

---

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO DE LA RELACION HIPOCLORITO/CLORACION EN EL BLANQUEO DE PULPAS CELULOSICAS DE BAGAZO DE CAÑA AL MONOSULFITO DE AMONIO.

377

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

Q U I M I C O

P R E S E N T A :

MIGUEL ANGEL REGALADO RODRIGUEZ

---

MEXICO, D. F.

1976



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.

CLAS. Desic  
ADQ. ~~1976~~  
FECHA           
PROC. M-7

359



QUIMICA

PRESIDENTE	ADALBERTO TIRADO ARROYAVE
VOCAL	MARIO GUEVARA VERA
SECRETARIO	JORGE ALBERTO CASTAÑARES ALCALA
1er. SUPLENTE	JORGE HARO CASTELLANOS
2o. SUPLENTE	CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO

Sitio donde se desarrollo el tema:

LABORATORIOS NACIONALES DE FOMENTO INDUSTRIAL

S u s t e n t a n t e :

MIGUEL ANGEL REGALADO RODRIGUEZ

Asesor del Tema:

JORGE ALBERTO CASTAÑARES ALCALA

A mis padres: Salvador y Rosario  
Con gran amor, admiración y res  
peto, agradecido por sus esfuer-  
zos y sacrificios, logrando con  
ellos formar al último de sus hi-  
jos.

A la memoria de mi querido  
hermano Jesús quién me se-  
ñaló el camino a seguir.

Con cariño y respeto a mis  
hermanos, de los que he a-  
prendido mucho de cada uno:  
Ma. Elena, Alicia, Teresa,  
Ana María, Salvador, Rosa-  
rio, Ma. Guadalupe.

A mi adorable esposa que ha  
sabido iluminar el sendero -  
recorrido y en quién tengo -  
sembradas las esperanzas del  
futuro.

A mis respetables tíos

A mis estimables cuñados que  
quiero como hermanos.

A todos mis sobrinos

Agradezco profundamente las desinteresadas atenciones e indicaciones prestadas a este trabajo al Señor Director General de los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial, Químico Rafael Rojas Gutiérrez.

Al Ingeniero Jorge A. Castañares Alcalá mi más grande reconocimiento y agradecimiento por su labor prestada para la realización de la presente tesis.

Quiero agradecer también las oportunas sugerencias hechas para la realización del presente trabajo al Señor Ingeniero Mario Guevara Vera .

A mi querida Escuela

A todos mis amigos y compañeros de los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial con los que he adquirido la experiencia técnica y práctica y de quienes llevaré un - imborrable recuerdo.

ESTUDIO DE LA RELACION HIPOCLORITO/CLORACION EN EL  
BLANQUEO DE PULPAS CELULOSICAS DE BAGAZO DE CAÑA  
AL MONOSULFITO DE AMONIO

I N D I C E

	PAG.
SINOPSIS	
I.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1
II.- GENERALIDADES SOBRE EL PROCESO DE BLANQUEO	5
III.- PARTE EXPERIMENTAL	14
1).- Evaluación de las pulpas crudas	14
2).- Corridas de blanqueo de las pulpas crudas.	28
IV.- ANALISIS DE RESULTADOS	65
V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFIA	68

## S I N O P S I S

EL PRESENTE TRABAJO ES PARTE DE UNA INVESTIGACION RELACIONADA CON LA OBTENCION DE PULPAS CELULOSICAS AL MONOSULFITO DE AMONIO (MSA). SE ESTUDIARON LAS CONDICIONES DE BLANQUEO EN FUNCION DE LA RELACION HIPOCLORITO/CLORACION (H/C) PARA LA PULPA ANTERIORMENTE MENCIONADA.

SE ESTUDIO LA RELACION H/C PARA DOS PULPAS CRUDAS COMERCIALES.

ASIMISMO, SE COMPARARON LOS RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE LAS DOS PULPAS BLANQUEADAS COMERCIALMENTE, ENTRE SI FRENTE A LAS MISMAS PULPAS TANTO CRUDAS COMO BLANQUEADAS EN PLANTA PILOTO Y CONTRA LA PULPA BLANQUEADA AL MSA.

LA COMPARACION SE EFECTUO CON BASE A LA EVALUACION FISICA Y QUIMICA DE LAS CINCO PULPAS MENCIONADAS.

## CAPITULO I

### ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Uno de los más graves problemas que actualmente enfrenta la humanidad es el de la contaminación del medio ambiente como resultado del gran desarrollo industrial tenido en las últimas décadas.

En América Latina, región en nuestro Continente constituida por países en proceso de desarrollo, el problema es más grave, pues lo que podría estar atenuado por falta de crecimiento industrial está sobradamente impulsado por la notable tasa de aumento anual de población, cercana al 3%, que ha producido en la región un incremento del orden de 60 millones de habitantes en la última década.

La industria de la pulpa y del papel, sobre todo aquella, en que dos principales procesos de pulpeo conocidos: el de las pulpas al sulfito, ácidas o neutras, y el de las pulpas alcalinas (kraft o a la sosa), ha venido siendo un importante contribuyente de la contaminación del medio ambiente.

El proceso al sulfito, en la mayoría de los casos, carece de facilidades de recuperación de reactivos, situación que ya en 1964 significaba que la producción de la pulpa al sulfito en sus diferentes bases (calcio, magnesio, amonio) en los EE UU y Canadá hiciese llegar al mar 2 mi

llones de toneladas de bióxido de azufre en forma de lignosulfonatos y sulfitos (1), con grandes perjuicios a las corrientes fluviales y marítimas, irremediablemente contaminadas.

El proceso kraft, a pesar de contar en la mayoría de los casos con facilidades de recuperación de reactivos, produce olores especialmente desagradables, originados por compuestos orgánicos de azufre -mercaptanos y otros- lo que, aún en concentraciones muy reducidas, del orden de partes por millón, "contaminan" la atmósfera en menor o mayor grado, dependiendo de que gases y licores se traten o no específicamente para combatir dichos malos olores, problema sobre el que México ha desarrollado, e inclusive exportado, una importante tecnología(2). Sin embargo, en el caso de plantas de pulpa kraft o a la sosa cuya pequeña capacidad impide contar con facilidades de recuperación de reactivos o de tratamiento de los gases de descarga, el problema de contaminación se vuelve igualmente serio.

Por el contrario, el proceso al sulfito de amonio(3), desarrollado en los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial, presenta en principio, la enorme ventaja de que además de que los licores blancos se pueden generar, cuando menos en el caso de México, a partir de materias primas -azufre y amoníaco- disponibles a precios convenientes, permite eliminar complicados y costosos procesos de recuperación de reactivos, ya que los licores negros pueden ser aprovechados de diversas maneras; propiciándose así la posibilidad de instalación de plantas

de pulpa relativamente pequeñas, lo cual, con cierta frecuencia, puede ser una necesidad real en nuestros países latinoamericanos (4).

La utilización de bagazo de caña como materia prima para la realización de este estudio fue, hasta cierto punto, una selección bastante natural, derivada primordialmente de que México como en la mayoría de los países de América Latina, este recurso fibroso presenta varias ventajas sobre cualquier otro, entre las que destacan las siguientes:

- El bagazo es un subproducto agrícola abundante, cuyo mejor aprovechamiento necesariamente repercutirá, al abrirse nuevas fuentes de trabajo, en mejores ingresos para el medio rural, en donde, por lo general, hay exceso de mano de obra desocupada o subocupada.
- El bagazo se localiza en zonas con infraestructura industrial ya desarrollada.

Cabe hacer hincapié en que la industria papelera mexicana consume pulpa blanqueada aun para la fabricación de papeles que van a hacer pintados o para la producción de papeles que no requieren un alto grado de blancura (v.g. papeles color sepia). A mayor abundamiento, la obtención de pulpas de relativamente baja blancura tiene la ventaja de obtenerse a más alto rendimiento, menos consumo de reactivos y por lo tanto, menor costo.

Se considera que la producción de pulpas semiblanqueadas tiene un lugar definido en el comercio nacional.

En otros trabajos <sup>(5)</sup> se ha demostrado la bondad del establecimiento de nuevos procesos no tradicionales para la obtención de pulpas celulósicas, entre ellos el llamado proceso al Monosulfito de Amonio, el cual ha sido motivo de una serie de investigaciones, dentro de el programa de desarrollo de este proceso faltaba realizar un estudio básico en la parte concerniente al blanqueo.

Por lo observado en las características de la pulpa morena del proceso al monosulfito de amonio, estudiado previamente, se supuso que el blanqueo puede llevarse a cabo en condiciones menos enérgicas, procurando afectar lo menos posible la cadena de la celulosa si sólo se persigue obtener pulpas con una blancura del orden del 80%, y al mismo tiempo lograr rendimientos no menores del 92% lo cual a su vez se traduciría en una reducción de los costos.

Por otra parte, el hipoclorito es el principal causante de la degradación de las pulpas, por lo cual se decidió investigar el efecto de la disminución del hipoclorito en el proceso de blanqueo y, concretamente, la relación hipoclorito/cloración (H/C) que es el objetivo del presente trabajo.

## CAPITULO II

### GENERALIDADES SOBRE EL PROCESO DE BLANQUEO

En realidad, el término blanqueo (que, estrictamente hablando, significa volver blanco), se usa indeterminadamente en la industria del papel para cubrir tanto esta operación como las relacionadas con la misma, (tales como la cloración). Puesto que un simple blanqueo, normalmente implica una disminución en el rendimiento de aproximadamente de un 5 a 10%, se comprende que desde un punto de vista cuantitativo las impurezas que se eliminan son de relativa poca importancia, comparadas con las eliminadas por la digestión. Sin embargo, cualitativamente, son de gran significación por sus efectos en la apariencia y propiedades de la pulpa.

Las técnicas de blanqueo de pulpa para papel se han desarrollado en los últimos 40 años, sustituyendo el blanqueo por lote, de hace más de 25 años, por el continuo de etapas múltiples. Sin embargo, en la última década es cuando se ha llegado a algún acuerdo sobre el proceso más indicado para un problema en particular.

#### Descripción general de un proceso de blanqueo con hipoclorito de sodio.

El método más común para blanquear pulpas, a partir de bagazo de caña, es siguiendo la secuencia de cloración-extracción con sosa cáustica

y el tratamiento con hipoclorito. Normalmente para los niveles de "Permanganato" entre 16 a 18, se aplica de un 7 a un 9% de cloro total sobre pulpa morena (base seca), empleando el 70% del cloro disponible en la etapa de cloración y el resto en la etapa de hipoclorito.

### Cloración

El cloro usado en esta etapa, es aplicado ya sea como gas, o disuelto en agua. El cloro en concentraciones relativamente altas es absorbido rápidamente por la lignina (la que, después de la celulosa, es el principal constituyente de la mayoría de los materiales vegetales) para formar cloroligninas. Esta reacción puede expresarse como sigue:



Se puede observar que también se forma ácido clorhídrico, por lo que en el siguiente paso (extracción) se neutraliza con álcali. La clorolignina (LigCl), aunque insoluble en presencia de ácido se disuelve inmediatamente en presencia de un ligero exceso del mismo, y puede por esta razón eliminarse de la pulpa por lavado. La pulpa lavada queda entonces en condiciones de "blanquearse" de la manera usual con una solución de hipoclorito.

Las variables que afectan la cloración son las siguientes:

#### - Concentración de Cloro.-

La concentración de cloro en la etapa de cloración depende principalmente de la lignina contenida en la pulpa. En la práctica, una

fracción del cloro total requerido en la pulpa es determinado por el número de cloro de Roe, número de permanganato, número de kappa o una prueba equivalente, así por ejemplo, el cloro total requerido en pulpas kraft es de 4 a 8%; en pulpas semiquímicas al sulfito neutro es de 10 a 18% y en pulpas al bisulfito es de 3 a 6%.

- Consistencia.-

La consistencia usual es de 3 a 3.5%, ya que la solubilidad del cloro en agua es baja.

- Temperatura.-

La temperatura de cloración normalmente es la que tiene el agua en el ambiente (20 a 25°C), ya que no sería costoso calentar o bien enfriar; sin embargo, la temperatura del agua cambia con las estaciones del año, por lo que las características de la pulpa clorada son alteradas.

- Tiempo.-

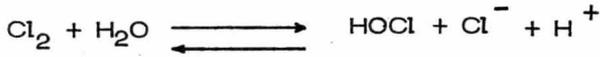
El tiempo usual de una pulpa alcalina en la etapa de cloración es de 45 a 60 minutos.

- pH.-

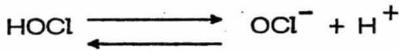
Cuando aumenta el pH, disminuye el efecto de cloración, propiciándose con esto la oxidación y con ello la degradación de la celulosa. Con la adición de ácido en la cloración se incrementa en cierta proporción la reacción.

Se recomiendan valores de pH menores de 2 para esta etapa.

Cuando el cloro está en contacto con el agua, se forma el siguiente sistema:



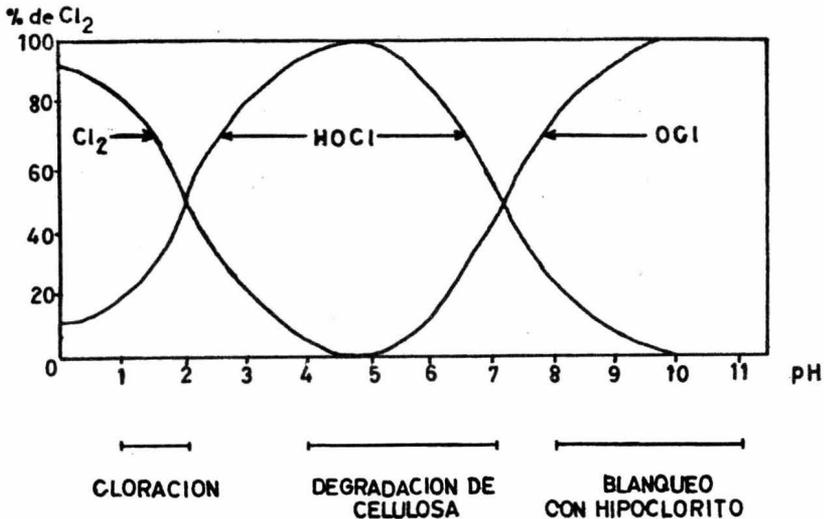
$$K_{25^\circ\text{C}} = 3.94 \times 10^{-4}$$



$$K_{25^\circ\text{C}} = 5.6 \times 10^{-8}$$

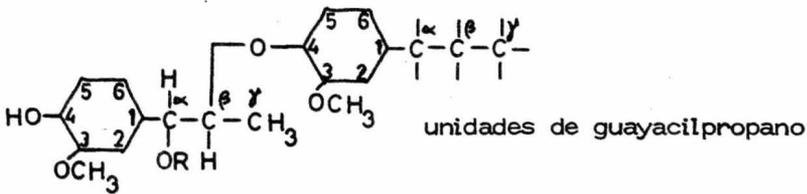
El sistema contiene más o menos  $\text{Cl}_2$  libre, HOCl ó  $\text{HCl}$ .

