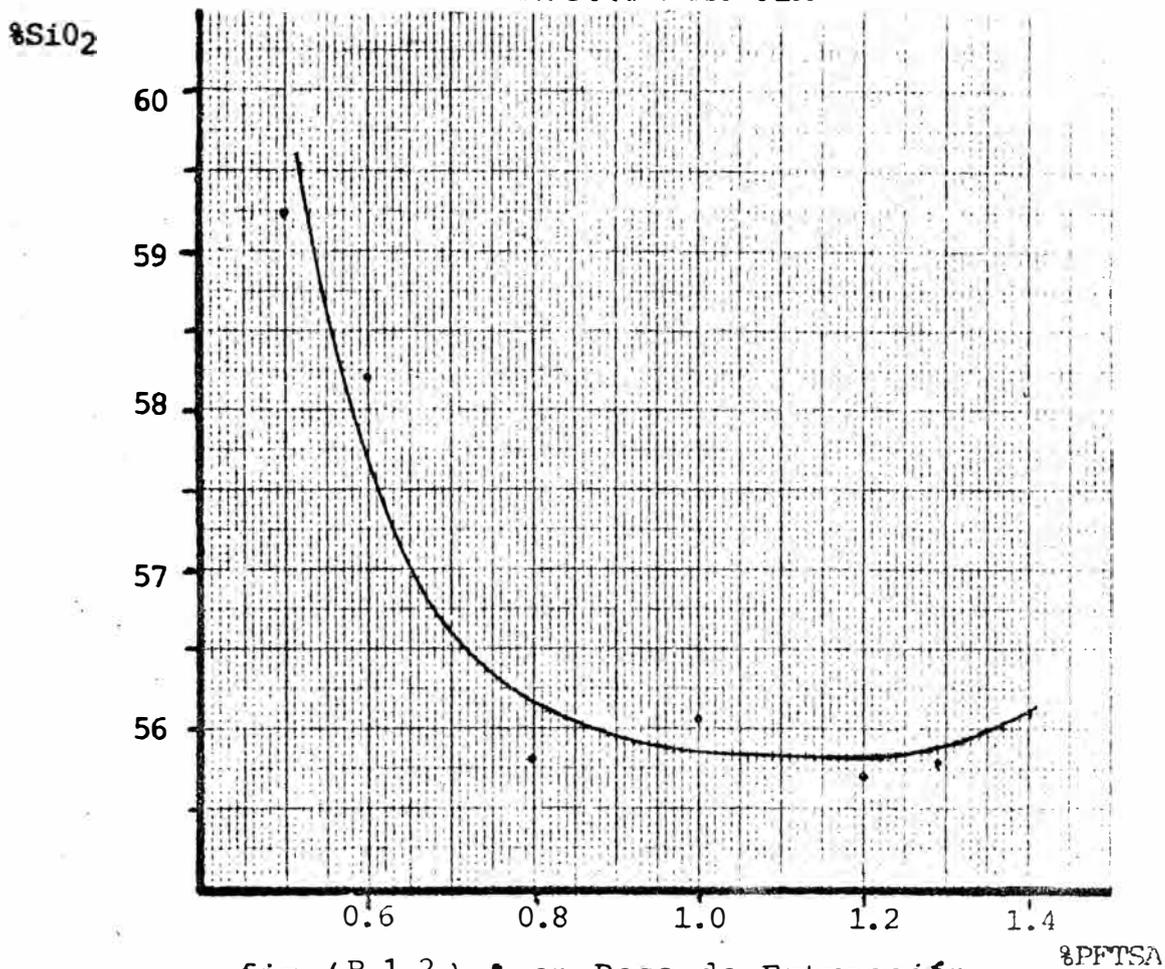


fig. (B.1.2.) % en Peso de Extracción vs % PFTSA para la Muestra RM-01M

(B.2.) ANALISIS DE CURVAS PARA LA OPTIMIZACION
DE % DE PFTSA PARA LA MUESTRA GF-01M

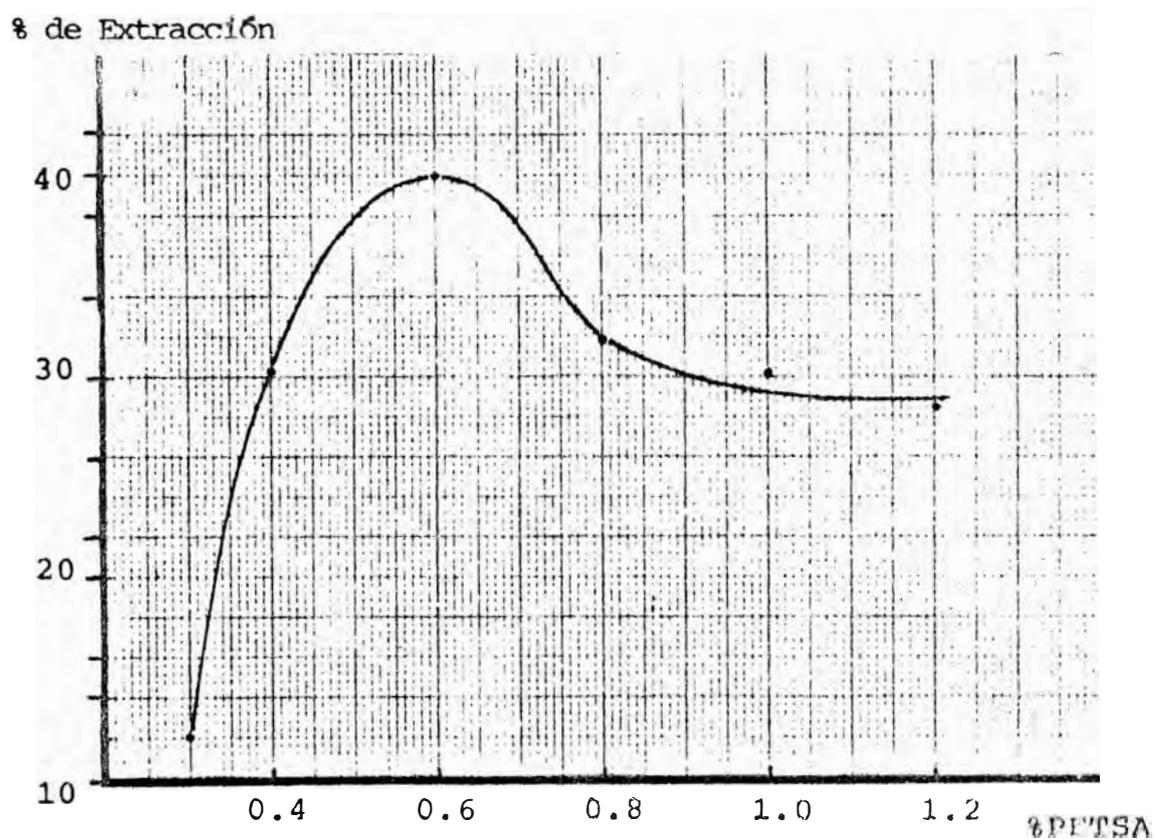


fig7.3.3.3. % Peso de Extracción vs % PFTSA
Muestra GF-01M

7.3.4. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA FLOCULACION

GRAFICOS

GRAFICO N° 7.3.4.1

FLOCULANTE: MAGNAFLOC

Concentración de Sólidos: 10% Caolin

CURVAS DE FLOCULACION A
DIFERENTES DOSIFICACIONES
DE MAGNAFLOC

- ① 0.001 % MAGNAFLOC
- ② 0.005 % "
- ③ 0.016 % "
- ④ 0.033 % "

