



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA BENEFICIADORA
DE CAOLIN PARA LA INDUSTRIA DEL PAPEL

T E S I S
QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
RAFAEL CONDE JUARISTI



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS 1978

~~M. 109~~ 102



JURADO ASIGNADO :

PRESIDENTE :	ING. ADALBERTO TIRADO ARROYAVE.
VOCAL :	ING. MARIO GUEVARA VERA.
SECRETARIO :	ING. JORGE A. CASTAÑARES ALCALA.
1er. SUPLENTE :	ING. JOSE L. PADILLA DE ALBA.
2o. SUPLENTE :	ING. ALFONSO FRANYUTTI ALTAMIRANO.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA :

Kimberly Clark de México, S.A.

NOMBRE DEL SUSTENTANTE :

Rafael Conde Juaristi.

ASESOR DEL TEMA :

Ing. Mario Guevara Vera.

A la sagrada memoria
de mi abuelita Chagua

I N D I C E

- INTRODUCCION Y OBJETIVOS.

- CAPITULO I

TODO CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE LA MANUFACTURA DE PAPEL.

I.1) Preparación de Pastas.

I.1a) Suspensión de la pulpa en agua.

I.1b) El batido.

I.1c) Incorporación del encolante.

I.1d) La refinación.

I.1e) Incorporación de cargas.

I.1f) Dilución.

I.1g) Depuración.

I.2) La Máquina de Papel.

I.2b) Fieltros y prensas.

I.2c) Secado, size press, calandrado y enrollado.

- CAPITULO II

INCORPORACION DE CARGAS MINERALES EN EL PAPEL.

II.1a) Tipos de cargas usadas en la industria del papel

II.1b) Caolines.

II.1c) Dióxido de titanio.

II.1d) Carbonato de calcio.

II.1e) Silicato de calcio.

II.1f) Talco.

II.1g) Sulfuro de cinc.

II.1h) Pigmentos de bario.

- II.2) Cantidad de Carga Usada.
- II.3) Métodos para suministrar cargas. DESDE AQUI II.3)
- II.4) Efectos de las Cargas en el Papel
 - En la Opacidad.
 - En la blancura.
 - En la lisura.
 - En las resistencias.
- II.9) Retención de Cargas.
- II.10) Variables que Afectan la Retención de Cargas.
- II.11) Teorías sobre Retención.

- CAPITULO III

EL CAOLIN.

- III.1a) Arcilla.
- III.1b) Caolín o arcilla China.
- III.1c) Caolinita
- III.1d) Arcillas primarias o residuales.
- III.1e) Arcillas secundarias o sedimentarias.
- III.1f) Arcillas duras y arcillas blandas.

- III.2) Origen del caolín.
- III.3) Mineralogía.
- III.4) Composición Química del Caolín.
 - III.4a) Silicio.
 - III.4b) Aluminio.
 - III.4c) Hierro.
 - III.4d) Titanio.
 - III.4e) Calcio.
 - III.4f) Magnesio.
 - III.4g) Sodio y potasio.
 - III.4h) Hidrógeno y oxígeno.

III.5) Producción de Caolín.

III.5a) Obtención de la mina.

III.5b) Procesamiento.

III.6) Análisis del Caolín.

Método I . Determinación del % de sólidos en un sistema caolín-agua por el método de gravedad específica.

Método II. Determinación del tamaño de partícula por el método hidrométrico.

Método III. Determinación del residuo en mallas 200 y 325.

Método IV . Determinación de abrasividad.

- CAPITULO IV.

PROCESO BENEFICIADOR DEL CAOLIN NACIONAL.

IV.1) Los Yacimientos de Caolín en México.

IV.2) Mineralogía del Caolín Mexicano.

IV.3) Principales Diferencias del Caolín Mexicano del Caolín de los E.E. U.U.

IV.4) Determinación de la fuente de Suministro.

IV.5) Proceso Beneficiador por Lavado de Agua.

IV.6) Descripción de los Experimentos de Laboratorio lavando Caolín.

IV.7) Descripción de las Pruebas realizadas en la Máquina de Papel.

IV.8) Análisis Económico de las Pruebas Realizadas.

- Diseño del Equipo Beneficiador.

- Costos de Instalación.

- Descripción del proceso y su control.

- CONCLUSIONES .

- BIBLIOGRAFIA

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

La fabricación y uso del papel en México son muy antiguos. Hay evidencias de que los pueblos prehispánicos asentados en el territorio escribían en él los hechos importantes que se sucedieron en su época, relatando así mismo las conquistas de otros pueblos y plasmando en él sus creencias religiosas.

El amátl se elaboraba macerando fibras de maguey, bambú y cáñamo con herramientas hechas de piedra hasta formarlas en hojas de papel rudimentario, las cuales se secaban al sol. Las resinas propias de las plantas de las cuales lo elaboraban, permanecían en el producto favoreciendo de esta manera, la aplicación de las pinturas vegetales con la que realizaban sus relatos.

Con la conquista, los españoles trajeron de Europa una tecnología más avanzada que la descrita, iniciándose así la evolución de la tecnología de papel en el nuevo continente.

Los procesos, equipos y productos han evolucionado desde entonces en forma sorprendente, consecuentemente, las propiedades y características de las diversas materias primas utilizadas para fabricarlo se han tornado más sofisticadas y precisas, a fin de que reunidas en una hoja de papel resulten en el producto cuyas características son requeridas.

Podríamos decir, que en los aspectos teóricos y de proceso de las diferentes fibras vegetales que se requieren para fabricar el papel han mostrado una evolución digna de toda consideración y reconocimiento.

Desafortunadamente hay otras materias primas cuyo avance tecnológico no ha sido de igual magnitud. Tal es el caso de las cargas minerales.

El caolín, por las características que reúne, es la carga mineral más utilizada en la industria papelera. Es un material que en forma general cuenta muchos de los requisitos necesarios para ser utilizado en la manufactura de papel, pues tiene la blancura, poder opacificante y precio que lo convierte en el material idóneo justificando así su inclusión en el proceso de producción de papel.

Sin embargo, el caolín mexicano a diferencia de los caolines de otros países, presenta características muy especiales como consecuencia de su origen geológico.

En la gran mayoría de las plantas procesadoras de caolín en México, éste se explota y se depura en forma rudimentaria e ineficiente, ya que los productores del mineral han omitido las características geológicas, químicas y físicas del mismo, factores de primordial importancia para diseñar equipos y procesos que sean capaces de producir un material que reúna los requisitos indispensables de calidad para la industria papelera.

Debido a estas deficiencias, el desgaste de los equipos que lo manejan durante los procesos que integran la manufactura de papel, es muy elevado, de igual manera la vida útil de las telas de las máquinas se reduce considerablemente y consecuentemente las pérdidas económicas son muy altas.

Es una realidad que el caolín mexicano como se procesa actualmente no es recomendable para ser utilizado como carga para papel, sin embargo, consideramos que mediante un procesamiento adecuado será posible beneficiarlo a fin de que pueda ser utilizado ventajosamente y a precio razonable en la industria del papel.

Por lo antes dicho, la intención del presente trabajo es proponer un proceso mediante el cual el caolín se beneficie satisfactoriamente a fin de que las características y costos de producción del papel se mejoren considerablemente.

GENERALIDADES SOBRE LA MANUFACTURA DE PAPEL.

En este capítulo se tratarán brevemente los procesos que integran la manufactura de papel, con el objeto de tener un me jor conocimiento de los factores que afectan la calidad de éste, y además, tener una base sólida que apoye las consideraciones que se hacen durante el desarrollo del presente trabajo.

Se hace notar que se ha puesto especial atención a los factores que afectan la retención de cargas minerales, que entre otros, es uno de los objetivos de este tema.

I.1) PREPARACION DE PASTAS.

Una vez que la celulosa se ha obtenido en la planta de pulpa, en forma de material fibroso intermedio o pasta, se encuentra lista para someterse a los procesos de fabricación de papel propiamente dichos. La preparación de pastas comprende una serie de operaciones que se rea lizan con el fin de proporcionar a las fibras de celulosa las características adecuadas para obtener un papel que reúna las propiedades requeridas por el consumi dor.

La preparación de pastas está compuesta por las siguien tes operaciones:

- a) Suspensión de la pulpa en agua
- b) Batido
- c) Incorporación del encolante
- d) Refinación
- e) Incorporación de cargas
- f) Dilución
- g) Depuración

I.1a) SUSPENSION DE LA PULPA EN AGUA.

En esta fase de la manufactura de papel, generalmente no se busca desarrollar alguna propiedad en las fibras, sino simplemente suspenderlas en agua.

El equipo usado para llevar al cabo dicha suspensión, es un tanque llamado Hidrapulper, el cual varía en dimensiones de acuerdo a las capacidades de producción de las máquinas formadoras. Básicamente consiste en un tanque abierto, equipado con una o dos unidades de agitación de alta velocidad, con las que se provoca la turbulencia necesaria para romper las fuerzas de unión existentes entre las fibras.

La operación que se realiza es muy simple, consistiendo en descargar las pacas de celulosa en el Hidrapulper, e ir adicionando agua bajo agitación constante, para facilitar la suspensión.

Es conveniente aclarar que la adición de agua en el Hidrapulper debe ser controlada, de tal manera que la suspensión llegue a la consistencia adecuada (1) al tipo de papel a producir y al equipo en cuestión.

Es práctica común adicionar los colorantes para el papel en el Hidrapulper, siendo pertinente aclarar que el hacerlo en este punto puede ocasionar problemas de "variación de tono" ya que la operación se realiza en bacha y además los compuestos adicionados posteriormente a la pasta actúan químicamente sobre las fibras coloreadas variando su color.

El tiempo de desintegración está en función de la materia prima usada. Así por ejemplo, generalmente una pasta mecánica requiere de un mayor tiempo de desintegración que una pulpa obtenida por cualquier proceso químico.

Una vez que se ha logrado dispersar las fibras y la pasta tiene la consistencia deseada, se encuentra lista para bombearse al siguiente paso del proceso: El Batido.

I.1b) EL BATIDO.

El propósito principal del batido en términos generales, es modificar las fibras de modo que cuando se encuentren

(1) Se llama consistencia a la cantidad de fibra seca presente en un litro de suspensión. Se ha encontrado que la consistencia más usada para el Hidrapulper está en valores que varían del 3 al 7 %.

en la máquina de papel, se incorporen para formar una hoja con las características deseadas. Además, el batedo tiene algunos propósitos secundarios como son: mezclar las fibras (cuando está implicado más de un tipo de materia prima) y propiciar la oportunidad de que se realice el encolado del papel.(2)

El equipo en el cual se "bate" la pulpa, es llamado pila. La pila tradicional es generalmente un tanque de forma ovalada, hecho de hierro o concreto, en cuyo centro existe una subdivisión o pared vertical llamado "muro central", éste no se extiende a todo lo largo de la pila, sino que está interrumpido un poco antes de cada extremo de la misma, de modo que la pulpa pueda circular a su alrededor. Esta circulación se inicia por medio de un rodillo giratorio, colocado entre el muro central y la pared exterior de la pila.

El piso de ésta aumenta súbitamente su pendiente (cada posterior) antes del rodillo y decrece gradualmente después del mismo, de esta manera la rotación del rodillo fuerza la pulpa pendiente arriba y la inercia que adquiere en su caída le sirve para rodear el muro central e ir otra vez hacia el rodillo.

(2) Se llama encolado del papel, a la resistencia que presenta éste a ser penetrado por los líquidos.

Sin embargo, el rodillo tiene una función más importante que la simple circulación. Insertadas en él, en ángulo recto a su superficie están varias hojas metálicas (cuchillas) frecuentemente de bronce, separadas a espacios iguales alrededor del rodillo. Sobre el piso de la pila, por debajo del rodillo, se encuentran dos juegos de hojas estacionarias (platina) cada uno de los cuales consiste de doce cuchillas aproximadamente.

Existen sin embargo, otros equipos también que tienen en común el mismo objetivo, es decir, hacer que la pulpa pase entre las cuchillas fijas y las del rodillo. Haciendo resaltar que las modificaciones, tienen como propósito tratar de superar ciertas limitaciones de la pila holandesa convencional descrita anteriormente, por ejemplo, su alto consumo de potencia, tratamiento no uniforme a la pulpa, la carencia de control operacional y el gran espacio de piso requerido.

Debido a las inconveniencias antes mencionadas, el uso de las pilas ha venido disminuyendo, siendo sustituidas por modernos equipos de "refinación" que como su nombre lo indica, dan un toque de acabado al batido, superando con mucho las limitaciones de las pilas convencionales, ya que se logra un mejor control del batido, los requerimientos de potencia son menores y el espacio que ocupan es mucho más reducido.

Una vez que la pasta ha sido batida, se le adiciona el encolante, siendo sometida después de ésto generalmente a un último paso de refinación.

I.1c) INCORPORACION DEL ENCOLANTE.

El término "encolado" nunca ha sido definido de manera completa y científica, pero todos los autores están de acuerdo en que tiene como objetivo hacer el papel resistente a la penetración de agua u otros líquidos.

Esta propiedad se logra adicionando a la pasta ciertos compuestos (brea por ejem.) que tienen la propiedad de ser repelentes al agua una vez que están secos. A la acción de cubrir las fibras de celulosa y darles dicha propiedad se llama "encolado interno", siendo sus principales funciones:

- a) Prevenir el extendimiento (corrimiento) de la tinta sobre el papel.
- b) Proporcionar al papel cierta resistencia a la humedad.
- c) Dar solidez a la hoja y endurecerla.
- d) Ayudar a aumentar la retención de fibras, cargas y ciertos pigmentos adicionados a la pasta

La historia del encolado es tan antigua como la de la fabricación de papel, ya que hay evidencias que desde tiempos muy remotos era usual tratar el papel de alguna

manera (por ejem. sumergirlo en suspensiones de goma natural, o bien colas o resinas naturales) para volverlo más resistente al agua o a la tinta.

La base de los métodos de encolado interno, es el recubrimiento de las fibras naturales individuales con un material que sea insoluble y repelente al agua. La sustancia más ampliamente usada es la brea o rosina.

La brea se agrega a la pasta ya sea en forma disuelta (en alcali), o bien en forma de emulsión finamente dispersada. Luego se le agrega un agente precipitante (sulfato de aluminio) que coagula la brea, es decir, la hace salir de solución como un precipitado gelatinoso que se adhiere a las fibras.

Cuando se forma la hoja de papel y se pasa sobre los secadores de la máquina, la brea que está en contacto con las fibras se funde por el calor. Al enfriarse el papel, dichos materiales resolidifican y las fibras de celulosa quedan cementadas junto con la brea. Es obvio que cualquier otro material sólido, finamente dividido (por ejem. cargas), serán "enmarañados" por el precipitado gelatinoso, y de esta forma también se produce un aumento en la retención.

a) Preparación de la Solución de Brea.

La brea se trata con álcali, con lo que se saponifica formando un jabón soluble en agua.

La reacción que tiene lugar es la siguiente:



(A)

(B)

Donde (A) es el ácido abiético y (B) el abietato de sodio soluble que se formó durante la reacción.

Por supuesto, la reacción anterior se invierte cuando el jabón se trata con un ácido, pero se cree que con la adición de Sulfato de Aluminio se forma un abietato de aluminio:



b) El Encolante de Brea Emulsificada.

Si la brea se calienta con agua, en presencia de un protector coloidal (caseína por ejem.) bajo agitación enérgica, se puede emulsificar completamente, sin experimentar cambio alguno en su composición química, formando así un fluido lechoso, estable y finamente dispersado.

Durante la década de los 50's, la brea ha sido fortificada para incrementar su poder encolante.

Debido a la creciente demanda de agentes encolantes, y con el advenimiento de especificaciones de producto más estrictas, la necesidad de tener métodos más precisos y exactos para el análisis de la brea, es descrito en el standard de TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry) T 628 m 53. Sin embargo, éste método no hace mención de las resinas fortificadas y por lo tanto, no toma en consideración los efectos de esta fortificación en los resultados obtenidos.

Edward Strazdins y Edward H. Sheers realizaron un estudio con el objeto de conocer los efectos de dicha fortificación. (3)

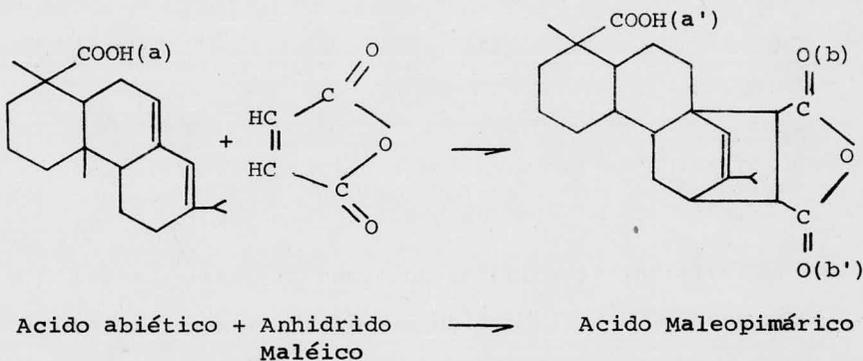
Los factores que se tomaron en cuenta para el mencionado estudio son:

- 1) ¿Qué tipo de ácidos constituyen la porción de ácido libre de una brea fortificada? (para determinarse por titulación).
- 2) ¿Se arrastra ácido maleopimárico en la extracción con éter, durante la determinación de brea libre?
- 3) ¿Bajo las condiciones que establece la determinación de brea libre (Método T 628 m 53) es posible neutra-

(3) TAPPI, 41, No. 11, págs. 658-660 (Nov. 1958)

lizar parcialmente el ácido maleopimárico de tal manera que permaneciera en la fase acuosa de la extracción?

4) La reacción estudiada fue la siguiente:



Para responder las preguntas anteriores debemos considerar en primer lugar las constantes de ionización de los ácidos mencionados.

Se considera que el ácido abiético es representativo de todos los ácidos presentes en la brea. Es razonable, por lo tanto, asumir que las constantes de ionización de los ácidos que componen la brea son las mismas. Debido a que no había valor de esta constante de ionización en la literatura para el ácido abiético, se determinó usando la técnica siguiente:

- Determinación del valor pK_a de un ácido insoluble en agua disuelto en algún solvente.
- El valor obtenido se extrapola al valor correspon-

diente de pK_a para ese mismo ácido en agua, usando otros ácidos solubles en agua como referencia.

Se utilizó un ácido abiético del 95% de pureza y se obtuvo un valor tentativo de 5.4×10^{-6} . Es evidente, - por lo tanto, que el ácido abiético es un ácido más débil que el ácido acético (1.75×10^{-5}).

El ácido maleopimárico tiene tres grupos COOH y la determinación de las constantes de ionización para cada uno de ellos es muy difícil.

Haciendo consideraciones teóricas, uno de los grupos carboxílicos derivados (b o b') debe ser el grupo ácido más fuerte en la molécula.

De acuerdo a este trabajo, la constante de ionización del grupo ácido más fuerte es $K_1 = 5.0 \times 10^{-5}$, siendo bastante menor la constante del otro grupo ($K_3 = 1.7 \times 10^{-6}$).

Podemos decir "a priori" que la porción libre de la brea consistirá de ácidos de menores constantes de ionización. Tomando como base las constantes de ionización encontradas para el ácido abiético y el ácido maleopimárico, puede verse fácilmente que la porción libre en breas fortificadas consistirá de ácido abiético y alguna cantidad parcialmente neutralizada de ácido maleopimárico. En otras palabras, las moléculas de ácido maleopimárico contienen uno y/o dos grupos COOH libres. Por medio de una titula-

ción, el ácido libre total se expresa en términos de ácido abiético libre.

Por otra parte, el ácido maleopimárico es soluble en éter, pero la sal mono, di o trisódica es insoluble en éter. Tomando en consideración bases teóricas y estadísticas obtenidas durante el estudio, además de las constantes de ionización, el ácido maleopimárico estará parcialmente neutralizado en todos los casos y no podrá ser extraído con éter.

Como puede observarse, las conclusiones obtenidas son muy interesantes, ya que la determinación del método T 628 m 53 es correcta para la determinación de insaponificables, pero presentó una variación considerable en lo que se refiere a la determinación de ácido combinado (maleopimárico) de una breca fortificada; por lo cual deberá haber un factor de corrección cuando se estén titulando breas fortificadas.

Cantidad de encolante a usar.

En general, la cantidad de agente encolante que se debe adicionar a la pasta, depende de los requerimientos del papel y de la eficiencia del encolante. La cantidad varía desde el 0% en papeles absorbentes hasta el 5% para ciertos papeles especiales. La cantidad aproximada de breca adicionada para diferentes tipos de papeles, se mues-

tra en la siguiente tabla.

TABLA I.1

CANTIDAD DE BREA USADA EN ALGUNOS PAPELES
COMERCIALES

TIPO DE PAPEL	% DE BREA USADA
Periódico	0 (a veces 0.5%)
Papel de Escritura (bond)	1.0 - 2.0 %
Ledgers	1.5 - 2.5 %
Libros	0.5 - 1.5 %
Mimeógrafo	0 (a veces 0.5%)
Sensibilizar (heliográfico)	2.5 - 5.0 %

El valor de encolado no aumenta en proporción directa a la cantidad de agente adicionado. Se ha encontrado experimentalmente que el mayor incremento en el valor de encolado es obtenido en el rango de 0.75 a 1.5 % de agente encolante, en base a peso de la pulpa seca. Después de este punto, la eficiencia decrece, sobre todo cuando se alcanzan porcentajes del 2 al 3 % en peso de encolante.

Precipitación de la brea.

Para obtener los resultados deseados, la brea debe precipitarse en la pasta con sulfato de aluminio. Podrían utilizarse cualquier sal, sal ácida o ácido de cromo, fierro, manganeso, níquel, etc., pero se ha demostrado que el encolado final no es tan bueno ni duradero como lo es el encolado que se logra con aluminio.

El sulfato de aluminio, cuya fórmula química es $Al_2(SO_4)_3$ se obtiene de la bauxita (que es un óxido de aluminio hidratado que ocurre en la naturaleza). Esta bauxita se muele y se hace reaccionar con ácido sulfúrico. Con esta reacción se forma el sulfato de aluminio que se decanta de los tanques de reacción, separándolo de los materiales contaminantes (sílice, grumos de arena, etc.).

El sulfato de aluminio, se disuelve en agua antes de ser adicionado a la pasta que ya contiene la brea, en ocasiones se aconseja usar agua tibia al hacer la disolución del sulfato de aluminio para de esta manera facilitarla. Una vez que se ha disuelto en agua, el sulfato de aluminio se hidroliza de la siguiente manera:



Debido a que la ionización del ácido sulfúrico es mayor a la del hidróxido de aluminio, la solución final será

ácida, con un pH de 4.0 a 4.5, los puntos importantes a controlar en un sulfato de aluminio que será usado como precipitador de la brea son de acuerdo a la reacción de hidrólisis, la cantidad de alúmina ($\text{Al}(\text{OH})_3$), pH, acidez total y la cantidad de impurezas.

El mecanismo que explique como se realiza la precipitación de la brea sobre las fibras de celulosa, es de suma importancia, pero desafortunadamente, es un punto de controversia que todavía no ha sido convenientemente explicado. La literatura nos muestra resultados contradictorios siempre referidos a nivel de laboratorio, que generalmente no son reproducibles en operaciones a escala industrial.

Illig, plantea que la brea es precipitada como brea libre, y que ésta es el agente activo para llevar al cabo el encolado. Sin embargo hay otros investigadores que afirman que el precipitado de brea no tiene ninguna relación con la cantidad de alúmina. Como puede apreciarse, hay contradicciones en las teorías que tratan de explicar el fenómeno del encolado. Con objeto de facilitar su estudio, las dividiremos en dos grandes grupos principales: a) teoría de la alúmina y b) teoría de la coordinación.

a) Teoría de la Alúmina.

Sieber, Lorenz y Ostwald (4), fueron los primeros en tratar de explicar el encolado en términos de química coloidal.

Ellos plantean que el encolado es el resultado de la reacción entre partículas de brea cargadas negativamente y el hidróxido de aluminio coloidal, que tiene carga positiva.

De acuerdo con esta teoría, el encolado que se logra a pH menores de 4.0 es muy raquítico, debido a que a esos pH no hay formación de alúmina.