El gran efecto oxidante sobre la pulpa, como se puede apreciar en las ecuaciones anteriores, es debido al pH del sistema, el cual se ilustra a continuación:

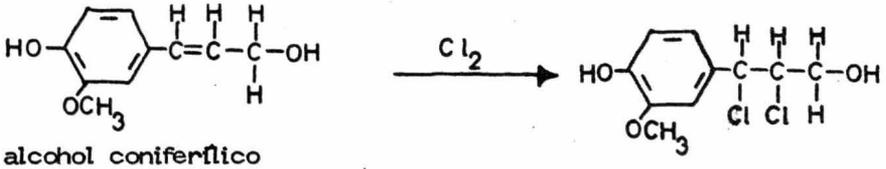


Principales reacciones de cloración con ligninas

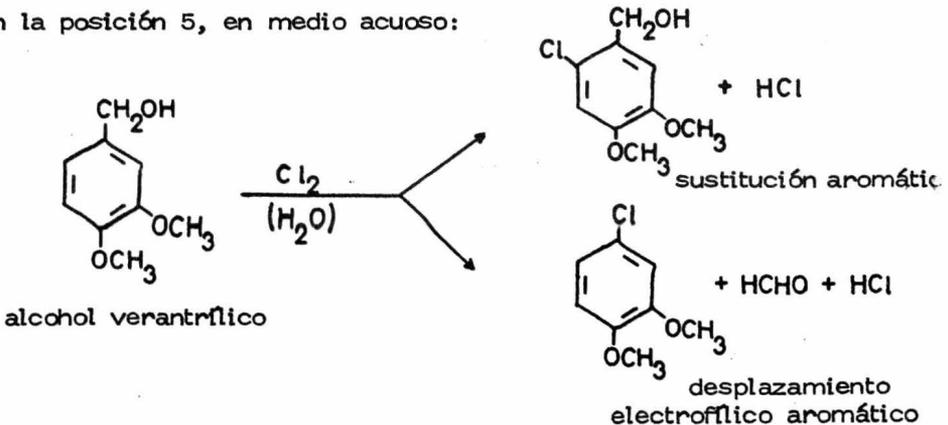
La lignina de pulpa cruda es una sustancia amorfa de alto peso molecular cuya estructura exacta no está establecida, pero se sabe que sus unidades básicas son derivados del siringilpropano en maderas duras acompañados por derivados del guayacilpropano en maderas suaves, como sigue:



La adición puede ocurrir en enlaces dobles en cadenas alifáticas:

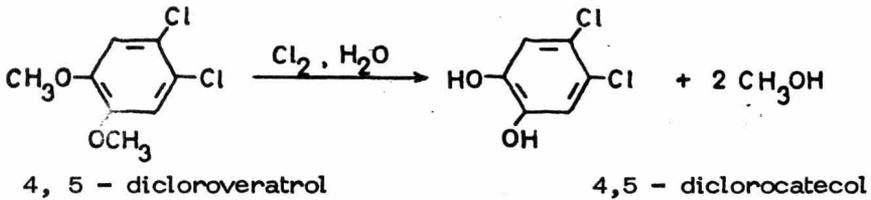


La substitución es una reacción rápida y puede llevarse a cabo en los núcleos aromáticos, con preferencia en la posición 6 y con menor grado en la posición 5, en medio acuoso:



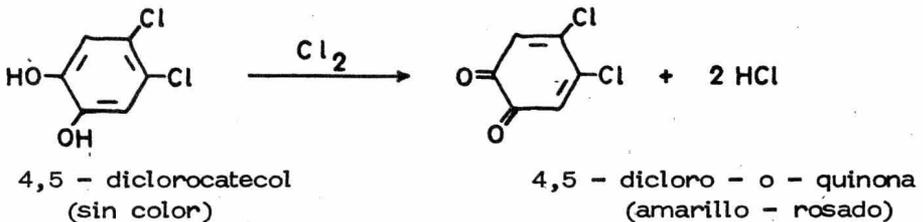
Este tipo de reacción es de significancia predominante, ya que se lleva a cabo en 10 ó 20 minutos, aunque su velocidad aún no está determinada.

Posteriormente, se puede llevar a cabo una dialquilación:



Los productos de esta naturaleza son excelentes sustratos para la oxidación a quinonas coloridas, que percibimos de las pulpas cloradas con un color de amarillo a naranja.

Estas oxidaciones se llevan a cabo lentamente. El poder oxidante del cloro se muestra en la siguiente reacción, en donde observamos que se forman 2 moles de ácido clorhídrico por mol de cloro:



Estas cloroquinonas son inestables y se pueden transformar, particularmente en medio alcalino en donde sus átomos de cloro pueden ser reemplazados por grupos OH, haciéndolos solubles.

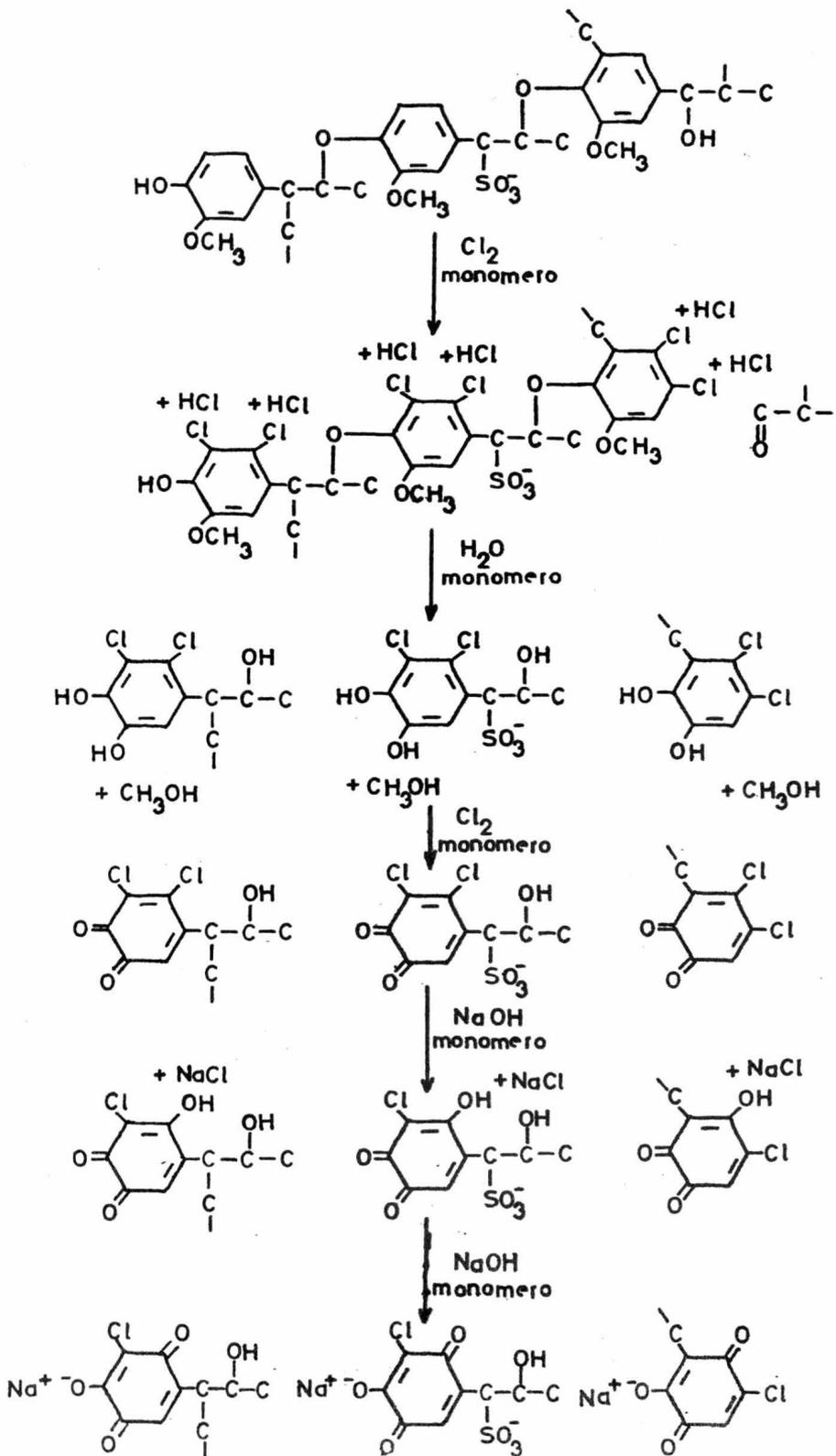
### Extracción alcalina

La finalidad de esta etapa es la de solubilizar las cloroligninas que no se lograron separar por el lavado en la cloración.

Las variables que afectan a la extracción alcalina, se manejan, dependiendo de la clase de celulosa; sin embargo, se referirán aquéllas al enfoque del presente estudio, considerándolas como las adecuadas para el bagazo de caña.

La adición de álcali deberá mantener un pH arriba de 9, por lo que para pulpas alcalinas se recomienda usar una adición de 1.5 a 2.5% de sosa sobre el material fibroso (base seca); la temperatura para es ta etapa es alrededor de los 70°C y los tiempos recomendados son su periores a los 60 minutos. La consistencia debe ser alta, ya que con esto se reduce el consumo de vapor y asegura un pH alto durante la reac ción, debido al aumento de la concentración del reactivo por unidad de volumen.

Las reacciones durante la cloración y el tratamiento alcalino son las siguientes:



## Hipoclorito

El hipoclorito de calcio fue empleado como primer agente químico para el blanqueo de pulpas. El uso de hipoclorito de calcio o de sodio ha continuado a través de los años, porque ofrece dos ventajas, su bajo costo y el control de la degradación de la pulpa.

La reacción del blanqueo con hipoclorito depende básicamente de la naturaleza de la pulpa, temperatura, pH, tiempo, consistencia y de la adición del hipoclorito.

La temperatura adecuada para esta etapa es de un rango de 30 a 50°C. Si la temperatura fuera baja, la reacción sería más lenta y la capacidad productiva del sistema se reduce también. A temperaturas mayores sería excesivo el costo del vapor y el tiempo de reacción debería ser más controlado para prevenir la degradación de la celulosa.

Como la reacción del hipoclorito con la celulosa es lenta, se emplean normalmente de 3 a 4 horas y la consistencia recomendada para esta etapa es mayor de 10%.

Las soluciones de hipoclorito para el blanqueo son normalmente preparadas con suficiente álcali en exceso (30 a 40% es recomendado) para neutralizar los ácidos orgánicos formados durante la reacción, manteniéndose así un valor de pH alto y constante.

La cantidad en esta etapa de hipoclorito, como cloro activo, adicionado, varía de 1 a 2%.

## CAPITULO III

### PARTE EXPERIMENTAL

Como el objetivo del trabajo fue el determinar las condiciones apropiadas de blanqueo para las pulpas obtenidas al MSA, se consideró necesario establecer parámetros de comparación, para lo cual se recurrió al expediente de blanquear pulpas comerciales, en las mismas condiciones en que se blanquearon las pulpas al MSA, tratando de obtener pulpas con una blancura del orden de 80%.

#### 1. Evaluación de las pulpas crudas.

Como de hecho las pulpas crudas constituyen la materia prima para el proceso de blanqueo, fue necesario conocer sus características, a este fin, se llevó a cabo una evaluación de las pulpas crudas.

#### - Materiales

Pulpa al Monosulfito de Amonio (MSA).

Pulpa comercial al Monosulfito de Sodio (NSSC)

Pulpa comercial a la Sosa

#### - Métodos y materiales de los análisis físico y químico

Análisis físico.-

Prácticamente toda la evaluación se efectuó siguiendo los métodos

TAPPI; por consiguiente, la refinación de las pulpas se hizo en una

Pila Valley de laboratorio, la medición del "freeness", en un probador Canadian, la formación de hojas (de  $60 \text{ g/m}^2$ , base seca), en equipo Hermann, y la determinación de las propiedades físicas, en los probadores convencionales, previo acondicionamiento de las hojas en atmósfera de aire a 50% de humedad relativa y  $23^\circ\text{C}$ .

- Espesor (calibre) (T 411 m-44)

El método empleado especifica que el papel se debe medir entre dos caras planas circulares, horizontales y paralelas, de las cuales sólo una se puede mover y únicamente en una dirección perpendicular a la otra cara. El elemento móvil está engranado a un indicador.

- Porosidad (T 460 m-49)

Es la resistencia al paso del aire definida como el tiempo en segundos para pasar 100 ml de aire a través de un círculo de muestra de  $1 \text{ plg}^2$  ( $6.45 \text{ cm}^2$ ) de área en condiciones estándar.

- Resistencia a la Explosión (Mullen) (T 403 m-53)

La resistencia a la explosión es inversamente proporcional al diámetro de la superficie de la muestra probada y se mide por la presión desarrollada en la parte inferior de un diafragma circular de hule, cuando éste se fuerza contra el papel hasta hacerlo reventar. El factor de explosión es la explosión en gramos por centímetro cuadrado entre el peso base en gramos por metro cuadrado.

- Resistencia a la tensión y elongación (T 404 m-50)

En esta prueba se mide la fuerza de tensión necesaria para romper una tira de papel.

- Resistencia interna al rasgado (T 414 m-49)

Esta prueba mide una resistencia en el papel, que depende de la longitud de la fibra.