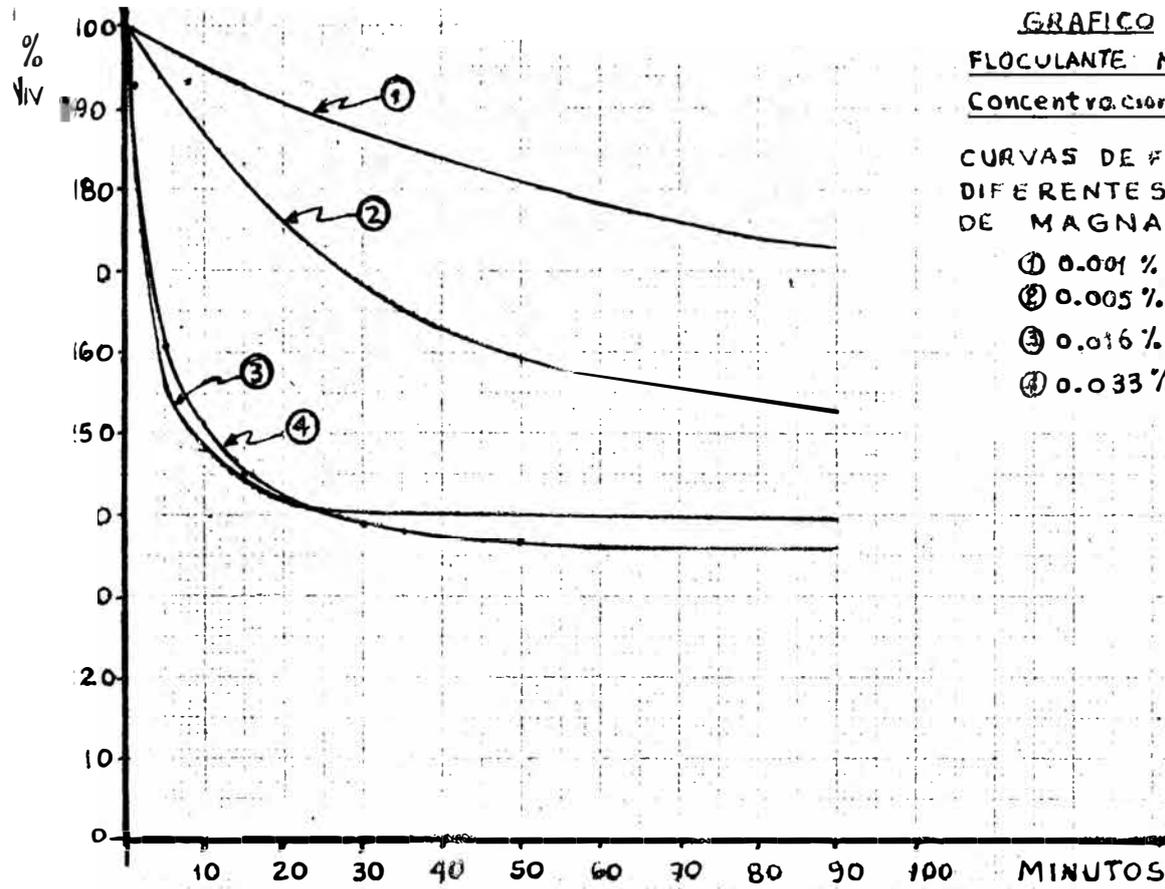


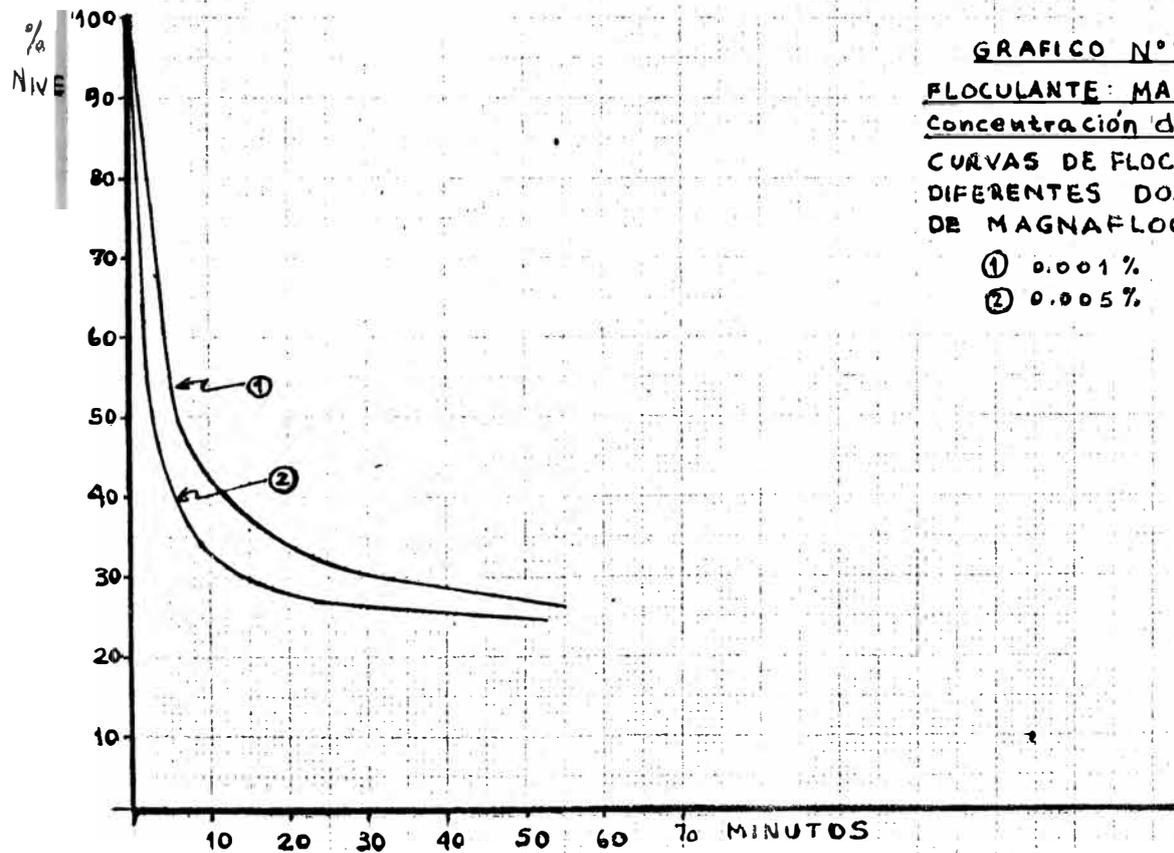
GRAFICO N° 7.3.4.2

FLOCULANTE: MAGNAFLOC

Concentración de Sólidos: 5% Caolin

CURVAS DE FLOCULACION A
DIFERENTES DOSIFICACIONES
DE MAGNAFLOC

- ① 0.001 % MAGNAFLOC
- ② 0.005 % "



% NIVEL

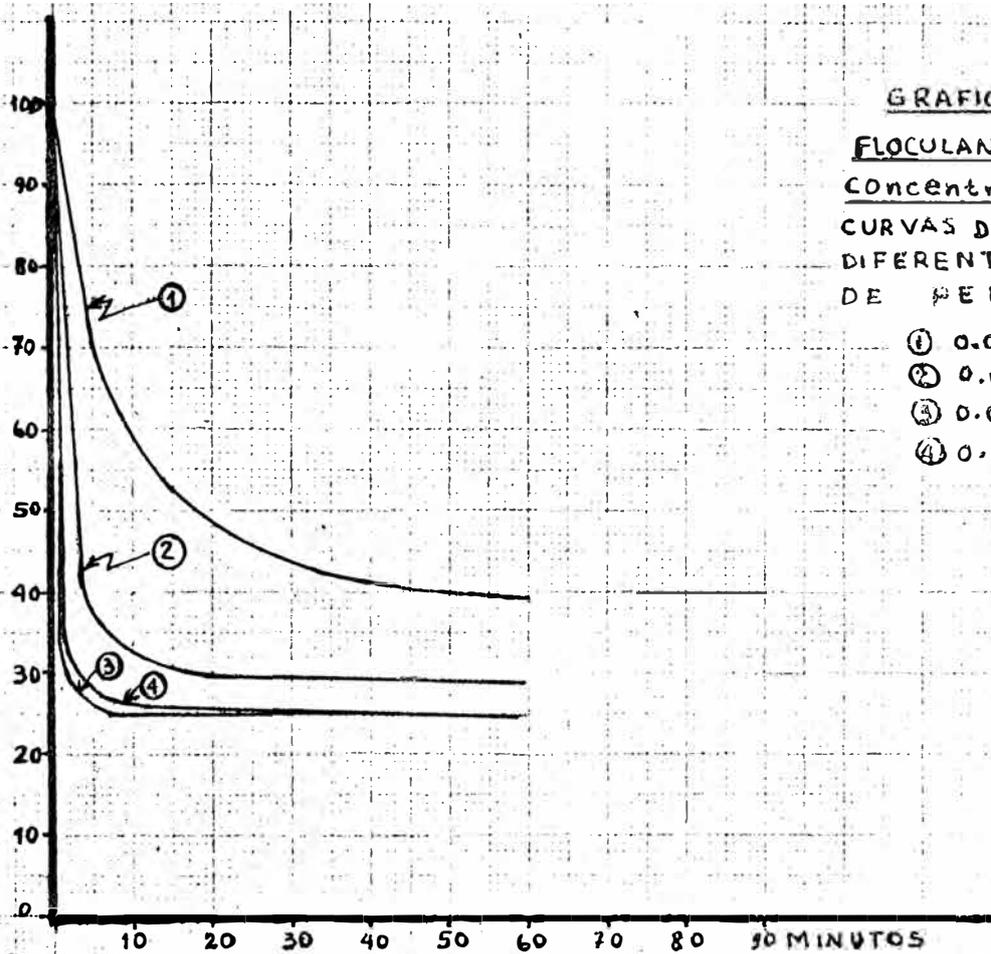


GRAFICO N° 7.3.4.3

FLOCULANTE: PERCOL 351

Concentración de Sólidos: 10%

CURVAS DE FLOCULACION A DIFERENTES DOSIFICACIONES DE PERCOL 351

- ① 0.001% PERCOL 351
- ② 0.005% " "
- ③ 0.016% " "
- ④ 0.033% " "

% NIVEL

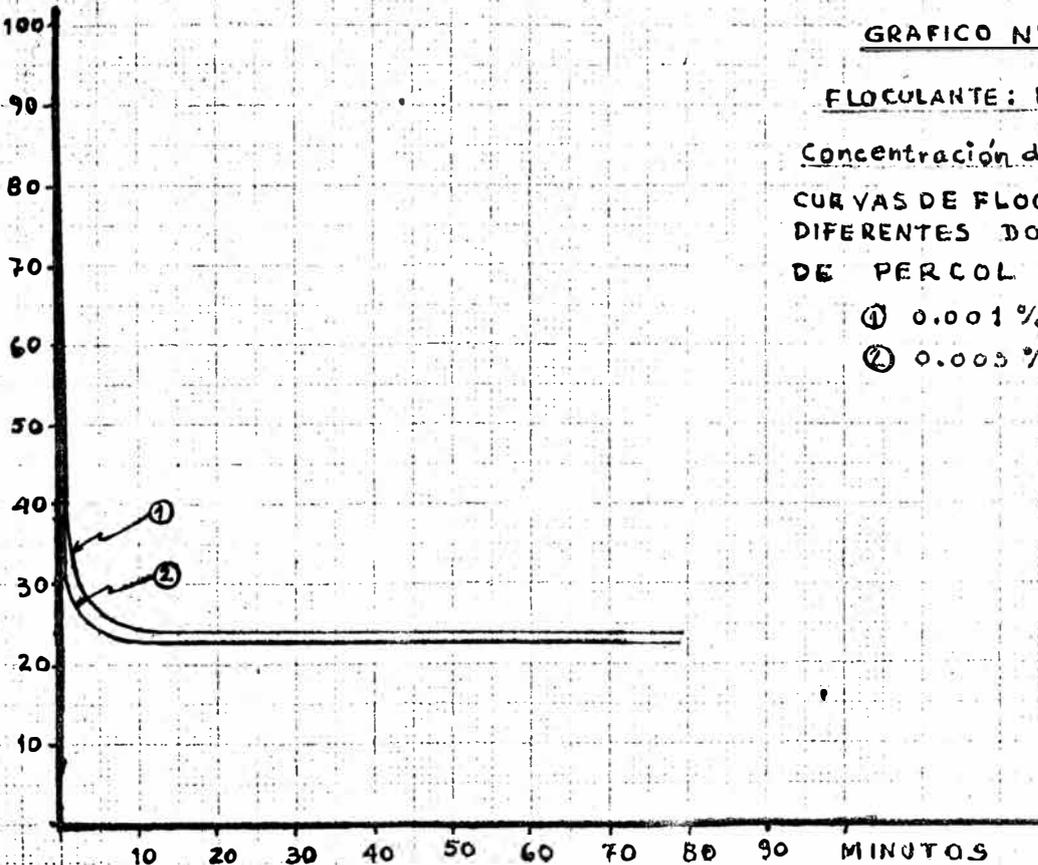


GRAFICO N° 7.3.4.4

FLOCULANTE: PERCOL 351

Concentración de Sólidos: 5% CaO

CURVAS DE FLOCULACION A DIFERENTES DOSIFICACIONES DE PERCOL 351

- ① 0.001% PERCOL 351
- ② 0.005% " "

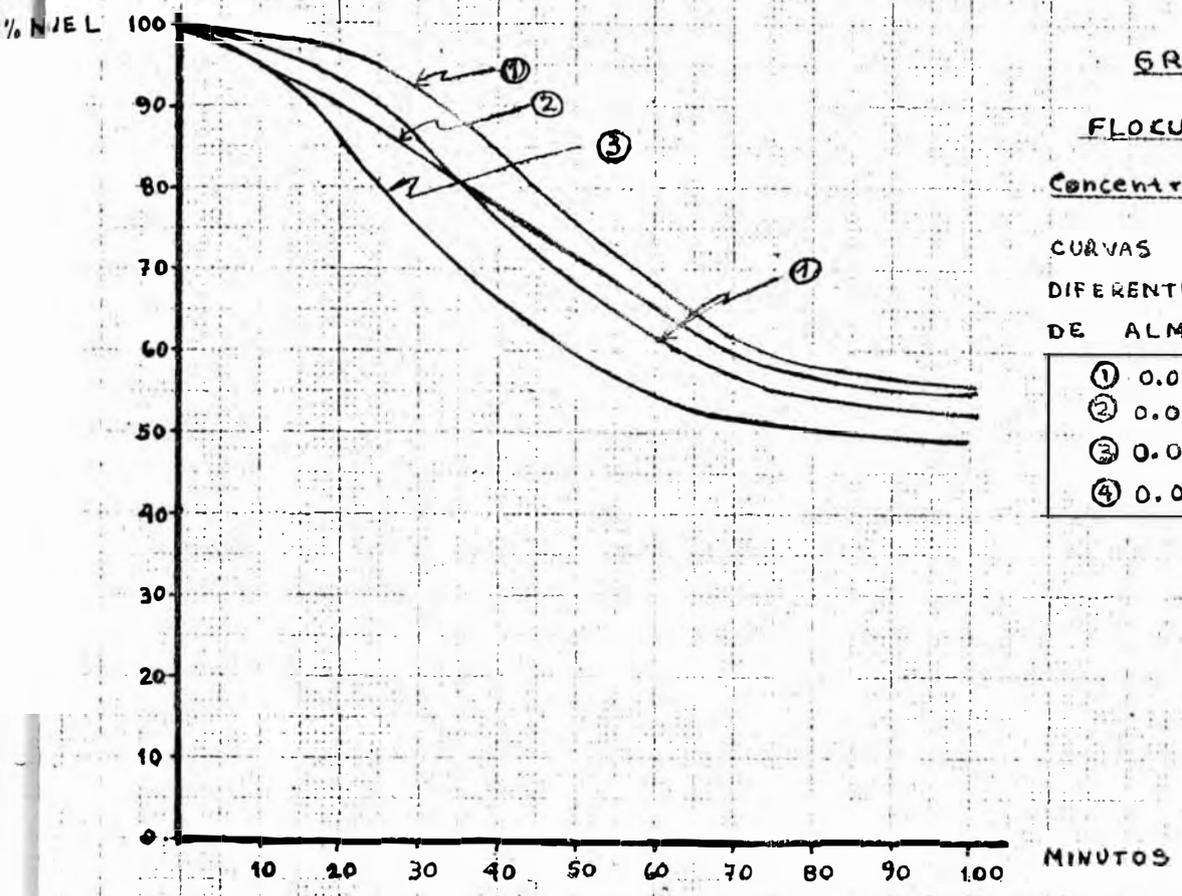


GRAFICO N°7.3.4.5

FLOCULANTE: ALMIDON

Concentración de Sólidos: 10%

CURVAS DE FLOCULACION A DIFERENTES DOSIFICACIONES DE ALMIDON

- ① 0.001 % ALMIDON
- ② 0.005 % "
- ③ 0.016 % "
- ④ 0.033 % "