Existe además un trabajo de investigación, realizado por Martin y Willets (5), el cual afirma que todo el sulfato de aluminio agregado a la pasta es adsorbido por ésta como alúmina, usando únicamente el 4 % de sulfato. Mientras que si se usa un 10 % solamente la mitad es adsorbido. Aumentando entonces la relación de sulfato, el efecto de la adsorción de alúmina es menor y consecuentemente el encolado decrece.

b) Teoría del Ión Aluminio o Teoría de la Coordinación.

De acuerdo al trabajo realizado por Price (6), la

(4) Kolloid-Z, 32, 119-137, 195-209 (1923)

(5) Paper Trade Journal, 110 No. 8 98-104 (Feb. 1940)

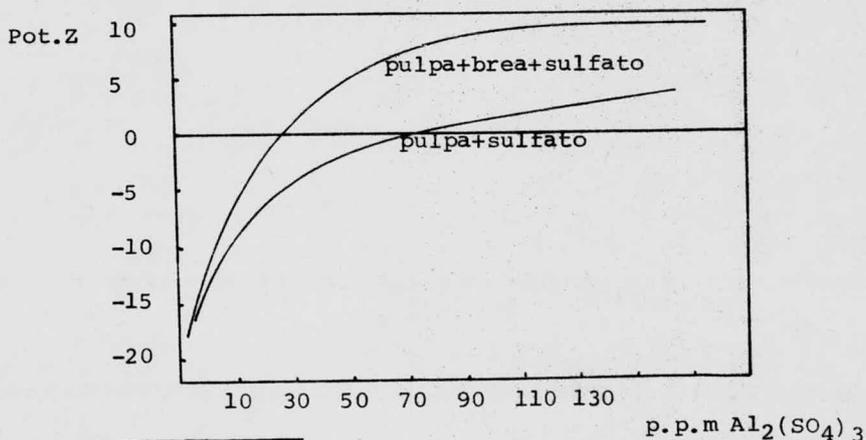
(6) Ind. Eng. Chem. 39, No. 9, 1143-1147 (Sept. 1947).

alúmina como tal, no es parte del precipitado encolante. La alúmina puede formarse por la reacción de exceso de álcali en el sistema y el sulfato de aluminio, pero aparentemente esta alúmina, no tiene un efecto benéfico en el encolado; pero sí se encuentra en exceso puede bajar las resistencias de la hoja y disminuir en encolado.

Una evidencia de lo anterior, es que a un pH de 6.0, se forma la mayor cantidad de alúmina y el encolado óptimo se realiza a un pH de 4.5 a 5.5

Otro trabajo muy interesante es el realizado por Thode (7), el cual está basado en que la alúmina cambia el potencial electrocinético (z) del precipitado de brea.

La fig. 1-1 nos muestra el efecto que tiene el sulfato de aluminio en el potencial electrocinético de las fibras puras (no encoladas) y en las fibras encoladas.



(7) TAPPI, 38, No. 12, Págs. 705-709 Dic. 1955.)

Observar que la curva superior indica que las fibras encoladas pasan de un potencial negativo a un potencial positivo, a una concentración de 17 p.p.m. aproximadamente de sulfato de aluminio, mientras que la curva inferior, para pulpas puras, no cruza la línea de potencial cero, hasta que se llega a una concentración de 60 p.p.m. de alumbre.

Las conclusiones más importantes del trabajo de Thode son:

- 1) El sulfato de aluminio produce un complejo con la brea que posee una carga positiva, este complejo se precipita sobre las fibras.
- 2) En un sistema que contenga 2.4 % de brea y 3.0 % de sulfato de aluminio, aparecerá un potencial electrocinético positivo en la pulpa. Si se omite agregar la brea, la suspensión de celulosa-aluminio permanecerá con un potencial negativo. Esto es debido a que el aluminio está actuando en forma diferente, cuando el sistema tiene brea y cuando está sin brea.
- 3) Cuando en el sistema hay solamente brea y sulfato de aluminio, el potencial electrocinético de la fibra encolada y el pH del sistema están relacionados, agregando cualquier material extraño se alterará dicha relación.

- 4) La fórmula que sirve para calcular el potencial electrocinético es:

$$\frac{I \eta L}{pD} = \frac{A z}{8} (1 - \alpha C)$$

Donde:

I = Intensidad de la luz proyectada al sistema.

η = Viscosidad del sistema.

L = Espesor de la capa de fibras.

D = Constante dieléctrica del líquido.

p = Presión.

A = Area seccional de la capa fibrosa

z = Potencial electrocinético

C = Concentración de las fibras en la capa formada

α = Volumen específico de las fibras.

- 5) Se sabe además, que el potencial electrocinético del precipitado de brea es el responsable de que se lleve al cabo la unión con las fibras de celulosa, y que el potencial de la fibra ya encolada es una indicación de que tan bien se ha llevado el encolado.

Para mayores detalles acerca del método utilizado por Thode, se puede acudir a TAPPI, Vol. 38, págs. 705 a 709 correspondiente al año de 1955.

Medición de la Cantidad de Encolado en el Papel.

Hay muchos métodos útiles para medir la cantidad de encolado del papel. A continuación mencionaremos tres, que son los más usados.

a) Método del ángulo de contacto.

Esta es una prueba muy simple. Consistiendo en dejar caer una gota de agua sobre la superficie del papel, amplificar dicha gota en una pantalla y leer directamente el ángulo formado entre la superficie del papel y la tangente a la gota de agua.

b) Método de flotación.

Este método es también muy sencillo. Consiste en hacer una pequeña cajita del papel al cual se le quiere determinar el encolado, después de esto, se deposita en un recipiente que contiene tinta. Accionar un cronómetro cuando la cajita de papel toque la superficie de la tinta y detenerlo cuando ésta haya pasado a otra cara del papel. El resultado de éste encolado se reporta en segundos.

c) Medición con aparatos electrónicos.

Los aparatos que miden el encolado electrónicamente son basados en el prueba de flotación antes descrita, con la diferencia de que tienen un dispositivo

electrónico que indica cuando la tinta ha pasado de una cara a la otra.

Una vez que se ha adicionado el agente encolante, la pasta generalmente, se pasa a un proceso de refinación. Este proceso de refinación completa con mayor uniformidad el tratamiento iniciado en el batido.

I.1d) LA REFINACION.

Podemos decir que la refinación de las fibras de celulosa es el tratamiento mecánico por medio del cual se varía su morfología, ya sea cortándolas, hidratándolas o fibrilándolas, hasta que llegue el punto en el cual se obtengan las características óptimas de resistencias, porosidad, formación, etc. que son requeridas en el papel a producir.

Se han diseñado una gran cantidad de equipos de refinación, mismos que han venido evolucionando para tratar de hacerlos más versátiles, ya sea variando ángulos de cuchillas, velocidades rotacionales, capacidades, etc., los equipos más usados en la industria papelera son los siguientes:

- a) Refinadores Cónicos.
- b) Refinadores de Discos.

Refinadores Cónicos

Dentro del grupo de los refinadores cónicos que han si-

do utilizados con gran éxito, se encuentra el refinador Jordan.

El Jordan está constituido por un rotor cónico, equipado con barras metálicas a lo largo. Este rotor gira dentro de una carcasa o envolvente también equipada con barras. La velocidad de rotación varía de 300 a 550 r.p.m. La pasta se alimenta al refinador por la parte reducida del cono, pasa entre el rotor y la carcasa, y sale por la parte superior del refinador.

Las variables que afectan la operación del Jordan son: potencia suministrada, consistencia y pH de la pasta, así como la presión de entrada y salida de la misma, con lo cual se controla mayor corte o fibrilación de las fibras.

Hay otro tipo de refinadores cónicos, que son similares en diseño al Jordam, estableciendo su principal diferencia en las velocidades de rotación a que operan y, además, las consistencias de trabajo que generalmente son mayores a las usadas en el Jordan. Estos refinadores - tienden a cortar menor que el Jordan e hidratan más a las fibras. Las velocidades de rotación de estos equipos está en un rango de 800 a 1600 r.p.m.

Refinadores de Discos.

En los refinadores de discos, la pasta se alimenta a -

través de un orificio en el centro de uno de los discos, pasa a la periferia entre los discos y se descarga la - pasta refinada en la periferia. El flujo de entrada al refinador puede ser controlado independientemente del - claro entre los discos, únicamente reduciendo la entrada de pasta por medio de una válvula.

En general, podemos decir que los principales tipos de refinadores de discos son:

- a) De un disco móvil y un disco fijo.
- b) De dos discos móviles.
- c) De dos discos fijos y dos móviles alternados uno a continuación del otro.

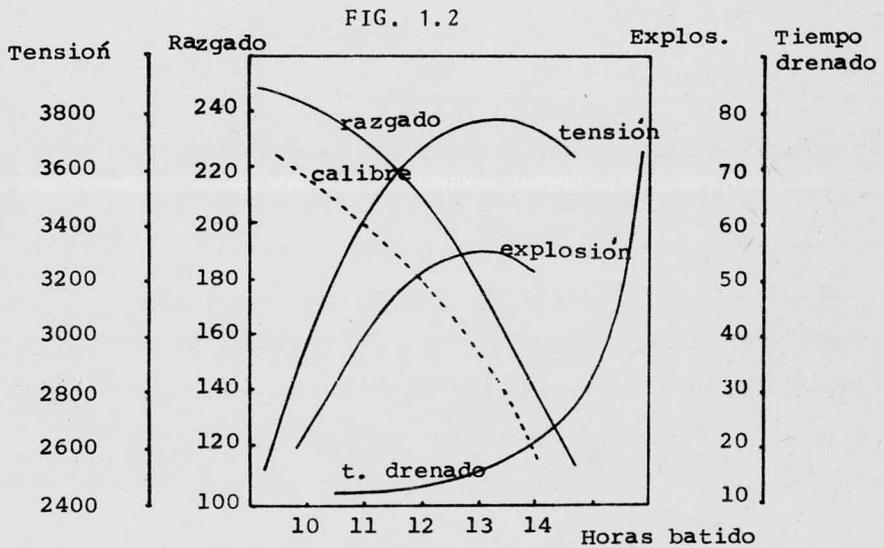
Hemos mencionado una serie de efectos que el refinador produce en las fibras, por lo que es conveniente hacer una descripción de los efectos de la refinación en las propiedades finales de la hoja y la influencia de esta acción sobre las fibras de celulosa.

Efecto de la Refinación en las Propiedades de la Hoja.

En general, la refinación favorece algunas propiedades de la hoja, y tiene un efecto desfavorable en otras. Por lo tanto, el productor de papel deberá seleccionar las condiciones de refinación adecuadas, para obtenerlo con ciertas propiedades sin detrimento de otras. La refinación, como regla general, no debe llevarse al cabo de -

tal manera que se logre grandemente una propiedad a costa de la disminución de otras. Al respecto, y para enfatizar la importancia de la refinación, se han hecho estudios en los que a partir de una misma pulpa, se obtuvieron papeles totalmente distintos habiendo variando únicamente las condiciones de refinación.

La fig. 1.2 nos muestra el efecto de la refinación sobre algunas de las propiedades de la hoja.



Si observamos la fig. anterior, se concluye que si el proceso de refinación aumenta de una manera gradual, se incrementan las resistencias a la tensión, a la explosión y al dobléz; pero tiende a disminuirse la resisten

cia al razgado, incrementándose, además la lisura (satinado) y la unión entre fibras, mejorando notablemente la formación de la hoja. Puede observarse, además, que aumentando la refinación, decrece el calibre, la opacidad y la estabilidad dimensional del papel.

Teorías sobre la refinación.

Se conocen en la actualidad tres teorías que tratan de explicar los fenómenos que ocurren durante la refinación siendo éstas las siguientes:

- a) Teoría química de Cross y Bevan.
- b) Teoría física de James Strachan.
- c) Teoría de la solubilidad parcial de Campbell.

La teoría química de Cross y Bevan ha sido totalmente desechada, en virtud de que afirma que el agua se combina químicamente con la celulosa (por la acción del refinador), hecho que se ha desmentido, ya que se ha demostrado ampliamente que la celulosa en estas condiciones no forma verdaderos hidratos químicos. Por lo que el término "hidratación" de las fibras, muy usado en la industria papelera es un término equivocado. Además, hay trabajos (8) que demuestran que durante la refinación no ocurren cambios químicos en las fibras de celulosa.

(8) O. Kress y H. Bialkowsky, Paper Trade Journal, 93, No. 20, págs. 219-228 (Nov. 12, 1931).

Las otras dos teorías (la teoría física de Strachan y la de la solubilidad parcial de Campbell), serán discutidas durante el desarrollo de los temas correspondientes a la "hidratación" y la fibrilación de las fibras de celulosa.

Hinchamiento de las Fibras.

Un factor que está muy relacionado con el hinchamiento de las fibras, es la flexibilidad de las mismas. Cuando las fibras están secas, varían considerablemente en rigidez, dependiendo del tipo de fibra, aunque en general todas en estado seco son quebradizas. A diferencia de las fibras húmedas que son muy flexibles porque se han imbibido de agua. Podemos afirmar que la flexibilidad de las fibras se ve afectada principalmente por el contenido de lignina de la pulpa de que provienen. Es decir, a medida que el contenido de lignina de una pulpa aumente, la rigidez de sus fibras será mayor.

Además de la celulosa y la lignina, las pulpas están compuestas de otras sustancias químicas de menor peso molecular (hemicelulosas, azúcares, proteínas, etc.) De las cuales, las hemicelulosas tienen la propiedad de hincharse mucho más en agua que las fibras de celulosa; por lo tanto, una pulpa que tenga un alto contenido de hemicelulosas, provocará que las fibras de celulosa se hinchen más fácilmente, puesto que tendrán mayor tiempo de contac

to con las moléculas de agua que han imbibido.

En general, la imbibición de agua se lleva al cabo por dos formas: a) por imbibición por los poros propios de la fibra y b) por capilaridad. En la imbibición por los poros, éstos toman el agua y la almacenan en dichas cavidades microscópicas produciendo el hinchamiento de las fibras. Esta absorción de agua, facilita la "fibrilación" durante la refinación.

Como es de esperarse, el hinchamiento de una fibra, ocasiona que los poros pequeños se abran más aún, permitiendo entradas adicionales de agua.

La capacidad que tienen las fibras de hincharse, es atribuida a los grupos oxhidrilo (OH), ya que sin estos grupos polares, la fibra de celulosa no imbibiría agua.

Se han hechos estudios de la capacidad de absorción de agua y se ha experimentado además con otros líquidos y ha sido comprobado que las fibras se hinchan más fácilmente en líquidos polares (agua, formaldehído, etilén glicol, etc.) que en líquidos no polares. Este estudio es de suma importancia para conocer las propiedades de absorción de las fibras y es de gran ayuda para en dado caso, lograr un hinchamiento "artificial" en las fibras de la pulpa que se trate de procesar.

Efecto de la Refinación en la Pared Primaria.

La llamada pared primaria es la cubierta natural de las fibras. Esta pared es permeable al agua, pero no se hincha considerablemente en la misma, lo cual la hace indeseable para lograr el hinchamiento de las fibras. En los procesos de pulpeo, lavado, blanqueo y refinación, se remueve parcialmente esta pared, siendo importante eliminarla por los efectos antes mencionados.

Efecto de la Refinación en la "Hidratación"

Agua de hidratación significa desde el punto de vista químico, que está combinada en proporciones moleculares definidas y que además forma parte de la estructura cristalina de la sustancia de que se trate. Además, el agua de hidratación puede ser removida, ya sea cambiando la temperatura o la presión de vapor de los compuestos, o bien del medio que los rodea. Implica el hacerlo, un cambio en las propiedades físicas del compuesto al que se le está eliminando su agua de cristalización.

La celulosa probablemente no contenga agua de hidratación en el sentido estricto de la palabra. Muchos investigadores afirman que el agua imbibida por la celulosa no forma parte de su estructura cristalina, sino más bien, permanece unida a los grupos oxhidrilo de los cristales de celulosa, por medio de puentes de hidrógeno. Aunque es cierto que el agua absorbida de esta manera permanece unida muy fuertemente a la molécula, también es cierto

que dicha agua está situada entre los cristales y no dentro de ellos.

El trabajo de Campbell (teoría de la solubilidad parcial) mostró que la refinación provoca cambios relativamente pequeños en la cantidad de agua imbibida en la superficie de los cristales de celulosa.

Esta conclusión es lógica, ya que se sabe que el interior de los cristales de celulosa son accesibles a que pase agua a través de ellos, de donde el único modo de que aumente el agua imbibida sea por fracturación (ruptura) de los cristales de celulosa.

En la actualidad se acepta que los cambios que tienen lugar durante la refinación no se deben a la hidratación química o imbibición de agua por capilaridad, sino que son el resultado de la combinación de cambios físicos que en la industria papelera se llama "hidratación de la pulpa".

Efectos de la Refinación en la Fibrilación.

De acuerdo con la teoría de Strachan (9), la "hidratación" que se obtiene durante el proceso de refinación, no es otra cosa más que una "fibrilación", con lo que entre otras cosas se obtiene un aumento en la superficie específica de las fibras.

(9) J. Strachan, Paper Makers Assoc., Gt. Brit. & Ireland, Proc. Sec. 24, 30-54 (Dic. 1943).

Strachan propone el siguiente mecanismo para explicar el fenómeno de la fibrilación.

- 1) Las fibras imbiben agua y se hinchan, dando por resultado un debilitamiento de las fuerzas de unión entre ellas.
- 2) Bajo estas condiciones de hinchamiento en húmedo, las fibras se encuentran suaves y plásticas.
- 3) La acción del refinador hace que se aflojen las fibrillas individuales de cada fibra (fibrilación). Al mismo tiempo, la fibra imbibе agua (de acuerdo a la teoría de Campbell).

Strachan explica que las fibrillas pueden ser moléculas individuales de celulosa, o bien pequeños cristallitos que se levantan sobre la superficie de las fibras; enfatizando que al aflojar o desprender las fibrillas dentro de la propia fibra, aumentamos grandemente su flexibilidad. A esta acción se le conoce como fibrilación interna.

Tanto la fibrilación externa como interna incrementan tremendamente la superficie específica de las fibras y la cantidad de agua imbibida, siendo las principales características de la fibrilación interna: producir papeles opacos y de buenas resistencias. Mientras que la fibrilación externa produce papeles mucho más resistentes y relativamente translúcidos.

Efecto de la Refinación en el Corte de las Fibras.

En la actualidad se conocen dos tipos de acción para cortar las fibras: a) debido a la acción cortante de las barras del refinador, y b) debido a la acción cortante provocada por la fricción de una fibra contra otra.

En términos generales, resulta antieconómico usar pastas con fibras de alta longitud (de fibra) y cortarlas por refinación, sin embargo, hay ocasiones en que el cortar las fibras es necesario, a fin de lograr una mejor formación en la hoja de papel.

Una vez que la pasta tiene el grado de refinación adecuado, ésta deberá someterse a la siguiente fase de la preparación de pastas que es la incorporación de cargas minerales.

I.1e) INCORPORACION DE CARGAS.

El proceso de adicionar cargas al papel ha sido practicado durante muchos años, y no obstante, que en un principio se consideró como una adulteración, en la actualidad se acepta que incorporar dichos materiales al papel lo favorece en muchas de sus características como son: aumentan la opacidad, mejoran la receptibilidad de las tintas usadas en los procesos de impresión, dan "cuerpo" al papel y mejoran la formación de la hoja.

Antiguamente las cargas eran preparadas por medios mecánicos a partir de minerales naturales tales como: arcillas, talco, yeso, etc. En la actualidad, las cargas son preparadas por combinación de procesos químicos y mecánicos a partir de los minerales naturales citados anteriormente.

Podemos decir de una manera general que una carga con alto índice de refracción posee un mayor poder para proporcionar opacidad que una carga que posea uno menor. El tamaño óptimo de partículas es también de gran importancia para obtener papeles opacos, si además de tener un buen tamaño de partícula, están uniformemente distribuidas, se asegurará un papel con mejores características.

Las cargas deben de ser químicamente inertes, de tal manera que no reaccionen con los otros materiales usados durante la manufactura de papel o en las operaciones posteriores de acabado y de impresión.

En general, las cargas tienden a incrementar más el peso de la hoja que su calibre o espesor. El uso de demasiada carga, hace que el papel se torne suave y con menor rigidez, además se puede presentar el defecto llamado "polveo" (10)

(10) Polveo es el defecto que se produce cuando el papel no tiene perfectamente retenida la carga y ésta se desprende de la superficie de la hoja.

Las cargas se pueden adicionar secas al hidrapulper, o bien se puede preparar una suspensión de la carga en agua, con el objeto de facilitar su manejo y para remover impurezas por filtración.

Ya en la máquina de papel, la retención de cargas es objeto de mucha atención por parte de las industrias que fabrican papel, no sólo por los efectos antieconómicos de perder carga que hubiera podido ser retenida, sino además, por la creciente necesidad de evitar la contaminación de los efluentes.

Es obvio que una carga soluble será más pobremente retenida que una insoluble, así mismo, es lógico pensar que con velocidades mayores en las máquinas, y usando equipo de succión para drenar agua más rápidamente, la retención de cargas sea menor. Por el contrario, la refinación incrementa la retención de cargas, debido a que se reducen los espacios entre las fibras y se aumenta la superficie específica de las mismas, gracias a la fibrilación.

En papeles encolados, el uso de sulfato de aluminio tiene un efecto favorable en la retención de cargas, ya que la alúmina actúa como "cemento electrostático" que une la carga con la fibra.

En resumen, las características ideales de una carga deben ser:

- a) Debe tener máxima blancura y brillantez.
- b) Debe tener un alto índice de refracción, por lo que tendría un máximo poder para impartir al papel opacidad y blancura.
- c) Debe estar completamente libre de arena, o cualquier otra sustancia extraña, y tener una distribución de tamaño de partículas uniforme
- d) Debe tener baja gravedad específica, debe ser suave y no abrasiva.
- e) Debe ser capaz de impartir al papel una superficie apta para adquirir cualquier acabado en la calandra, desde un mate muy bajo, hasta un alto brillo.
- f) Debe ser completamente insoluble y químicamente inerte.
- g) Debe ser totalmente retenida por la hoja, de tal manera que no hubiera pérdidas.
- h) Debe ser de precio bajo.

Como es muy difícil lograr todas y cada una de las características antes mencionadas en un solo material, es importantísimo el procurar que por lo menos se logra la mayoría de dichos requisitos.

Una vez que hemos agregado la carga a la pasta, ésta tiene que depurarse con objeto de quitar cualquier material extraño o bien grumos que afecten la calidad del papel o la operación de la máquina.

I.1f) DILUCION.

La dilución de la pasta se lleva al cabo en un tanque (caja de dilución), al cual se le está agregando pasta y agua (generalmente del mismo proceso) hasta obtener la consistencia deseada. Dependiendo del tipo de papel y de su peso base, se varían las consistencias en la caja de dilución para tener la que sea más conveniente

I.1g) DEPURACION.

El objeto de la depuración es eliminarle a la pasta todas sus impurezas tales como: astillas, arena, bolas de pasta, hilos, etc., que afectan en primer lugar, la operación de la máquina de papel y en segundo lugar, la calidad del producto final. Hay dos medios principales para llevar al cabo la depuración de la pasta de papel:

a) usando cribas vibratorias y b) usando depuradores ciclónicos.

a) Cribas Vibratorias

Por el tipo de depuración que realizan las cribas vibratorias se clasifican en dos grupos: a) depuración fina y b) depuración gruesa. La única diferencia entre una depuración fina y una depuración gruesa es que el tamaño de los orificios en las platinas son menores en la de depuración fina.

Tipos de Cribas Vibratorias.

Hay en la actualidad gran cantidad de diseños de este tipo de depuradores. Uno de los más usados es el depurador plano o depurador de diafragma. Este depurador consiste de una caja con cribas en su fondo, sobre las cuales fluye la pasta, comunicándosele un movimiento vibratorio por medio de un diafragma de hule o por un árbol de levas. En virtud de la vibración, se rompen las bolas de pasta y se separa la fibra aceptada de las impurezas, siendo muy importante para la correcta operación de las cribas la consistencia de la pasta (se recomienda que la consistencia de la pasta sea de 0.25 a 0.6 %). Las cribas pueden clasificarse en función de sus velocidades de vibración como depuradores de alta frecuencia y depuradores de baja frecuencia. Los depuradores de baja frecuencia operan de 100 a 400 ciclos por minuto o más. Siendo éstos últimos más eficientes para dispersar las fibras y se ven menos afectados por variaciones en consistencia.