- Resistencia al dobléz (T 423 m-50)

El principio de esta prueba consiste en el dobléz contínuo de unas tiras de papel hasta que se rompen, siendo la resistencia al dobléz el número de dobles dobleces (es decir, hacia un lado y hacia otro) requeridos para producir la ruptura.

- Opacidad (T 425 m-44)

Es la diferencia que existe entre la reflectancia del papel cuando está sobre una placa de reflectancia infinita y cuando está sobre u una placa de reflectancia cero.

- Blancura (T 452 m-58)

La brillantez del papel se refiere a la reflectividad integrada de to da la superficie del papel. Depende de la longitud de onda de la luz iluminante y del observador e instrumento usado para medirla.

### Análisis químico

El análisis químico también se efectuó de acuerdo a los métodos TAPPI.

- Viscosidad de pulpas por el método de la cuprietilendiamina (T 230 su-66)

El método de la cuprietilendiamina, consiste en determinar el grado de degradación de una pulpa, la cual puede ser dispersada en el disolvente cuprietilendiamina durante el contacto con la atmósfera y la determinación completa puede hacerse en 30 ó 45 minutos.

#### Equipo utilizado

- Cilindro de nitrógeno gaseoso provisto con válvulas de reducción para dar 0.14 a 0.21 kg/cm<sup>2</sup> de presión; frascos para la preparación y almacenaje de la solución de cuprietilendiamina; baño de agua, para mantener la temperatura constante a  $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ; pipeta de Fenske-Otswald para viscosidad; viscosímetro; tubo de disolución; matraz volumétrico y equipo usual de laboratorio.

La viscosidad de una solución de pulpa al 0.5% en cuprietilendiamina 0.5 M en cobre, se calcula con la siguiente fórmula:

$$V = Ctd$$

en donde:

V = Viscosidad, en centipoises

C = Constante de la pipeta encontrada

t = Tiempo en segundos

d = Densidad de la solución de la pulpa, la cual es 1.052

- Celulosa alfa, beta y gama en pulpa (T 203 es-74)

La pulpa es extraída consecutivamente con NaOH 17.5% y 9.45%, en donde la fracción alfa de alto peso molecular es insoluble, y la fracción de hemicelulosa la cual contiene el material de cadena corta sí se disuelve. La fracción de hemicelulosa puede dividirse en celulosa beta y gama.

#### Equipo utilizado

- Dispersador de pulpa, consta de un motor de velocidad variable y un agitador de acero inoxidable; baño de temperatura constante, cronómetro, embudo o crisol de filtración, aditamentos de vidrio, tales como vasos de precipitado de 300 cm<sup>3</sup>, pipetas de 10, 25, 50 y 75 cm<sup>3</sup>, buretas de 50 cm<sup>3</sup>, matraces de 250 y 300 cm<sup>3</sup>, kitsatos de 250 cm<sup>3</sup>, probetas graduadas de 25, 50 y 100 cm<sup>3</sup> y agitadores de vidrio.

#### Cálculo de alfa celulosa:

$$\% \text{ alfa celulosa} = 100 - \frac{6.85 (V_2 - V_1) \times N \times 20}{A \times w}$$

en donde:

- $V_1$  = volumen empleado en la titulación del filtrado, en cm<sup>3</sup>
- $V_2$  = volumen empleado en la titulación del blanco, en cm<sup>3</sup>
- $N$  = normalidad exacta del sulfato ferroso amoniacal
- $A$  = Volumen de filtrado usado en la oxidación, en cm<sup>3</sup>
- $w$  = peso del espécimen de pulpa seco a la estufa, en gramos

- Lignina insoluble al ácido en pulpa y madera (T 222 os-74)

El método está basado en la hidrólisis de los carbohidratos de pulpa y madera que son solubilizados por el ácido sulfúrico (72%), el residuo insoluble se determina como lignina.

#### Equipo utilizado

- Kitasatos; matraz erlenmeyer de 2 000 cm<sup>3</sup>, crisol de fondo poroso de 30 cm<sup>3</sup>.

El cálculo del contenido de lignina en la muestra de prueba es como sigue:

$$\% \text{ Lignina} = \frac{A \times 100}{W}$$

en donde:

A = Peso de lignina, en gramos

W = Peso de muestra de prueba seco a la estufa,  
en gramos.

- Pensosanos en madera y pulpa (T 223 os-71)

Los pentosanos son hidrolizados, por el ácido clorhídrico, a furfural; este método puede aplicarse tanto a madera como a pulpas blanqueadas y sin blanquear.

#### Equipo utilizado

- Aparato de destilación consistente en un matraz de ebullición de 250 a 300 ml., un embudo de separación graduado de 250 ml., un

refrigerante, un matraz volumétrico de 250 ml (con marcas de 25 ml de intervalo); estufa eléctrica, baño de hielo, colorímetro, baño de temperatura constante, cronómetro, matraces volumétricos de 50 ml, pipetas de 5 y 25 ml.

Cálculo de pentosanos

$$\% \text{ Pentosanos} = \frac{A}{10 \times W}$$

en donde:

A = miligramos de xilosa en la muestra

W = peso de la muestra seco a la estufa, en gramos

- Cenizas en papel (T 413 ts-66)

Esta prueba para el contenido de ceniza de papel y productos de papel, se define como el residuo que queda después de completar la combustión del papel a  $925 \pm 25^\circ\text{C}$ .

Equipo utilizado

- Crisol de platino, porcelana o sílice.
- Mufla eléctrica.

Cálculo del contenido de ceniza:

$$\% \text{ ceniza} = \frac{A \times 100}{W}$$

en donde:

A = peso de cenizas, en gramos

W = peso de muestra de prueba seco a la estufa, en gramos

Resultados de la evaluación de las pulpas crudas se presentan en la Tabla N° 1, en la Figura I y en las Gráficas 1, 2, 3 y 4.

das

pa comercial al  
sulfito de Sodio

Pulpa comercial  
a la Sosa

16				18			
8	17	23		0	12	21	27
425	302	226		586	431	290	195
6.0	9.7	16.0		4.5	6.0	10.0	15.8
5	7	9		4	6	8	10
63.08	62.73	63.52		63.87	64.20	62.92	63.53
0.686	0.729	0.765		0.500	0.627	0.674	0.734
1.68	1.75	2.04		0.40	1.04	1.27	1.47
26.74	28.01	32.17		6.32	16.26	20.22	23.23
5732	6163	6664		2578	4328	4518	5582
2.4	2.2	2.4		1.75	2.29	2.05	2.21
33.32	29.53	26.47		31.14	28.19	23.42	23.14
52.83	47.07	41.67		48.75	43.90	37.23	36.42
618	1012	1061		13	113	193	600
9.79	16.13	16.70		0.21	1.76	3.07	9.44
50	169	535		3	26	80	344
0.273	0.185	0.152		0.482	0.196	0.129	0.091
82.83	81.00	78.50		92.6	90.5	88.9	85.7
--	--	--		38.8	--	--	--
	15.53					14.39	
	75.94					76.54	
	4.40					5.46	
	1.41					1.61	
	26.14					25.94	
	0.95					0.72	

TABLA 1

Evaluación de las pulpas

Pulpa al  
Monosulfito de Amonio

		18			
Número de KMnO <sub>4</sub>	-				
Tiempo de refinación	min	0	11	20	25
Canadian Standard Freeness	ml	570	422	308	223
Tiempo de drenado	seg	5.5	7.6	10.6	17.6
Encogimiento	%	3	4	5	6
Peso base seco a la estufa	g/m <sup>2</sup>	63.30	63.38	63.40	63.90
Peso específico aparente	g/cc	0.597	0.646	0.745	0.788
Resistencia Mullen	Kg/cm <sup>2</sup>	1.08	1.49	1.76	1.97
Factor Mullen	-	17.06	23.64	27.88	30.95
Longitud de ruptura	m	3075	5364	6098	6572
Longación	%	2.38	2.28	2.53	2.50
Resistencia al rasgado	g	34.42	28.65	26.03	25.96
Factor de rasgado	-	54.37	45.20	41.05	40.62
Resistencia al doblez	dobles-dobleces	177	610	956	1255
Factor de doblez K-M (400 g)	dd/PB	2.79	9.62	15.07	19.64
Porosidad Gurley Hill	seg/100 ml	22	129	456	+ 1800
Índice de longitud de fibra	g	0.512	0.292	0.186	0.149
Opacidad Photovolt	%	86.5	83.3	81.4	79.0
Blancura Photovolt	%	39.2	--	--	--
Viscosidad (cuprietilendiamina 0.5%) a 25°C	cp			14.87	
Alfa - celulosa	%			74.74	
Ligninas	%			5.50	
Penizas	%			1.50	
Pentosanos	%			26.80	
Extractos Etanol - nceno	%			2.56	