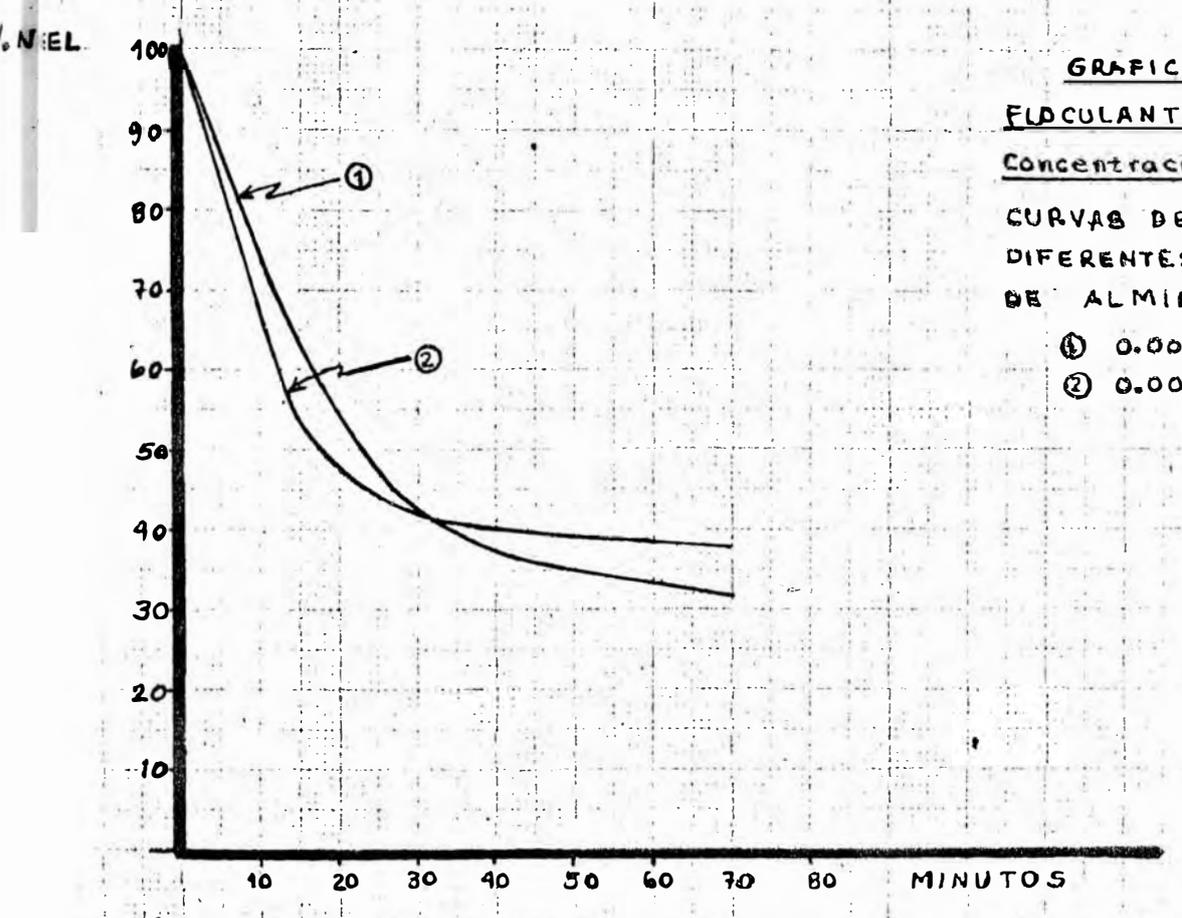


GRAFICO N°7.3.4.6

FLOCULANTE: ALMIDON

Concentración de Sólidos: 5%

CURVAS DE FLOCULACION A DIFERENTES DOSIFICACIONES DE ALMIDON

- ① 0.001 % ALMIDON
- ② 0.005 % "

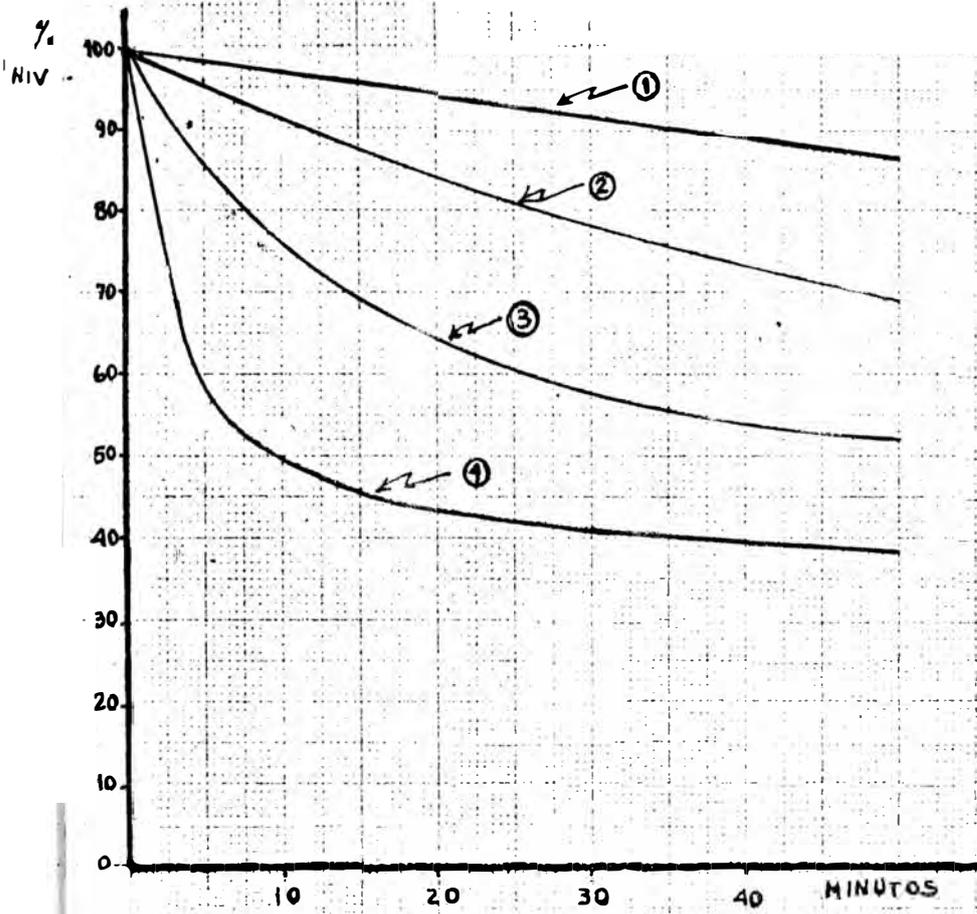


GRAFICO N° 7.3.47

FLOCULANTE: TUNAFLOC

Concentración de Sólidos 10%

CURVAS DE FLOCULACION A DIFERENTES DOSIFICACIONES DE TUNAFLOC

- ① 0.001 % TUNAFLOC
- ② 0.005 % "
- 0.016 % "
- ④ 0.033 % "

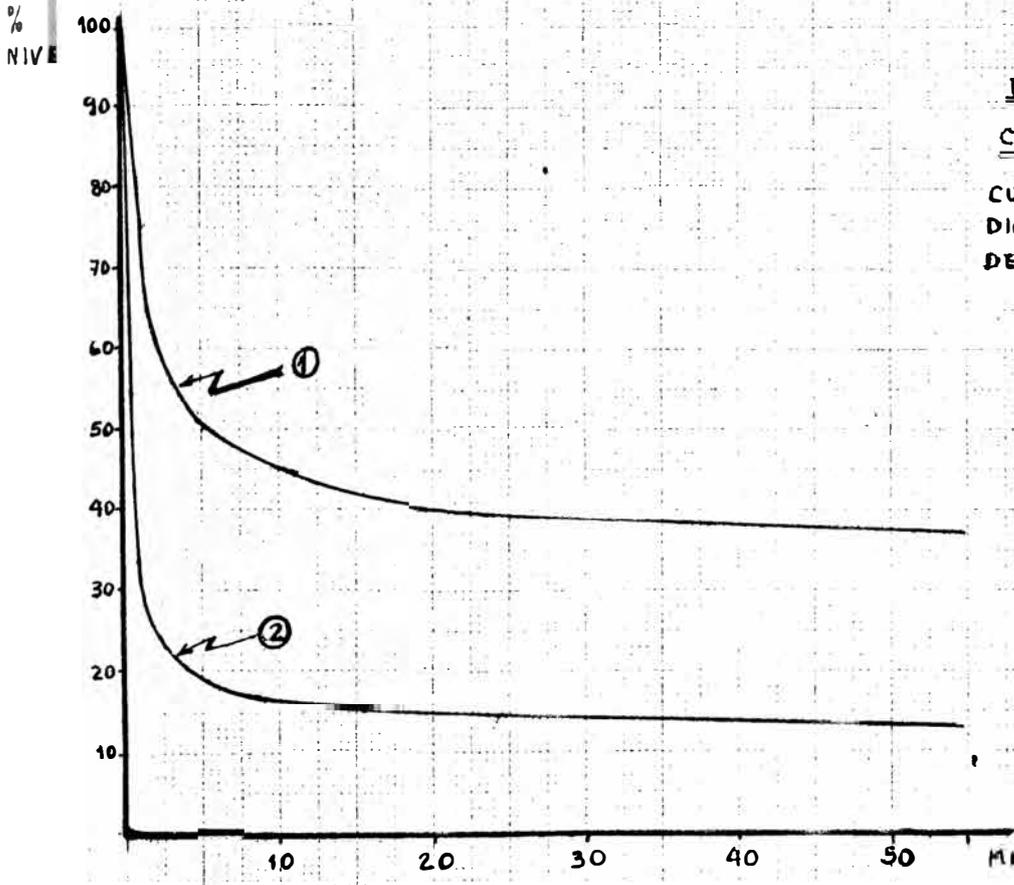


GRAFICO N° 7.3.48

FLOCULANTE: TUNAFLOC

Concentración de Sólidos: 5%

CURVAS DE FLOCULACION A DIFERENTES DOSIFICACIONES DE TUNAFLOC

- ① 0.001% TUNAFLOC
- ② 0.005% "