Principios que Rigen la Depuración.

Los depuradores no diferencian entre impurezas y fibras, sino que se limitan a rechazar material con un tamaño de partícula mayor al de sus orificios. El depurador ideal que rechace absolutamente todas las

impurezas y acepte todas las fibras de tamaño adecuado, no se ha inventado todavía. Sin embargo, para aumentar la eficiencia de la depuración tenemos los siguientes recursos: Mantener un tiempo de contacto adecuado a la pasta en la criba, buena vibración, consistencias adecuadas con el diseño del depurador y un reflujo de fibras rechazadas que esté acorde con el grado de depuración deseado.

Depuradores Ciclónicos.

Estos depuradores remueven las impurezas que son muy difíciles de separar haciendo uso únicamente de las cribas.

Este tipo de depuradores, sin embargo, no reemplazan a las cribas, pero si son de gran utilidad para lograr una limpieza adicional en la pasta.

La primera adaptación e instalación de estos depuradores en la industria papelera fue en 1956, en la Compañía de papel Hammermill. Ahora hay en el mercado gran cantidad de ciclones depuradores, de los cuales los más conocidos son: Centricleaner, Hydrocyclone, Pulpcleaner, Liquid Cyclone, etc. (11)

En el depurador, la pasta se alimenta tangencialmen-

(11) Marcas Registradas. Depuradores.

te y a presión por la parte superior de éste, produciendo una rotación rápida (vortex) en el interior.

De este modo, las partículas pesadas salen por la parte inferior del depurador (rechazo). Al mismo tiempo, los giros internos de la columna de líquido suben a la parte superior del cono, formando parte del material aceptado.

Al igual que en los depuradores vibratorios, la consistencia de la pasta es de gran importancia para la eficiente operación de los depuradores ciclónicos. Se recomienda usar consistencias de 0.3% a 1.0 %. Normalmente estos ciclones operan a presiones de 40 a 50 lb/in² .

El término "formación", define dos propiedades: la primera es en cuanto al grado de dispersión de las fibras en el papel (también llamado densidad de la hoja), y la segunda, la acción de formar las fibras en la máquina hasta obtener el papel.

I.2a) LA MAQUINA DE PAPEL.

La máquina de papel puede ser dividida para facilitar su estudio en las siguientes secciones:

- a) Sección Húmeda.
 - i) Caja de Entrada
 - ii) Tela
 - iii) Equipos para Drenar Agua
 - iv) Prensas
- b) Sección de Secado
 - i) Secadores
- c) Size Press o Prensa de Encolado
- d) Calandra
- e) Enrollador

a) Sección Húmeda.

i) Caja de Entrada.

La función de la caja de entrada, es recibir la pasta proveniente del sistema de preparación de pastas, y depositarla en la tela a una velocidad y cantidad adecuadas. Además, debe mantener la pasta uniformemente mezclada para tener un mínimo de variaciones en lo que respecta a: dispersión de fibras, consistencia y velocidad de flujo a través de ésta.

Dentro de la caja de entrada, se encuentran una serie de rodillos perforador (rodillos distribuidores), o bien en sustitución de éstos mamparas; con el objeto de mantener una dispersión uniforme.

Además, hay una abertura formada por dos láminas de material inoxidable llamadas "labios" con los que variando su abertura se podrá regular el flujo de salida que será depositado en la tela.

Aunado a la cantidad de pasta descargada en la tela, un factor muy importante es conocer la velocidad a la cual debe salir aquella; ya que si existe una diferencia entre la salida de pasta y la velocidad de la tela, la formación del papel resultará muy defectuosa.

La ecuación que relaciona la velocidad de salida de pasta y la altura de la columna en la caja (cabeza), es la siguiente:

$$V = C(2 g h)^{1/2} + \text{velocidad de llegada.}$$

Donde:

V = Velocidad de la pasta ft/seg.

C = Constante (coeficiente del orificio = 0.95)

g = Aceleración de la gravedad (32.2 ft/min).

h = Altura de la columna en la caja ft.

La pasta que está fluyendo a través de la caja de entrada se deposita en la tela.

ii) Tela

La tela, es una malla tejida, que puede ser de bronce

o de plástico, es una banda sin fin que retiene la pasta depositada por la caja de entrada y facilita la formación y el drenado de agua a través de ella.

Existen instalados en la mesa de fabricación justamente debajo de la tela, dispositivos que ayudan al drenado más rápido y uniforme del agua de la pasta, algunos de estos elementos son foils, rodillos desgotadores, cajas de succión, etc.; el diseño, cantidad y secuencia de éstos será determinado en función del tipo de papel a producir, la velocidad de la máquina y del tipo de pasta que se maneje.

Al final de la mesa de fabricación se encuentra el rodillo couch, cuyos objetivos son: transferir la hoja de papel al fieltro despegándola de la tela, succionar agua de la hoja y dar transmisión a la tela.

I.2b) FIELTROS Y PRENSAS

La hoja húmeda se pasa por varios pasos de prensado. Las prensas se encuentran en contacto con fieltros que tienen por objeto, soportar la guía húmeda y ayudar a remover el agua, ya que éstos últimos actúan como un medio absorbente.

Originalmente, los fieltros estaban hechos de lana, que es un material adecuado porque recobra su espesor original después de que han sido prensados. En la actualidad se están usando diversos materiales para la construcción

de estos fieltros, principalmente las fibras sintéticas y el asbesto. Estas fibras combinadas en ciertas proporciones con la lana, producen fieltros con características especiales, buscando principalmente hacerlos más durables y resistentes.

Las prensas son rodillos de gran peso que ejercen una fuerte acción mecánica (compresión) sobre la hoja húmeda. Existen gran cantidad de diseños (con succión, planas, ranuradas, etc.) y recubiertas con muchos materiales, que pueden elegirse en función del tipo de papel que se fabrique y del proceso específico de que se trate.

Durante el prensado de la hoja húmeda, parte de la acción mecánica se usa para compactar o comprimir la hoja y otra parte es usada para "exprimirla". La presión aplicada, el tiempo que dicha presión se ejerce sobre la hoja, el número de prensas, el tipo de prensa usado, el tipo de fieltro usado (por su absorbencia) y la porosidad de la hoja húmeda, son factores que se deben cuidar con especial atención, ya que afectan la operación eficiente de las prensas. Además de quitar humedad esta sección es muy importante debido a que se determinan en este punto muchas de las propiedades físicas de la hoja de papel por ejem. calibre, resistencia superficial, etc.

La hoja que sale de las prensas, tiene un contenido de humedad que varía generalmente del 60% al 70%, por lo cual, se pasa al proceso de secado que consiste en unidades que suministran calor al papel, para evaporar el agua que no pudo ser removida por las prensas.

El secado es uno de los procesos más costosos en la manufactura de papel, por lo que es necesario tener un secado eficiente para minimizar los costos de producción por este concepto. Los secadores de la máquina de papel, son cilindros colocados en "tandem" dentro de los cuales fluye vapor saturado en la mayoría de los casos. Durante el secado del papel, se llevan al cabo dos operaciones unitarias que son: a) transmisión de calor (del secador al papel) y b) transferencia de masa (entre el aire que rodea al secador y el agua que se está evaporando del papel).

La cantidad de calor necesaria para secar el papel, está dada por la siguiente ecuación:

$$Q = U \cdot A (\Delta T)$$

Donde:

Q = Calor total transferido

U = Coeficiente total de transferencia de calor

A = Area del secador

T = Diferencia de temperaturas entre el interior del secador y la temperatura del papel, en la superficie del secador.

Del análisis de la ecuación anterior, podemos concluir que para tener una transmisión de calor más eficiente, se tiene que :

- 1) Incrementar el coeficiente total de transmisión de calor.
- 2) Incrementar el área de transmisión de calor.
- 3) Incrementar la diferencia de temperaturas entre el interior del secador y la superficie del papel.

Generalmente después de secar el papel, éste se sumerge en soluciones tales como cola animal, almidones y resinas sintéticas que imparten a éste un acabado superficial que se lleva al cabo en la prensa de encolado o "size press". La primera prensa de encolado que se instaló en una máquina de papel, fue en el año de 1936 en Cornwall, con el objeto principal de aumentar la resistencia del papel a las tintas comunes de las plumas estilográficas, haciéndolo además más resistente a la abrasión y mejorando su estabilidad dimensional.

Después de que el papel se impregna en la prensa de encolado, se pasa a otra sección de secadores los cuales secan al papel rehumedecido hasta dejarlo a una humedad que varía del 5 a 9 % para ser calandrado entre rodillos que lo alisan y le dan brillo.

A éstos rodillos se les llama calandra, los cuáles están colocados verticalmente uno sobre el otro (el número de éstos varía de 2 a 8 para máquinas convencionales), mismos que giran en el mismo sentido del movimiento del papel y por la acción mecánica ejercida sobre éste se torna más liso (satinado) y brillante.

Finalmente, el papel se enrolla y de esta manera, está listo para ser procesado por las máquinas convertidoras (cortadoras, reembobinadoras, guillotinas, hojeadoras, etc.) y ser enviado al cliente.

Es sumamente difícil, abarcar todos los conceptos, teorías, y estudios realizados acerca de la manufactura de papel, pero creemos que con esta descripción general de los procesos que la integran, el lector podrá tener una idea clara de como se fabrica el papel y de los factores que afectan su calidad.

CAPITULO II

II.1 INCORPORACION DE CARGAS MINERALES EN EL PAPEL.

El proceso de adicionar materia mineral a la pasta previamente a la formación del papel en la máquina, es muy antiguo. En los inicios de esta práctica, el agregar cargas era considerado como una adulteración, pero en la actualidad sabemos que estos materiales incorporados al papel en las cantidades adecuadas, lo mejora en muchas de sus características, siendo muy recomendable para papeles que serán usados para impresión, debido a que aumentan su opacidad, blancura, lisura, brillo y mejoran notablemente la receptibilidad de las tintas usadas en los procesos de impresión.

II.1a) TIPOS DE CARGAS USADOS EN LA INDUSTRIA DEL PAPEL.

Entre otras, las principales cargas usadas en la industria papelera son el caolín, talco (agalita y asbestina) carbonato de calcio, dióxido de titanio, sulfuro de cinc y sulfato de calcio, de los cuales los más usados son el caolín y el carbonato de calcio.

Las cargas deben cumplir con ciertos requerimientos a fin de que su uso sea adecuado para el papel. Deben tener alta blancura y brillantez, alto índice de refracción, el tamaño de sus partículas debe ser pequeño y uniforme, muy baja solubilidad en agua y baja gravedad específica.

Un factor que no debemos perder de vista y que resulta de primordial importancia, es que estos materiales deben ser químicamente inertes, con el objeto de que no reaccionen con cualquier otro de los materiales usados en la fabricación del papel.

II.1b) CAOLINES.

Los caolines cumplen con todos los requerimientos anteriores a excepción hecha de su índice de refracción que es relativamente bajo y de su abrasividad, pero por todas sus otras propiedades es un material altamente recomendado para ser utilizado como carga.

En general, el caolín lavado con agua, resulta más costoso pero sus resultados son más benéficos que el caolín flotado en aire, puesto que su tamaño de partícula es más fino y uniforme, además que tiene mejor color. Para usar uno u otro, será factor decisivo el costo de cada uno y la calidad requerida en el papel. (Sobre el caolín, hablaremos más ampliamente en el Capítulo III del presente trabajo).

II.1c) DIOXIDO DE TITANIO.

El Dióxido de Titanio (TiO_2) existe en la naturaleza en tres formas cristalinas, de las cuáles sólo dos resultan atractivas desde el punto de vista comercial: La Anatasa

y el Rutilo. Siendo la principal diferencia de estas dos formas cristalina el índice de refracción, mayor en el Rutilo que en la Anatasa.

Los pigmentos del Dióxido de Titanio tienen la propiedad de poseer un alto poder para impartir altas opacidades al papel, puesto que su índice de refracción es alto, además el alto grado de brillantez es otra gran virtud de estos pigmentos, sin embargo, su uso se ve limitado por su costo tan elevado a ciertos papeles muy especializados, en los que se requieren altas opacidades sin detrimento de las resistencias, a la tensión y al rasgado de la hoja. Este efecto de alto costo, se ve compensado hasta cierto punto, ya que a bajos porcentajes de este pigmento se obtienen altas opacidades. Su uso principal está en la fabricación de papeles para libros, papeles para impresión offset y algunos papeles para escritura de alta calidad. Es usual encontrar que el Dióxido de Titanio se use en rangos que van del 1 al 5 % para papeles como los que mencionamos anteriormente, aunque en ocasiones se usan porcentajes mayores (sobre el 15%) para papeles aéreos, Biblia y para algunos papeles base para la laminación con algún material plástico.

II.1d) CARBONATO DE CALCIO

El carbonato de calcio, se usa como carga en el siguiente tipo de papeles: papel cigarrillo, papel Biblia y otros.

Se puede obtener en dos formas, en forma natural y en forma precipitada.

En la Industria Papelera se usa más comunmente en su forma precipitada, puesto que presenta la ventaja de ser menos abrasivo que el natural porque sus tamaños de partículas son más uniformes y finos. (3 a 5 micras el natural y de 0.2 a 0.5 micras el precipitado).

Tiene como desventaja que limita su uso, la de reaccionar con el Sulfato de Aluminio y con los ácidos. Sus ventajas principales son: su alta brillantez (95 a 99%) y su gran capacidad de absorción de aceites, con lo cual se facilita el secado de las tintas usadas en la impresión, excepto para la impresión offset que usa ácidos para dispersar sus tintas, mismos que reaccionan con el carbonato de calcio con el consecuente problema de imposibilitar su uso para este tipo de impresión.

Por ésto, es necesario que se use en medio alcalino, pero la mayoría de los papeles debido al tipo de encolantes que requieren se fabrican a pH ácido (4.5 a 5.5). Los efectos que tiene el carbonato de calcio cuando reacciona con el sulfato de aluminio es formación de gran cantidad de espuma, por liberación de CO_2 .

II.1e) SILICATO DE CALCIO.

Las principales razones por las que se usa el silicato de calcio en el papel, son que aumenta el espesor del

papel a diferencia de otras cargas que aumentan más el peso base del papel que el espesor.

Este material puede comprarse seco, o bien ser preparado "in situ" durante la manufactura, a este proceso patentado se le denomina proceso de relleno fibroso.

En el citado proceso, el silicato de calcio se precipita sobre las fibras, pasando la pasta a través del refinador a una consistencia del 3% y refinándola en presencia de una solución al 10% de silicato de sodio con cloruro de calcio, obteniéndose de esta manera finas partículas de silicato de calcio de 0.05 micras.

Cuando se compra seco el silicato de calcio, tiene una gravedad específica de aprox. 2.1 y tamaños de partícula de 0.07 micras.

II.1f) TALCO .

El talco es un silicato de magnesio hidratado, cuya fórmula aproximada es $H_2Mg_3(SiO_3)_4 \cdot H_2O$ se usa debido a que le proporciona un tacto muy especial al papel (tersura).

El talco tiene una gravedad específica de alrededor de 2.75 y un tamaño de partícula que varía de 1 a 10 micras y su brillantez sobre el 90 %.

Además de los brevemente descritos, existen otros pigmentos que tienen algunas inconveniencias que limitan su uso

a papeles muy especializados. Por ejem: cartulinas y cartones muy especiales.

II.1g) SULFURO DE CINCO.

Tiene como desventaja que oscurece los papeles tanto de color como blancos si en la solución hay cobre. Además reacciona con el encolante.

II.1h) PIGMENTOS DE BARIO.

Tienen como característica alta gravedad específica - por lo que se retiene difícilmente al formar el papel. Sin embargo, imparten un brillo muy especial y los papeles en los que se usan estos pigmentos permanecen particularmente muy planos.

II.1i) SULFITO DE CALCIO.

Este material debe ser manejado con mucho cuidado, ya que si se usa en papeles en los que se realiza encolado, por el método de Sulfato de Aluminio-Brea, reacciona con el sulfato de aluminio produciendo SO_2 que es sumamente corrosivo de los metales.

II.2 CANTIDAD DE CARGA USADA.

Las cargas se utilizan generalmente en rangos que varían de 1% a 40% máximo. En función de las calidades de papel

a producir se utiliza el porcentaje de carga y el tipo de carga más adecuado. Se coloca a continuación una tabla que indica calidad de papel (grado de papel), tipo de carga y el porcentaje de acuerdo a esas calidades.

TIPO DE PAPEL	CARGA	% DE CARGA
Bond y Escritura	TiO ₂ y caolín	1 a 6
Libros y Revistas	TiO ₂ y caolín	5 a 40
Papel para Offset	TiO ₂ y Caolín	0 a 10
Biblia	Caolín, CaCO ₃ , TiO ₂	20 a 30
Cigarrillo	CaCO ₃	25 a 40
Mimeógrafo	Caolín	10 a 20
Envoltura	Talco o Caolín	10 a 20
Periódico	Caolín o CaCO ₃	0 a 6

II.3 METODOS PARA SUMINISTRAR LAS CARGAS.

De manera general, el método para adicionar las cargas a la pasta no es complicado, haciéndose en muchas fábricas esta adición del material en forma seca con la inconveniencia de que en esta forma se introducen materiales extraños junto con la carga, por lo cual es recomendable dispersarla en agua, filtrarla o calarla y después adicionarla a la pasta.

En algunos casos el caolín se adiciona en suspensión - agregándole alguna cantidad de sulfato de aluminio con el objeto de que ayude a la retención. Es una práctica

generalizada el agregar las cargas después que la fibra ha sido refinada y encolada con el objeto de evitar al máximo el contacto de las cargas que generalmente son abrasivas con el equipo de refinación. Lo más conveniente sería adicionar las cargas antes de la refinación ya que con ésto se lograría homogenizar perfectamente todo el material fibroso con la carga, pero los daños ocasionados al equipo limitan bastante esta práctica.

II.4 EFECTOS DE LAS CARGAS

El objeto de introducir cargas al papel es porque mejoran tanto las propiedades físicas como las propiedades ópticas del mismo. En general las características que imparten las cargas al papel son que aumentan su lisura, su opacidad, su brillantez y facilitan su impresión. El caolín tiene la propiedad de ser humedecido más fácilmente que las fibras de celulosa por lo cual la impresión resultante será más nítida. Un efecto secundario que ejercen las cargas es que el papel aumenta en peso volviéndose más suave y menos rígido conforme aumenta el porcentaje de carga.

El carbonato de calcio usado como carga en el papel cigarrillo por ejemplo, ayuda a regular la velocidad de quemado.

Por otro lado, el uso exagerado de cargas tiene una serie de efectos indeseables en las propiedades del papel

de los cuales los más importantes son que disminuyen las resistencias del mismo y por otro lado el encolado se ve afectado adversamente en relación directa al contenido de carga en el papel.

Uno de los defectos más peligrosos y reclamados por los clientes que usan papel para impresión es el "polveo". El polveo se produce por dos razones: 1) Demasiada carga 2) Carga no retenida y que permanece en la superficie del papel. Este defecto puede pasar inadvertido durante la fabricación a no ser que se pase la palma de la mano sobre el rollo que se está fabricando, el polveo se evidenciará por la aparición de una mancha blanca en la mano. Para evitar el polveo se usan diversos aditivos como por ejem. el almidón y otras resinas que ayudan a la fijación de las cargas impidiendo que éstas queden sueltas en la superficie del papel.

II.5 EFECTOS DE LAS CARGAS EN LA OPACIDAD.

Los efectos de opacidad y blancura están determinados por la cantidad de luz disipada, reflejada y absorbida por la carga.

La opacidad del papel está en función de algunas variables las cuales son: calibre del papel, densidad del papel y su índice de refracción.

La opacidad de un material se incrementa conforme el tamaño de partícula disminuye, ya que de esta manera no

quedan espacios por los cuales puede pasar la luz; a este respecto Stuz y Pfund dicen que el tamaño de partícula más adecuado para que el poder cubriente y de opacidad sea el óptimo debe ser la mitad de la longitud de onda de la luz que se usa para ver el material. En otras palabras y dando cifras podemos decir que el rango de tamaño de partícula en el cual tenemos máximo poder cubriente y de opacidad está entre 0.1 micras mínimo hasta 0.5 micras máximo, que fueron fijadas en base a la longitud de onda que tiene la luz ordinaria.

II.6 EFECTOS DE LA CARGA EN LA BLANCURA.

El tipo de proceso de blanqueo usado para blanquear la pulpa en unión con las cargas son el principal medio de proporcionar blancura al papel. El incrementar la blancura y brillantez de un papel depende fundamentalmente de la brillantez propia de la carga y del tipo de pulpa. Por ejemplo, podemos decir que una pasta que tenga una blancura de 50% podría aumentarla a 52% si le adicionáramos 1% de Dioxido de Titanio, similarmente si tuviéramos una pasta con una blancura de 90% podríamos aumentarla a 91.5% si le adicionáramos 2% de Dióxido de Titanio. El calandreado excesivo provoca que la brillantez del papel decrezca sobre todo si éste tiene mucha carga, ya que los papeles cuyo contenido de carga es alto tienden a obscurecerse con el calandreado.

II.7 EFECTOS DE LAS CARGAS EN LISURA Y OTRAS PROPIEDADES.

En general, las cargas aumentan la lisura del papel - cuando se calandrearán adecuadamente, porque el material tiende a llenar los huecos que quedan en la hoja.

Además de la lisura, se afecta la absorción de aceites, ya que papeles hechos de 100% fibra absorben menos. Shaw y Simmons colocan en orden decreciente de absorción de aceites a los siguientes materiales: Carbonato de Calcio (precipitado), Carbonato de Calcio (natural), Sulfuro de Cinc, Dióxido de Titanio y finalmente Caolín.

II.8 EFECTOS DE LAS CARGAS EN LAS RESISTENCIAS.

Las cargas tienden a reducir las resistencias del papel. Por ejemplo si un papel contiene el 10% de caolín como carga, se tiene una pérdida del 20% en sus resistencias a la tensión y mucho mayor porcentaje en su resistencia al doblar, en cambio algunos casos cuando se usa gran cantidad de carga, las resistencias se ven muy afectadas en cuyo caso se hace necesario cambiar el tipo de carga por una que proporcione las mismas características pero usando menor cantidad, o definitivamente cambiar la formulación de fibras por otras que impartan mayores resistencias al papel.

Existe además, otros efectos que los materiales usados

como carga ejercen sobre el proceso, por ejemplo, afectan favorablemente la formación de la hoja pero tienen una acción desfavorable sobre la vida de telas y fieltros.

II.9 RETENCION DE CARGAS.

Se llama retención de cargas al % de la carga total adicionada, que queda retenida en el papel. Desde luego, se busca que la retención sea lo más alta posible desde el punto de vista de reducción de pérdida de carga, especialmente si se trata de cargas de alto precio como el Dióxido de Titanio. Pero no solamente se trata de que el material permanezca en la hoja, sino que además debe quedar uniforme y perfectamente sujeto entre las fibras con el objeto de que no se tengan problemas de polveo y formación deficiente.

Existe un método simple y rápido para calcular la retención, que consiste en tomar una muestra de pasta después de haber sido adicionada la carga, se obtienen las "cenizas" por calcinación y se compara este dato con las cenizas del papel producido.

II.10 VARIABLES QUE AFECTAN LA RETENCION DE CARGAS.

Hay muchos factores que afectan la retención de cargas, de los cuales los que la incrementan son: 1) Aumento del peso base de la hoja, 2) aumento del batido, 3) Aumen

to de encolantes (por la acción floculante del $Al_2(SO_4)_3$)
4) aumento de la recirculación de aguas blancas y uso de agentes de retención.

Los factores que hacen que la retención de cargas decrezca son: 1) Cuando se aumenta la velocidad de la máquina, 2) Cuando se aumenta la succión en cajas y couch, 3) Cuando se aumenta la dilución de la pasta, 4) Cuando se aumenta el traqueo, 5) Cuando la malla de la tela es abierta y 6) Cuando en el proceso hay valores de pH altos.