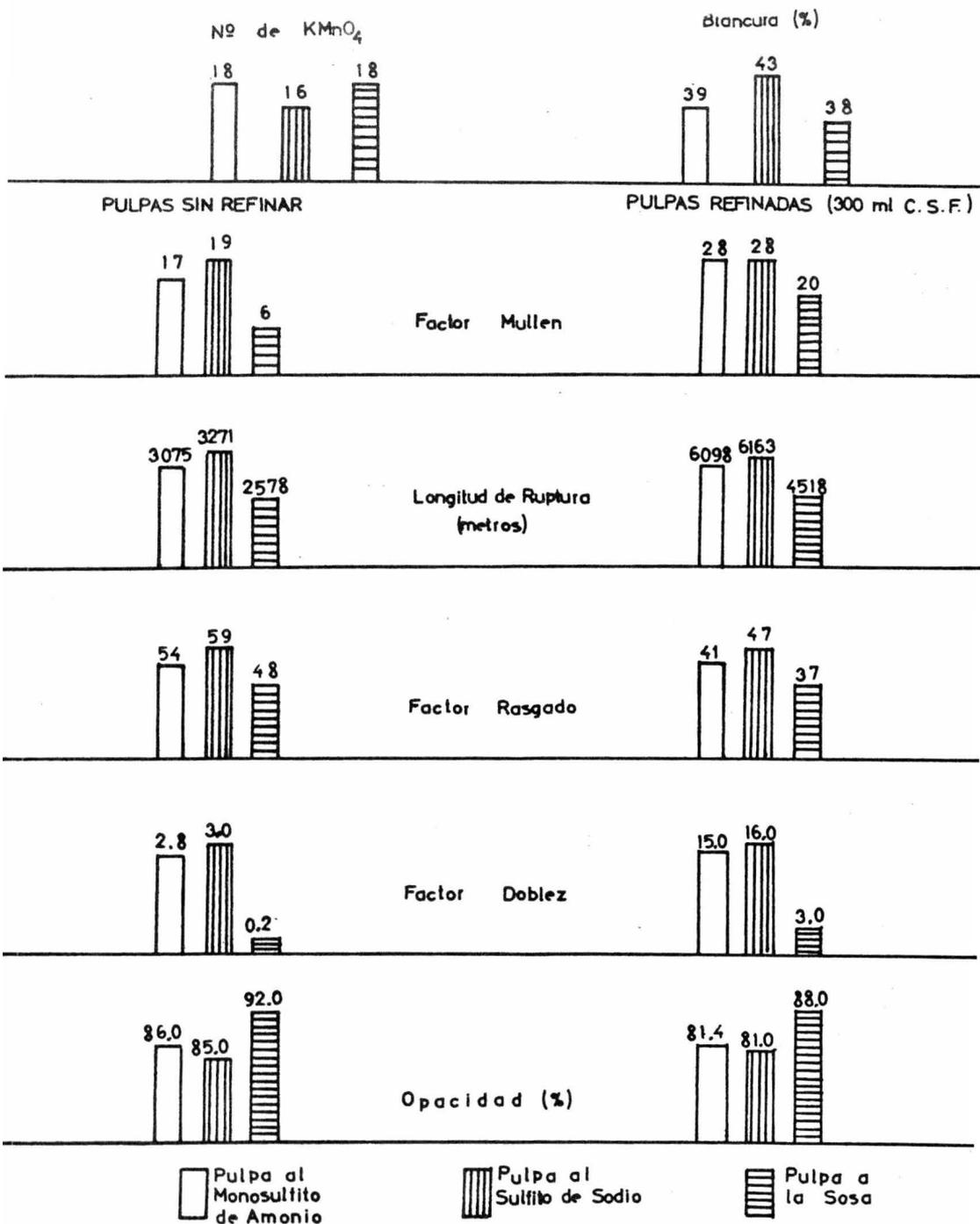


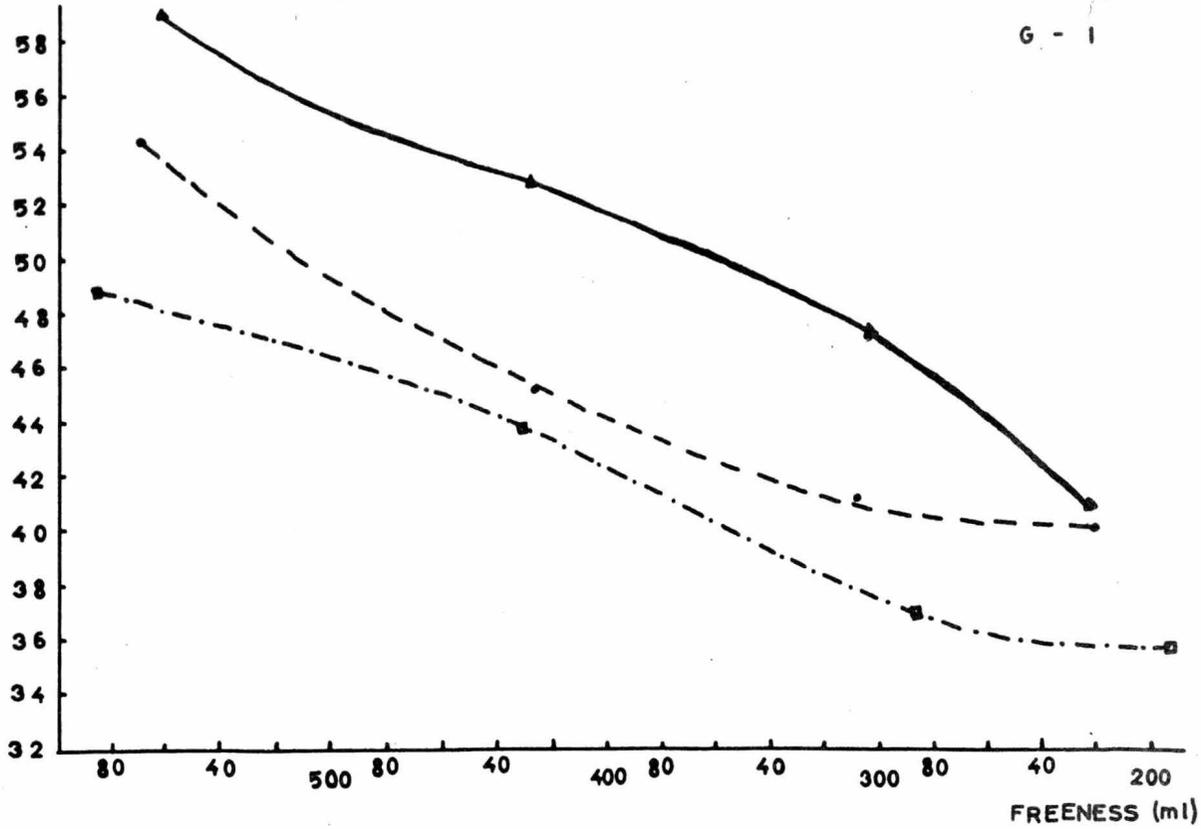
FIGURA I

# FACTOR DE RASGADO

▲ ——— NSSC  
● - - - MSA  
■ - · - · SOSA

G - 1

Factor Rasgado

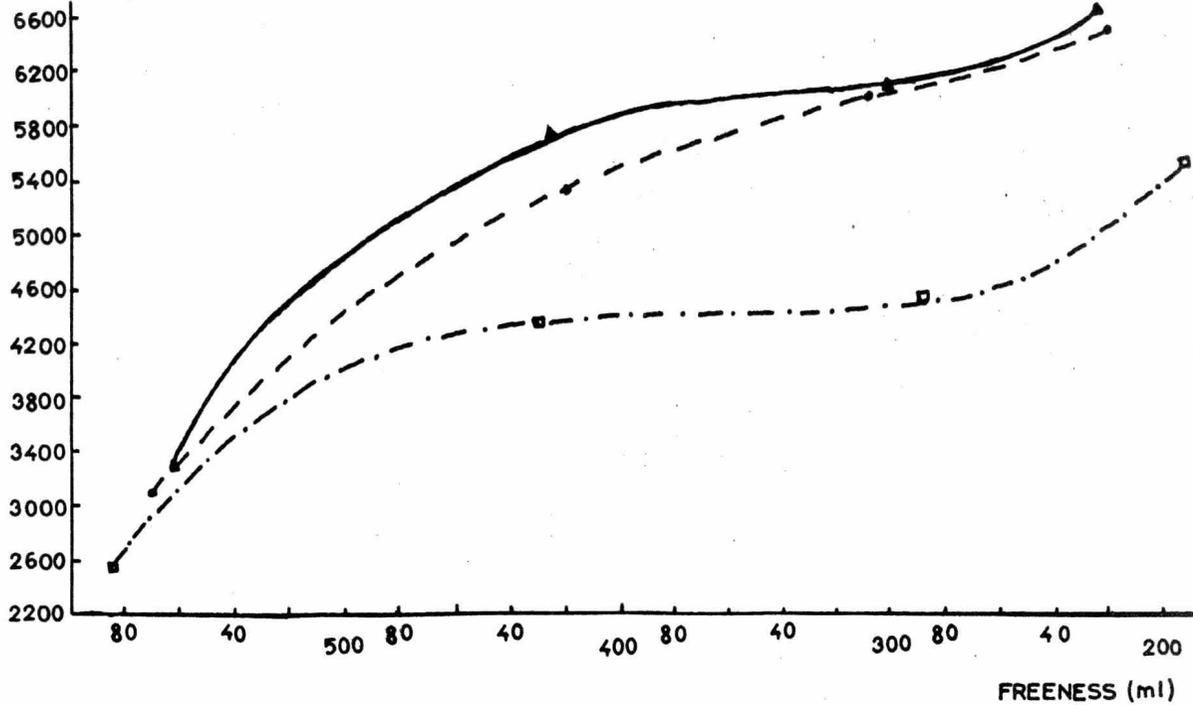


# LONGITUD DE RUPTURA

- ▲ ——— NSSC
- - - - MSA
- - · - · SOSA

G - 2

Longitud de Ruptura (m)

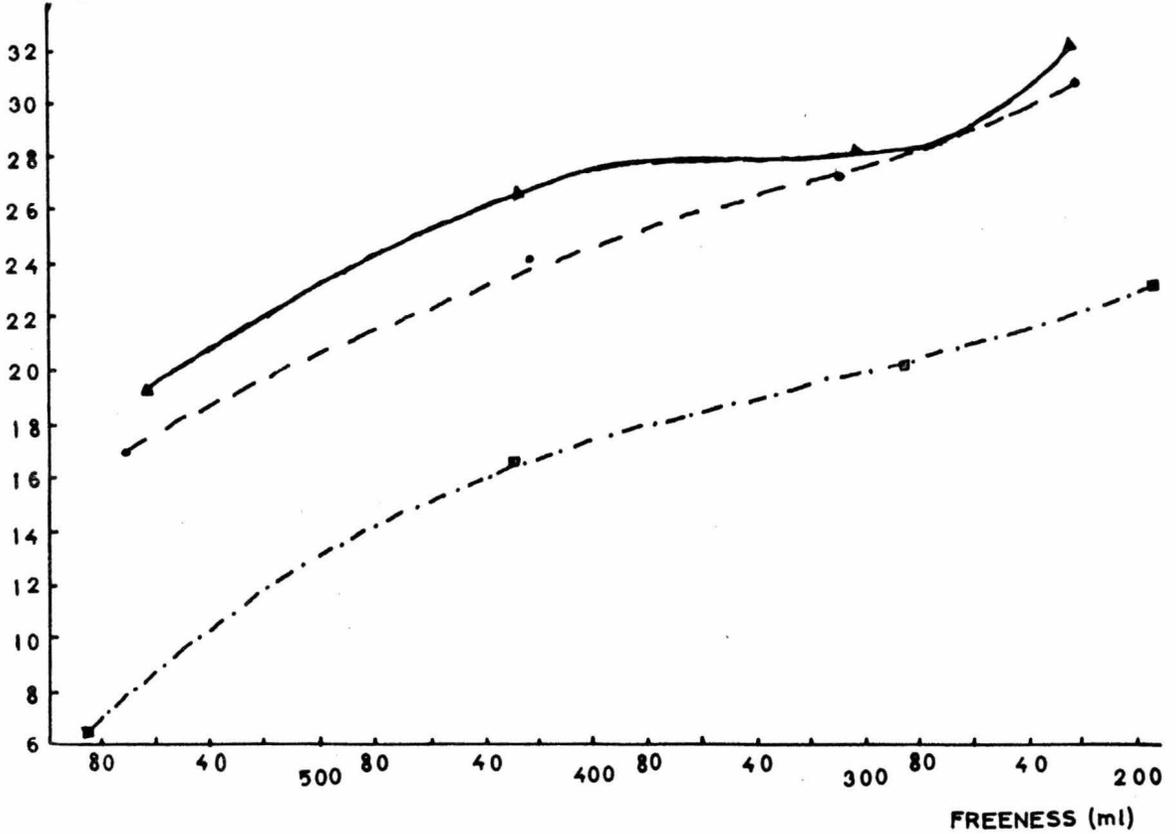


FACTOR DE EXPLOSION

- ▲ ——— NSSC
- - - - MSA
- ····· SOSA

G - 3

Factor Explosión

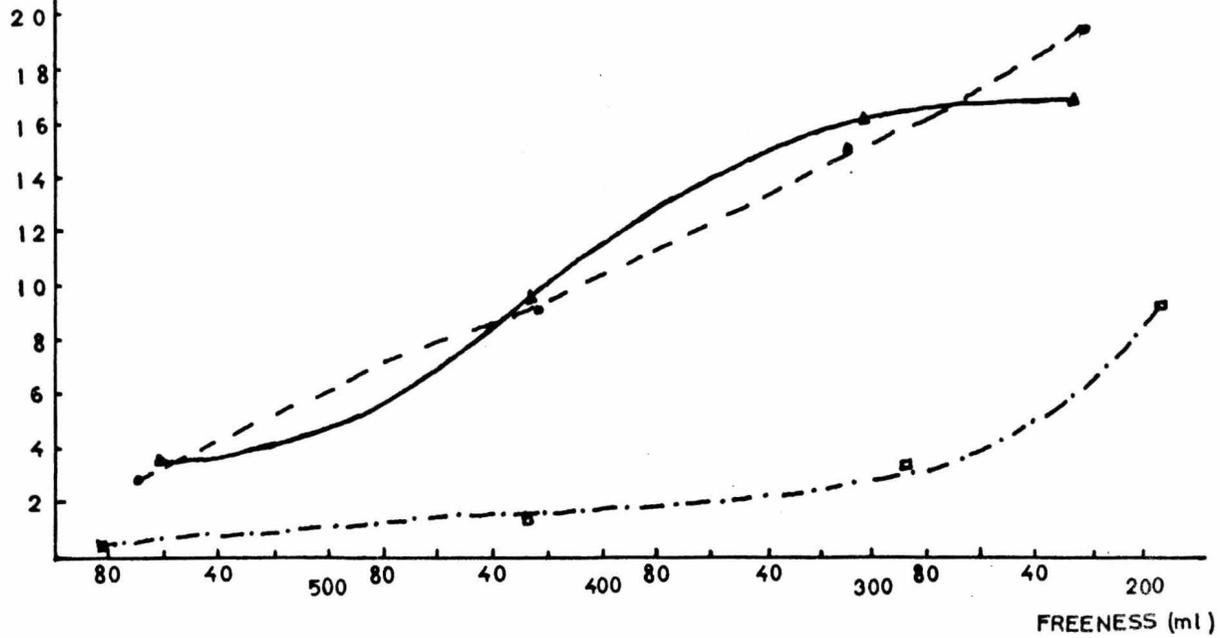


FACTOR DE DOBLEZ

▲ ——— NSSC  
● - - - MSA  
□ ····· SOSA

G - 4

Factor Doblez



## 2. Corridas de blanqueo de las pulpas crudas

Una vez caracterizadas las pulpas crudas fue necesario fijar un criterio para el blanqueo de las mismas; se decidió experimentar en primer lugar con las pulpas al MSA para definir:

- Tiempo de cloración
- Los requerimientos de cloro total
- La relación H/C

Una vez establecidas las condiciones se aplicaron las mismas a las pulpas comerciales.

- Materiales:
- Pulpas crudas
- Equipo piloto de blanqueo (ver diagrama de blanqueo \*):
- Recipiente cerrado:
  - Rotatorio: 4 rpm
  - Material: acero inoxidable
  - Capacidad: 20 dm<sup>3</sup>
  - Calentamiento: con resistencias
- Bolsas de polietileno
- Potenciómetro
- Lavador (difusión)
- Prensa

**Reactivos usados**

- Agua de cloro: 3 a 5 g/l
- Sosa: al 10%
- Hipoclorito de sodio: 70 a 74 g/l

**(\*) Diagrama del proceso:**

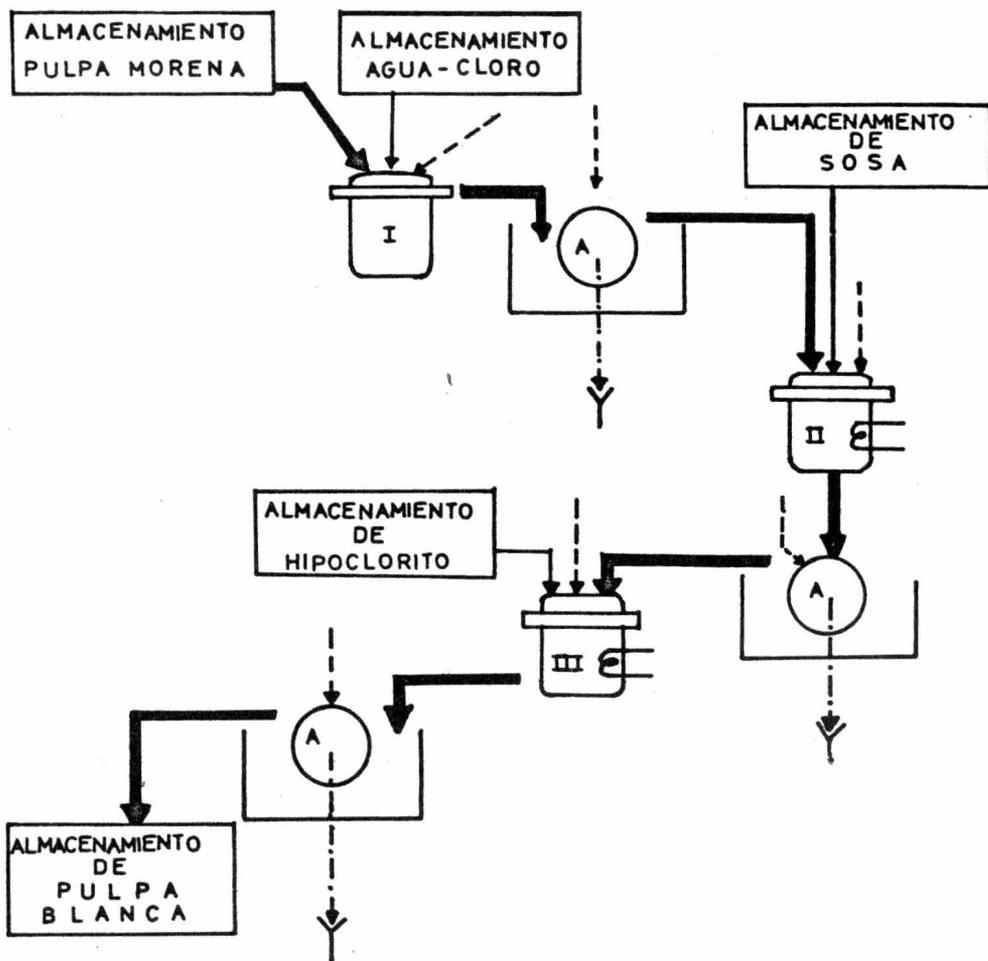
**I Cloración**

**II Extracción alcalina**

**III Blanqueo con Hipoclorito**

**A Lavadores**

DIAGRAMA DE BLANQUEO (C-E-H)



LEYENDA:

-  LINEA PRINCIPAL
-  AGUA
-  LICORES RESIDUALES DE LAVADORES
-  CALENTAMIENTO POR RESISTENCIAS

## Métodos

Se llevaron a cabo 60 corridas de blanqueo; unas de ellas a escala de vidrio, en donde se utilizaron bolsas de polietileno para manejar cantidades de pulpa morena no mayor de 100 g, con el objeto de observar en pequeña escala los rendimientos y blancuras obtenidos, y las otras a nivel piloto laboratorio en donde se utilizó el equipo mencionado anteriormente, con 500 g (base seca) de pulpa cruda, para su evaluación físicomecánica y química.