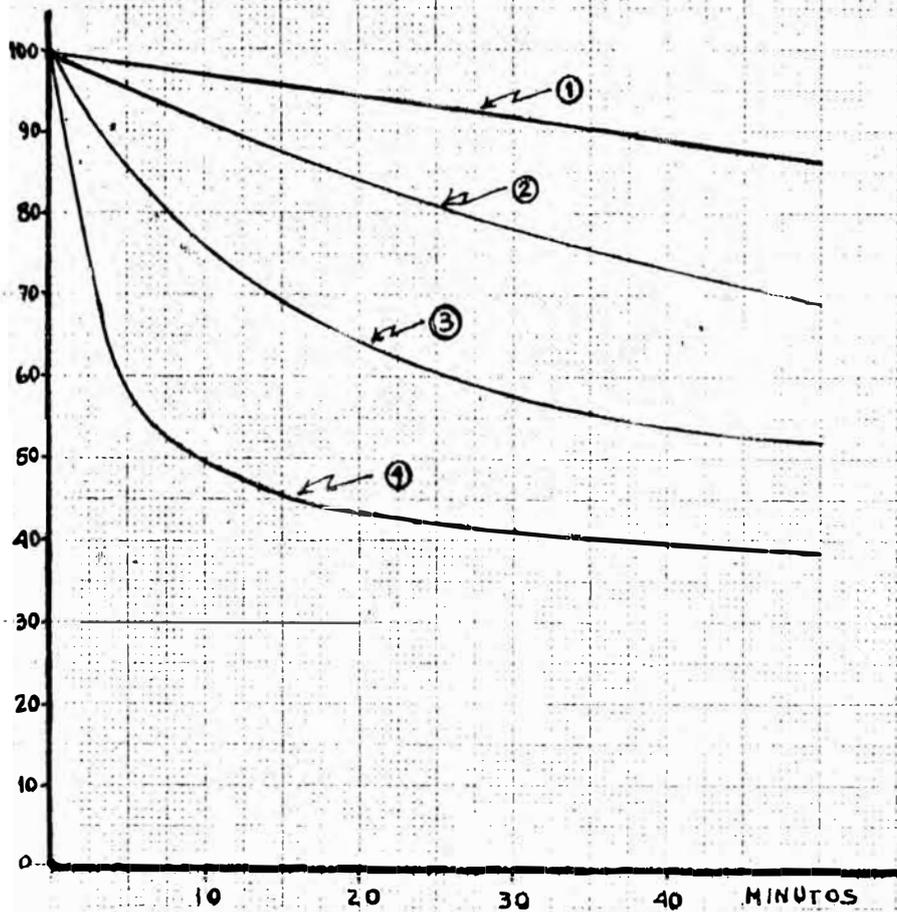


GRAFICO N° 7.3.47

FLOCULANTE: TUNAFLOC

Concentración de sólidos 10%

CURVAS DE FLOCULACION A DIFERENTES DOSIFICACIONES DE TUNAFLOC

- ① 0.001 % TUNAFLOC
- ② 0.005 % " "
- 0.016 % " "
- ④ 0.033 % " "

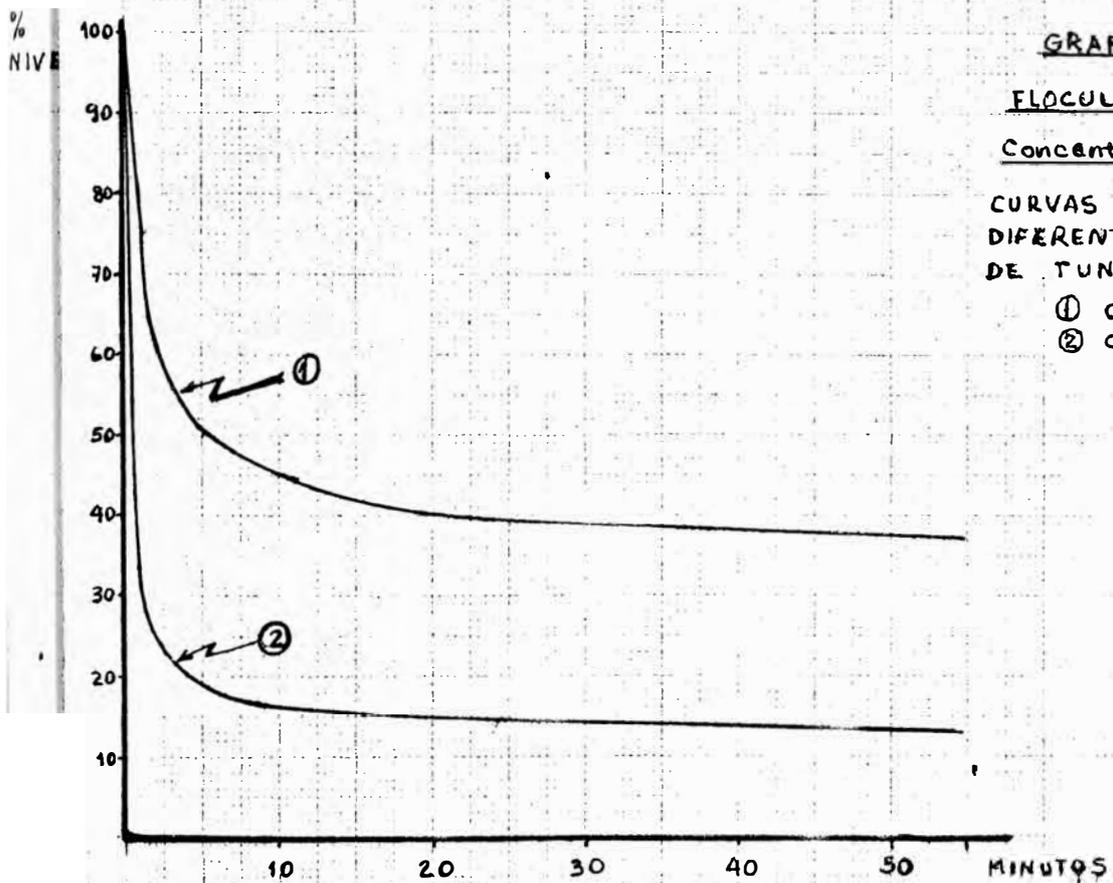


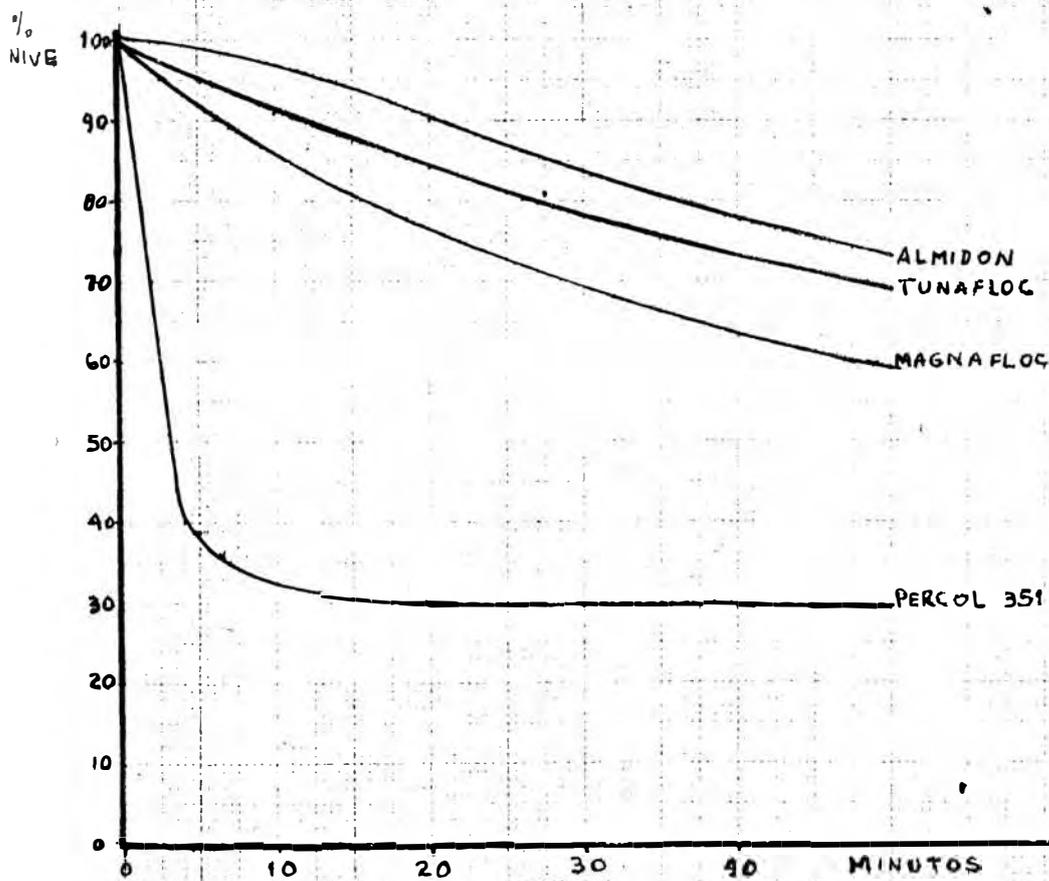
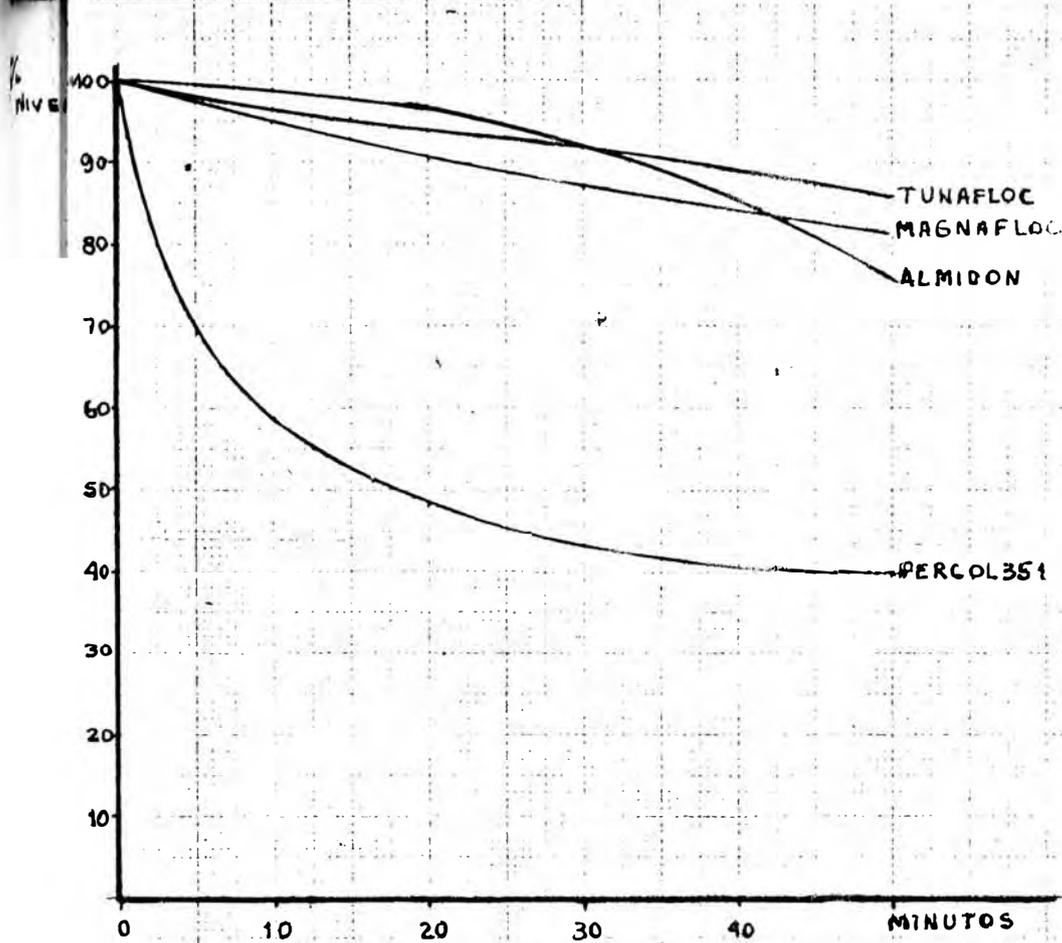
GRAFICO N° 7.3.48