II.11 TEORIAS SOBRE RETENCION.

Principalmente hay dos teorías que explican la retención: La Teoría Mecánica y la Teoría Coloidal.

a) TEORIA MECANICA DE RETENCION.

Los primeros técnicos papeleros desarrollaron la teoría de que la retención de cargas se debía principalmente a efectos mecánicos. Pero sus bases de sustentación la hacen poco confiable, ya que realizaron prueba y encontraron que se tenían mejores retenciones cuando las partículas eran mayores en tamaño. Indudablemente, desconocían que aún las partículas más pequeñas pueden ser retenidas fácilmente si éstas se floculan.

Por otra parte, los efectos que argumentaron que son los de filtración, únicamente; son ineficaces para sustentar dicha teoría, puesto que no tomaron en cuenta

que el papel no es solamente fibras y carga, sino que hay otros constituyentes que pueden tener algún efecto sobre la retención, ya sea aumentándola o disminuyéndola.

b) TEORIA COLOIDAL DE RETENCION.

Esta teoría empieza explicando que no obstante algunos pigmentos tales como sulfuro de cinc y dióxido de titanio tienen partículas muy pequeñas, sus retenciones son muy altas. Lo cual la teoría mecánica de retención por filtración no puede explicar, puesto que los poros que hay entre las fibras son mucho más grandes que las partículas de carga. La realidad es que estos materiales son retenidos por razones coloidales y no por efectos mecánicos.

Se explicó después que estas altas retenciones se debían al sulfato de aluminio que actúa como un floculante.

Dicha acción se comprueba haciendo una sencilla prueba, se coloca dióxido de titanio en suspensión y se filtra a través de un papel filtro de poro fino. Se puede observar que el pigmento pasa a través del filtro, pero si a esta misma solución se le agrega un poco de sulfato de aluminio y se filtra en un papel de iguales características que el anterior, veremos que se retiene en el mismo la carga que antes había pasado sin dificultad

a través del papel.

Más importante aún que el sulfato de aluminio, es la alúmina formada por hidrólisis de éste. Esta alúmina es absorbida por las fibras de celulosa cargadas negativamente, proporcionándole una carga positiva que atrae y retiene las partículas de pigmento cargadas negativamente.

La opinión más generalizada es que la retención de cargas se lleva a cabo por la combinación de ambos factores, o sea se debe tener una carga con tamaño de partícula adecuado y uniforme y además ayudar a que se lleve al cabo la floculación para que la retención sea más efectiva.

Como se puede apreciar en la breve descripción anterior, el agregar cargas al papel ofrece grandes retos tecnológicos que abarcan desde la selección del mejor material a utilizar como la optimización de su uso y sus funciones, es por eso y por su importancia económica, que el propósito fundamental de este trabajo es beneficiar el caolín Nacional para ser utilizado en la manufactura de papel con óptimos resultados y para cuya consecución se amplía el estudio del mismo en los siguientes capítulos.

CAPITULO III

EL CAOLIN .

Antes de compenetrarnos en la química del caolín, es pertinente hacer una serie de definiciones que nos servirán para tener un criterio más amplio y conocer más a fondo las características del mismo.

III.1a) ARCILLA.

La arcilla se define como un sistema disperso de fragmentos minerales formado por silicatos de alúmina hidratada, en el cual el tamaño predominante de partícula es inferior a dos micras. Este sistema es plástico cuando está húmedo y duro cuando ha sido calcinado, de lo anterior se deduce que el término "arcilla" se refiere más bien a su estado físico y no a una composición química definida.

III.1b) CAOLIN O ARCILLA CHINA

El nombre caolín proviene de la corrupción del idioma Chino, en donde "cauling" significa cerro o colina alta, siendo este el nombre de una loma cercana a Jauchau Fu, de la cual el mineral se obtiene. El caolín o arcilla China, puede definirse como una arcilla derivada de la descomposición de los minerales aluminosos como son los siguientes: cuarzo, feldespato y mica.

III.1c) CAOLINITA.

La caolinita es un silicato de aluminio hidratado, de composición química definida, que generalmente se presenta en forma de cristales muy pequeños.

III.1d) ARCILLAS PRIMARIAS O RESIDUALES

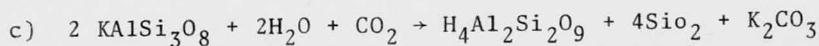
Reciben este nombre, las arcillas que se encuentran en sus puntos originales o puntos de formación.

III.1e) ARCILLAS SECUNDARIAS O SEDIMENTARIAS.

Estas se encuentran en puntos diferentes a los originales en los que fueron formadas. Pudiendo haber sido transportadas por aire (vientos) o por agua (ríos y corrientes subterráneas).

III.1f) ARCILLAS DURAS Y ARCILLAS BLANDAS.

Las arcillas que se usan en la industria huleira, son clasificadas por los técnicos como arcillas duras o arcillas blandas; de esta manera la arcilla que produce altos módulos de elasticidad, tensión y buena resistencia a la abrasión se denominan "arcillas duras", mientras que aquellas que producen bajos módulos de elasticidad, bajas tensiones y baja resistencia a la abrasión se llaman "arcillas blandas". Esta es una clasificación arbitraria y no tiene ninguna relación con la formación geológica o con la composición química de las arcillas.

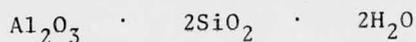


Feldespato

Caolinita

Cuarzo

La fórmula de la caolinita puede escribirse también de la siguiente forma:



III.3 MINERALOGIA.

El constituyente esencial del caolín es la caolinita, o sea el silicato de aluminio hidratado.

Muchas arcillas sin embargo, contienen otros minerales aluminosos hidratados, además de contar con mayor o menor cantidad de cuarzo finamente dividido y en general productos previos a la descomposición total, estos productos serían mica y cuarzo. Los conceptos más modernos sobre la mineralogía de las arcillas, las agrupa en tres grandes grupos que son:

- a) Grupo del caolín.
- b) Grupo de la Montmorillonita.
- c) Grupo de la Illita.

Estos grupos, se distinguen uno de otro no sólomente por sus diferencias en composición química, sino además muy particularmente, por sus diferencias en estructura cris-

talina. De esta manera el grupo del caolín, está representado por una estructura cristalina en donde una lámina de Gibbsita está unida con una lámina de sílice, formando una red de cristales no expansibles. Mientras que los otros dos grupos, el de la Montmorilonita e illita, forman redes de cristales que se expanden cuando están en agua, consistiendo estos en una lámina de Gibbsita encerrada por dos láminas de sílice.

Las arcillas formadas por estructuras cristalinas no expandibles, (grupocaolín) se dice que fluyen libremente en agua y tienen una cierta actividad superficial mientras que aquellas formadas por los cristales expandibles (grupo Montmorilonita e Illita) forman sistemas de gran actividad coloidal que absorben agua, produciendo sistemas muy plásticos por la gran cantidad de Alumina coloidal que se produce.

Los principales minerales pertenecientes al grupo de los caolines son: la Nacrita, la Dickita y, la Hallosita, mientras que las asociadas con el grupo de la Montmorilonita son: la Pirifilita, talco montmorilonita y la Beidelita.

Los yacimientos de arcilla en la naturaleza, pueden estar formados por una sola variedad mineral, ligeramente contaminados por cantidades variables de otras especies, o bien, por mezclas raras de otros tipos de arcillas minerales; un depósito de Caolinita pura, no ha sido encontrado todavía. La Caolinita natural, frecuentemente se

encuentra contaminada por pequeñas cantidades de Montmorilonita y de partículas arcillosas muy pequeñas, que tienen la peculiaridad de formar alúmina en agua. Si su presencia es demasiado alta, estas contaminaciones ejercen una influencia negativa para obtener un flujo uniforme y constante. Este tipo de contaminantes del caolín limitan su uso para recubrimiento del papel por los efectos gelatinizantes descritos anteriormente.

III.4 COMPOSICION QUIMICA DEL CAOLIN.

Aunque la caolinita ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) es el constituyente principal de los caolines industriales, la mayoría contiene asociados a la caolinita otros minerales.

La composición química del caolín, se expresa usualmente en término de los óxidos de los diversos elementos que lo constituyen, no obstante que éstos se presenten como compuestos de fórmula química desconocida o muy complicada.

Los elementos que se encuentran en el caolín y la manera usual como se reportan en un análisis sería como sigue:

III.4a) SILICIO

Se presenta en dos formas: 1) como cuarzo y 2) como silicatos. El porcentaje de cuarzo y el de silicio total combinado se encuentra variando entre ciertos límites en los caolines comerciales.

III.4b) ALUMINIO.

La relación sílice - alúmina, varía en los caolines industriales de 1/2 a 8, en función de la forma como se formó, en función de las rocas que son su origen y además de las condiciones en las cuales se llevó al cabo la lexiciviación.

III.4c) FIERRO.

El hierro es uno de los constituyentes más comunes de los caolines. Los caolines industriales más blancos con tienen porcentajes bajos de hierro (0.4 a 2% como Fe_2O_3). Las formas como se encuentra el hierro no están muy bien definidas, pero se sabe que está muy fuertemente unido pudiendo encontrarse como silicato.

III.4d) TITANIO

Este elemento es muy común en el caolín pero raramente se encuentra en cantidades mayores al 4.5 %

III.4e) CALCIO

Las mayores cantidades de este elemento se encuentran en los caolines baratos. Puede presentarse como carbonato, sulfato o silicato, reportándose como óxido de calcio.

III.4f) MAGNESIO.

Existe en pequeñas cantidades en el caolín siendo su valor máximo de alrededor del 1%.

III.4g) SODIO Y POTASIO.

Estos elementos se encuentran en el caolín debido a la descomposición parcial de la mica y el feldespato.

III.4h) MANGANESO.

Se encuentra ocasionalmente en caolines residuales y muy raramente en caolines de tipo sedimentario.

III.4i) HIDROGENO Y OXIGENO

Estos elementos se encuentran en forma de agua, pudiendo existir en dos formas, absorbida mecánicamente o químicamente combinada (como agua de cristalización). Se ha visto que algunos caolines son muy higroscópicos y pueden absorber hasta el 10% de agua.

III.5 PRODUCCION DE CAOLIN

El rendimiento de los caolines industriales que se encuentran en depósitos de tipo residual, varía del 10 al 40%. Por otro lado, como los depósitos sedimentarios por el hecho de contener menor cantidad de impurezas permiten que los métodos de purificación sean más económicos, además dichos métodos son más simples. Por lo tanto los depósitos sedimentarios son los más apropiados para la explo-

tación de tipo comercial.

No obstante que la tecnología de los caolines empezó desde 1900, no fue hasta 30 años después que se empezaron a desarrollar métodos de proceso más apropiados. En los primeros años, el caolín era empacado en estado crudo, o parcialmente purificado mediante depuraciones muy rudimentarias. Pero conforme fue aumentando su demanda y las características requeridas por los clientes se hicieron más estrictas en lo que se refiere a tamaño de partícula, blancura y algunas características reológicas, fue necesario que los procesos se perfeccionaran grandemente. Todo esto provocó que lo que empezó como una conversión relativamente simple, se tornara un complicado y preciso arte que requirió de grandes inversiones de capital y personal técnico muy especializado.

En general la producción de caolín se puede dividir en dos pasos: a) Obtención del producto en la mina y b) Procesamiento.

III.5a) OBTENCION EN LA MINA.

La obtención del caolín en la mina, puede dividirse en los siguientes pasos progresivos: 1) exploración, 2) remoción de las arenas superficiales, 3) extracción del mineral y 4) transporte del crudo a la planta de procesamiento. Una vez que el crudo llega a la planta la operación de obtención termina y principia el procesamiento

del mineral.

En la exploración del depósito se requiere de la evaluación cuidadosa del mismo para determinar las características del mineral y de esta manera determinar su uso.

Las arcillas naturales varían en ciertas propiedades esenciales como: tamaño de partícula, color y muy particularmente su comportamiento reológico. Dichas variaciones no solamente aparecen en depósitos separados, sino que en ocasiones, en el mismo depósito se encuentran las variaciones antes mencionadas. Por ejemplo, no es difícil encontrar un caolín que posea propiedades de flujo adecuadas y otra porción del mismo depósito con propiedades diferentes. Ya que las características de un caolín son el reflejo del crudo del que provienen, es muy conveniente predeterminar la calidad y uniformidad del depósito. Esto se realiza por exploraciones con barrenos que además no sólo sirven para determinar la calidad del mineral, sino que además, delimitan la extensión del depósito. Estas exploraciones son de gran utilidad y la maquinaria que se usa es simple y fácil de operar.

Otra fase importante de la exploración, es la evaluación en el laboratorio del crudo obtenido. Esta evaluación comprende: 1) determinar la blancura del crudo, 2) la cantidad y naturaleza de las impurezas, 3) evaluación de tamaño de las partículas en el crudo y 4) una evaluación del producto final. Los caolines que serán usados

en la Industria Papelera, se someten además a una prueba de blanqueabilidad, con el objeto de saber si proporcionarán las altas blancuras que se requieren, así como pruebas para determinar su abrasividad.

Los procedimientos necesarios para una evaluación completa de las muestras obtenidas de la mina son los siguientes:

- 1.- Limpieza de los terrones de caolín mediante un lavado muy cuidadoso, y pruebas minerológicas, sobre todo para conocer la cantidad de montmorilonitas.
- 2.- Hacer la determinación de blancura en cada muestra.
- 3.- Dividir las muestras obtenidas correspondientes a los diferentes estratos, en recipientes separados identificando perfectamente las profundidades a las cuales la muestra fue obtenida.
- 4.- Determinar la cantidad de residuo en mallas 200 y 325.
- 5.- Mezclar y fraccionar cada muestra de tal manera que el peso de la fracción recuperada esté compuesta de partículas de menos de 2 micras en un 75 a 80 % del peso total de la muestra.
- 6.- Blanquear, filtrar y secar cada muestra, apegándose lo más posible a los métodos usados en la planta de procesamiento del caolín.
- 7.- Determinar la blancura de la mezcla ya purificada y blanqueada.

- 8.- Determinar las propiedades de flujo de las muestras en un sistema caolín - agua al 70%. Observando también la facilidad de dispersión del caolín en agua.
- 9.- Determinar la velocidad de sedimentación del caolín.
- 10- Determinar cobre y manganeso en cada muestra.
- 11- Comparar las características obtenidas de las muestras contra las especificaciones que el producto debe reunir según su uso papel, cerámica, adhesivos, etc.

Todos los datos que se obtienen durante la exploración, sirven para determinar la profundidad de las arenas en la superficie del depósito, calidad y cantidad del caolín crudo del depósito, y la pendiente de la cama del yacimiento de caolín. Este último punto es particularmente importante para determinar el punto por el cual se va a empezar a explotar la mina. Debe llevarse una historia completa de la mina, incluyendo mapas, y toda la información obtenida durante la exploración. Esto permite al productor de caolín, tener un conocimiento más exacto en lo que se refiere al aspecto económico de sus depósitos, además que le permite conocer con bastante exactitud los inventarios de los diferentes caolines existentes en la mina.

Para llevar al cabo la remoción de las arenas superficiales del depósito, se requiere de equipos tales como tractores, rastrillos mecánicos, trascabos, etc.

La arcilla es obtenida en mantos que están accesibles una vez que se removieron las arenas de la superficie. El caolín obtenido se transporta crudo a la planta por varios medios: bandas transportadoras, trailers, o bien en vagones de ferrocarril.

Una vez que el crudo llega a la planta, se muele en molinos de bolas o martillos, hasta tenerlo en forma de pequeños terrones para después almacenarse en bodegas separadas de acuerdo a su calidad. Hay algunos productores que preparan suspensiones de caolín en la mina y los bombean de la mina a la planta donde se procesan.

III.5b) PROCESAMIENTO.

El procesamiento del caolín se puede llevar al cabo por dos métodos: a) proceso seco o flotado al aire y b) proceso húmedo o de clasificación en agua.

a) PROCESO SECO O FLOTADO AL AIRE.

El proceso seco como su nombre lo indica, involucra la pulverización del caolín crudo y la separación de impurezas excesivamente grandes. Las partículas con el grado de finura adecuado, son levantadas de los molinos por la acción de corrientes de aire, mientras las partículas rechazadas salen en una corriente ascendente por la parte superior del separador.

Los terrones de caolín crudo ya molidos, contienen una humedad aproximada del 20 al 25% que alimentan a un se-

cador rotatorio, del cual salen con un contenido de humedad que va del 1 al 2%. El uso de este tipo de caolines se determina principalmente por su blancura, su abrasividad y por su residuo en malla 200.

b) PROCESO HUMEDO

El principio del proceso en húmedo consiste en manejar el caolín suspendido en agua. Este proceso es más complicado que el proceso seco, ya que involucra la separación de las fracciones de caolín que se salgan de ciertos rangos, mismos que se determinan por las características finales requeridas para un cierto uso, además es necesario filtrarlo y finalmente secarlo.

Debido a la actividad superficial que tienen los caolines, es imposible alterar las propiedades de los sistemas agua - caolín. Sin embargo, se han encontrado compuestos químicos que ayudan a hacer los sistemas agua - caolín más fluidos si se adicionan adecuadamente; estos compuestos son: metasilicato de sodio, pirofosfato tetrasódico, o hexametafosfato de sodio. Si por el contrario se adicionan al sistema pequeñas cantidades de ácidos, sales ácidas y aún sales neutras, se tendrán aumentos en la viscosidad del sistema.

Los caolines en agua poseen una carga negativa que tienden a neutralizar por la absorción de iones de carga positiva. Dependiendo del tipo y concentración de los iones absorbidos, se crean fuerzas de atracción y de repul

sión entre las partículas por lo que cuando las fuerzas de repulsión predominan, el sistema es más fluído, si por el contrario predominan las fuerzas de atracción, lógicamente las partículas tenderán a unirse formando un sistema más viscoso.

En la Industria se conocen dichos compuestos que rompen aglomeraciones de partículas como agentes dispersantes, mientras que los compuestos que las aglomeran se conocen con el nombre de agentes floculantes.

En la producción de caolín por el proceso húmedo se usan ambos tipos de agentes. En la fase primaria del proceso, el fabricante de caolín requiere romper la floculación para facilitar la clasificación del caolín y en la fase final se requiere de agentes floculantes que son de gran utilidad sobre todo para la recuperación de las partículas más pequeñas que se obtienen después de la clasificación.

Como se explicó anteriormente, la adición de los agentes dispersantes al sistema caolín - agua provocan que se reduzca su viscosidad para hacer de él un sistema más fluído. Cuando dicha suspensión ya tratada con el agente dispersante se deja en reposo, se observa que las impurezas tales como: cuarzo, mica, montmorilonitas, etc. empiezan a formar lodos que se sedimentan en el fondo del tanque clasificador, siguiendo a estos lodos un estrato bien definido que corresponde a las partículas más



grandes de caolín. Debido a que estas partículas sedimentadas forman una capa compacta, es posible separarla por decentación y a la suspensión restante que corresponde a caolín de tamaños de partículas menores, puede utilizarse para los propósitos más convenientes.

Las fracciones residuales generalmente se diluyen, se vuelven a agitar, de donde se obtienen algunas materias primas que son de bajo costo que se usan como rellenos de baja calidad.

Para mejorar la blancura y brillantez del caolín, generalmente se le adicionan sales de cinc o de sodio para reducir químicamente los óxidos de fierro que son insolubles hasta compuestos ferrosos solubles.

Además de lo anterior, el proceso de blanqueo del caolín, requiere de acondicionamientos químicos adicionales, tales como tener la solución a pH adecuado y con un grado de floculación conveniente. En general el incremento de la blancura del caolín nativo contra la obtenida después del proceso de blanqueo es del 2 al 15% dependiendo del yacimiento y de los reactivos químicos usados.

Una vez blanqueado el caolín, éste es filtrado, ya sea usando filtros prensa, o por filtros de tambor continuos. El filtrado que contiene del 30 al 35% de humedad se pasa al siguiente paso que es el secado.

El secado del caolín se lleva al cabo ya sea en secadores rotatorios o en secadores de tunel para posteriormente pulverizarlos en molinos de bolas o de martillos. En estas condiciones el caolín se empaca en sacos y es embarcado a la bodega para su almacenamiento.

III.6 ANALISIS DEL CAOLIN.

A continuación se describen los métodos de análisis utilizados durante el presente estudio.

METODO I

Determinación del % de sólidos en un sistema caolín - agua, por el método de Gravedad Específica.

Este es un procedimiento rápido y sencillo para determinar el porcentaje de sólidos en una mezcla caolín-agua. Este procedimiento es congruente con los resultados obtenidos por la pruebas convencionales por evaporación. Viéndose limitado a suspensiones fluídas y no es recomendado para concentraciones mayores de 73%.

APARATOS REQUERIDOS.

- 1.- Balanza analítica con sensibilidad de 15 mg.
- 2.- Dos vasos de precipitados de 250 ml.
- 3.- Termómetro C.
- 4.- Probeta graduada de 100 ml.
- 5.- Un Lápiz marcador.
- 6.- Una espátula.

7.- Una malla 200.

CALIBRACION DE LA PROBETA.

- 1.- Tener a la mano 150 ml. de agua destilada a la temperatura del laboratorio.
- 2.- Leer en un manual de química el peso de 100.00 ml. de agua a la temperatura del laboratorio.
- 3.- Pesar con mucho cuidado el agua en la probeta graduda de 100 ml. Se debe pesar la cantidad de gramos que pesan 100.00 ml. de agua a la temperatura que tiene el laboratorio. Este dato se obtiene en el manual.
- 4.- Colocar la probeta en una superficie plana y hacer una marca con el lápiz marcador en la parte superior del menisco formado. Esta es la calibración a 100 ml.

PROCEDIMIENTO.

- 1.- La suspensión de agua-caolín que se encuentra en el vaso de precipitados de 250 ml. se ajusta a la temperatura de calibración anterior, haciendo uso para ésto de baños de agua y agitando la suspensión continuamente con el termómetro.
- 2.- Filtrar la suspensión en la malla 200 y recibir el filtrado en otro vaso de precipitados de 250 ml. con ésto no solamente quitamos impurezas y aglomerados, sino también removemos burbujas de aire en la suspensión que conducirían a un resultado erróneo.
- 3.- Adicionar la suspensión filtrada, a la probeta que fue calibrada misma que se encuentra reposando en

una superficie plana. Cuando se llega a la marca que indica 100 ml. se suspende la adición. Se golpea la probeta con el dedo para obtener un menisco bien visible. La exactitud de la determinación depende de que el menisco esté bien claro. El exceso de suspensión puede removerse con la espátula.

- 4.- Pesar la probeta calibrada y la suspensión problema restando al peso obtenido el peso de la probeta vacía y seca.
- 5.- Dividir el peso de la suspensión entre 100 para obtener la gravedad específica. Leer en la tabla No. 1 la concentración de sólidos en por ciento correspondiente a la gravedad específica de la suspensión problema.

METODO II.

DETERMINACION DEL TAMAÑO DE PARTICULA POR EL METODO HIDROMETRICO.

APARATOS REQUERIDOS.

- 1.- Hidrometro Bouyoucos, rango de -2 a 60 gramos. Taylor instruments.
- 2.- Mezclador Hamilton # 30 con empaque de hule en la tapa.
- 3.- Dos frascos graduados de 1 lt. de capacidad.
- 4.- Agitador para resuspender la suspensión en el frasco de 1lt. un disco de hule de 5.6 cm. de diámetro

- y 3 mm. de espesor unido a una malla de 4 mm.
- 5.- Un lienzo de franela suave. (50 cm. x 50 cm.)
 - 6.- Un cronómetro con alarma, rango de 0 a 120 minutos.
 - 7.- Un recipiente para colocar los frascos de 1 lt. en él, y que permanezcan sumergidos hasta la marca de 1 lt. Mantener la temperatura del baño constante.
 - 8.- Malla 325 de 15 cm. de diámetro.
 - 9.- Un recipiente de acero inoxidable de 4000 ml. de capacidad.
 - 10- Otros equipos de laboratorio, incluyendo balanza, termómetro y platos de evaporación o cápsulas de porcelana.

REACTIVOS REQUERIDOS.

- 1.- Agua destilada.
- 2.- Hexametáfosfato de sodio.
- 3.- Agente humectante.

PROCEDIMIENTO.