La secuencia seguida fue C-E-H (Cloración, Extracción, Hipoclorito).

Las condiciones usadas en las experiencias de blanqueo se muestran en las tablas 2 y 3.

### TABLA 2

#### Condiciones de operación en blanqueo

Variación del tiempo de cloración (min): 20 40

Variación del porcentaje del cloro total requerido (%)

Cloro total requerido / MPSE<sup>\*</sup>: 6 8 10

(\*) Materia Prima Seca a la Estufa.

TABLA 3

Variación del porcentaje de cloro sobre cloro total requerido en el paso de cloración y en el paso de hipoclorito

---

Paso		<u>C</u>	<u>H</u>	<u>Relación H/C</u>
Cloro/cloro total requerido	%	60	40	0.667
		70	30	0.429
		75	25	0.333
		80	20	0.250
		85	15	0.176

El resto de los factores permanecieron constantes:

Paso		<u>C</u>	<u>E</u>	<u>H</u>
NaOH/MPSE	%	-	1.5	-
Consistencia	%	3	10	10
Temperatura	°C	30	50	40
Tiempo de retención	min	*	60	90

(\*) variable

Fue necesario efectuar unas corridas de blanqueo con las pulpas al MSA con la finalidad de establecer las condiciones más adecuadas de proceso para posteriormente aplicar dichas condiciones a las pulpas comerciales. En dichas experiencias en las que el tiempo de cloración fue de 20 minutos, se obtuvieron cantidades de cloro residual considerables (nunca menor de 1.8% sobre el inicial), por el contrario, en las experiencias con 40 minutos de retención en esta etapa, el cloro residual fue menor (0.6 a 0.8% sobre el inicial).

Al estudiar la variación del porcentaje del cloro total requerido para el blanqueo se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 4.

TABLA 4

Variación de blancura y de porcentaje del cloro total

Cloro total requerido/MPSE	Blancura	Rendimiento
%	%	%
10	86 a 87	89 a 90
8	84 a 85	90
6	80 a 83	91 a 94

Como puede observarse en la Tabla 4, el 6% de cloro total requerido sobre pulpa (base seca) registra valores dentro de lo establecido en los objetivos del presente estudio. Por lo anterior se puede concretar que para obtener pulpas de blancuras de 80%, se debe emplear el 6% de cloro total y 40 minutos en la etapa de cloración.

Los resultados de las pulpas crudas al MSA blanqueadas con el 6% de cloro total se analizan en las Tablas 5 a 9, seguidas de un análisis de los datos de las propiedades que a su vez se presentan en las Tablas 10 a 14 y Gráficas 5 a 10, que comprende tanto la evaluación química como la de pruebas físicas.

A este fin debe hacerse notar que se utilizó el código siguiente:

serie A - Pulpas al MSA

serie B<sub>1</sub> - Pulpa comercial al NSSC blanqueada en condiciones  
óptimas

serie B<sub>2</sub> - Pulpa comercial a la sosa blanqueada en condiciones  
óptimas

serie C<sub>1</sub> - Pulpa comercial al NSSC blanqueada en condiciones  
industriales

serie C<sub>2</sub> - Pulpa comercial a la sosa blanqueada en condiciones  
industriales

TABLA 5

Condiciones, rendimiento y grado de blancura

(A-O) Pulpa blanqueada de bagazo de caña al MSA  
con RELACION H/C = 0.667

Etapa		<u>C</u>	<u>E</u>	<u>H</u>	
Cloro/cloro total	%	60	-	40	
NaOH/MPSE	%	-	1.5	-	
Consistencia	%	3	10	10	
Temperatura	°C	30	50	40	
Tiempo	min	40	60	90	
pH inicial	-	1.9	11.9	10.8	
pH final	-	1.7	11.1	8.6	
Cloro residual	%	0.59	-	9.46	
Rendimiento	%	-	-	-	91.19
Blancura Photovolt	%	-	-	-	82.98

---

Cloro total 6% (sobre pulpa cruda B.S.E.)

TABLA 6

Condiciones, rendimiento y grado de blancura

(A-1) Pulpa blanqueada de bagazo de caña al MSA  
con RELACION H/C = 0.429

Etapa		<u>C</u>	<u>E</u>	<u>H</u>	
Cloro/ cloro total	%	70	-	30	
NaOH/MPSE	%	-	1.5	-	
Consistencia	%	3	10	10	
Temperatura	°C	30	50	40	
Tiempo	min	40	60	90	
pH inicial	-	2.0	11.5	11.1	
pH final	-	1.9	10.5	8.6	
Cloro residual	%	0.61		6.92	
Rendimiento	%	-	-	-	91.19
Blancura Photovolt	%	-	-	-	83.25

---

Cloro total 6% (sobre pulpa cruda B.S.E.)

TABLA 7

Condiciones, rendimiento y grado de blancura

(A-2) Pulpa blanqueada de bagazo de caña al MSA  
con RELACION H/C = 0.333

Etapa		<u>C</u>	<u>E</u>	<u>H</u>	
Cloro/cloro total	%	75	-	25	
NaOH/MPSE	%	-	1.5	-	
Consistencia	%	3	10	10	
Temperatura	°C	30	50	40	
Tiempo	min	40	60	90	
pH inicial	-	1.8	12.0	10.9	
pH final	-	1.7	11.1	8.6	
Cloro residual	%	0.63		6.63	
Rendimiento	%	-	-	-	91.06
Blancura Photovolt	%	-	-	-	83.38

---

Cloro total 6% (sobre pulpa cruda B.S.E.)

TABLA 8

Condiciones, rendimiento y grado de blancura

(A-3) Pulpa blanqueada de bagazo de caña al MSA  
con RELACION H/C = 0.250

Etapa		<u>C</u>	<u>E</u>	<u>H</u>	
Cloro/cloro total	%	80	-	20	
NaOH/MPSE	%	-	1.5	-	
Consistencia	%	3	10	10	
Temperatura	°C	30	50	40	
Tiempo	min	40	60	90	
pH inicial	-	1.9	12.3	10.6	
pH final	-	1.8	10.8	8.5	
Cloro residual	%	0.65	-	6.50	
Rendimiento	%	-	-	-	90.34
Blancura Photovolt	%	-	-	-	83.00

---

Cloro total 6% (sobre pulpa cruda B.S.E.)

TABLA 9

Condiciones, rendimiento y grado de blancura

(A-4) Pulpa blanqueada de bagazo de caña al MSA  
con RELACION H/C = 0.176

Etapa		<u>C</u>	<u>E</u>	<u>H</u>	
Cloro/cloro total	%	85	-	15	
NaOH/MPSE	%	-	1.5	-	
Consistencia	%	3	10	10	
Temperatura	°C	30	50	40	
Tiempo	min	40	60	90	
pH inicial	-	1.9	12.1	10.2	
pH final	-	1.8	11.2	8.8	
Cloro residual	%	0.69	-	1.17	
Rendimiento	%	-	-	-	93.68
Blancura Photovolt	%	-	-	-	82.38

---

Cloro total 6% (sobre pulpa cruda B.S.E.)

TABLA 10

Propiedades químicas

(A-0) Pulpa blanqueada de bagazo de caña al MSA

RELACION H/C = 0.667

Viscosidad (cuprietilendiamina 0.5%) a 25°C	cp	9.42
Alfa-celulosa	%	77.48
Lignina	%	1.68
Pentosanos	%	23.23
Cenizas	%	1.15

TABLA 11

Propiedades físicas y químicas

(A-1) Pulpa blanqueada de bagazo de caña al MSA

RELACION H/C = 0.429

Tiempo de refinación	min	0	6	12
Canadian Standard Freeness	ml	370	305	235
Tiempo de drenado	seg	9.0	11.4	15.1
Encogimiento	%	4	6	7
Peso base seco a la estufa	g/m <sup>2</sup>	60.90	62.38	61.60
Peso específico aparente	g/cc	0.754	0.784	0.847
Resistencia Mullen	Kg/cm <sup>2</sup>	1.63	1.71	1.99
Facotr Mullen	-	26.89	27.49	32.41
Longitud de ruptura	m	5692	5984	7467
Elongación	%	2.0	1.9	1.8
Resistencia al rasgado	g	27.45	24.50	18.28
Factor de rasgado	-	45.07	39.27	29.68
Resistencia al dobléz	dobles-dobleces	402	705	1214
Factor de dobléz K - M (400 g)	dd/PB	6.6	11.3	19.7
Porosidad Gurley Hill	seg/100 ml	203	344	1334
Indice de longitud de fibra	g	0.183	0.138	0.101
Opacidad Photovolt	%	70.0	69.0	67.5
Blancura Photovolt	%	80.0	-	-
Viscosidad (cuprietilendiamina 0.5%) a 25°C	cp		10.35	
Alfa-celulosa	%		77.96	
Lignina	%		1.57	
Pentosanos	%		23.83	
Cenizas	%		1.27	

TABLA 12

Propiedades físicas y químicas

(A-2) Pulpa blanqueada de bagazo de caña al MSA

RELACION H/C = 0.333

Tiempo de refinación	min	0	7	17
Canadian Standard Freeness	ml	376	316	213
Tiempo de drenado	seg	8.8	10.9	19.2
Encogimiento	%	5.0	5.5	7.5
Peso base seco a la estufa	g/m <sup>2</sup>	61.02	61.20	60.87
Peso específico aparente	g/cc	0.755	0.783	0.837
Resistencia Mullen	Kg/cm <sup>2</sup>	1.36	1.70	2.00
Factor Mullen	-	22.39	27.79	32.99
Longitud de ruptura	m	5681	6318	7447
Elongación	%	2.0	2.5	1.9
Resistencia al rasgado	g	29.60	24.70	21.30
Factor de rasgado	-	48.51	40.35	34.99
Resistencia al dobléz	dobles-dobleces	524	795	1138
Factor de dobléz K - M ( 400 g )	dd/PB	8.6	13.0	18.7
Porosidad Gurley Hill	seg/100 ml	232	473	+1800
Indice de longitud de fibra	g	0.192	0.145	0.104
Opacidad Photovolt	%	70.0	69.0	67.0
Blancura Photovolt	%	80.2	—	—
Viscosidad (cuprietilendiamina 0.5%) a 25°C	cp		11.16	
Alfa-celulosa	%		78.46	
Lignina	%		1.53	
Pentosanos	%		23.91	
Cenizas	%		1.28	

TABLA 13

Propiedades físicas y químicas

(A-3) Pulpa blanqueada de bagazo de caña al MSA

RELACION H/C = 0.250

Tiempo de refinación	min	0	5	11	19
Canadian Standard Freeness	ml	533	453	370	256
Tiempo de drenado	seg	5.8	6.2	8.0	13.3
Encogimiento	%	5	5	6	8
Peso base seco a la estufa	g/m <sup>2</sup>	59.71	60.19	60.68	59.79
Peso específico aparente	g/cc	0.678	0.716	0.778	0.842
Resistencia Mullen	Kg/cm <sup>2</sup>	0.75	1.30	1.60	1.78
Factor Mullen	-	12.59	21.72	26.53	29.74
Longitud de ruptura	m	3461	5028	6262	7181
Elongación	%	1.9	2.2	2.0	1.9
Resistencia al rasgado	g	33.70	31.60	26.20	23.70
Factor de rasgado	-	56.43	52.50	43.17	39.63
Resistencia al doblez	dobles- doblesces	38	535	788	1195
Factor de doblez K - M ( 400 g )	dd/PB	0.6	8.9	12.9	20.0
Porosidad Gurley Hill	seg/100ml	13	43	155	664
Indice de longitud de fibra	g	0.388	0.229	0.163	0.112
Opacidad Photovolt	%	78.0	74.0	70.5	68.0
Blancura Photovolt	%	80.4	-	-	-
Viscosidad (cuprietilendiamina 0.5%) a 25°C	cp		13.12		
Alfa-celulosa	%		78.53		
Lignina	%		1.49		
Pentosanos	%		24.22		
Cenizas	%		1.30		