FLOCULANTE: TUNAFLOC

Concentración de sólidos: 5%

CURVAS DE FLOCULACION A DIFERENTES DOSIFICACIONES DE TUNAFLOC

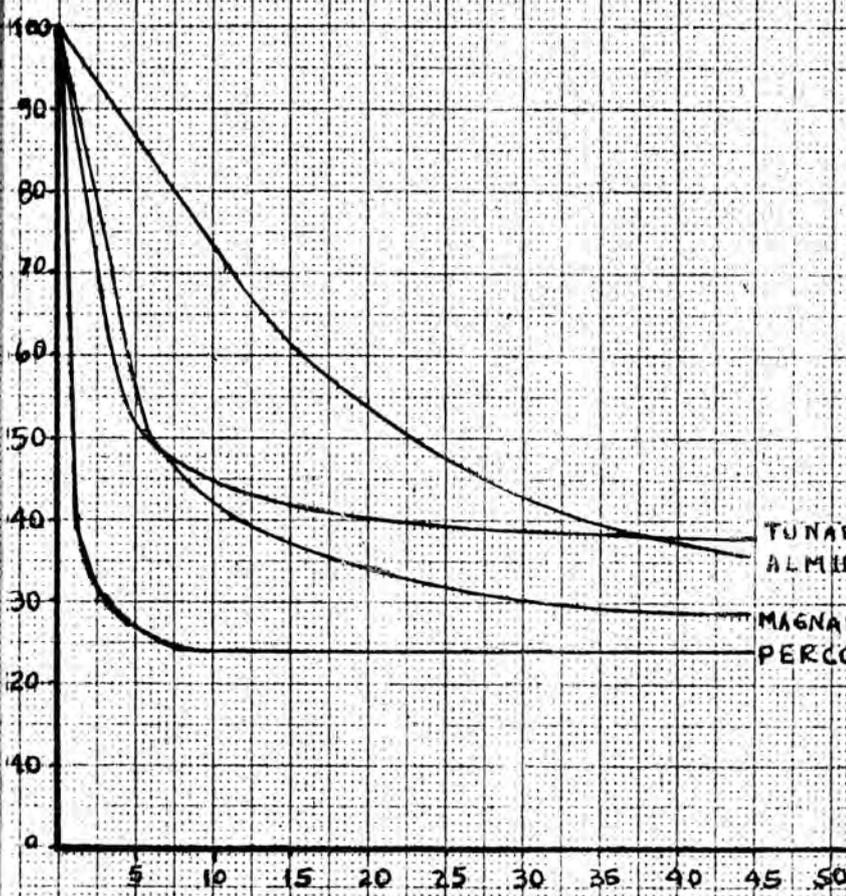
- ① 0.001 % TUNAFLOC
- ② 0.005 % " "



% NIVEL

GRAFICO N° 7.3.4.11

CURVAS DE FLOCULACION A UNA MISMA CONCENTRACION DE SOLIDOS: 5% Y DE FLOCULANTE: 0.001%



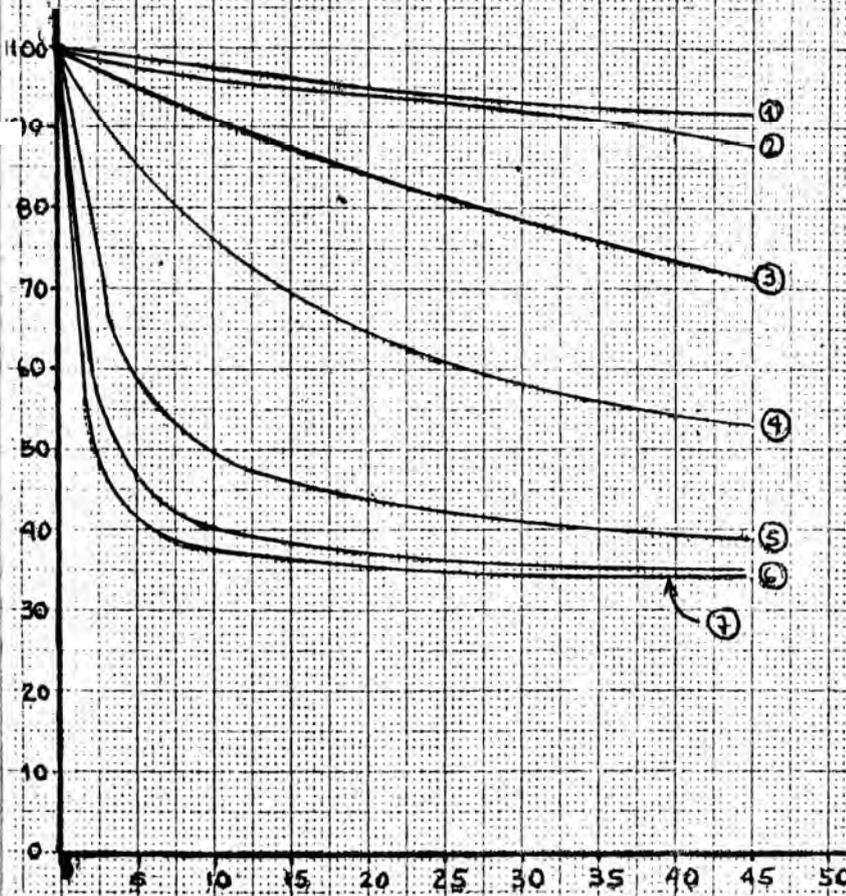
TUNAFLOC
ALMIDON
MAGNAFLOC
PERCOL 351

MINUTOS

% NIVEL

GRAFICO N° 7.3.4.12

ACCION FAVORABLE SOBRE LA FLOCULACION AL INCREMENTAR LA CONCENTRACION DE TUNAFLOC



- ① SIN TUNAFLOC
- ② 0.001% "
- ③ 0.005% "
- ④ 0.016% "
- ⑤ 0.033% "
- ⑥ 0.046% "
- ⑦ 0.100% "

CONCENTRACION DE SOLIDOS = 10% CAOLIN

MINUTOS

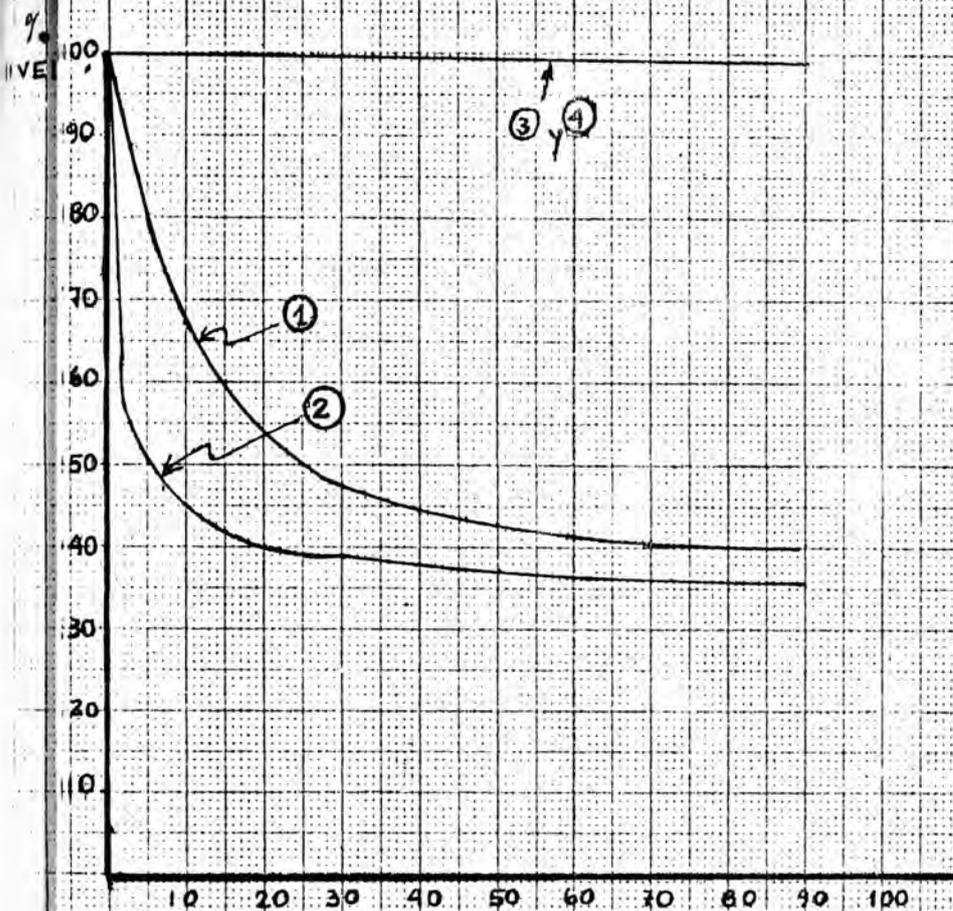


GRAFICO N° 734.13

ACCION ADVERSA DEL PFTSA

- Concentracion de Solidos 5%
- ① SIN TUNAFLOC SIN PFTSA
 - ② CON 0.001% TUNAFLOC SIN PFTSA
 - ③ CON PFTSA SIN TUNAFLOC
 - ④ CON PFTSA CON TUNAFLOC 0.001%

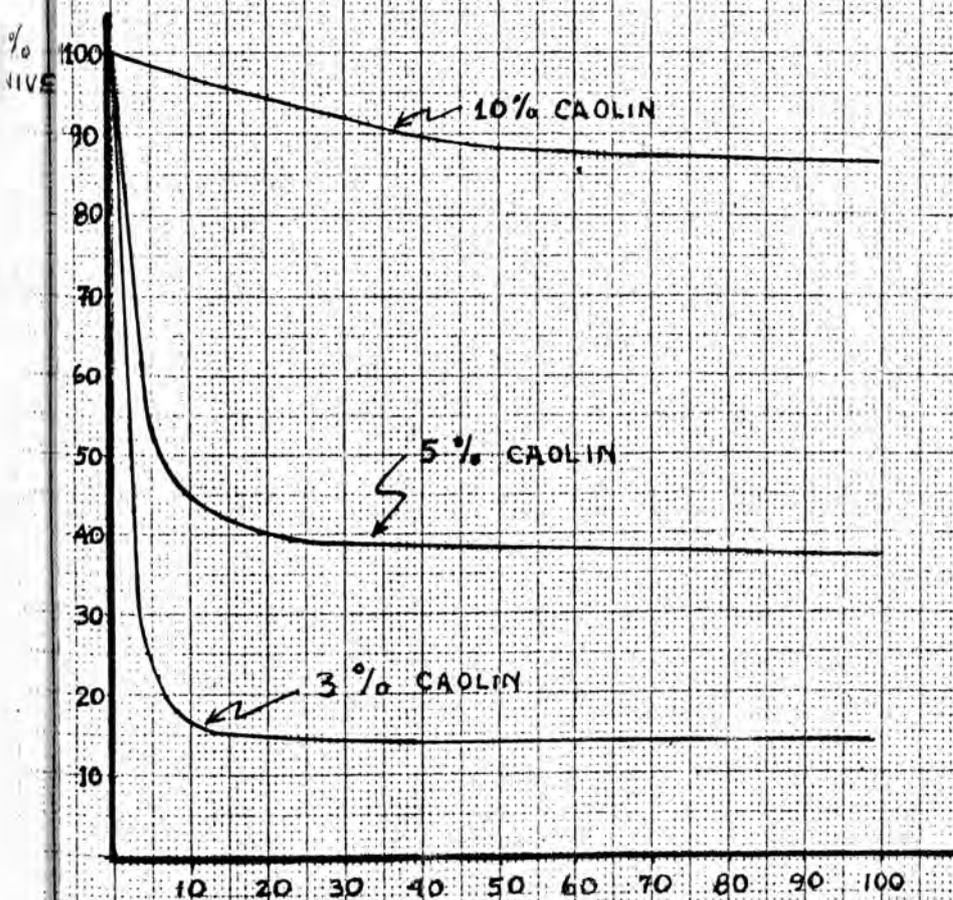


GRAFICO N° 7.34.14

COMPORTAMIENTO DEL TUNAFLOC A DIFERENTE CONCENTRACION DE SOLIDOS

% TUNAFLOC = 0.001

7.3.3.2. OPTIMIZACION DEL PORCENTAJE DE DEFLOCULANTE

A.1. MUESTRA RM-01

Con el propósito de ajustar la cantidad de defloculante a agregarse a una determinada muestra de caolín impuro se estableció 3 métodos de estudio:

i. Por el Tiempo de Sedimentación

Para lo cual se estableció una curva de altura de sedimentación versus % defloculante, evaluándose hasta 30 min. para todas las pruebas.

ii. Por el Porcentaje de Extracción

Para lo cual se establecería una gráfica de % en peso de extracción versus % de defloculante, evaluándose (hasta un tiempo de 30 min) la cantidad extraída para todas las pruebas sin sacrificar la calidad de la muestra.

iii. Por la calidad de la Muestra Extraída

Esto consiste en establecer una gráfica del análisis de % de SiO_2 de cada muestra extraída en (ii) versus % de defloculante, evaluándose que la mejor muestra sería la que tenga menor % de SiO_2 .