- 1.- Moler los terrones de caolín en un mortero.
- 2.- Colocar 500 ml. de agua destilada y Hexametáfosfato de sodio en el mezclador Hamilton. Usar 0.5 gr. de Hexametáfosfato para caolines no predispersos, y 0.35 gr. para caolines predispersados.
- 3.- Pesar 50 ± 0.05 gr. de caolín base seca. Ya sea que se determine la humedad cuidadosamente o bien secar

completamente la muestra a 100 - 110 °C en la estufa hasta peso constante. Agregar el caolín pesado al mezclador.

- 4.- Agitar por espacio de 10 minutos en el agitador Hamilton a la máxima velocidad del agitador. Cubrir el mezclador con la tapa de hule para evitar pérdida del caolín.
- 5.- Pasar la suspensión a través de una malla 325 y recibir el filtrado en el recipiente de acero inoxidable de 4000 ml. de capacidad. Usando una pizeta, lavar cuidadosamente la tapa de hule y pasar estos lavados por la malla 325 procurando lavar también el residuo retenido en dicha malla.

Lavar el residuo de la malla y colocarlo en la cápsula de porcelana. Dejarlo reposar por espacio de 2 ó 3 minutos y decantar la solución. Secar el residuo de la cápsula a 105 °C, dejarlo que se enfríe y pesarlo. El peso del residuo multiplicado por 2 es el porcentaje de caolín con tamaño de partícula mayor a 44 micras.

Pasar la suspensión al frasco de 1 lt. ya calibrado como se hizo anteriormente y lavar todo el caolín con agua destilada. Agregar una gota de agente humectante y colocar el frasco graduado que contiene la solución en baño María. Cuando la temperatura de la suspensión alcance la temperatura del baño, llenar el frasco con agua destilada hasta la marca que in-

dica 1 lt. exacto de capacidad.

Para preparar la solución dispersante, colocar 0.5 gr. de Hexametáfosfato de sodio con 500 ml. de agua destilada, agitando hasta que se disuelva. Pasar la solución al frasco graduado de 1 lt. diluir a 1000 mo. con agua destilada y agregar una gota de agente humectante. Colocar esta solución en el baño. La temperatura de este baño debe ser la misma que la de la suspensión de caolín

Mezclar la suspensión de caolín vigorosamente con el agitador teniendo cuidado de no introducir aire - al sistema. Sacar el agitador y arrancar el cronómetro.

- 6.- Tomar lecturas con el hidrómetro cada 0, 10, 20, 30, 60, 120, 240 y 360 minutos. El % de caolín con tamaños menores a 2 micras puede calcularse después de la lectura de los 360 minutos.

Para obtener lecturas exactas en el hidrómetro, éste debe estar limpio. Después de la primera lectura lavar el hidrómetro con agua limpiándolo con la franela, cuando no se esté usando el hidrómetro, éste debe permanecer en la solución dispersante.

Hacer las lecturas del hidrómetro de la siguiente manera:

- a) Levantar el hidrómetro de la solución de Hexametáfosfato, dejarlo escurrir y secarlo con la franela.

- b) Introducir el hidrómetro lentamente en la suspensión de caolín en un tiempo de aproximadamente 10 segs. y dejarlo a 1 mm. del fondo.
- c) Leer la lectura del hidrómetro en la parte superior del menisco alrededor del vástago, con aproximación de 0.1 gr/lt.
- d) Levantar el hidrómetro de la suspensión lentamente (aproximadamente en 10 segundos) y quitar el excedente de caolín con agua destilada.
Colocar el hidrómetro nuevamente en la solución de Hexametafosfato y sacarlo de ésta hasta que se haga una nueva determinación.
- e) Tomar nota de la temperatura de la suspensión después de cada lectura del hidrómetro.

CALCULOS PARA EL TAMAÑO DE PARTICULA.

Teórica.

El cálculo del diámetro de partículas está basado en la ley de Stokes que tiene la siguiente fórmula general:

$$D_a = \frac{30 N L}{980 (G - G') T}$$

Donde:

D_a Diámetro de partícula.

N Coeficiente de viscosidad del medio de suspensión
(agua).

- L Distancia en centímetros que tienen que recorrer las partículas hasta sedimentarse.
- T Tiempo de sedimentación en minutos.
- G Gravedad específica de las partículas.
- G' Gravedad específica del medio que las suspende (aprox. 1 para agua a temperatura ambiente).

El diámetro de partícula puede ser calculado aplicando directamente la ecuación de Stokes. Un procedimiento más práctico es calcular el diámetro para diferentes períodos de sedimentación, suponiendo valores para las variables N, L y G, corrigiendo después estos valores de acuerdo a los verdaderos valores experimentales de estas variables. Este último procedimiento permite usar tablas precalculadas que simplifican mucho los cálculos y los hacen más sencillos y rápidos

La preparación de las tablas se hace de la siguiente manera:

Se calculan los diámetros a partir de la ley de Stokes a diferentes períodos de sedimentación de 0 a 360 minutos, utilizando los siguientes valores supuestos para las variables N, L y G :

N = 0.010188 (coeficiente de viscosidad del agua a 67°F)

L = 32.5 cms.

G = 2.65 (calibrando el hidrómetro a esta gravedad específica)

El verdadero tamaño de partícula (D_t) se obtiene aplicando las siguientes correcciones para D_a .

CORRECCION 1.- K_L

Se ha encontrado experimentalmente que para el Hidrómetro Bouyoucos la distancia de sedimentación de partículas es de 0.475 de la distancia entre la parte superior de la suspensión y la parte inferior del hidrómetro. Por lo tanto, se calibra con respecto a este factor de corrección aplicando la siguiente ecuación:

$$K_L = \frac{0.475 \times \text{la distancia en cm. entre la lectura del hidrómetro y la parte inferior del mismo}}{32.5}$$

Pudiéndose de esta manera hacer varias lecturas y graficar los valores obtenidos como K_L vs. lectura del hidrómetro.

CORRECCION 2.- K_G

Una segunda corrección que debe tomarse en cuenta es la que involucra la gravedad específica. Para muchos de los caolines se considera 2.60 un valor adecuado. Este factor de corrección se calcula de la siguiente manera:

$$K_G = \frac{1.65}{2.60 - 1} = 1.03125$$

CORRECCION 3.- K_N

Esta corrección es para el coeficiente de viscosidad del agua cuando varían las temperaturas.

$$K_N = \frac{\text{Coeficiente de viscosidad del agua a la Temp.dada}}{0.010188}$$

De donde se puede ver que D_t es el producto de D_a . K_G . K_N y K_L .

Y se considera a K_G una constante para los caolines, los otros productos varían solamente con la temperatura y con los diferentes tiempos de sedimentación. Se calcula después el producto D_a . K_G . K_N para los rangos de temperaturas que se tuvieron durante el experimento y a diferentes rangos de sedimentación anotándose en la hoja de trabajo No. 2.

CALCULOS PRACTICOS.

1.- Llenar la hoja de trabajo con los datos obtenidos.

a) Hacer la corrección a las lecturas del Hidrómetro de la siguiente manera:

La lectura del Hidrómetro en la suspensión de caolín

menos la lectura en la solución de Hexametáfosfato (lectura del hidrómetro corregida).

b) Calcular los productos " $D_a \cdot K_G \cdot K_N$ " y anotarlos en la hoja de trabajo.

c) Obtener los valores para K_L de los datos de la Hoja de Trabajo que fue preparada a partir de la - calibración del hidrómetro mencionada anteriormente. Tener cuidado de usar el valor de "la lectura del hidrómetro en la suspensión de caolín" y no el "valor de la lectura del hidrómetro corregida".

d) El valor real del diámetro de partícula D_t , para cada lectura del hidrómetro es el producto " $D_a \cdot K_G \cdot K_N \cdot K_L$ ".

e) Calcular el "% de caolín en suspensión" correspondiente a cada D_t .

$$\% \text{ caolín en suspensión} = \frac{\text{Lecturas del Hidrómetro corregidas} \times 100}{\text{Lectura del Hidrómetro corregida que representa la concentración original de la suspensión.}}$$

2.- Graficar D_t contra "% caolín en suspensión".

Se deben tomar los valores obtenidos de la hoja de trabajo colocando los valores de % de caolín en suspensión en las ordenadas y D_t en las abscisas. De donde se interpreta el % de caolín en suspensión como el "% de caolín cuyo tamaño de partícula es menor que..." el correspondiente tamaño de partícula. Trazar después la curva y obtener de ésta los datos para hacer el reporte siguiente

RESUMEN DEL TAMANO DE PARTICULA

RESIDUO EN MALLA 325:

Gramos _____
% _____

ARRIBA DE 10 MICRAS	_____	%	ARRIBA DE 44 MICRAS	_____	%
5-10 "	_____		ARRIBA DE 10 MICRAS	_____	
4-5 "	_____		ARRIBA DE 5 MICRAS	_____	
3-4 "	_____		ARRIBA DE 2 MICRAS	_____	
2-3 "	_____				

TABLA No. 1

GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLAS CAOLIN - AGUA

% Sólidos	Gravedad Específica	% Sólidos	Gravedad Específica	% Sólidos	Gravedad Específica	% Sólidos	Gravedad Específica
1	1.006	21	1.148	41	1.337	61	1.600
2	1.012	22	1.155	42	1.348	62	1.616
3	1.018	23	1.164	43	1.360	63	1.632
4	1.024	24	1.172	44	1.371	64	1.649
5	1.031	25	1.181	45	1.383	65	1.666
6	1.037	26	1.190	46	1.395	66	1.683
7	1.044	27	1.199	47	1.407	67	1.700
8	1.051	28	1.208	48	1.419	68	1.718
9	1.958	29	1.217	49	1.431	69	1.737
10	1.065	30	1.226	50	1.444	70	1.756
11	1.072	31	1.236	51	1.456	71	1.775
12	1.079	32	1.245	52	1.470	72	1.795
13	1.087	33	1.254	53	1.483	73	1.815
14	1.094	34	1.264	54	1.497	74	1.836
15	1.102	35	1.274	55	1.511	75	1.857
16	1.110	36	1.284	56	1.525	76	1.878
17	1.117	37	1.294	57	1.540	77	1.900
18	1.125	38	1.304	58	1.555	78	1.922
19	1.132	39	1.315	59	1.570	79	1.945
20	1.140	40	1.326	60	1.585	80	1.969

Gravedad específica de 1 Caolín 2.60

TABLA DE D_A K_G K_N

Temperatura de suspensión C	D_A	K_G	K_N	D_A	K_G	K_N	D_A	K_G	K_N
18	36.20	25.64	18.13	14.80	10.47	7.40	5.23	4.27	
19	35.75	25.32	17.91	14.62	10.34	7.31	5.17	4.22	
20	35.32	25.01	17.69	14.44	10.21	7.22	5.11	4.17	
21	34.90	24.71	17.48	14.27	10.09	7.13	5.04	4.12	
22	34.38	24.42	17.27	14.10	9.97	7.05	4.98	4.07	
23	34.08	24.14	17.07	13.94	9.85	6.97	4.93	4.02	
24	33.69	23.86	16.87	13.77	9.74	6.89	4.87	3.98	
25	33.31	23.59	16.68	13.62	9.63	6.81	4.81	3.93	
26	32.93	23.32	16.49	13.47	9.52	6.73	4.76	3.89	
27	32.57	23.06	16.31	13.32	9.41	6.66	4.71	3.84	
28	32.22	22.81	16.13	13.17	9.31	6.59	4.66	3.80	
29	31.87	22.57	15.96	13.03	9.21	6.52	4.61	3.76	
30	31.53	22.33	15.79	12.89	9.11	6.45	4.56	3.72	

5 10 20 30 60 120 240 360

Tiempo total de sedimentación (min.)

MUESTRA
VALORES K_L^*

Lectura del Hidrómetro	K_L	Lectura del Hidrómetro	K_L	Lectura del Hidrómetro	K_L
1	0.560	18	0.522	35	0.486
2	0.557	19	0.520	36	0.484
3	0.554	20	0.518	37	0.482
4	0.552	21	0.516	38	0.480
5	0.549	22	0.514	39	0.478
6	0.547	23	0.512	40	0.476
7	0.545	24	0.510	41	0.474
8	0.543	25	0.507	42	0.472
9	0.541	26	0.505	43	0.470
10	0.539	27	0.503	44	0.468
11	0.537	28	0.501	45	0.465
12	0.535	29	0.499	46	0.463
13	0.533	30	0.497	47	0.461
14	0.530	31	0.495	48	0.459
15	0.538	32	0.493	49	0.457
16	0.526	33	0.491	50	0.455
17	0.524	34	0.488	51	0.453
				52	0.451

* Estos valores K_L son válidos solo para el Hidrómetro No.562424

HOJA DE TRABAJO PARA CALCULO DE TAMAÑO DE PARTICULA

Fecha de Prueba:

CAOLIN MUESTREADO :

Tiempo	Tiempo de Sedi- menta- ción en min.	Lectura del Hi- dróme-- tro.	Temp.- de la- Susp.- de --- Caolín	Lectura del Hi- gróme-- tro en 0 .	Corr.de la lec- tura -- del Hi- gróme-- tro.	D_a K_G K_N X K_L D_t	% de Cao- lín en - Susten- ción.
	0						
	10						
	20						
	30						
	60						
	120						
	240						
	360						

RESUMEN DE LA DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE PARTICULA

Residuo en malla 325	Arriba de 10 Micras	_____ arriba de 44 micras	%
Gramos	5 - 10	arriba de 10 micras	
%	4 - 5	arriba de 5 micras	
	3 - 4	menos de 2 micras	
	2 - 3		

METODO III

DETERMINACION DEL RESIDUO EN MALLA 200 y 325

APARATOS REQUERIDOS.

- 1.- Agitador Hamilton.
- 2.- Balanza analítica.
- 3.- Una malla 200 y una malla 325.
- 4.- Pipeta de 25 ml.
- 5.- Cápsula de porcelana de 6.6 cm. de diámetro

REACTIVOS REQUERIDOS.

Solución al 2% de pirofosfato tetrasódico preparada, disolviendo 20 gramos de pirofosfato tetrasódico anhidro ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) o bien 33.55 gramos de cristales de pirofosfato tetrasódico ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) en 1000 ml. de agua destilada.

PROCEDIMIENTO.

- 1.- Colocar 325 ml. de agua, 25 ml. de solución de pirofosfato tetrasódico y 100 gramos de caolín en el mezclador Hamilton y agitar durante 10 minutos a alta velocidad.
- 2.- Pasar la solución a través de la malla correspondiente, lavando cuidadosamente la tapa del Hamilton. Lavar el caolín sobre la malla hasta que la solución que pase a través de la misma está clara.

- 3.- Pasar el residuo de la malla a la cápsula de porcelana previamente puesta a peso constante, lavar el residuo en la cápsula y dejarlo reposar por 2 ó 3 minutos para después decantar el agua sobrante. Secar el residuo y la cápsula de porcelana a 105°C hasta peso constante, dejar enfriar y pesar el producto.
- 4.- El porcentaje de residuo se obtiene directamente restando el peso de la cápsula vacía, del peso total (cápsula y residuo).

METODO IV

DETERMINACION DEL VOLUMEN RELATIVO DE SEDIMENTACION.

APARATOS REQUERIDOS.

- 1.- Cilindros para centrifugar, de 25 ml. con aforo, deben ser de fondo plano de 11.25 cm. de altura por 3.8 cm. de ancho.
- 2.- Centrífuga de 100 x ac. de la gravedad.

PROCEDIMIENTO.

- 1.- Colocar 25 ml. de la suspensión de caolín en un tubo de ensayo y ponerlo en la centrífuga (Previamente pesado vacío) y volverlo a pesar para obtener el peso de la suspensión.

- 2.- Centrifugar a 100 x gravedad hasta que no se observe ninguna reducción en volumen del sedimento.
- 3.- Usando el volumen de sedimento obtenido en (2). Calcular el volumen relativo de sedimentación (V.R.S.) con la siguiente fórmula:

$$\text{V.R.S.} = \frac{\text{Volumen del sedimento} \times \text{densidad del pigmento} \times 100}{\text{Peso de la muestra} \times \text{Conc. de la suspensión (\% sólidos)}}$$

METODO V

PRUEBA DE ABRASIVIDAD.

El instrumento más adecuado para llevar al cabo la determinación de abrasividad del caolín es el Valley.

PROCEDIMIENTO.

Se mezclan 100 gr. de caolín con 400 ml. de agua destilada y después de diluyen a 3200 ml. Esta suspensión se hace pasar a través de un block de micarta perforado que está en contacto con una pequeña sección de una tela metálica (cuyo peso es conocido), para simular la acción del caolín en la tela de la máquina de papel.

La tela metálica por utilizar en la prueba se acondiciona en el Valley con agua solamente durante dos horas, se lava y se seca a 110 °C durante una hora. Después de ésto, la suspensión caolín-agua se adiciona al instrumen-

to y se acciona a una velocidad de 60 ciclos por minuto hasta completar 600 ciclos.

La abrasividad se reporta en términos de pérdida en peso de la tela en miligramos.

Las generalidades mencionadas aqui, en lo referente a mineralogía, son aplicables en general a cualquier caolín, pero en el territorio Mexicano, por diversas situaciones geológicas no son completamente exactas. En el siguiente capítulo hacemos la descripción de la teoría mas aceptada en lo que se refiere a la formación de los yacimientos de caolín en México, que explican el porque de sus diferencias contra los caolines de los E.U. y conducen a reconocer la importancia de beneficiar dicho mineral nacional para ser usado en la industria papelera Mexicana que es el objetivo del presente trabajo.

CAPITULO IV

Una vez que se ha descrito la importancia que para la Industria Papelera tiene el caolín como materia prima, en función de las características que le confiere al papel y la importancia económica que significa el uso de cantidades adecuadas del mismo para la reducción de costos de fabricación, la intención del presente capítulo es proponer un proceso adecuado para obtener los mejores resultados del caolín Mexicano en la Industria Papelera del país.

Para ésto principiaremos por definir cuales son las características del caolín Mexicano comparativas a los caolines de los E.U., veremos cuales son los efectos que estas características le confiere y propondremos un proceso, que beneficie el caolín para optimizar su función en una fábrica de papel cuando el caolín se usa como carga.

IV.1 LOS YACIMIENTOS DE CAOLIN EN MEXICO.

La explotación de los depósitos de caolín en México se inició con la manufactura de loza de porcelana y otros artefactos en cuya elaboración es necesario este mineral. Así pues, su aprovechamiento data desde el tiempo de la colonia.

Los yacimientos de caolín en la República Mexicana se encuentran distribuidos en el territorio correspondiente a 19 de los estados que forman la confederación polí

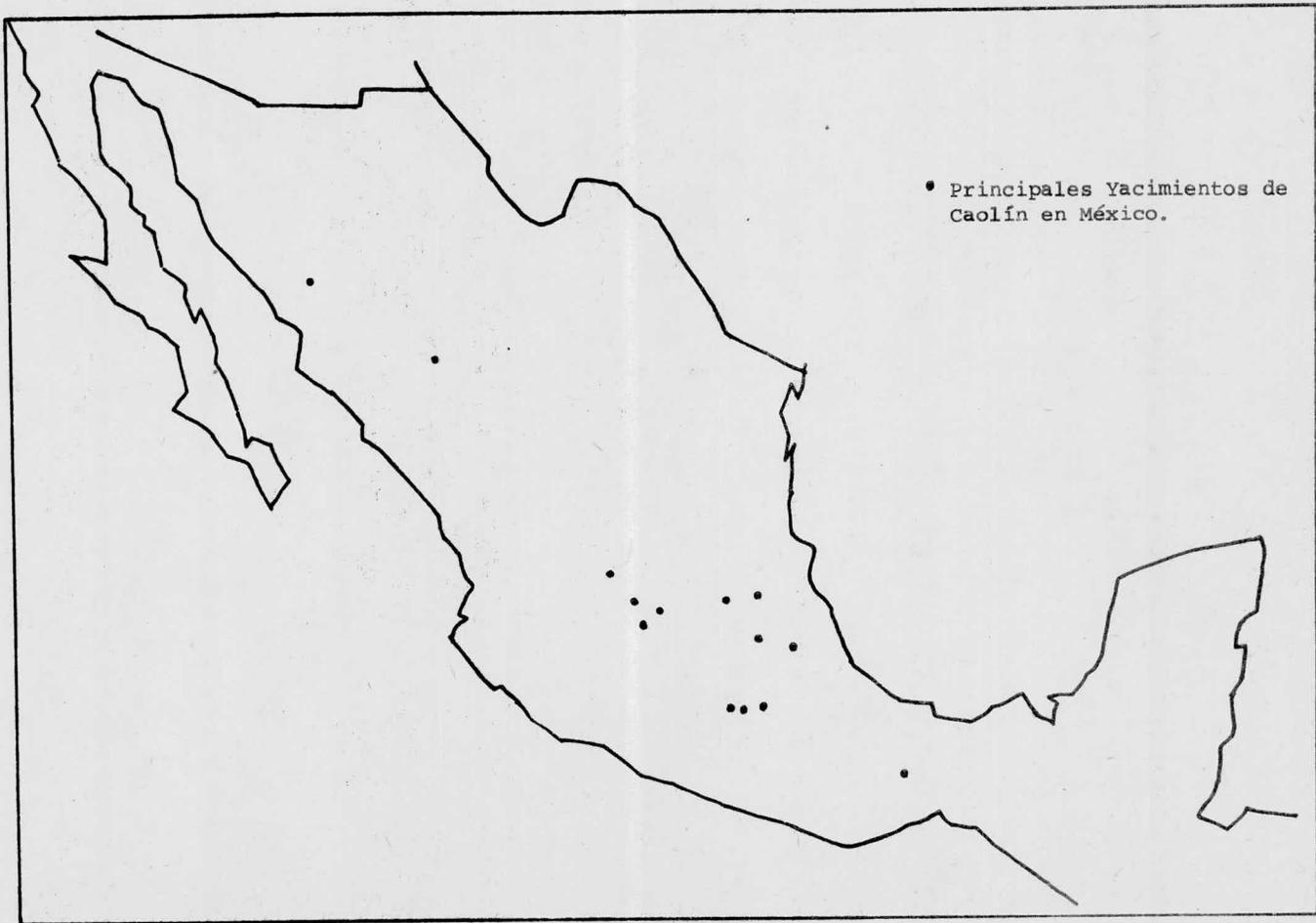
tica del país; las localidades donde se ha encontrado el mineral se ilustran en el mapa adjunto:

IV.2 MINERALOGIA DEL CAOLIN MEXICANO.

En México, los yacimientos de caolín se asocian a rocas riolíticas ampliamente distribuidas en el territorio, denvándose aquellos de la alteración de los feldespatos de dichas rocas. Los depósitos de caolín se presentan generalmente en forma de mantos, cuando los fenómenos de Lexiviación se han efectuado totalmente. En otras ocasiones aparecen en formas irregulares según la región y el grado de descomposición de las riolitas de lo cual depende también la calidad del material que se explota. A veces se encuentran grandes volúmenes de caolín impuro, dentro de los cuales se explotan masas de material de gran pureza, el cual se usa especialmente para la fabricación de loza; tal es el caso del explotado en terrenos de la Hacienda de Soria cerca de Celaya, Gto. Cuando se trata de caolines impuros como los de Zacatecas se utilizan para hacer refractarios de calidad ordinaria. Se puede decir que la mayoría de nuestros yacimientos de caolín no son propiamente de caolín, sino de un material arcilloso como lo demuestran los análisis del mismo.

En México, las explotaciones de caolín se hacen al menor costo posible mediante rebajes a cielo abierto o

• Principales Yacimientos de
Caolín en México.



bien por otras subterráneas de escasa importancia.

Puesto que los lugares donde hay caolín en México son numerosos, las reservas de este material son considerables sobre todo de caolines propios para elaborar materiales refractarios y otros usos.

Casi todos los depósitos de caolín que se explotan son propiedad de mineros con pocos recursos económicos, quienes operan a escala reducida de acuerdo con sus posibilidades y según la demanda que haya.

Toda la producción de caolín se consume en el país. Se estima que la producción media anual alcanza algo más de las 200 mil toneladas que se extraen principalmente de los estados de Zacatecas, San Luis Potosi, Guanajuato, Puebla, Michoacán, Querétaro, Hidalgo y Chihuahua.