TABLA 14

Propiedades físicas y químicas

(A-4) Pulpa blanqueada de bagazo de caña al MSA

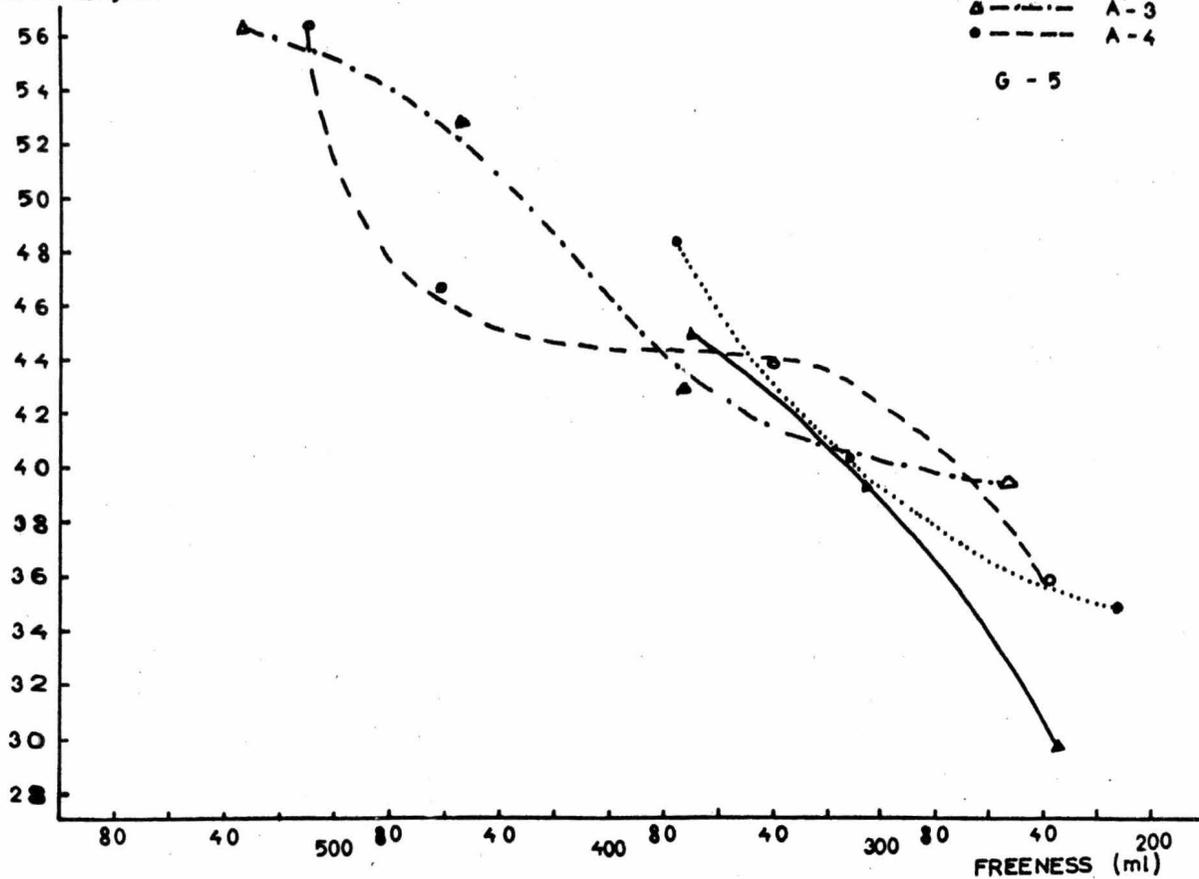
RELACION H/C = 0.176

Tiempo de refinación	min	0	6	15	22
Canadian Standard Freeness	ml	510	460	341	241
Tiempo de drenado	seg	5.6	6.6	10.1	16.3
Encogimiento	%	4	5	6	10
Peso base seco a la estufa	g/m <sup>2</sup>	61.28	61.90	62.84	60.34
Peso específico aparente	g/cc	0.738	0.783	0.827	0.862
Resistencia Mullen	Kg/cm <sup>2</sup>	1.36	1.60	1.83	2.04
Factor Mullen	-	22.26	26.01	29.20	33.90
Longitud de ruptura	m	4678	5815	6820	7247
Elongación	%	2.0	2.2	1.3	1.7
Resistencia al rasgado	g	34.47	28.60	27.77	21.70
Factor de rasgado	-	56.25	46.20	44.19	35.96
Resistencia al doblez	dobles- doblesces	37	631	1093	1424
Factor de doblez K - M ( 400 g )	dd/PB	0.6	10.2	17.4	23.6
Porosidad Gurley Hill	seg/100ml	8	72	282	630
Indice de longitud de fibra	g	0.403	0.241	0.170	0.121
Opacidad Photovolt	%	77.5	74.0	70.0	68.0
Blancura Photovolt	%	80.1	-	-	-
Viscosidad (cuprietilendiamina 0.5%) a 25°C	cp		13.82		
Alfa-celulosa	%		79.42		
Lignina	%		1.42		
Pentosanos	%		24.32		
Cenizas	%		1.35		

# FACTOR DE RASGADO

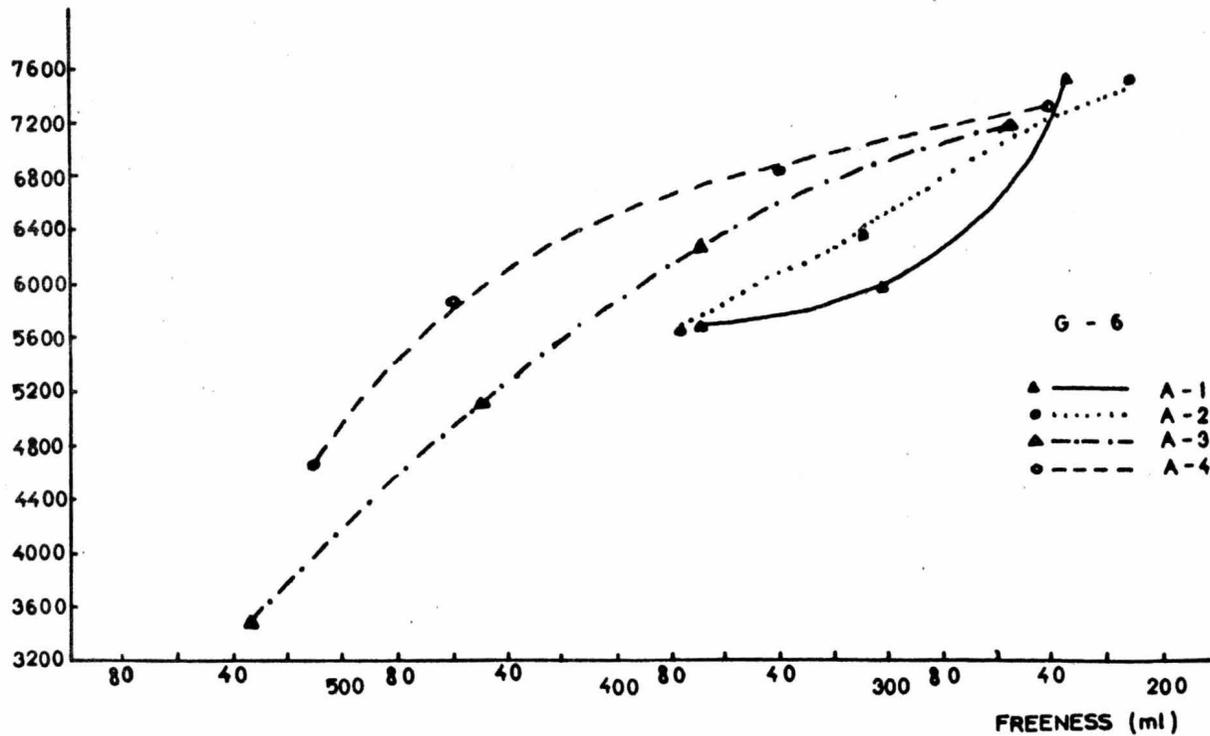
Factor Rasgado

- ▲ ——— A-1
  - ..... A-2
  - △ - - - A-3
  - - - - A-4
- G - 5



# LONGITUD DE RUPTURA

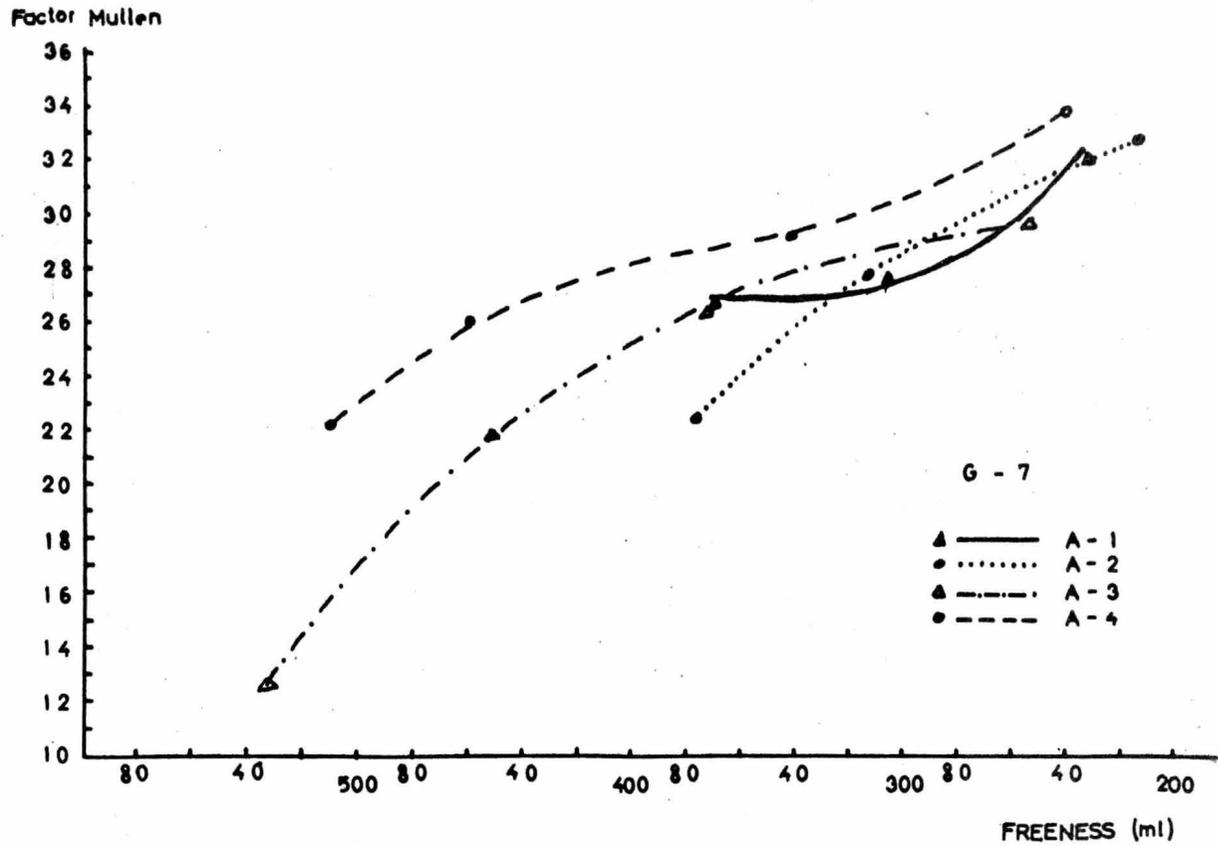
Longitud de Ruptura (m)



G - 6

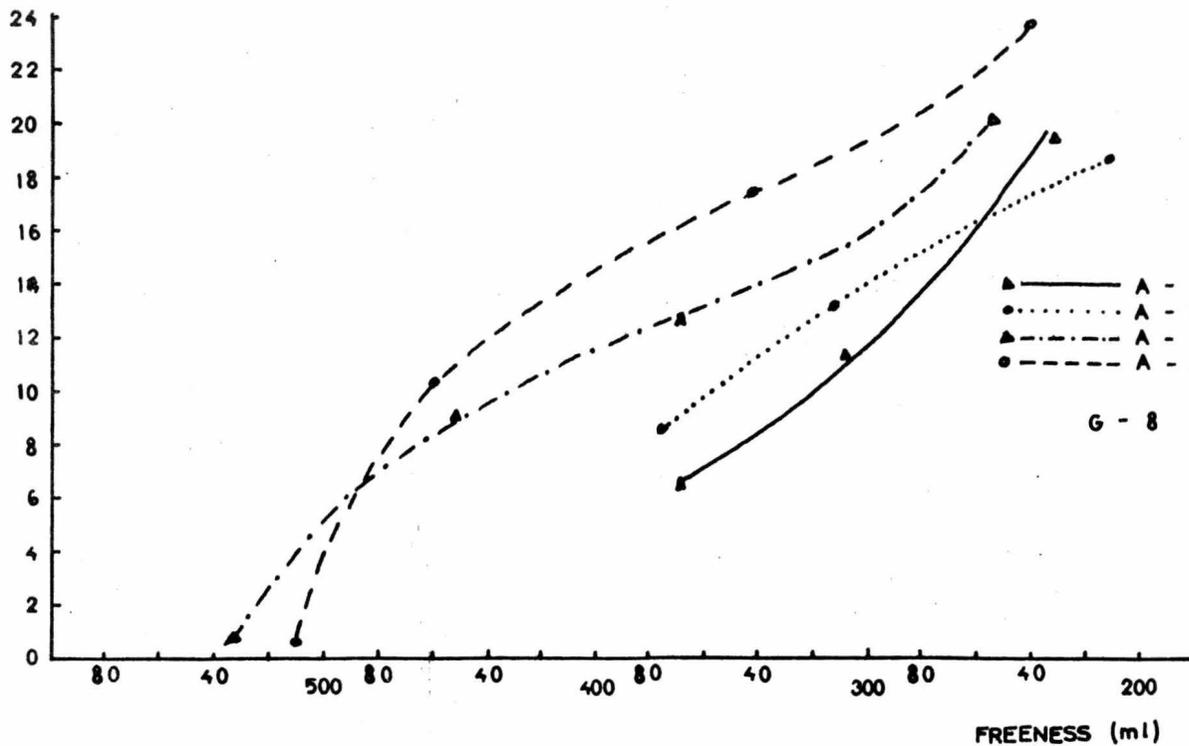
- ▲ — A-1
- ..... A-2
- ▲ - · - A-3
- - - - A-4