PROCESO

Para realizar las experiencias individuales se tuvieron que mantener constantes los parámetros mencionados en el cap. V, ítem 5.2.2.1.

Luego se disgregó 80 gr de una muestra de caolín impuro (RM-01-M) en un vaso previamente calibrado y acondicionado para la prueba.

Luego se diseñó un tipo de sifoneo adecuado para no alterar la prueba y tratando de que el arrastre de sólidos sea uniforme a través de toda la sección transversal del vaso. Con este propósito se calculó una altura de sifoneo de 12.2 cm que se mantuvo constante para todas las pruebas.

7.3.3.2. OPTIMIZACION DEL PORCENTAJE DE DEFLOCULANTE

A.1. MUESTRA RM-01

Con el propósito de ajustar la cantidad de defloculante a agregarse a una determinada muestra de caolin impuro se estableció 3 métodos de estudio:

i. Por el Tiempo de Sedimentación

Para lo cual se estableció una curva de altura de sedimentación versus % defloculante, evaluándose hasta 30 min. para todas las pruebas.

ii. Por el Porcentaje de Extracción

Para lo cual se establecería una gráfica de % en peso de extracción versus % de defloculante, evaluándose (hasta un tiempo de 30 min) la cantidad extraída para todas las pruebas sin sacrificar la calidad de la muestra.

iii. Por la calidad de la Muestra Extraída

Esto consiste en establecer una gráfica del análisis de % de SiO_2 de cada muestra extraída en (ii) versus % de defloculante, evaluándose que la mejor muestra sería la que tenga menor % de SiO_2 .

PROCESO

Para realizar las experiencias individuales se tuvieron que mantener constantes los parámetros mencionados en el cap. V, ítem 5.2.2.1.

Luego se disgregó 80 gr de una muestra de caolin impuro (RM-01-M) en un vaso previamente calibrado y acondicionado para la prueba.

Luego se diseñó un tipo de sifoneo adecuado para no alterar la prueba y tratando de que el arrastre de sólidos sea uniforme a través de toda la sección transversal del vaso. Con este propósito se calculó una altura de sifoneo de 12.2 cm que se mantuvo constante para todas las pruebas.

El porcentaje de defloculante que se utilizó fue en base a la cantidad de caolin impuro utilizado. Después que la solución fue agitada inmediatamente se controló el tiempo de sedimentación en función de la altura de la interfase, hasta 30 min. Luego se extrae la muestra por sifoneo, se filtra y se registra el % de extracción. Después, estas normas fueron analizadas para determinar el % de SiO_2 . Ver Tabla (5.2.2.1) y (5.2.2.2.) del cap. V, ver también las curvas resultantes.

A.2. MUESTRA GF-01

El proceso seguido para esta muestra fue parecido para la muestra anterior, con la diferencia que la evaluación se hizo por los métodos (i) e (ii) pues el tercer método no se hizo por no tener los materiales necesarios.

7.3.5. PROCESO ALTERNATIVO PARA LA PURIFICACION DE CAOLINES PARA PAPEL

En este ítem se presentará un método alternativo para la purificación de caolines nacionales que consiste en la flotación mediante reactivos espumantes, promotores y depresantes.

En la actualidad, el proceso a nivel de laboratorio todavía está en estudio experimental, tratándose de fijar los parámetros más importantes de los múltiples que influyen.

El estudio de esta alternativa de purificación es enteramente de propiedad del autor y no cubre los alcances del convenio firmado para el Proyecto de Investigación I-006/78.

Como se mencionó en ítems anteriores los caolines na

cionales contienen mucho cuarzo "grit" lo que es un inconveniente para su purificación. Entonces los métodos gravimétricos que involucra el deslamado, sedimentación, etc., no tienen buenos resultados para algunas arcillas debido al alto contenido de cuarzo muy finamente distribuido.

Luego una alternativa de purificación consistía en flotar el caolin mediante el uso de reactivos y depresar el cuarzo o sílice libre.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La arcilla empleada fue ME-03 a la cual previamente se hizo el deslamado, para remover la arena gruesa luego se hizo un tamizado de la suspensión en malla 300 Tyler de esta muestra se tomó 500 gr de caolin y se le agregó 1000 ml de agua dispersándolo con NaOH y luego llevándolo a un 10% en sólidos, aproximadamente. En estas condiciones según las referencias Kellogg (2) y E.W. Greene (43) se debería tener partículas de caolinita menores que 20 u y partículas de cuarzo mayores que 2.5 u. No se pudo realizar para nuestro caso esta prueba porque no se disponía de los equipos adecuados.

PRUEBA DE FLOTACION

Las pruebas de flotación se realizaron en una celda de Flotación Denver del Laboratorio de Metalurgia de la UNI y también con la colaboración del Laboratorio de Mineralogía de INGEMMET.

Se preparó una pulpa con 200 gr de muestra seca y 10% en sólidos, se controló el pH con NaOH y HCl.

Se agitó la pulpa con ingreso de aire por 1 min adicionándole silicato de sodio (0.5%).

Seguidamente se adicionó los siguientes reactivos

	kgCaoLinSeco
* Sulfato de Amonio	2.0
* Hidroxido de Amonio	2.0
* Tall Oil Acid	2.0
* Neutral Calciun Petronate	2.0
* Reactivo 801	1.0

El reactivo neutral calciun Petronate es proporcionado por Sonneborn Chemical Co. El reactivo 801 es proporcionado por la American Cyanamid que según los catálogos es un sulfonato de petróleo que es soluble en agua.

Después de agregar los reactivos se homogeniza por 10 min en la celda de flotación y la espuma fue separada para luego ser secada por atomización y pesada, en otros casos se centrifugó y secó en estufa.

El producto de la flotación fue analizado cualitativamente en cuanto abrasividad y blancura teniendo como patron los múltiples análisis realizados y la experiencia obtenida durante el proyecto.

Esta inspección mostraba un índice de abrasividad muy bajo (aprox. 9-13% en el peor caso) y la apariencia de una arcilla bastante blanca y partículas esponjosas (alta densidad bulk) semejantes a las "migajas de pan". El análisis sobre malla 325 arrojó practicamente el cero por ciento.

La pulpa sobrante en la celda de flotación se recuperó nuevamente agregando los reactivos mencionados en una relación 1/3 de la cantidad de la primera dosificación.

Este producto no se diferenciaba mucho del primero por lo que fueron combinados y se reportó un rendimiento de aproximadamente 16.2% de arcilla flotada, 81.0% de residuos y 2.8% de pérdidas por operación.

De los resultados anteriores se puede concluir que la purificación por este método da caolines de alta pureza y satisface plenamente las normas papele- ras inclusive para el grado recubrimiento y posible- mente para otros requerimientos más sofisticados. El problema que todavía se tiene es que no se obtie- ne productos con la constancia requerida, para lo cual se está estudiando los parámetros que gobiernan la operación como son el pH, el tamaño de partícula, la relación de solvente, la dosificación y tipo de reactivos colectores, flotadores, depresores, etc., adecuados.

7.3.6. CURVAS EXPERIMENTALES PARA PLANTA PILOTO

Fig.7.3.6.1. CURVA DE CALIBRACION DE % DE SOLIDOS vs LA GRAVEDAD ESPECIFICA (Spgr)

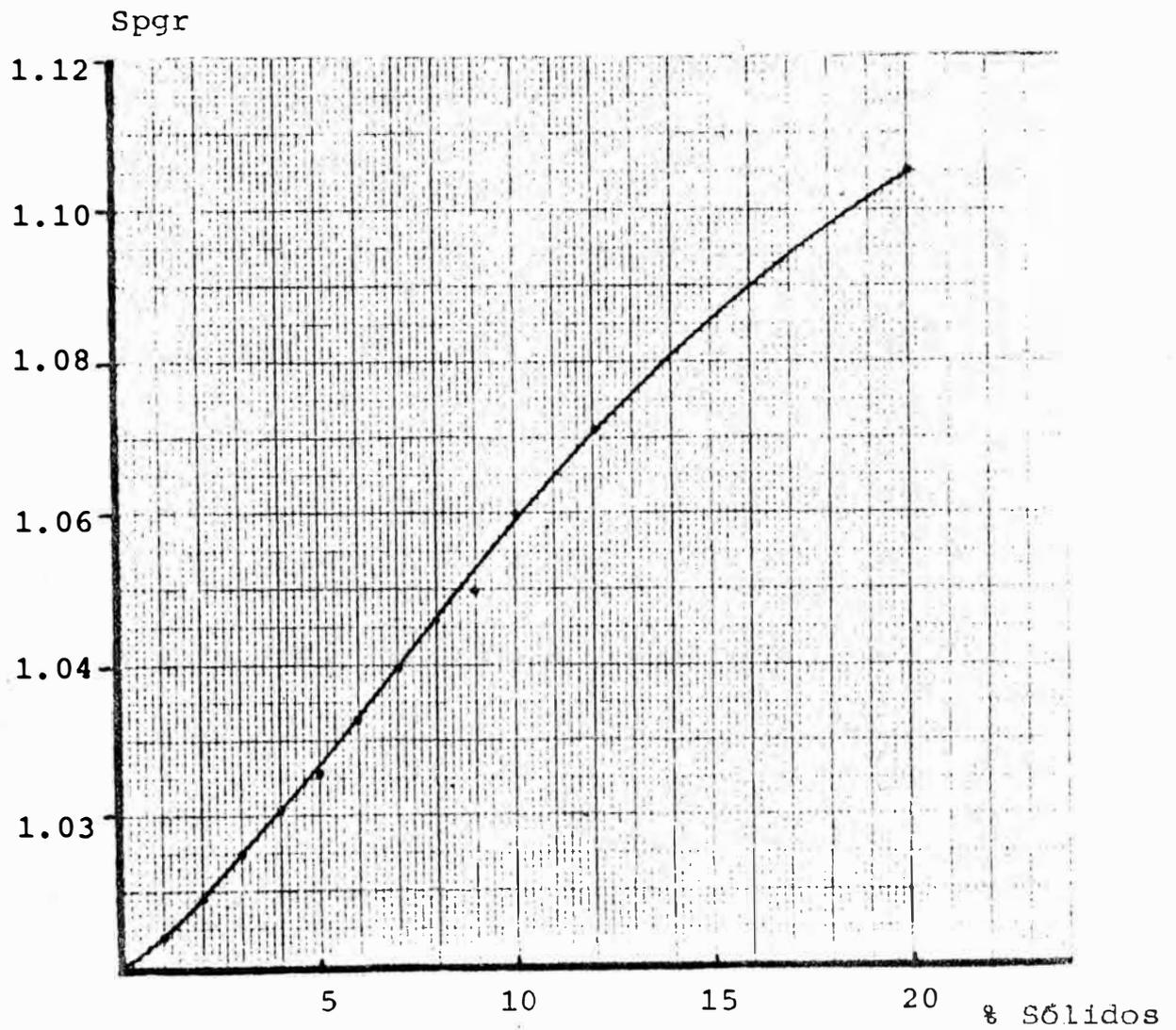
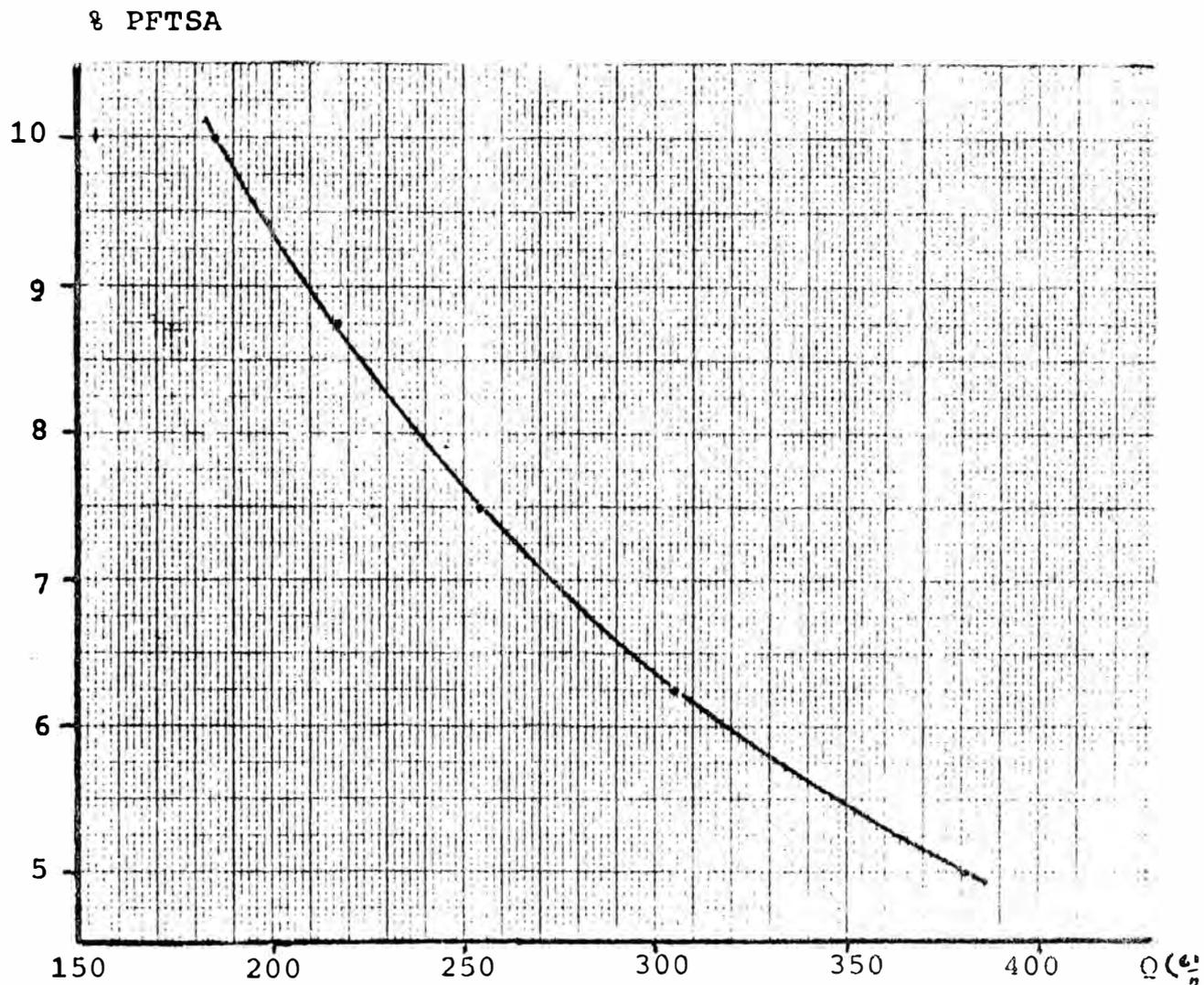