La génesis de los yacimientos mexicanos puede explicarse de la siguiente manera: las grandes erupciones riolíticas que tuvieron lugar en la época mesozoica, formaron un suelo de relieve poco accidentado por haber venido estas rocas en corrientes que, siguiendo las pendientes existentes entonces en el suelo, rellenaron en parte hondonadas y depresiones tendiendo a darles una pendiente uniforme; este período de actividad bastante prolongado y enérgico cubrió pues la superficie del terreno con capas de roca de consistencia diferente, unas compactas,

otras resistentes, localizadas unas en la parte inferior y otras brechiformes menos resistentes formadas en parte por el escurrimiento de la roca fluida, que corriendo caliente encontraba roca ya enfriada, agrietándola y reventándola, por la contracción de volumen consiguiente al pasar del estado fluido al sólido durante su enfriamiento, y escurría, penetrando por toda la masa de la roca, llenándolas y simentando la roca al solidificarse.

Siguió a este período de erupción riolítica otro período de actividad volcánica, bastante intenso, pero de energía menor al riolítico, que abarcó una extensión superficial más pequeña; es el período de erupción basáltica que siguió al último poderoso esfuerzo orogénico y durante cuyo período en los lugares de menor resistencia, se abrió paso el basalto formando domos y conos volcánicos con cráteres por los cuales se sucedían erupciones de lava y erupciones lodosas. La topografía de estas regiones, con el último movimiento orogénico perdieron la uniformidad que en parte le habían dado las erupciones riolíticas, se volvieron más irregulares y alcanzaron con la formación de las montañas basálticas su mayor grado de complicación y elevación.

En las partes fracturadas y porosas de la roca circulaban las aguas calientes de las fumarolas que sucedieron a las erupciones basálticas, formaron zonas en la proximidad inmediata o en la periferia de los macizos basál-

ticos.

Una vez formados los macizos basálticos, y a consecuencia de los movimientos que delinearon definitivamente el relieve del terreno y con los cuales terminaron las actividades volcánicas de la región, se produjeron fracturas (agrietamientos) en el terreno por los cuales ascendieron las aguas sobrecalentadas y sujetas a presión, que habiendo desempeñado un papel importantísimo en la erupción del basalto, al disminuir la energía volcánica, habían quedado contenidas en la roca semifluida profunda, y que al abrirse estas grietas o fracturas encontraban fácil salida convirtiéndolas en canales de circulación, iniciándose además allí un ciclo de circulación que incluye la penetración adicional de las aguas de lluvia; hasta llegar a la roca caliente, que convierte el agua en vapor y comienza de esta manera un ascenso durante el cual transporta mecánicamente y al estado de disolución los elementos constitutivos de la riolita, para depositarlos a medida que la energía mecánica y química se debilita en el terreno.

La riolita, como todas las rocas cristalinas, es un silicato de alúmina complejo, que bajo la acción del agua magmática caliente queda sometida a una alteración gradual.

Cuando las reacciones que en la roca se verifican han tenido el tiempo suficiente para ser completas, resulta

una desaparición total de los alcalis de la roca, que han sido transportados por el agua. Los metales alcalino-terrosos disueltos también cuando hay ácido carbónico en exceso, han sido posteriormente precipitados en las cavidades y vacíos de la roca en donde el ácido carbónico se evapora. Los productos menos solubles como la sílice y la alúmina aumentan en concentración, pero después cuando se prolonga la acción disolvente local, la sílice también es transportada para ser depositada igualmente en las grietas y cavidades de la roca basáltica. Al disminuir la temperatura y la presión del agua, queda finalmente la sílice combinada con alúmina formando el caolín. Con tendencia a alcanzar la más completa transformación en sílice y arcilla, allí donde la roca llegue al último grado de alteración. En el resto de su masa se encontrarán yacimientos de caolín, arcilla mezclada con arena cuarzosa con restos de feldespatos imperfectamente caolinizados o con venillas de cuarzo o pedernal.

IV.3 PRINCIPALES DIFERENCIAS DEL CAOLIN MEXICANO DEL CAOLIN DE LOS E.E.U.U.

Una de las principales diferencias que existe entre los caolines mexicanos y los caolines de los E.U. es que, en su gran mayoría los yacimientos mexicanos son de ori-

gen primario; es decir, que se encuentran en su punto geográfico original de formación mientras que los yacimientos caoliníferos de los Estados Unidos son de origen secundario o sedimentario lo que significa que los mencionados yacimientos se encuentran localizados en puntos geográficos diferentes a los de su formación original. Independientemente de que los yacimientos existentes en el territorio nacional son geológicamente más jóvenes (mezozoicos) que los de los E.U. (cuaternarios), el hecho de ser de diferente origen hace que ambos tengan diferencias químicas fundamentales sobre todo en lo referente a su contenido de sílice, ya que hemos mencionado en el capítulo anterior los yacimientos de origen secundario o sedimentario son sujetos a una purificación o beneficiamiento natural que reduce considerablemente el contenido de este compuesto.

A continuación se muestra una tabla que demuestra las diferencias anotadas anteriormente:

	MEX. STA .ROSA	MEX. MOTHO	MEX. SALITRERA	E .U . GEORGIA	E.U . CAROLINA SUR
Al ₂ O ₃	18.52%	31.6 %	7.29%	39.42%	39.25%
SiO ₂	55.46%	59.57%	80.79%	44.32%	44.9 %
Fe ₂ O ₃	3.44%	1.11%	1.59%	0.67%	0.71%
TiO ₂	0.50%	0.3 %	0.15%	1.29%	0.89%
Ca O	0.08%	0.5 %	0.60%	0.68%	0.49%
Mg O	1.54%	0.04%	0.7 %	0.21%	0.14%
H ₂ O (combin)	21.0 %	6.8 %	6.8 %	13.95%	14.13%
Abrasividad Valley	290	425	825	38	42

Si observamos detenidamente la tabla anterior y comparamos el contenido de sílice de los diferentes caolines comparados, podremos concluir, basándonos en la escala de dureza de Moh; que los caolines Mexicanos son sensiblemente más abrasivos que los de los E.U.

ESCALA DUREZA DE MOH

DUREZA	MATERIAL
1	Talco
2	Gypsum
3	Calc. Spar
4	Fluorspar
5	Apatita
6	Feldespato
7	Cuarzo (SiO ₂)
8	Topacio
9	Safiro
10	Diamante

Debido a las deficiencias mencionadas, el objetivo de este tema es proponer mediante una experimentación de laboratorio y pruebas de producción que lo respalde, un proceso para beneficiar el caolín producido en México.

IV.4 DETERMINACION DE LA FUENTE DE SUMINISTRO.

Para determinar la fuente de suministro se realizaron varias expediciones a los estados de Guanajuato, Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí y Zacatecas a fin de examinar los yacimientos allí explotados, recabar muestras para analizarlas, observar el estado mecánico de los equipos procesadores de caolín y sopesar el soporte tecnológico de los productores.

El resultado de éstas fue en la gran mayoría de los casos desalentador; pues comprobamos que el fabricante de caolín no posee un soporte tecnológico confiable, en casi todas las plantas visitadas no existe un control adecuado de los materiales extraídos, ya que en muchos de los casos éstos se mezclan, aún proveniente de diferentes vetas con la consecuente no uniformidad en la calidad del producto final.

Igualmente, el productor de caolín no tiene definidos los requerimientos de calidad que su material debe reunir para que sea aceptable su uso para la industria del papel.

Finalmente, el estado mecánico de sus molinos y ciclones depuradores era bastante pobre debido a que muchas de sus piezas eran "hechizas", la calidad de la molienda era muy pobre y el equipo en general mostraba deficiente mantenimiento y era sumamente viejo e ineficiente. El control de calidad del producto final se reduce a una simple determinación de residuo en mallas únicamente.

En estas condiciones, la determinación de la fuente de suministro fue realizada tomando en cuenta la calidad del material explotado, la capacidad de producción del proveedor y aquel cuyo equipo estuviera en esos momentos en mejores condiciones mecánicas.

Se decidió trabajar sobre un yacimiento situado en Apulco, Edo. de Hidalgo, el cual se está explotando a cielo abierto a una altura de 1700 m. sobre el nivel del mar, esta abierto en una veta con rumbo NE. Las rocas que sustentan esta veta son de basalto hojoso. La veta es sinuosa en su curso con ensanchamientos y estrechamientos alternativos. El material en la veta tiene distinta coloración a lo largo de ella, lo cual indica que el material varía en su pureza. Por la formación basáltica que sustenta la veta se deduce que este yacimiento es de carácter primario.

El análisis químico practicado al crudo del yacimiento arrojó los siguientes resultados:

Al_2O_3	18.3 %
Si O_2	58.6 %
Fe_2O_3	2.5 %
Ca O	Trazas
Mg O	1.8 %
H_2O (combinada)	<u>18.9 %</u>
	100.1 %

Normalmente, el caolín que se extrae de la mina, se transporta en camiones a la planta procesadora donde se alimenta a una trozadora para reducir el tamaño de los terrones para tenerlos de 10-20 mallas aproximadamente.

En estas condiciones se alimentan a un secador rotatorio para eliminar humedad hasta que el material tenga un 2 a 3 %. Finalmente se alimentan a los molinos donde se pulverizan a 200 ó 325 mallas según se requiera.

Los molinos instalados en la planta procesadora, son molinos verticales marca Raymond de 18 pulgadas, al cual está asociado un depurador ciclónico. Dichos molinos tienen una demanda de potencia de 25 HP cada uno.

Se alimenta el material a los molinos por medio de un gusano alimentador de velocidad variable, de donde cae al interior del molino donde por la acción de los martillos insertados en el mismo, el material se acelera. La acción de pulverización es una combinación de los impactos que sufre el material contra los martillos y contra las paredes de la carcasa del molino.

El flujo de aire que entra en la parte inferior tiende a arrastrar el material pulverizado al depurador, en el cual la acción ciclónica a alta velocidad producida, provoca la concentración de las partículas más pesadas a lo largo de las paredes del depurador cayendo éstas por gravedad para retornarse de esta manera nuevamente al molino.

El material aceptado es colectado del ciclón y es envasado en sacos de papel Kraft para ser posteriormente almacenado y enviado a los clientes.

En estas condiciones el material dió los siguientes resultados: comparativamente con el caolín crudo de la Mina

CRUDO	MOLIENDA :	200 MALLAS; ABRASIVIDAD: 285 mg.
18.3 %	- Al ₂ O ₃	19.5 %
58.6 %	- SiO ₂	57.6 % ←
2.5 %	- Fe ₂ O ₃	2.5 %
-	- CaO	-
1.8 %	- Mg O	1.8 %
18.9 %	- H ₂ O combinada	18.5 %
100.1 %		99.9 %

Como se puede observar, el equipo no es capaz de eliminar cantidades suficientes de sílice y consecuentemente la abrasividad del producto sigue presentando valores muy elevados.

Habiendo observado lo anterior, se recogieron muestras del producto molido a 200 y 325 mallas para realizar sobre ellas pruebas en el laboratorio, haciendo uso de un depurador ciclónico (1). Las pruebas consistieron en ali

(1) Ideal Industries, Inc. Mod. 22-113.

mentar el mineral supuestamente depurado, y variar las condiciones de flujo y velocidad de aire en el depurador y determinar si el proceso de flotar el caolín en aire es adecuado o no.

Las características del depurador de laboratorio utilizado son:

HP	1 1/3
Vacío (in H ₂ O)	52"
Flujo Aire	95-135 ft ³ /Min.
Velocidad del Aire en la boquilla	26,500 ft/min.
RPM Ventilador	11,350-12,600
Diámetro Boquilla	3/4 "

A continuación se muestran los resultados obtenidos, siendo de cada prueba el valor promedio de 100 evaluaciones individuales, en todos los casos se procuró que las condiciones de las pruebas fueran iguales a fin de obtener resultados totalmente comparativos.

PRUEBA # 1

- Caolín molido a 200 mallas
- a 11,350 rpm en el ventilador
- a 95 ft³/min. en la succión de aire

Al ₂ O ₃	17.5 %
SiO ₂	58.2 %
Fe ₂ O ₃	2.5 %
Ca O	-
Mg O	2.0 %
H ₂ O (combinada)	19.5 %
	<hr/>
	99.7 %

Abrasividad : 275 mg.

PRUEBA # 2

- Caolín molido a 325 mallas
- a 12,600 rpm en el ventilador
- a 135 ft³/min. en la succión de aire

Al ₂ O ₃	18.1 %
SiO ₂	56.5 %
Fe ₂ O ₃	3.0 %
Ca O	-
Mg O	21.5 %
H ₂ O (combinada)	19.5 %
	<hr/>
	99.6 %

Abrasividad : 250 mg.

PRUEBA # 3

- Caolín molido a 325 mallas
- a 11900 rpm en el ventilador
- a 120 ft³/min. en la succión de aire.

Al ₂ O ₃	18.0 %
SiO ₂	57.9 %
Fe ₂ O ₃	2.3 %
Ca O	-
Mg O	2.2 %
H ₂ O (combinada)	19.5 %
	<hr/>
	99.9 %

Abrasividad : 275 mg.

A partir de los resultados de las pruebas anteriores, se puede concluir que el proceso de depurar el caolín mexicano flotándolo en aire no es recomendable debido a los siguientes factores:

- 1.- Los yacimientos de caolín mexicano por el tipo de origen y edad de los mismos, tienen un contenido de sílice muy alto.
- 2.- Existe una unión química entre la caolinita y la sílice que limita grandemente una separación eficiente de ambos compuestos si se quiere utilizar únicamente circulación de aire.

3.- Debido a que es imposible moler separadamente el caolín y la sílice (provenientes de la mina) y por la similitud de las gravedades específicas de ambos materiales el proceso de depuración por flotado en aire no es eficiente para caolines mexicanos cuyo contenido de sílice excede por mucho los límites tolerables.

IV.5 PROCESO BENEFICIADOR POR LAVADO EN AGUA.

El proceso de lavar caolín en agua por la versatilidad que ofrece de poder agregar productos químicos y de hacer uso de los fenómenos naturales (sedimentación, estratificación, etc.) parece más promisorio para lograr el beneficio buscado.

Por lo cual se elaboró un programa para realizar pruebas de laboratorio a fin de conocer el comportamiento de la suspensión de caolín, medir abrasividades, y en general adquirir mayores conocimientos acerca de las propiedades del caolín nacional.

A continuación se describen los experimentos realizados y sus resultados.

IV.6 DESCRIPCION DE LOS EXPERIMENTOS DE LABORATORIO LAVANDO CAOLIN.

METODO UTILIZADO

- 1.- Pesar la cantidad de caolín necesaria para preparar soluciones a diferentes % de sólidos.
- 2.- Agregar el agua necesaria para tener la solución al % de sólidos requerido.
- 3.- Agitar la suspensión a 100 r.p.m. por espacio de 10 minutos.
- 4.- Agregar el 0.15 % (sobre el peso de caolín adicionado) de Hexametafosfato de Sodio.
- 5.- Volver a agitar la suspensión a 100 r.p.m. por espacio de 10 minutos.
- 6.- Suspender la agitación y en base a los tiempos de sedimentación descritos en el capítulo 3, dejar el tiempo necesario para que se sedimente a los diferentes % deseados.
- 7.- Decantar la suspensión, desechar el residuo sedimentado y a la suspensión determinarle abrasividad.

Usando este método se encontraron los siguientes resultados:

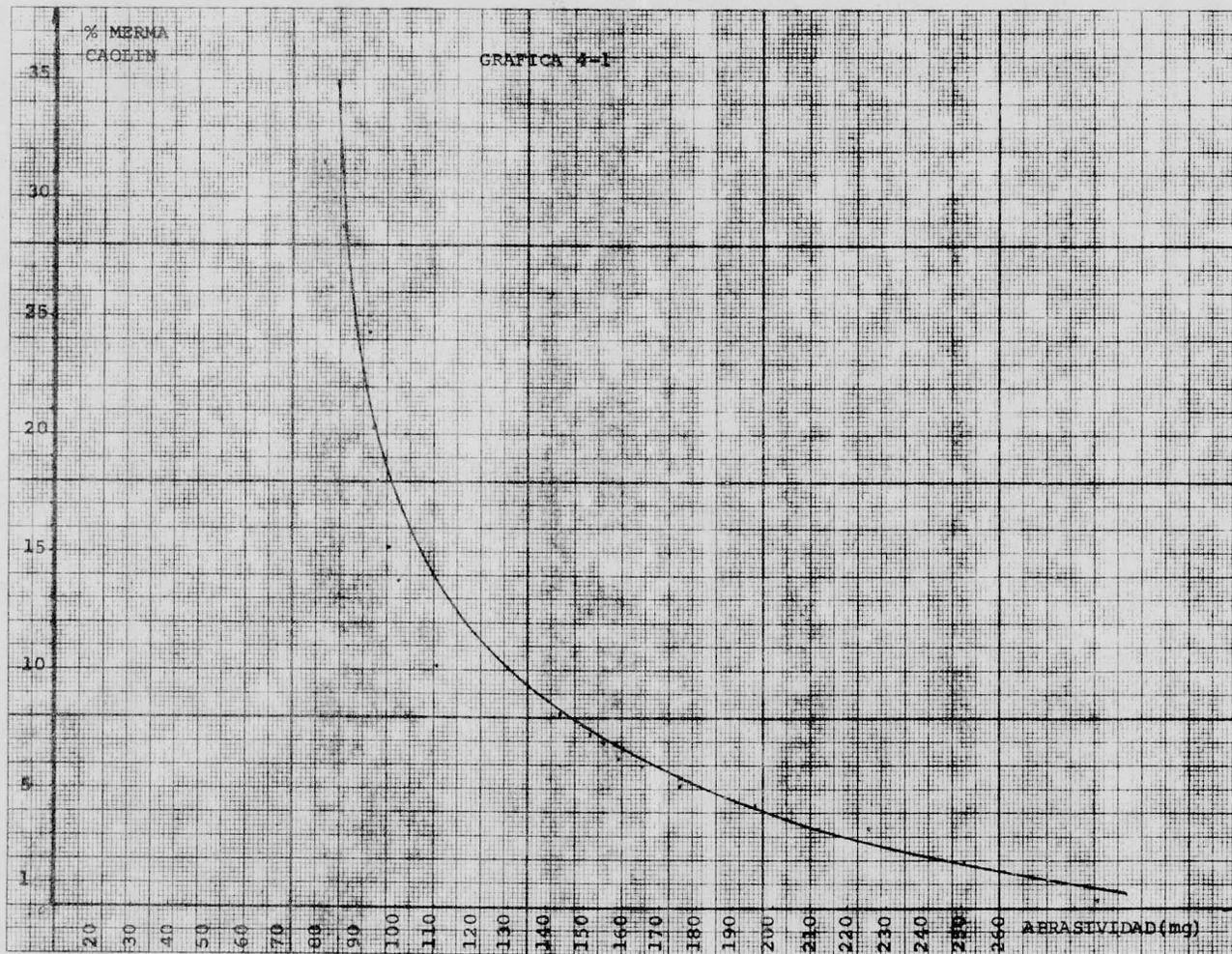
<u>% SEDIMENTADO</u>	<u>ABRASIVIDAD mg.</u>
0	285
2.0	250
3.5	225
4.3	195
5.1	175
6.0	165
6.3	158

<u>% SEDIMENTADO</u>	<u>ABRASIVIDAD mg.</u>
7.0	155
7.4	151.3
8.2	142
9.3	135
9.5	120
10.2	110
13.8	100
15.2	97.5
18.0	95.1
20.2	94.2
24.3	92.7
28.8	85.0
31.5	82.0

Procediendo después a elaborar la gráfica adjunta (Gráfica # 4-1).

La conclusión más importante es que mediante las pruebas anteriores se pudo comprobar que el beneficio logrado a nivel laboratorio justificaba seguir adelante con la experimentación.

Debido a lo anterior y con objeto de definir con exactitud el efecto que la abrasividad del caolín tiene sobre la vida de las telas de la máquina estudiada, se planeó un estudio que consistió en utilizar caolines de abrasividad baja (provenientes de E.U.) y comparar la vida de tela contra caolín nacional de calidad común (del yacimiento estudiado).



IV.7 DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS REALIZADAS EN LA MAQUINA.

Se probaron tres caolines de Estados Unidos y el caolín del yacimiento estudiado, alternadamente y por períodos de 2 meses cada uno con objeto de eliminar las variables que implican: la calidad de la tela en si, las condiciones de operación y la mezcla de papeles producidos.

Al respecto, la siguiente tabla resume los resultados obtenidos:

CAOLIN (Origen)	ABRASIVIDAD mg. (promedio)	VIDA TELA (días)
A (E.U.)	20	45
D (México)	280	25
B (E.U.)	25	43
D (México)	290	22
C (E.U.)	35	40
D (México)	283	24

Como se puede apreciar, el uso de un caolín de baja abrasividad mostró repetitivamente ser determinante en la vida de las telas de la máquina estudiada. Por este motivo y basados en los resultados de las pruebas de laboratorio se programó una prueba consistente en lavar caolín del yacimiento estudiado y adicionarlo a la máquina para evaluar sus resultados.

La prueba realizada en la máquina, consistió en utilizar dos tanques que se encontraban disponibles conectados en serie, uno de los cuales serviría como beneficiador y el otro como recipiente del caolín beneficiado, para de esta manera dosificar el material a la máquina.

La operación de dichos tanques consistió en lo siguiente:

- 1.- Cargar en el tanque beneficiador 4000 Lts. de agua.
- 2.- Accionar el agitador del tanque beneficiador.
- 3.- Cargar 2000 Kg. de caolín en el tanque beneficiador.
- 4.- Agregar al tanque beneficiador 5 Kg. de Hexametafosfato de Sodio previamente disueltos en agua.
- 5.- Seguir agitando la suspensión por espacio de 15 minutos.
- 6.- Suspender la agitación y dejar en reposo la suspensión del tanque beneficiador por espacio de 5 minutos.
- 7.- Pasar la suspensión del tanque beneficiador al tanque de suministro (accionando la bomba).
- 8.- Accionar el agitador del tanque de suministro, teniendo cuidado de que esté agitando mientras este tanque tenga suspensión.
- 9.- Dosificar de la suspensión contenida en el tanque de suministro a la máquina de papel conforme se vaya requiriendo y justamente antes de agregar el sulfato de aluminio a la pasta.

10- Después de cada dos cargas drenar lodos, pesarlos obteniendo muestra para conocer el % de material de sechado.

11- Medir abrasividad de la suspensión beneficiada.

RESULTADOS OBTENIDOS.

Similarmente a las pruebas realizadas con caolines de Estados Unidos descritas con anterioridad se corrió el caolín lavado en estas condiciones por espacio de dos meses, habiendo obtenido una abrasividad promedio de 102 mg. (cuyo valor antes de lavarlo fue de 285 mg) en el caolín lavado y una merma del 10.1 %.

A continuación se muestra una tabla comparativa que resume los datos obtenidos comparando contra las pruebas realizadas con los caolines de E.U.

CAOLIN (Origen)	ABRASIVIDAD mg (promedio)	VIDA TELA (días)
A (E.U.)	20	45
D (México)	280	25
B (E.U.)	25	43
D (México)	290	22
C (E.U.)	35	40
D (México)	283	24
<u>D MEX. LAVADO</u>	102 (sin lavar 285 mg)	36 ←

Para cada carga se adicionaron 120 Kg. de caolín lavado cuyo comportamiento en máquina fue evaluado encontrándose los siguientes resultados:

CANTIDAD ADICIONADA A MAQ. KG/TON		% CENIZAS EN AGUA DE CHAROLAS		% CENIZAS EN PAPEL	
ANTES	LAVADO	ANTES	LAVADO	ANTES	LAVADO
120	120	55	52	7.1	8.6
120	120	58	48	7.2	8.5
120	120	55	50	7.0	8.2
120	120	56	52	7.5	8.9
120	120	55	52	7.3	8.4
120	120	52	52	7.2	8.3
120	120	56	54	7.2	8.0
120	120	55	52	7.3	8.4
120	120	58	50	7.5	8.2
120	120	58	50	7.2	8.3
120	120	58	51	7.2	8.2
120	120	56	50	7.3	8.2
\bar{x} 120	120	56	51.08	7.25	8.35

CONCLUSIONES:

- 1.- La vida de la tela aumentó de 23.66 días a 36 días gracias al lavado del caolín.
- 2.- Aumentó la retención de carga en un 15.2% debido a que el caolín lavado y dispersado en agua produce por reacción con esta hidróxido de aluminio que favorece la retención.