# FACTOR MULLEN



# FACTOR DE DOBLEZ

Factor Doblez



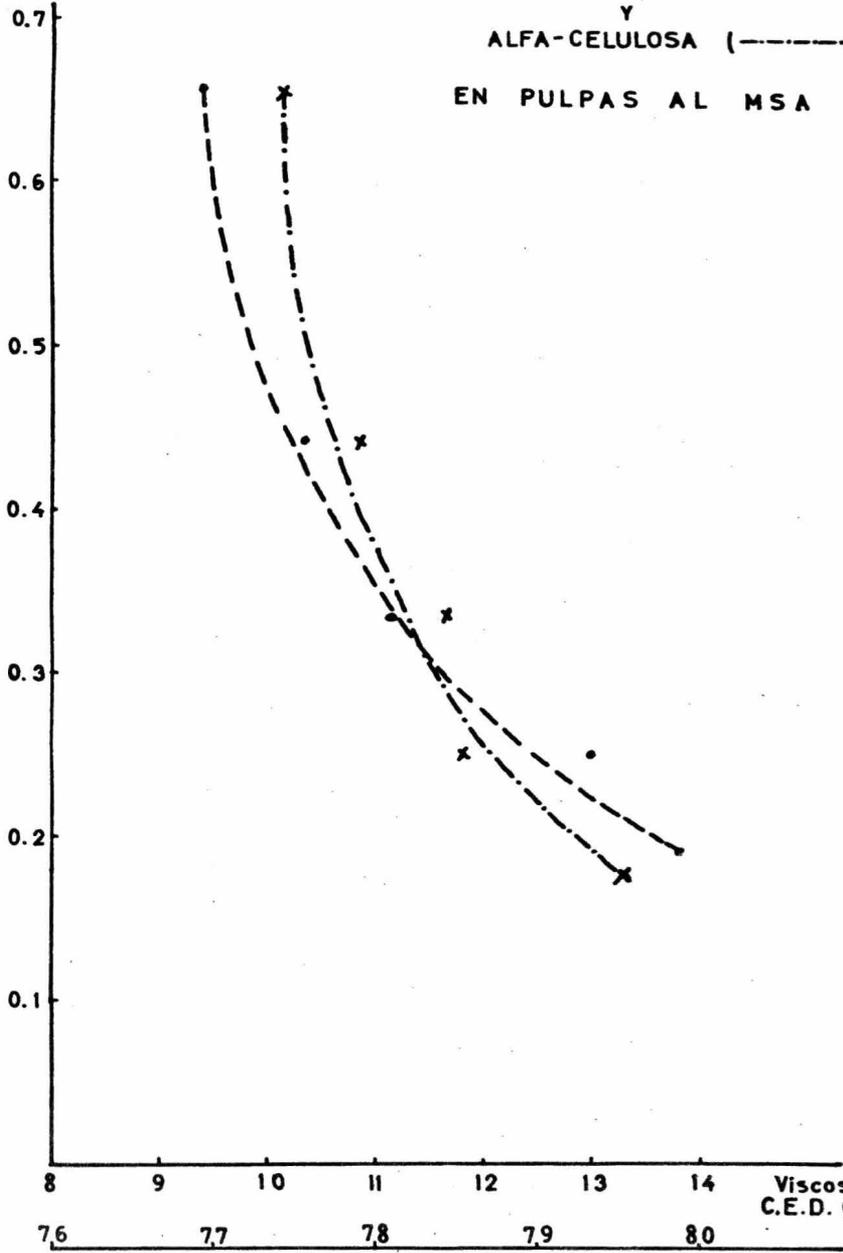
G-9 RELACION DE HIPOCLORITO / CLORACION  
 CONTRA  
 VISCOSIDAD (-----) •  
 Y  
 ALFA-CELULOSA (-----) x  
 EN PULPAS AL MSA

RELACION H/C

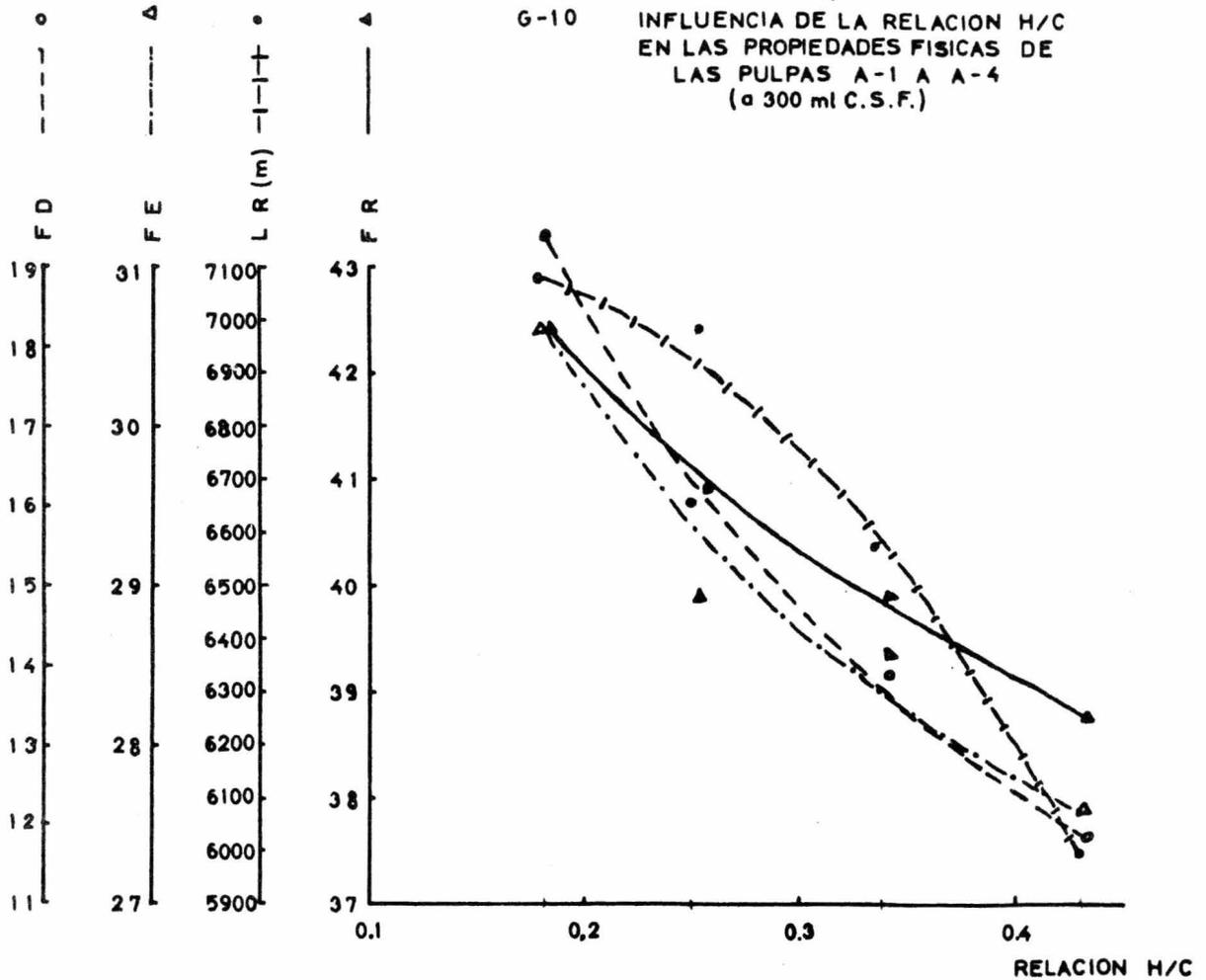
0.7  
 0.6  
 0.5  
 0.4  
 0.3  
 0.2  
 0.1  
 8  
 9  
 10  
 11  
 12  
 13  
 14  
 7.6  
 7.7  
 7.8  
 7.9  
 8.0

Viscosidad (c. p.)  
 C.E.D. 0.5% a 25°C

Alfa-celulosa (%)



G-10 INFLUENCIA DE LA RELACION H/C  
 EN LAS PROPIEDADES FISICAS DE  
 LAS PULPAS A-1 A A-4  
 (a 300 ml C.S.F.)



Como puede observarse en las Tablas 5 a 9, los valores del rendimiento y blancura, 91 a 94% y 80 a 83% respectivamente, caen dentro del objetivo de este estudio, por lo que se consideran adecuados los cinco tratamientos en la variación del cloro/cloro total. Sin embargo, si se enfoca este estudio desde el punto de vista de la relación que existe entre dicha variación (hipoclorito/cloración), y los resultados obtenidos en viscosidad y contenido de alfa celulosa, se puede observar que mientras mayor es la relación H/C, menor viscosidad y contenido de alfa celulosa tendrá la pulpa, en cambio si la relación H/C es menor, el contenido de alfa celulosa y el valor de la viscosidad de la pulpa será mayor, lo cual se puede apreciar en la gráfica 9.

También se puede observar tal efecto en las Tablas 5 a 9 en donde el contenido de pentosanos es ligeramente mayor en la pulpa que tiene una relación H/C menor.

Por lo que respecta al contenido de lignina en las pulpas, ésta va disminuyendo al bajar la relación H/C, lo cual se puede explicar de la forma siguiente: puesto que en el paso de cloración la tendencia es reaccionar con las ligninas, entonces mientras mayor es la cantidad de cloro, menor contenido de lignina residual quedará en la pulpa blanqueada y viceversa.

Por otro lado, el hecho de tener una relación mayor de H/C involucra un tratamiento de blanqueo más drástico, puesto que se requiere mayor cantidad de hipoclorito en la tercera etapa, que se manifiesta en -

la degradación de la celulosa determinada por la viscosidad.

En lo que se refiere a las propiedades físicas, a medida que aumenta la viscosidad (relación H/C menor), la resistencia de las pulpas se incrementa. Al observar, por ejemplo, la gráfica 5, el factor de rasgado que depende básicamente de la longitud de la fibra, se puede apreciar que el valor de dicho factor para las pulpas A-1 y A-2 son menores que los valores de las pulpas A-3 y A-4 (cuyos valores de viscosidad son 10.35, 11.16, 13.12 y 13.82 c.p. respectivamente). Lo mismo sucede en la longitud de ruptura (gráfica 6), en el factor de explosión (Mullen) (gráfica 7) y en el factor de doblez (gráfica 8).

En la gráfica 10, se encuentran representadas las propiedades físicas (factor rasgado, longitud de ruptura, factor de explosión y factor de doblez) a un nivel de refinación de 300 ml C.S.F. contra la relación H/C, en donde se puede observar el decremento de las propiedades mencionadas al incrementarse dicha relación.

Por lo tanto, de las observaciones hechas anteriormente, la relación H/C con valor de 0.176 (Cloración 85%, Hipoclorito 15%) presenta, entre las estudiadas, las condiciones más adecuadas de tratamiento de blanqueo para pulpas al MSA. Puesto que es un tratamiento "suave" para el blanqueo de una pulpa que presenta resultados químicos y físico-mecánicos aceptables, y que además es un tratamiento más económico.

Al aplicar la relación  $H/C = 0.176$  a las pulpas comerciales se obtu

vieron los resultados que se presentan en las Tablas 15 y 16, en las que están comprendidos los resultados de la evaluación de las pulpas tanto desde el punto de vista físico como químico.

TABLA 15

Condiciones, rendimiento y grado de blancura

Etapa		(B-1) Pulpa blanqueada de bagazo de caña al - Monosulfito de Sodio.			(B-2) Pulpa blanqueada de bagazo de caña a la Sosa.			
		RELACION H/C = 0.176			RELACION H/C = 0.176			
		<u>C</u>	<u>E</u>	<u>H</u>	<u>C</u>	<u>E</u>	<u>H</u>	
Cloro/cloro total	%	85	-	15	85	-	15	
NaOH/MPSE	%	-	1.5	-	-	1.5	-	
Consistencia	%	3	10	10	3	10	10	
Temperatura	°C	30	50	40	30	50	40	
Tiempo	min	40	60	90	40	60	90	
pH inicial	-	2.0	11.7	10.2	1.9	11.5	10.1	
pH final	-	1.9	10.8	8.8	1.8	10.7	8.7	
Cloro residual	%	0.27	-	10.88	0.41	-	8.29	
Rendimiento	%	-	-	-	93.00	-	-	91.98
Blancura Photovolt	%	-	-	-	84.05	-	-	83.27

Cloro total 6% (sobre pulpa cruda B.S.E.)

TABLA 16

Propiedades físicas y químicas

(B-1) Pulpa blanqueada de bagazo de  
caña al Monosulfito de Sodio.

(B-2) Pulpa blanqueada de bagazo de  
caña a la Sosa.

RELACION H/C = 0.176

RELACION H/C = 0.176

		0	10	20	26	0	10	18	23
tiempo de refinación	min								
Canadian Standard Freeness	ml	559	445	300	226	545	446	307	218
tiempo de drenado	seg	5.5	7.7	13.7	19.4	4.9	7.0	11.8	17.0
recogimiento	%	6	6	9	11	5	7	8	11
peso base seco a la estufa	g/m <sup>2</sup>	62.51	62.97	61.69	61.73	61.28	61.31	61.53	61.69
peso específico aparente	g/cc	0.632	0.742	0.801	0.848	0.565	0.704	0.750	0.822
resistencia Mullen	Kg/cm <sup>2</sup>	1.00	1.83	2.17	2.16	0.58	1.31	1.58	1.69
factor Mullen	-	16.14	29.10	35.22	35.13	9.52	21.38	25.70	27.50
longitud de ruptura	m	3791	5587	6171	6813	2741	4881	5568	5618
elongación	%	2.06	2.51	2.38	2.34	1.07	1.94	2.03	2.75
resistencia al rasgado	g	40.32	33.95	29.22	26.44	26.76	25.14	23.50	22.85
factor de rasgado	-	64.50	53.92	47.36	42.84	43.69	41.00	38.19	37.04
resistencia al dobléz	dobles-dobles	106	651	1056	2787	23	350	537	1377
factor de dobléz K-M (400 g)	dd/PB	1.69	10.34	17.11	45.14	0.37	5.71	8.71	22.32
porosidad Gurley Hill	seg/100 ml	15	95	443	+1800	4	53	194	747
índice de longitud de fibra	g	0.407	0.275	0.171	0.126	0.338	0.180	0.139	0.089
acidez Photovolt	%	75.5	70.5	65.8	61.5	76.6	72.0	68.6	64.0
anchura Photovolt	%	80.6	--	--	--	80.3	--	--	--
viscosidad									
proprietilendiamina 0.5%) a 25°C	cp		14.12				8.73		
alfa - celulosa	%		79.53				77.34		
lignina	%		0.89				0.54		
pentosanos	%		23.31				23.12		
hemicelulósicos	%		1.21				0.68		

TABLA 17

Tabla comparativa entre pulpas blanqueadas comercialmente  
vs. MSA (H/C = 0.176)