Fig.7.3.6.2. DOSIFICACION DE PFTSA. CURVA DEL FLUJO
COMO UNA FUNCION DEL % EN PESO DE PFTSA



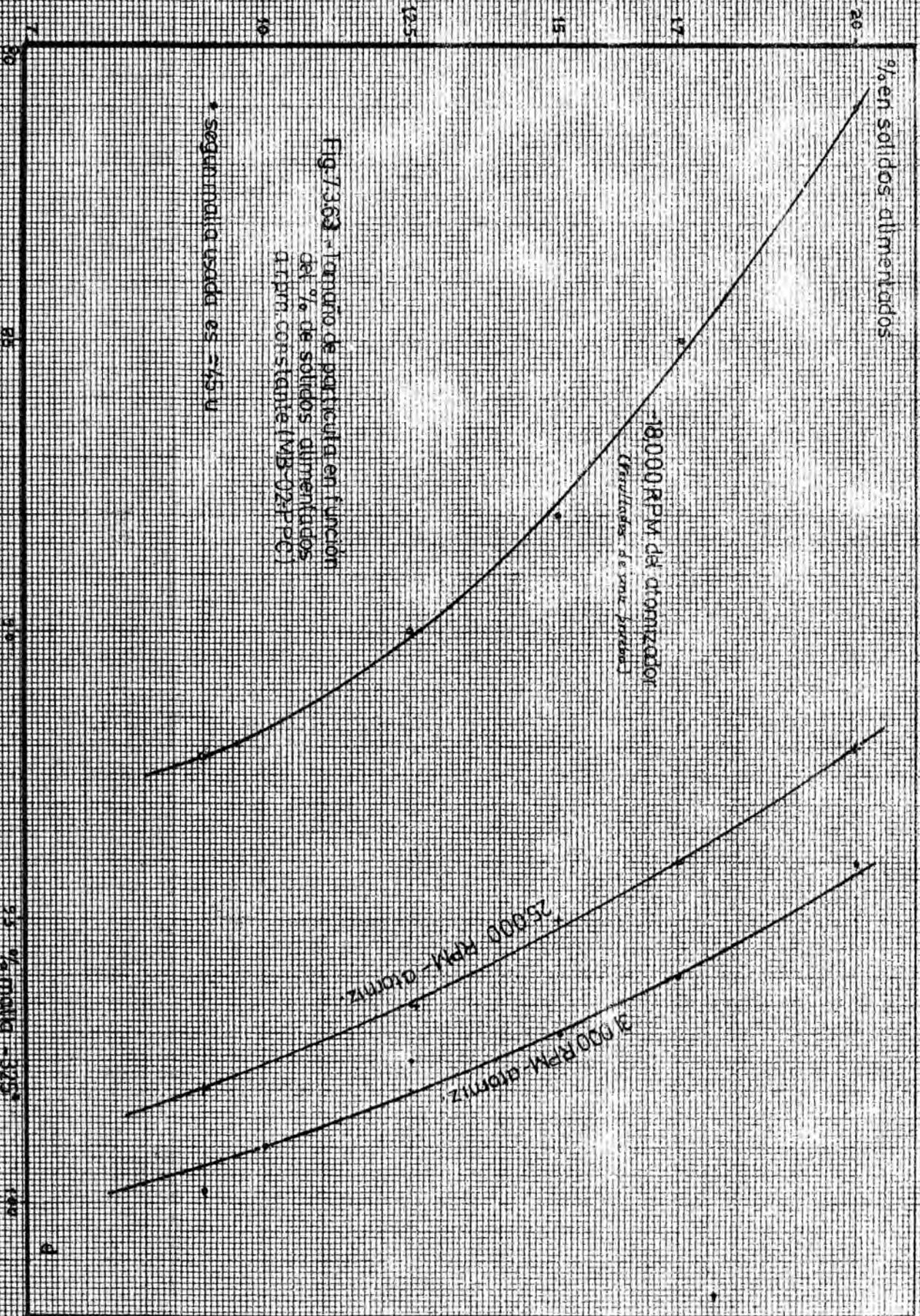
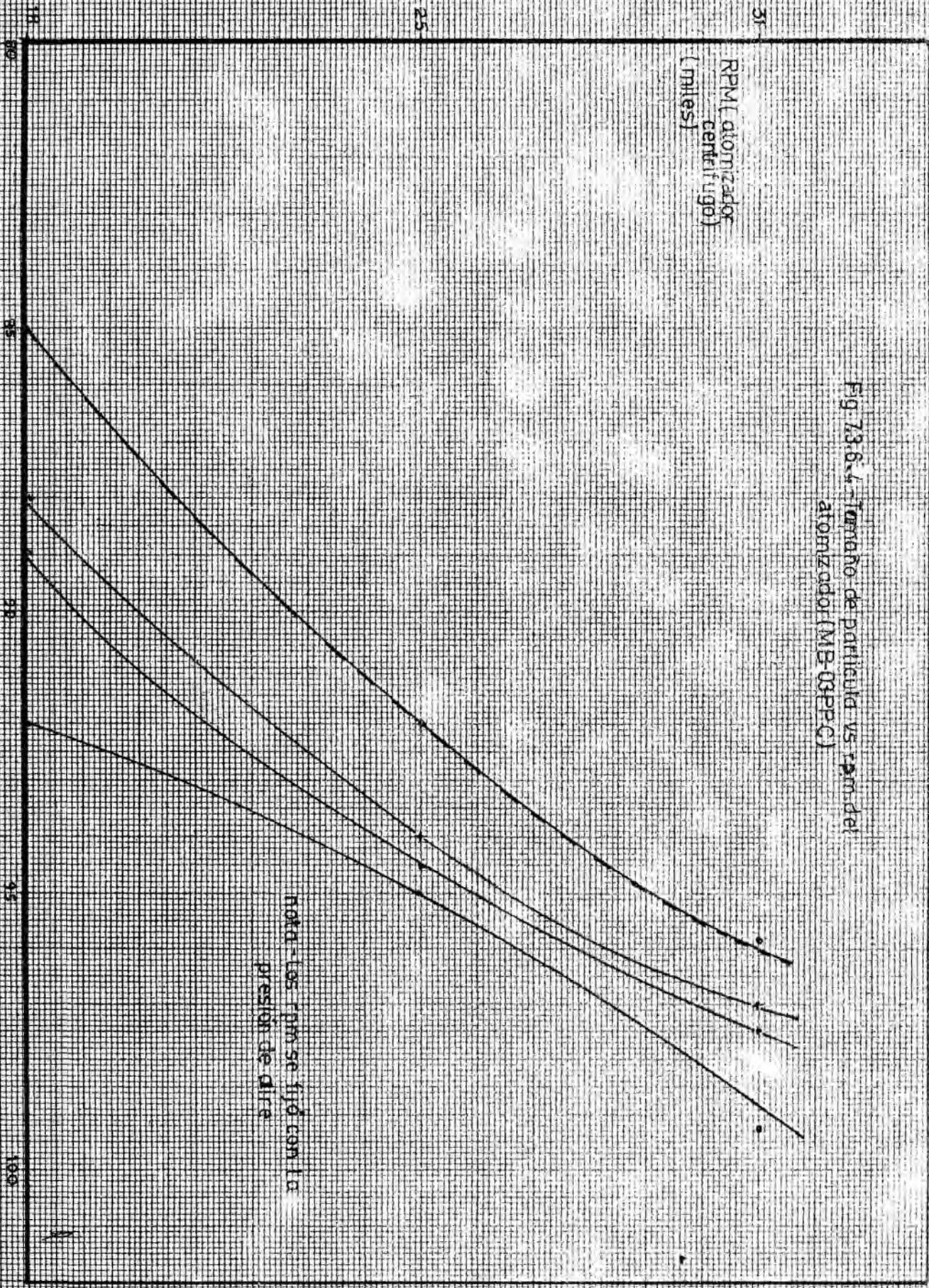
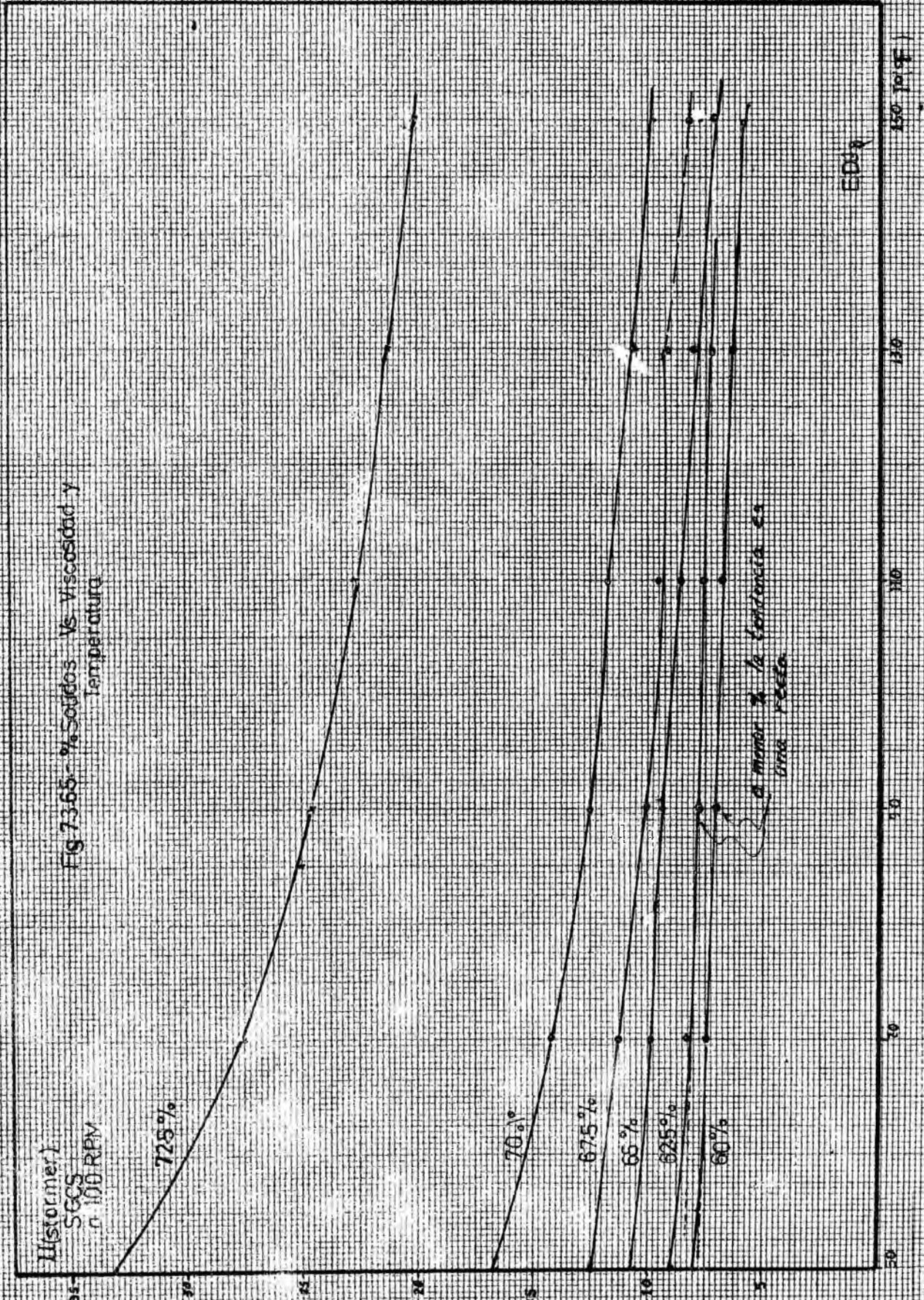