- 3.- No se tuvieron efectos significativos en el encola do ni en el tono del papel.
- 4.- Debido al aumento en retención se incrementó la opa cidad del papel en un 5.7 %.

RESUMEN DE RESULTADOS:

MATERIAL (Tipo Caolín)	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	Ca O %	Mg O %	H ₂ O %	ABRASI VIDAD mg.	DIAS TELA
A (E.U.)	42.3	37.5	0.75	0.68	0.14	18.5	20	45
B (E.U.)	44.2	39.4	0.8	0.6	0.20	14.8	25	43
C (E.U.)	44.5	38.6	0.65	0.47	0.17	15.9	35	40
D (México)	57.6	19.5	2.5	--	1.2	18.5	285	23.6
D (Méx.Lavado)	50.4	24.8	2.3	0.1	1.8	19.8	102	36

IV.8 ANALISIS ECONOMICO DE LAS PRUEBAS REALIZADAS.

Si procedemos a hacer una gráfica con los puntos conoci dos para relacionar la abrasividad obtenida, el % de mer ma ocasionado por el proceso de lavado y los días de vi da de tela resultantes, podremos conocer con bastante exactitud cuales serían los días de vida de la tela espe rados según la abrasividad del caolín a utilizar.

Los datos a graficar serían:

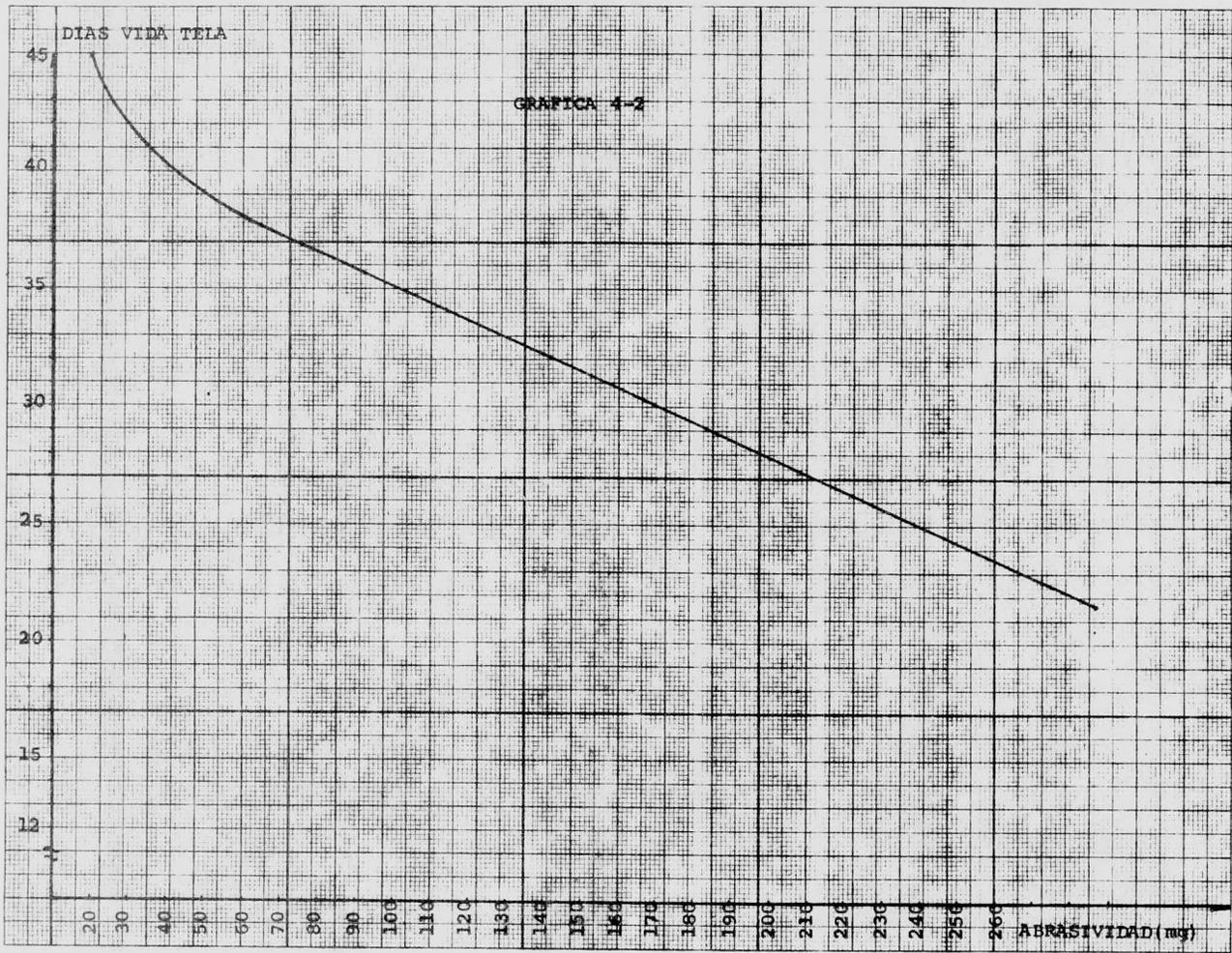
<u>Caolín</u>	<u>Abrasividad (Mó)</u>	<u>Días de vida de Tela</u>
Mexicano Sin lavar	285	23.66
Mexicano lavado	102	36
A (Estados Unidos)	20	45
B (Estados Unidos)	25	43
C (Estados Unidos)	35	40

A partir de las cuales se obtiene la gráfica 4-2.

Utilizando dicha gráfica se pueden obtener los días esperados de vida de tela para las diferentes abrasividades del caolín obtenidas durante el estudio de laboratorio descrito con anterioridad y en base a ellas realizar una evaluación económica a fin de conocer la rentabilidad de la prueba.

Es de hacer notar que la gráfica antes mencionada se sigue utilizando para la predicción de los días de vida de la tela de la máquina estudiada y se ha encontrado que sus resultados son fidedignos.

<u>% Merma Caolín</u>	<u>Abrasividad (Mó)</u>	<u>Días esperados de vida de tela (de la gráfica 4-2)</u>
0	285	20.6
2.0	250	21.3
3.5	225	26.0
4.3	195	28.3
5.1	175	29.8
6.0	165	30.6
6.35	158	31.0
7.0	155	31.2
7.4	151.3	31.4
8.2	142.0	32.2
9.3	135.0	32.6
9.5	120.0	33.6
10.2	110.0	34.4
10.1	102.0	35.1
13.8	100.0	35.2
15.2	97.5	35.5
18.0	95.5	35.6
20.2	94.2	35.7
24.3	92.7	35.8
28.8	85	36.2
31.5	82	36.6



Con los datos anteriores obtenidos de la gráfica 4-2 podemos empezar a hacer el balance económico de la prueba y determinar la rentabilidad de la misma con las siguientes reconsideraciones:

- 1) Salario de una persona encargada de realizar las cargas de caolín a los tanques de lavado: 43,200.00 anuales.
- 2) Precio de las telas de la máquina estudiada 96,500.00 cada una.
- 3) Precio del Caolín: 740.00 por tonelada LAB Planta.
- 4) El año se considerará con 350 días laborables.
- 5) Para el cálculo utilizaremos únicamente costos de caolín contra costo por telas, es decir, no estamos considerando los beneficios por ganancia en producción ni el ahorro por el aumento en retención obtenida durante las pruebas en la máquina cuando se adicionó a ésta el caolín lavado.

I) Costos con caolín sin lavar (ANUALES)

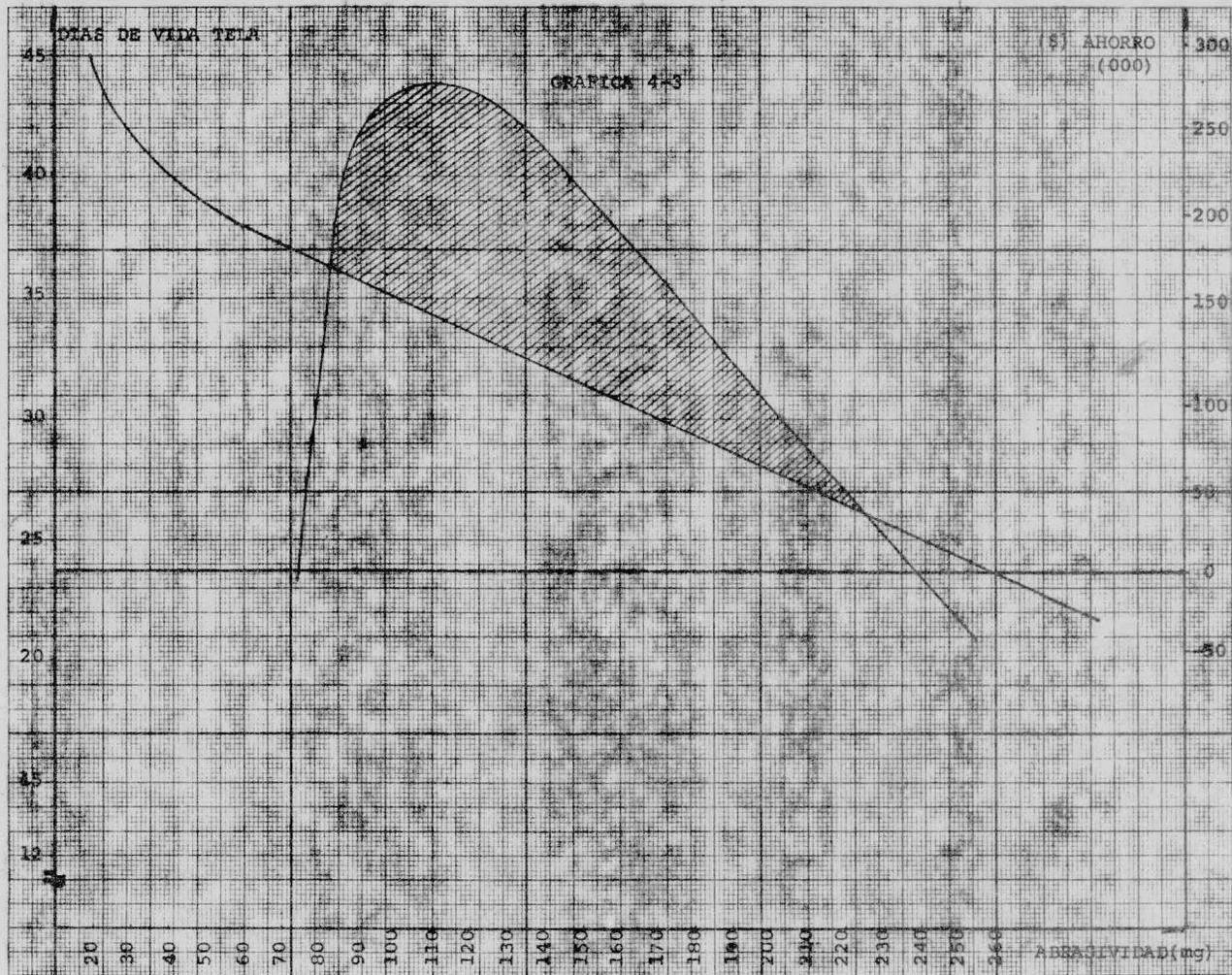
$$\text{Por telas: } 96,500 \times \frac{350}{23.66} = 1,427,515.00$$

$$\text{Por caolín: } 740 \times 0.120 \times 45 \times 350 = \underline{1,398,600.00}$$

$$\text{Total} = 2,826,115.00$$

II) Costos con caolín lavado (ANUALES)

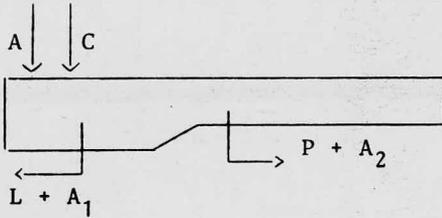
Merma Caolín (%)	Días de Vida Tela	Costo Caolín (\$) (incluye merma)	Mano de Obra (\$)	Costo por Telas (\$)	Costo Total (\$)	Ahorro (pérdida) (\$) Vs.costos sin lavar caolín
2.0	24.3	1,426,572.00	43,200.00	1,389,918.00	2,859,689.00	(33,575.00)
3.5	26.0	1,447,551.00	"	1,299,038.00	2,789,789.00	36,326.00
4.3	28.3	1,458,740.00	"	1,193,463.00	2,695,403.00	130,712.00
5.1	29.8	1,469,929.00	"	1,133,389.00	2,646,518.00	179,597.00
6.0	30.6	1,482,516.00	"	1,103,758.00	2,629,474.00	196,641.00
6.35	31.0	1,487,411.00	"	1,089,516.00	2,620,127.00	205,988.00
7.0	31.2	1,496,502.00	"	1,082,532.00	2,622,234.00	203,881.00
7.4	31.4	1,502,096.00	"	1,075,636.00	2,620,933.00	205,182.00
8.2	32.2	1,513,285.00	"	1,048,913.00	2,605,398.00	220,717.00
9.3	32.6	1,528,670.00	"	1,036,044.00	2,607,913.00	218,202.00
9.5	33.6	1,531,467.00	"	1,005,208.00	2,579,875.00	246,240.00
10.2	34.4	1,541,257.00	"	981,831.00	2,566,288.00	259,827.00
10.1	35.1	1,539,859.00	"	962,251.00	2,545,310.00	280,805.00
13.8	35.2	1,591,607.00	"	959,517.00	2,594,324.00	231,791.00
15.2	35.5	1,611,187.00	"	951,408.00	2,605,795.00	220,320.00
18.0	35.6	1,650,348.00	"	948,735.00	2,642,284.00	183,831.00
20.2	35.7	1,681,117.00	"	946,078.00	2,670,395.00	155,720.00
24.3	35.8	1,738,460.00	"	943,435.00	2,725,096.00	101,019.00
28.8	36.2	1,801,397.00	"	933,011.00	2,777,608.00	48,507.00
31.5	36.6	1,839,159.00	"	922,814.00	2,805,517.00	20,598.00



De las cifras anteriores y considerando que las condiciones en que se realizaron las pruebas no fueron óptimas por lo rudimentario del equipo en el que se benefició el caolín, se puede observar que el proceso beneficiador ofrece muchas oportunidades económicas que justifican la instalación de un proceso tecnológicamente más implementado a fin de optimizarlo y obtener de esta manera, considerables ahorros derivados del aumento de vida en las telas, así como una ganancia adicional en producción al minimizar el tiempo perdido por concepto de cambios de las mismas.

Por lo tanto, a continuación procederemos a diseñar un equipo que nos permita beneficiar el caolín hasta su punto óptimo, introduciendo en dicho equipo todos los conceptos estudiados a cerca del comportamiento del material cuando se encuentra suspendido en agua.

BALANCE DE MATERIALES



- donde:
- A : Agua fresca
 - C : Caolín crudo
 - L : Lodos
 - P : Producto lavado
 - A₁ : Agua en lodos
 - A₂ : Agua en Producto lavado

Ecuación General:

$$A + C = (L + A_1) + (P + A_2) \quad \dots (1)$$

Balance de caolín

Base: 1 minuto de producción

$$C = L + P \quad \dots (2)$$

Por diseño de equipo y rentabilidad de proceso

$$L = 0.1C \quad \dots (3)$$

Se desean producir 36 toneladas de producto lavado, por lo tanto:

$$P = 36,000 \times \frac{1}{24} \times \frac{1}{60} = 25$$

$$P = 25 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

Sustituyendo (3) en (2)

$$C = 0.1C + P \quad \dots (4)$$

$$0.9C = P \quad ; \quad C = \frac{P}{0.9}$$

$$C = \frac{25}{0.9} \quad \text{Por lo tanto} \quad C = \underline{\underline{27.7 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}}}$$

de (2)

$$L = (0.1) (27.7) \quad ; \quad L = \underline{\underline{2.77 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}}}$$

Balance de agua:

$$A = A_1 + A_2 \quad \dots (5)$$

Por condición $P = 50\%$ sólidos (en peso)

$$A_2 = 50 \frac{\text{lbs}}{\text{min}}$$

De acuerdo a las experiencias de laboratorio y a los resultados de las pruebas de lavado en máquina, los lodos se encuentran con un contenido de 80% de agua. Por lo tanto:

$$A_1 = 2.77 \times 0.8$$

$$\underline{\underline{A_1 = 2.216 \frac{\text{lbs}}{\text{min}}}}$$

Sustituyendo en (5)

$$A = 50 + 2.216$$

$$A = 52.216 \frac{\text{lbs}}{\text{min}}$$

DISEÑO EQUIPO BENEFICIADOR

Capacidad lavado:

$$\frac{36,000}{24} = 1500 \frac{\text{Kg caolín lavado}}{\text{hr}}$$

De acuerdo al balance anterior considerando la merma por el proceso de lavado:

$$27.7 \frac{\text{Kg caolín}}{\text{min}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} = 1662 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Si la gravedad específica del material es $2.6 \frac{\text{g}}{\text{cc}}$ tenemos que 1662 Kg de caolín ocuparán un volumen equivalente a:

$$\frac{1662}{2.6} = 639.2 \text{ lts}$$

El agua requerida para contar con una suspensión al 50% de producto lavado es:

$$52.216 \frac{\text{lts}}{\text{min}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} = 3133 \frac{\text{lts}}{\text{hr}}$$

Por lo tanto:

Volumen agua	:	3133.0 lts
Volumen equivalente Caolín	:	<u>639.2 lts</u>
TOTAL	:	3772.2 lts

Dimensiones tanque

a Ancho	:	1.50 m
b Largo	:	2.70 m
c Profundidad	:	1.0 m

$$\text{Volumen total: } 1.5 \times 2.7 \times 1.0 = 4.05 \text{ m}^3$$

$$V_T = \underline{\underline{4050 \text{ lts}}}$$

Diseño del tanque

De acuerdo a los resultados de laboratorio y a las pruebas realizadas en la máquina de papel, se concluye que la suspensión deberá agitarse vigorosamente y después permitir que ésta repose para favorecer la estratificación del material.

Para lograr este objetivo sin aumentar exageradamente las dimensiones del tanque, el diseño del tanque propuesto en el dibujo adjunto, cuenta con una zona de agitación y una zona de sedimentación, en esta última, la turbulencia será menos severa para permitir de esta manera la separación del material cuarzoso en el caolín. Ambas zonas se encuentran separadas la una de la otra por un muro que previene la contaminación del material lavado con aquel que se encuentra en vías de sedimentación.

El tanque cuenta en su parte inferior (piso) con un desnivel de $1^{\circ}30'$ que fue el ángulo determinador experimentalmente con el cual se favorece la sedimentación del material, ya que opone una resistencia a que fluya la suspensión provocando de esta manera la separación del material indeseable.

El desnivel además, contribuye al deslizamiento de los lodos a fin de que estos se despositen en la trampa de sedimentos para ser extraídos posteriormente.

Construcción del tanque

Debido a las dimensiones del tanque se considera adecuada una pared de 10 cms. de espesor por ser la mínima para poder ormar con varilla de $3/8''$.

En estas condiciones, para conocer la carga del tanque:

Volumen de concreto:

$$\begin{array}{lcl} \text{muro 1} & : & 0.10 \times 1.50 \times 1.0 = 0.15 \text{ m}^3 \\ \text{muro 2} & : & 0.10 \times 2.7 \times 1.0 = 0.27 \text{ m}^3 \\ \text{muro 3} & : & 0.10 \times 1.5 \times 1.0 = 0.15 \text{ m}^3 \\ \text{muro 4} & : & 0.10 \times 2.7 \times 1.0 = 0.27 \text{ m}^3 \\ \text{muro central} & : & 0.10 \times 1.0 \times 0.9 = \frac{0.09 \text{ m}^3}{0.93 \text{ m}^3} \end{array}$$

Considerando un peso de $2,400 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ para un concreto de resistencia 210 f'c:

$$\text{Peso concreto} = 2,400 \times 0.93 = 2232 \text{ Kg.}$$

$$\text{Carga total tanque} = \text{Peso concreto} + \text{Peso material}$$

$$\text{CTT} = 2,232 + 3500 = 5,732 \text{ Kg.}$$

$$\frac{5,732}{2.9 \times 1.7} = \frac{5,732}{4.93} = 1,162 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Considerando que la resistencia del terreno en el cual se podría construir el tanque es de $3,000 \text{ Kg/m}^2$ y siendo mayor el valor de la carga del tanque (1162 Kg/m^2) se deduce que no será necesario ponerle cimientos.

El tanque se recubrirá en su interior con mosaico (tipo azulejo) ó lozeta anticida de superficie pulida y tersa.

Agitador

De acuerdo a la literatura consultada*, para este tipo de sus-

*Axial flow propellers in rectangular Chests.
Stadler, Hurter Agitation Manual

pensiones se recomiendan los agitadores de tres aspas rectas.

En la mencionada literatura, existe un método según el cual se puede determinar el tipo, tamaño y velocidad del agitador a usar. Siguiendo dicho método, se encontró lo siguiente:

Datos:

- a) Largo tanque : 2170 m
- b) % Sólidos y viscosidad material: 50% (110-150 cps)
- c) Ancho del comal de agitación: 0.7 m
- d) Altura de trabajo: 0.8 m

$$\text{Area del canal agitación: } 0.7 \times 0.8 = 0.56 \text{ m}^2$$

Según la gráfica N° 7 de la misma literatura con estos datos se recomienda un agitador de 11 1/2" de diámetro.

Según la figura N° 15 de la fuente consultada, para la suspensión en cuestión, se encuentra una velocidad de 25 ft/min. (7.62 m/min).

Por lo tanto:

Volumen manejado por minuto = Area canal agitación X Velocidad

$$V_m = 0.56 \text{ m}^2 \times 7.62 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 4.26 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Según la tabla 2 del manual consultado el volumen manejado por revolución para este agitador es $0.26 \frac{\text{ft}^3}{\text{revolución}} = 7.36 \frac{\text{lt}}{\text{rev.}}$

$$\text{rpm agitador} = \frac{\text{Volumen manejado X minuto}}{\text{Volumen manejado X revolución}} = \frac{4.26}{0.00736} = \underline{\underline{578 \text{ rpm}}}$$

Para obtener la potencia requerida, de la misma fuente de consulta:

HP = 0.5 X cada 100 revoluciones

HP = 0.5 X 5.78 = 2.89 HP

Considerando un factor de servicio de 1.5

HP = 1.5 X 2.89 = 4.33 HP

Lista de materiales:

- 1) Tanque
- 2) Agitador de 11 1/2" de diámetro en acero A36 con prensa-estopa de acero A36 según dibujos
- 3) Chumaceras (2) modelo SCM de 2"
- 4) Cople flexible 6F
- 5) Motovariador con control electrónico modelo ED80 con motor 215 %D de 5HP.
- 6) Bomba Worthington CN-62 motor de 5HP
- 7) Bomba de lodos LOPEZ con motor de 3HP
- 8) Tolva de acero A36 con estructura del mismo material
- 9) Dos vibradores eléctricos de 1/3 HP
- 10) Arrancadores
- 11) Tubería acero inoxidable para caolín de 2" de diámetro
- 12) Tubería para agua fresca 1" diámetro galvanizada
- 13) Válvulas de cuchilla de 4", 2 1/2" y 2"
- 14) Válvula de relevo de 1 1/2"

DESCRIPCION DEL PROCESO

(En arranque)

- 1) Adicionar al tanque 3133 Hs. de agua
- 2) Arrancar el agitador

- 3) Agregar 1662 Kg de caolín al tanque en la zona de turbulencia (agitación)
- 4) Una vez que la suspensión esta perfectamente homogenea (sin grumos) agregar el 0.25% de hexametafosfato de sodio sobre el peso de caolín adicionado. Calibrar la bomba dosificadora de esta solución.

(En contínuo)

- 5) Calibrar la descarga de la tolva para tener una alimentación al tanque de $27.7 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$ de caolín crudo.
- 6) Calibrar la entrada de agua al tanque de manera que haya un flujo de $52.216 \frac{\text{lts}}{\text{min}}$
- 7) Abrir la válvula de descarga de lodos y vigilar que éstos fluyan constantemente a razón de 3.0 a 3.5 lts por minuto. Estos deberán tener una consistencia pastosa.
- 8) Arrancar la bomba de descarga de producto lavado tomando muestras para determinarles: % de só lido y abrasividad, por lo menos una vez por turno.

ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO

Costos de instalación:

Tanque:

Tanque:

Muro 1	:	1.5 m ²
Muro 2	:	2.7 m ²
Muro 3	:	1.5 m ²
Muro 4	:	2.7 m ²
Piso	:	4.05m ²
Muro Central	:	<u>2.0 m²</u>
Total:		14.45m ²

Considerando a \$3,500.00 el metro cuadrado de construcción:

Tolva y Vibradores:	\$ 10,000.00
Costo tanque:	50,500.00
Agitador y Transmisión:	85,000.00
Tubería y Válvulas:	25,000.00
Bombas:	50,000.00
Otros:	<u>20,000.00</u>
	\$245,500.00

Para analizar la rentabilidad del proyecto consideraremos las siguientes alternativas:

ALTERNATIVA 1

- con merma del 3.5% en el proceso de lavado
- Tomaremos como base un año de producción

Caolín : Costo comparativo por año (350 días)
Precio caolín 740.00/tonelada

	<u>ACTUAL</u>	<u>LAVADO</u>	<u>VARIACION</u>
Caolín	\$ 9,324,000	\$ 9,650,340	\$ (326,340)
M. Obra	43,200	129,600	(86,400)
E. Eléctrica	---	42,000	(42,000)
Mantenimiento	---	24,000	(24,000)
Otros	---	12,000	(12,000)
Depreciación	---	<u>24,550</u>	<u>(24,550)</u>
TOTAL:	\$ 9,367,200	\$ 9,882,490	\$(515,290)

Según gráfica 4-2 es de esperarse una vida de 26 días por lo tanto:

Vida actual 24 días, por lo tanto se consumen 14.58 telas por año (350 días) en cada máquina. El proceso beneficiador tiene capacidad para surtir 7 máquinas por lo tanto:

Precio cada Tela \$96,500.00

	<u>ACTUAL</u>	<u>LAVADO</u>	<u>VARIACION</u>
Costo X Telas	\$9,848,790	\$9,092,230	\$756,560

Ahorro Bruto: 756,560 - 515,290 = \$241,270

Ahorro Neto (DI): 241,270 X 0.5 = \$120,635

Flujo de fondos (anual) 120,635 + 24,550 = \$145,185

Pay back = $\frac{245,500}{145,185} = 1.69$ años

ALTERNATIVA 2

- Con 7.2 % de merma en el proceso de lavado
- Base un año de producción

	<u>ACTUAL</u>	<u>LAVADO</u>	<u>VARIACION</u>
Caolín:	\$ 9,324,000	\$ 10,013,976	\$ (689,976)
M. Obra:	43,200	129,600	(86,400)
E. Eléctrica:	---	42,000	(42,000)
Mantenimiento:	---	24,000	(29,000)
Otros:	---	12,000	(12,000)
Depreciación:	---	24,550	(24,550)
TOTAL:	\$ 9,367,200	\$ 10,236,126	\$(868,926)

	<u>ACTUAL</u>	<u>LAVADO</u>	<u>VARIACION</u>
Costo X Telas	\$ 9,848,790	\$ 7,529,456.6	\$ 2,319,332.4

Ahorro Bruto: 2,319,332.4 - 868,926 = \$1,463,386

Ahorro Neto : 1,463,386 X .5 = \$ 731,693

Flujo Fondos (anual) - 731,693 + 24,550 = \$756,243

Pay back = $\frac{245,500}{746,243} = 0.32$ años

ALTERNATIVA 3

- Con el 31.5% de merma por lavado
- Base un año de producción

	<u>ACTUAL</u>	<u>LAVADO</u>	<u>VARIACION</u>
Caolín	\$ 9,324,000	\$ 12,261,060	\$ (2,937,060)
M. Obra	43,200	129,600	(86,400)
E. Eléctrica	---	42,000	(42,000)
Mantenimiento	---	24,000	(24,000)
Otros	---	12,000	(12,000)
Depreciación	---	24,550	(24,550)
TOTAL:	\$ 9,367,200	\$ 12,493,210	\$ (3,126,010)

	<u>ACTUAL</u>	<u>LAVADO</u>	<u>VARIACION</u>
Costo X Telas	\$ 9,848,790	\$ 6,459,699	\$ 3,389,090
	Ahorro Bruto : 3,389,090 - 3,126,010 = \$263,080		
	Ahorro Neto : 263,080 X 0.5 = \$131,540		

Flujo Fondos (anual) = 131,540 + 24,550 = \$156,090

Pay Back = $\frac{245,500}{156,090} = 1.57$ años

Del análisis económico, se concluye que el proceso es RENTABLE ya que en todos los casos, el costo del equipo instalado se recupera en un lapso menor a dos años.

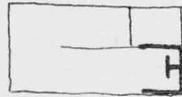
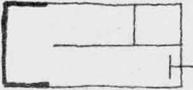
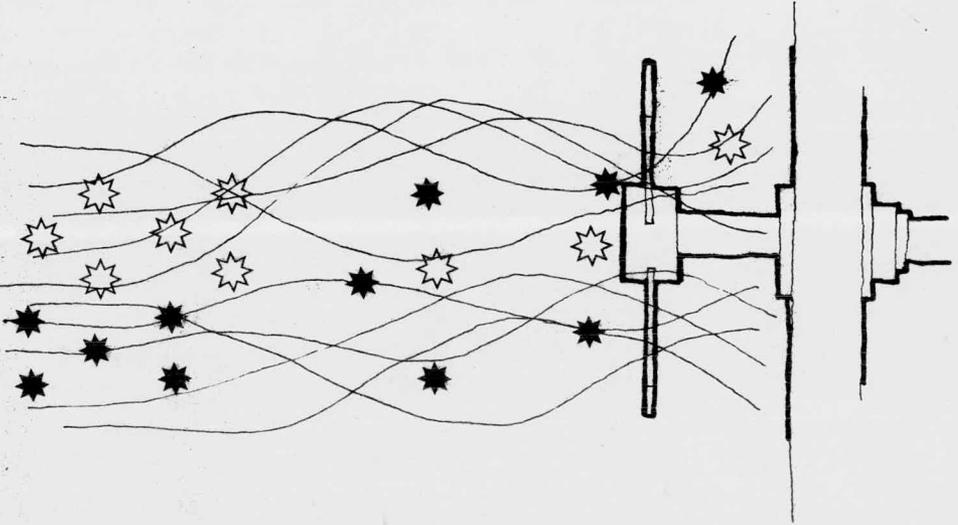
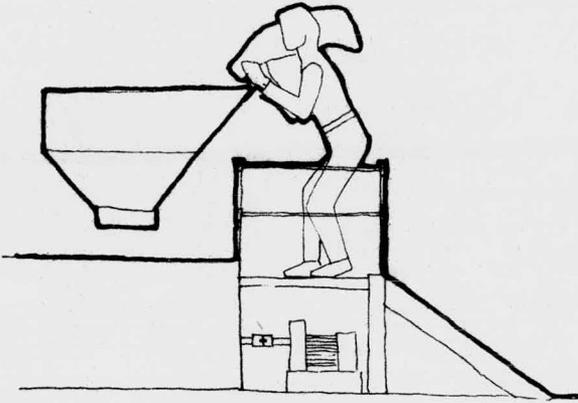
Intencionalmente, no estamos considerando la ganancia extra en producción resultante de tener menos tiempo perdido por concepto de cambios de tela. Incluyendo la rentabilidad del proceso es excelente, y justifica totalmente la inversión.

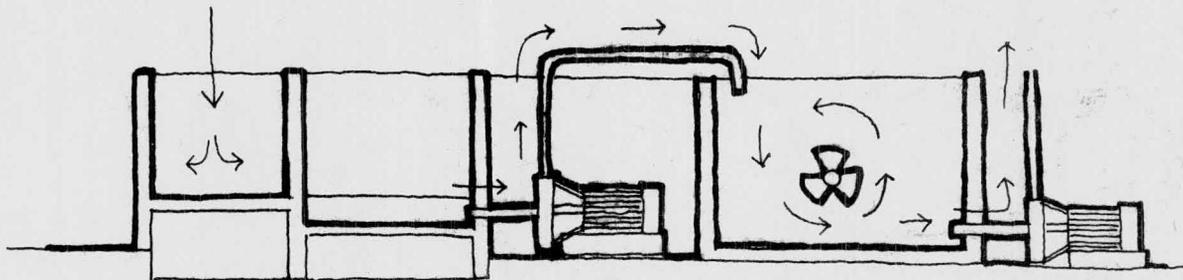
Así mismo, durante el desarrollo de las pruebas en máquinas, se observó repetitivamente un aumento en la renteción de cargas, lo cual significa un ahorro adicional. Debido a que se requerirá menor cantidad de caolín para alcanzar las características necesarias en el papel comparativamente a la cantidad que normalmente se adiciona cuando el caolín no se lava.

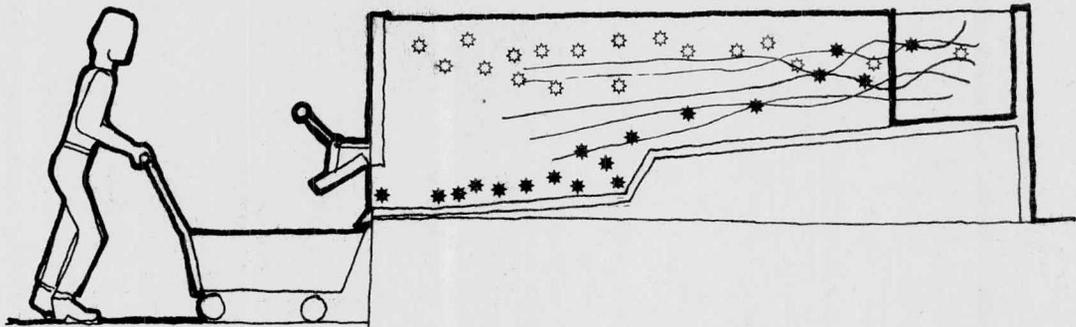
El equipo propuesto es sencillo en su operación y consideramos que requerirá de poco mantenimiento. Se considera adecuado que una persona puede encargarse de la operación del proceso.

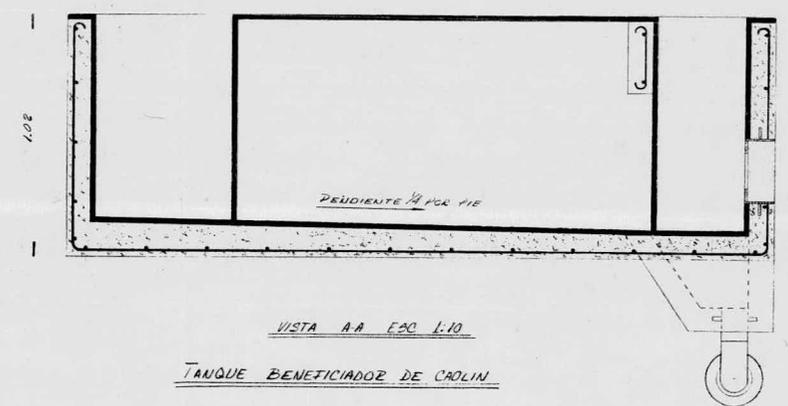
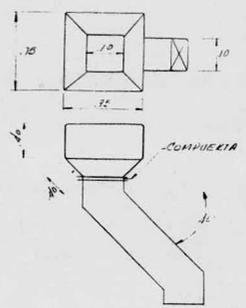
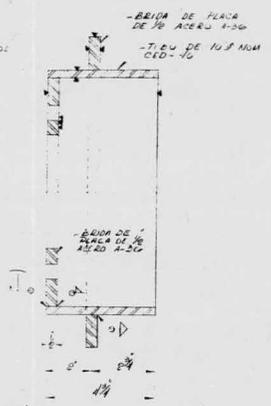
Los lodos resultantes del proceso, no obstante la alta abrasividad que tienen, pueden ser utilizados sin problema en otras industrias donde la abrasividad no sea factor crítico. Como ejemplos de estas industrias tenemos: la industria de la cerámica,

industria de adhesivos, la industria hulera, etc. Por lo tanto, existe la posibilidad de vender el material sedimentado y de esta manera aumentar aún más la rentabilidad del proceso.



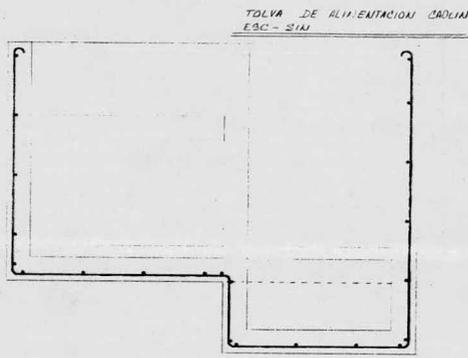




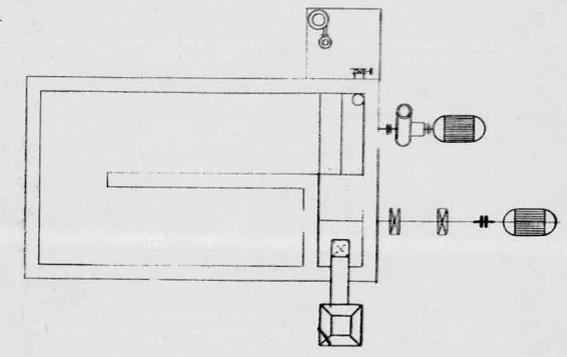


VISTA AA EBC-1/10

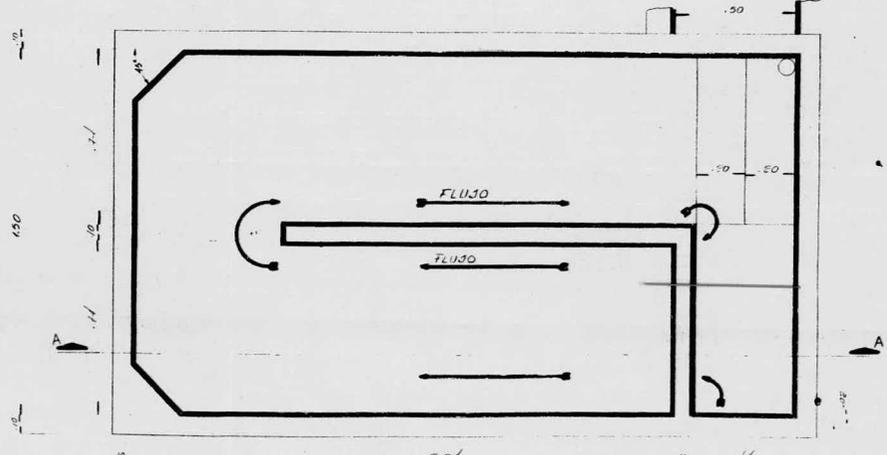
TANQUE BENEFICADOR DE CAOLIN



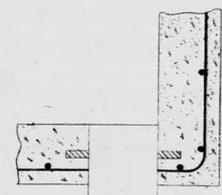
VISTA B-B EBC-1/10



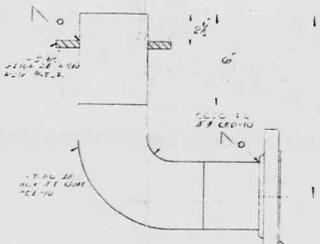
ARREGLLO ESQUEMATICO DE TANQUE BENEFICADOR DE CAOLIN EBC-SIIA



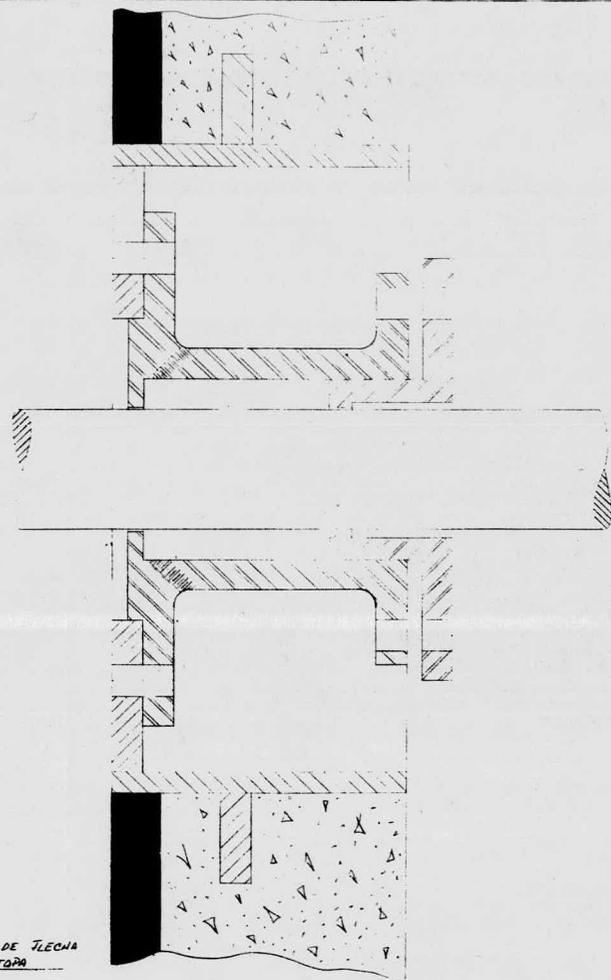
NOTAS:
LAS DIMENSIONES DADAS SON ENTRE
MURDZ SIN CONSIDERAR ARMESZOD



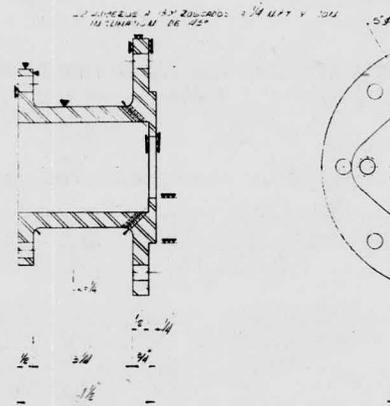
DETALLE DE MUEDA DE TANQUE EBC-1/10



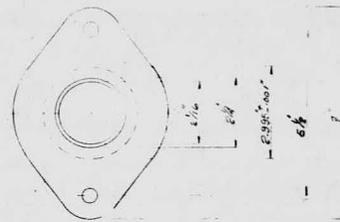
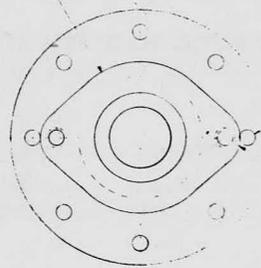
ANTEPROYECTO PLANTA BENEFICADORA DE CAOLIN PARA LA INDUSTRIA DEL PAPEL
DISEÑADO POR: DANIEL CONDE SURISTI
EBC - INICIADAS
FECHA: 18-ENERO-78
BOYATACIONES - INICIADAS



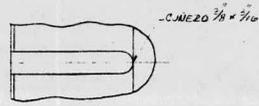
ARREGLO GENERAL DE FLECHA
CASA Y PENSAESTOPA
ESC 1:1



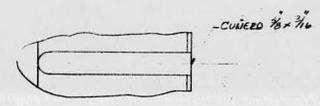
CASA PENSAESTOPA
ESC 1:1



PENSAESTOPA
ESC 1/2=1



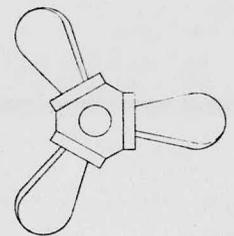
-CUERNO 3/8" x 3/16"



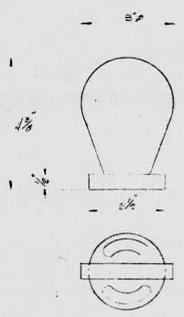
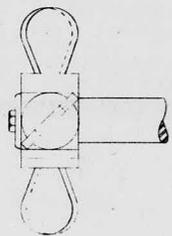
-CUERNO 3/8" x 3/16"



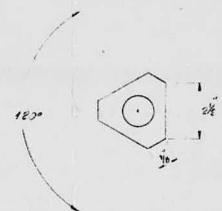
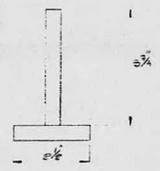
FLECHA DE AGITADOR
ESC 1:1



ALTAZAR
ESC 3/4=1



ASPA DE AGITADOR
ESC 3/4=1



AUTOPROYECTO PLANTA BENEFICADORA DE CAOLIN PARA LA INDUSTRIA DEL PAPEL.
ZATEL CONLE JUANISTI
ESC-INDICADAS
18-ENERO-1918
ACOT PULGADAS

CONCLUSIONES

- 1) El beneficio del caolín producido en México es posible lograrlo mediante el sencillo equipo propuesto con anterioridad. Aunque requerirá de experimentación continua a fin de obtener de él los resultados deseados.
- 2) El proceso de flotar en aire el caolín de México no es adecuado debido a las características químicas, físicas y geológicas del material que se explota en el país.
- 3) Debido a las características del caolín nacional el proceso más adecuado para beneficiarlo y hacerlo apto para ser utilizado como carga en la industria papelera, es el de lavarlo en agua. Ya que en las pruebas de laboratorio y de máquina mostró excelentes resultados siendo además un proceso de gran rentabilidad.
- 4) Existe la necesidad de acudir con los productores de caolín en México y promover en ellos la necesidad de adquirir o de sarrollar mejores tecnologías, ya que, como hemos comentado con anterioridad, tanto la explotación de los yacimientos, como sus procesos son muy deficientes en este sentido.
- 5) Por la importancia económica y social que la industria papelera tiene en el país, es cada vez más necesario buscar que sus procesos sean más eficientes. Lo cual implica adicionar en los diferentes procesos que la integran, materias primas de alta calidad.

El caolín es materia prima fundamental del proceso de manufactura de papel por los efectos en la calidad del mismo y sus beneficios económicos, por lo cual la firme intención del presente trabajo es contribuir a iniciar una inquietud, tanto en los técnicos de la industria de papel, como en los productores de mineral, para que en

conjunto se logre, mediante procesos más adecuados, contar con suficiente caolín, de calidad competitiva al de los Estados Unidos y a precio conveniente que estimule el uso extensivo de este material.

BIBLIOGRAFIA

TAPPI 41, No. 11
Pags. 658-660
Nov. 1958

KOLLOID - Z
Vol. 32
Pags. 119 - 137
1940

IND. CHEM. ENG. 39, No. 9
Pags. 1143 - 1147
Sept. 1947

TAPPI 38, No. 12
Pags. 705 - 709
Dic. 1955

CASEY P. JAMES
Pulp and Paper Chemical Technology
2a. Edición.
Interscience Publishers Inc. New York

MOSHER H. ROBERT - DAVIS S. DALE
Industrial and Specialty Papers
Volumen 1
Chemical Publishing Co. Inc. New York

TAPPI MONOGRAPH SERIES No. 19
Paper Loading Materials
1958

HUBER J.M.
Kaolin Clays and Their Industrial Uses
J.M. Huber Corporation
1955

CONGRESO GEOLOGICO INTERNACIONAL
Riqueza Minera y Yacimientos Minerales de México
Banco de México, S.A.
1970

PERRY H. JOHN
Chemical Engineers Handbook
Mc. Graw Hill Company
1968

TREADWELL - HALL
Analytical Chemistry
Volume II (Quantitative)
John Wiley & Sons
1958

LIPKIN, FEINSTEIN & DERRICK
Accountant's Handbook of Formulas and Tables
Prentice-Hall Inc.
1964

SHERWOOD K. THOMAS
A course in process design
The M.I.T. Press
1963

KAMMERMEYER & OSBURN
Process Calculations
Prentice-Hall
Chemical Engineering Series
1956

MC CABE W.L. & B. SMITH
Unit Operations of Chemical Engineering
Mc Graw - Hill Book Company
1958

Esta Tesis se imprimió en Febrero de 1978
empleando el sistema de reproducción Foto-Offset,
en los Talleres de Impresos Offsali-G, S. A., Av.
Colonia del Valle No. 535 (Esq. Adolfo Prieto),
Tels. 523-03-33 y 523-21-05 México 12, D. F.