Fig. 7.3.6.4. Tamaño de partícula vs rpm del atomizador (MB-03PPC)

RPM (atomizador centrifugo)
(miles)

nota - los rpm se fijó con la presión de aire





BIBLIOGRAFIA

1. DEFLOCULATION OF KAOLINITE BY ALKALI POLIPHOSPHATES
ALAN S. MICHAELS
Industry and Engineering Chemistry, Vol.50, N°6
June 1958, Pág. 951-958.
2. FLOTATION OF KAOLINITE FOR REMOVAL OF QUARTZ
HERBERT H. KELLOGG
American Institute of Mining and Metallurgical
Engineers Technical Publication N°1753-19 de Marzo
de 1945, SADS-009-11
3. BASE EXCHANGE OF CRISTALINE SILICATES
STERLING B. HENDRICKS
Industrial and Engineering Chemistry, July 1945,
Pág. 625-630.
4. MEASURING SEDIMENTATION FLOCCULATION EFFICIENCIES
HENRY C. BRAMER AND RICHARD D. HOAK
I&EC Process Design and Development, Vols. N°3, July
1966, SADS-009-58, Pag 316-320
5. FLOTATION REAGENTS
H. J. GISLER
Denver Equipment Company, Bulletin N°R1-83 Reagent
Pag. 1-20
6. HOW TO IDENTIFY CLAY MINERALS AND WHY
JOHN F. NOONAN
World Oil, December 1956, SADS-009-198, Pag.186-200
7. TESTING KAOLIN CLAYS FOR THE PAPER INDUSTRY
RANDALL E. HUGHES AND SAM J. SMITH
TAPPI, ED-1125, Art. #7, Vol. 55, N°6., June 1972
Pag. 904-908
8. QUANTITATIVE MINERAL ANALYSIS OF KAOLIN-BEARING
ROCKS BY X-RAY DIFFRACTION
ERIC NISKANEN
Analytical Chemistry, Vol. 36, N°7, June 1964
Pag. 1268-1271.
9. ALUMINUM SILICATE KAOLIN
LAMAR E. BROOKS AND H.H. MORRIS
Free Port Kaolin Company Research Laboratory, Art.#1
Pag. 199-215
10. ULTRAFLOTATION
FRANK A. SEETON
Minerals and Chemicals Philipp Corporation, Bulletin
N°M4-B117, Pag. 1-8.

11. KAOLIN PRODUCT AND METHOD OF PRODUCING THE SAME
MORSE TALTMAN
United States Patent, Patente N°3, 635, 662, Marzo
1972, SADS-009-165
12. CLAY DEFLOCCULATION AND ITS EFFECT ON THE FLOW, PRO
PERTIES OF CLAY SLIPS
CLEN A. HEMSTOCK AND JOHN W. SWANSON
TAPPI, January 1956, Vol39, N°1, SADS-009-23
13. A STUDY OF THE DIFFERENT METHODS OF DISPERSION FOR
THE MEASUREMENT OF PARTICLE-SIZE DISTRIBUTION OF
CLAYS
B.N. SAMADDAR, GURUDAS MANDAL AND D. LAHIRI
Johar Indian Chem. Soc., Ind. & News Ed., Vol.20,
N°2, 1957-SADS-009-32
14. CLAY PRODUCTS AND METHOD OF REDUCING CLAY VISCOSITY
BEN W. ROWLAND, HILLSIDE, N.J.
United States Patent Office, Patente N°2, 950,983
SADS-009-35
15. SETTLING RATES AND SEDIMENT VOLUMES OF FLOCCULATED
KAOLIN SUSPENSIONS
ALAN S. MICHAELS AND JUSTIN C. BOLGER
1 & EC Fundamentals, Vol. 1, N°1, February 1962,
SADS-009-61, Pag. 24-33
16. DEFLOCCULATION AND CONTROLLED SEPARATION IMPROVE
DOMESTIC CHINA CLAY
FRED F. SMITH
Chemical & Metallurgical Engineering, Vol. 44, N°10
October 1957-SADS-009-65, Pag. 594-596.
17. KAOLIN PRODUCTION AND TREATMENT IN THE SOUTH
PAUL M. TYLER
Mining Engineering Transactions Aime, Vol. 187, June
1950, Pag. 694-698
18. EFFICIENT DRYING OF CLAY SLURRIES
RAYMOND J. BROWN
Ceramic Age, April 1957, SADS-009-103, Pag. 27-29
19. THE EFFECT OF STEPWISE FLOCCULATION ON THE RHEOLOGY
OF A KAOLIN CLAY SUSPENSION
E.K. OBIAKOR AND R.L. WHITMORE
Department of Mining Engineering, University of
Nottingham, SADS-009-114
20. PRODUCTION SPRAY DRYING OF DISPERSED CLAYS
Adhesives Age, October 1962-SADS-009-118, Pag.32-33

21. ANALYSIS OF CLAY
T645m-54
22. BRIGHTNESS OF CLAY
T646m-54
23. GROWW PARTICLES IN COATING CLAY
T647 Sm-54
24. PARTICLE-SIZE DISTRIBUTION OF COATING CLAY
T649 Sm-54
25. VISCOSITY OF COATING-CLAY SLURRY
T648 Sm-54
26. CLAY PRODUCTS AND METHOD OF REDUCING CLAY VISCOSITY
Ben W. Rowland, Hillside, N.J.
United States Patent Office, Patente 2, 950,983
27. PAPER COATING COMPOSITION
CHARLES G. ALBERT
United States Patent Office, Patente N°3,006,035
November 27,1962
28. PERMEABILITY OF KAOLINITE
ALAN S. MICHAELS AND C.S. LIN
Industrial an Engineering Chemistry, Vol. 46, N°6
June 1954
29. METHOD OF IMPROVING KAOLIN AND PRODUCTS THEREOF
SANFORD C. LYONS, BENNINGTON, Vt.
United States Patent Office, Patent N°2,524,816,
SADS-009-127, October 10, 1950
30. THE PLASTIC FLOW BEHAVIOR OF FLOCCULATED KAOLIN SUSPENSIONS
ALAN S. MICHAELS AND JUSTIN C. BOLGER
1 & EC Fundamentals, Vol. 1, N°3, August 1962,
SADS-009-157, pag. 153-162
31. TREATED CLAY SLURRIES
Edgar W. Sawyer, Jr., Metuchen, N.J.
United States Patent Office, Patent N° 3,236,666
SADS-009-168
32. CONTROL OF CHINA CLAYS
N.O. CLARK
English Clays Lodering Pochin & Co. Ltd., SADS-009-
169, Pag. 262-268
33. PREPARATION OF CATALYST FROM KAOLIN AND SILICA GEL
THOMAS P. SIMPSON, PETER D. BRANTON, AND CHARLES
J. PLANK, WOODBURY, N.J.
United States Patent Office, Patent N° 2,727,863,
SADS-009-202, December 20, 1955.

34. CONTINUOUS ATTRITION GRINDING OF COARSE KAOLIN
MARTIN H. STANCZYK AND I.L.FELD
SADS-009-197
35. LARGE TONNAGE SPRAY DRYERS FOR KAOLIN CLAY
BACH NIELSEN'S
Niro Atomizer Ltd., Copenhagen, M-84a, Pag.1-12
36. SOLUCION PRACTICA PARA EL BOMBEO DE LODOS ABRASIVOS
D.F. SANBELLS
English Lovering Poching E. Co. Ltd., Reino Unido
37. ORGANIC FLOCULANT AIDS KAOLIN SLURRIES TREATMENT
SADS-009-59
38. SOLUCION PRACTICA PARA EL BOMBEO DE LODOS ABRASIVOS
D.F. SANBELLS
English Clays Lovering Pochin & Co. Ltd., Reino Unido
39. PRINCIPIOS DE OPERACIONES UNITARIAS
ALAN FAUST y ASOCIADOS
Ed. CECSA
40. CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK
R. PERRY/CHILTON, 5ta. Ed.
McGraw-Hill
41. INTRODUCCION A LA INGENIERIA QUIMICA
WALTER BADGER
Mc Graw-Hill Co. INC.
42. COLLOID CHEMISTRY
S. VOYUTSKY
Mir Publishers Moscow
43. FORTH FLOTATION METHOD
ERNESTO W. GREENE y ASOCIADOS
U.S. Patent Office, 2,990,958, July 4, 1961, ED-3401
44. THE DRYING OF SOLIDS PREDICTION OF CRITICAL MOISTURE
CONTENT
D.B. BROUGHTON
Industrial and Engineering Chemistry, Dic. 1945,
Pag. 1184-1185
45. PLANTS DESIGN AND ECONOMICS FOR CHEMICAL ENGINEERING
M.S.PETERS AND R.D. TIMMERHAUS
Mc Graw-Hill, 3ra. Ed.

46. CLAY MINFRALOGY
GRIM R.E.
Mc Graw-Hill, Book 1958
47. DEFLOCULACION DE ARCILLAS
KRIST 83, 75L1932.