		(C-1) Pulpa de bagazo de caña al Monosulfito de Sodio.				(C-2) Pulpa de bagazo de caña a la Sosa.				(A-5) Pulpa de bagazo de caña al M S A.			
		0	7	14	21	0	7	12	16	0	12	20	26
Tiempo de refinación	min	0	7	14	21	0	7	12	16	0	12	20	26
Canadian Standard Freeness	ml	548	417	326	249	370	316	258	215	553	443	316	233
Tiempo de drenado	seg	5.6	6.8	9.7	16.3	8.5	10.5	13.0	16.1	4.7	7.2	11.5	18.2
Encogimiento	%	5	6	7	9	5	7	7	10	4.0	5.5	6.5	9.5
Peso base seco a la estufa	g/m <sup>2</sup>	63.42	63.31	62.96	61.78	62.40	62.31	61.93	63.22	63.53	62.51	62.54	62.40
Peso específico aparente	g/cc	0.647	0.727	0.758	0.834	0.686	0.775	0.778	0.842	0.591	0.719	0.784	0.797
Resistencia Mullen	Kg/cm <sup>2</sup>	1.10	1.67	1.90	2.10	1.22	1.32	1.35	1.52	0.89	1.67	1.93	1.97
Factor Mullen	-	17.49	26.40	30.22	34.13	19.57	21.22	21.90	24.13	14.05	26.76	30.96	31.59
Longitud de ruptura	m	3794	4969	5738	6279	4047	5403	5561	5905	3376	5729	6885	6885
Elongación	%	1.98	2.25	2.58	2.65	1.01	1.14	1.12	1.84	2.95	2.24	2.36	2.04
Resistencia al rasgado	g	37.55	32.75	27.82	23.61	25.46	22.00	21.66	21.48	35.59	29.87	27.10	25.14
Factor de rasgado	-	59.21	51.74	44.17	38.22	40.81	35.31	34.98	33.98	56.01	47.79	43.33	40.29
Resistencia al doblez	dobles-dobleces	114	626	821	1402	83	178	206	344	50	680	1156	1481
Factor de doblez K-M (400 g)	dd/PB	1.79	9.89	13.03	22.70	1.34	2.86	3.33	5.44	0.79	10.88	18.48	23.74
Porosidad Gurley Hill	seg/100 ml	20	87	207	989	67	237	245	580	6	61	274	575
Índice de longitud de fibra	g	0.372	0.240	0.159	0.118	0.291	0.185	0.088	0.049	0.397	0.233	0.165	0.116
Opacidad Photovolt	%	75.2	70.9	69.1	62.5	75.5	72.0	70.0	69.1	78.2	73.0	69.3	67.5
Blancura Photovolt	%	81.5	--	--	--	80.5	--	--	--	80.1	--	--	--
Viscosidad cuprietilendiamina 0.5%) a 25°C	cp		9.15				6.69				13.82		
Alfa - celulosa	%		76.89				76.73				79.42		
Lignina	%		0.96				0.83				1.42		
Pentosanos	%		22.52				22.08				24.32		
Cenizas	%		1.06				0.55				1.35		

En este punto fué necesario evaluar las características de las pulpas de procedencia comercial blanqueadas tanto en la fábrica (C-1 y C-2) como en el laboratorio (B-1 y B-2), con el fin de comparar sus propiedades con las pulpas al MSA obtenidas en las mejores condiciones (relación  $H/C = 0.176$ ).

Los resultados de esta evaluación se presentan en las Tablas 16 y - 17, en ésta última se repite la evaluación de la pulpa al MSA relación  $H/C = 0.176$ . Asimismo, y con fines ilustrativos se incluyen - las gráficas 11 a 14 en las que se puede apreciar la influencia del - blanqueo en las resistencias al factor de rasgado, al largo de ruptura, al factor mullen y al factor de dobléz. En la figura II y con el fin de objetivizar se presentan en forma de bloques las resistencias mencionadas anteriormente, de las cinco pulpas estudiadas (B-1, C-1, A-5, B-2, C-2).

A mayor abundamiento y con el fin de proporcionar datos eminentemente prácticos se compararon las características de las pulpas comerciales blanqueadas en las condiciones óptimas obtenidas en este - trabajo con las mismas pulpas blanqueadas en fábrica, aunque en este caso se desconocían las condiciones de operación. Como no se conocía la relación  $H/C$  de las pulpas blanqueadas comercialmente se recurrió al expediente de utilizar el dato de la viscosidad.

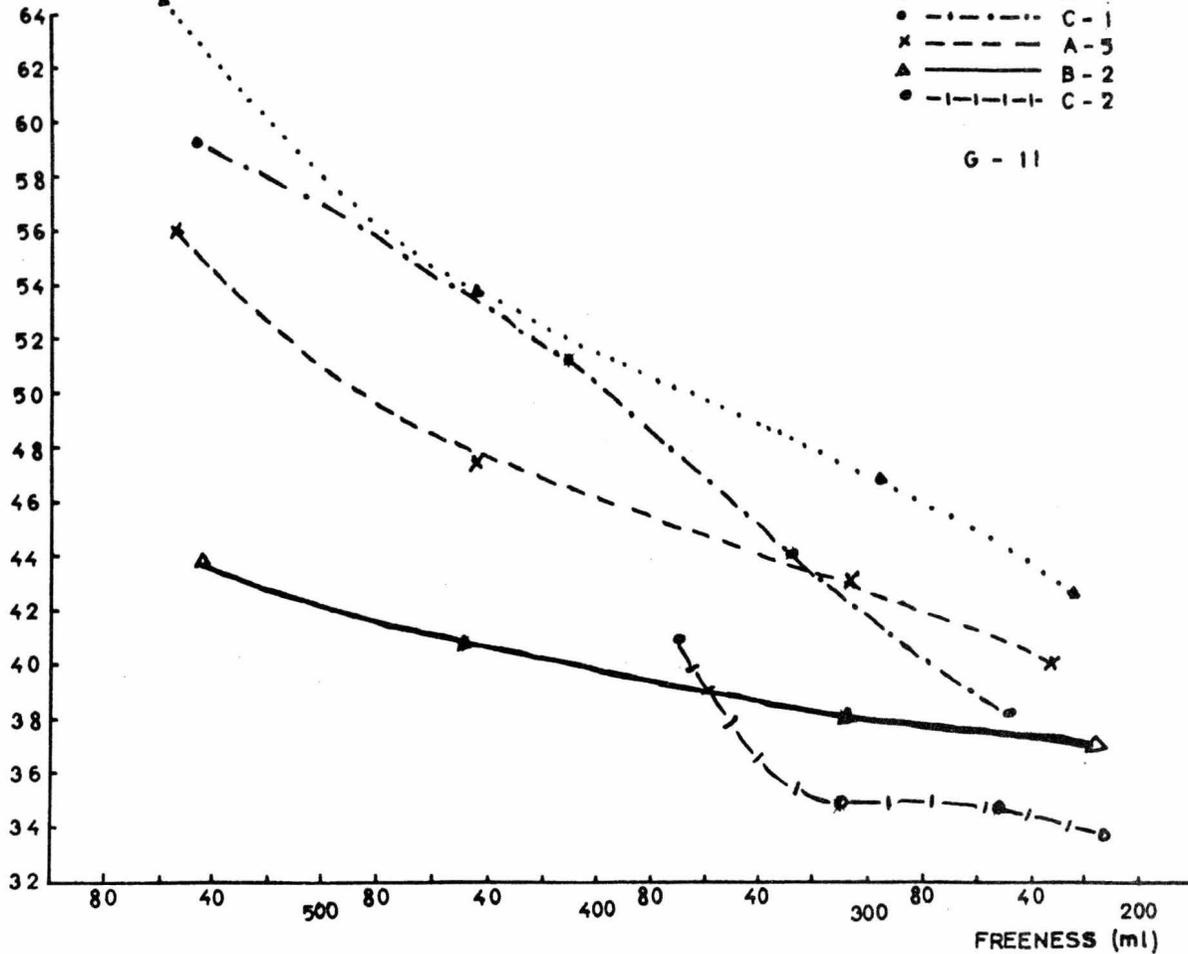
Los resultados se consignan en las gráficas 15 y 16.

Factor Rasgado

FACTOR DE RASGADO

- ▲ ..... B-1
- - · - · - C-1
- x - - - - A-5
- ▲ ——— B-2
- - | - | - | - C-2

G - 11

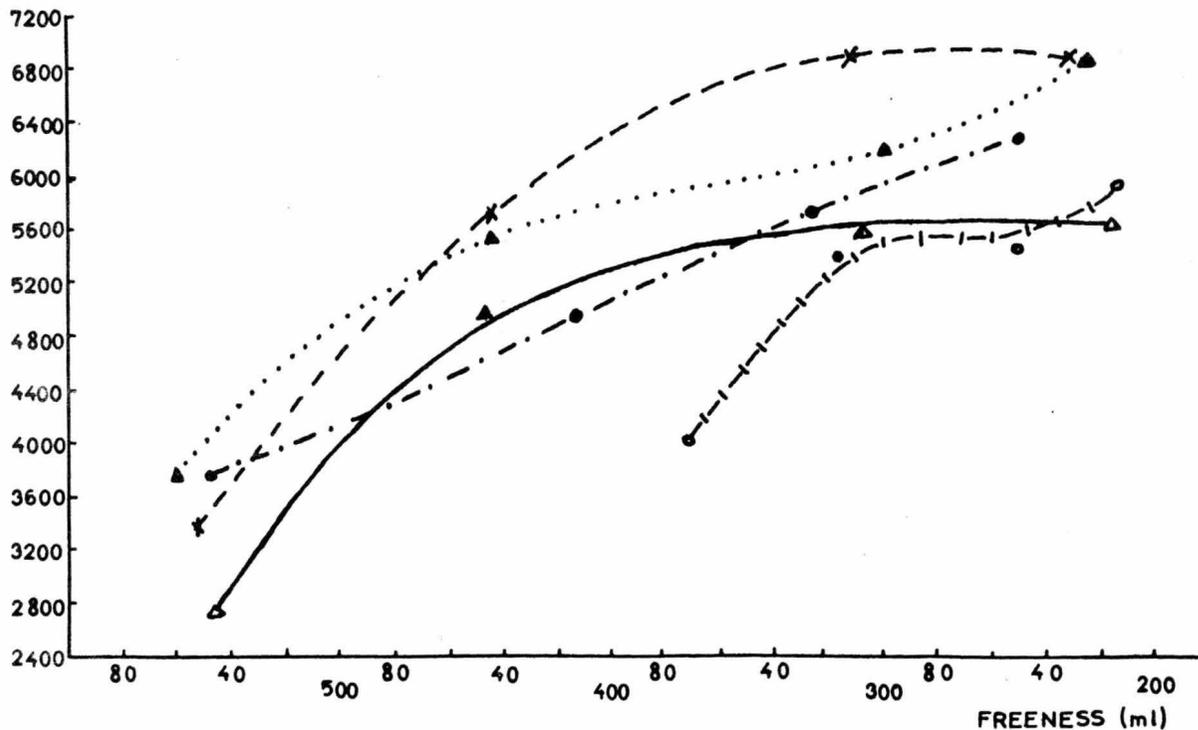


LONGITUD DE RUPTURA

- ▲ ..... B-1
- - - - - C-1
- x - - - - A-5
- △ \_\_\_\_\_ B-2
- -| -| -| C-2

G - 12

Longitud de Ruptura (m)

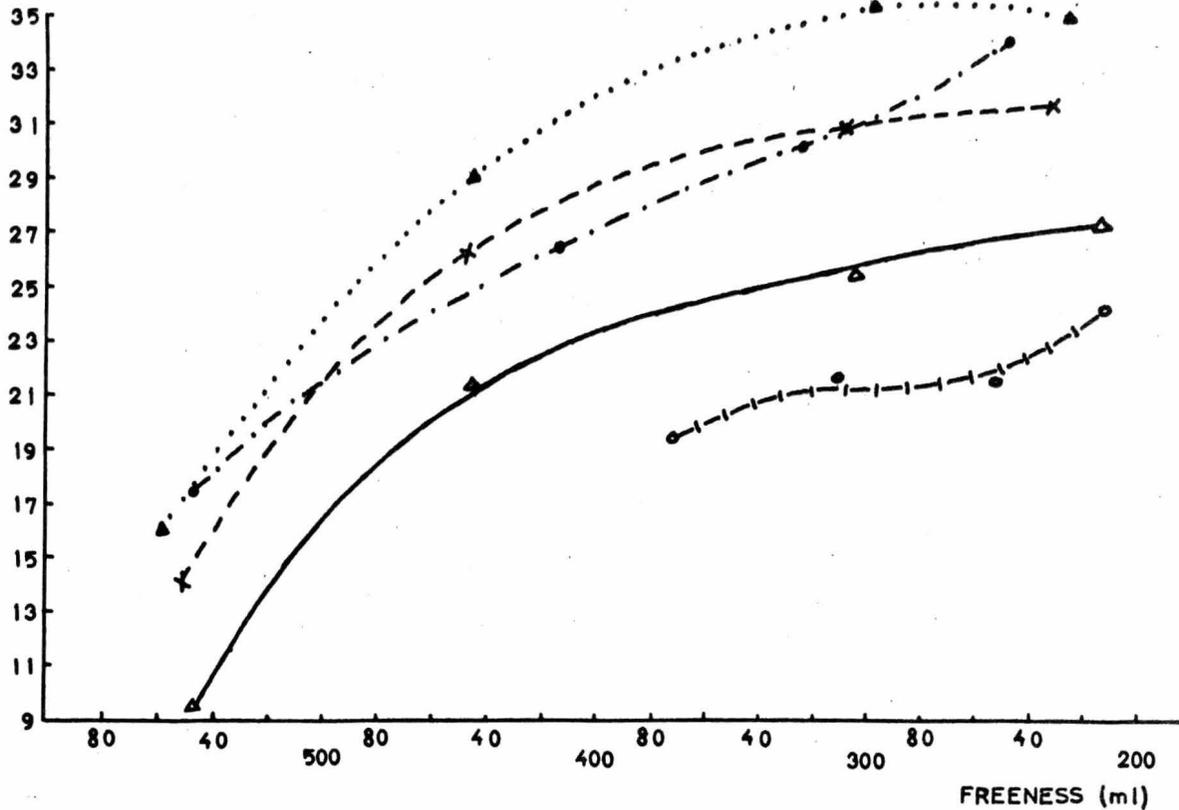


FACTOR MULLEN

G - 13

- ▲..... B-1
- .-.-.- C-1
- ×- - - - A-5
- △———— B-2
- |-|-|- C-2

Factor Mullen



FACTOR DE DOBLEZ

- ▲ ..... B-1
- - - - - C-1
- x - - - - A-5
- △ - - - - B-2
- -|-|- C-2

G - 14

Factor Doblez

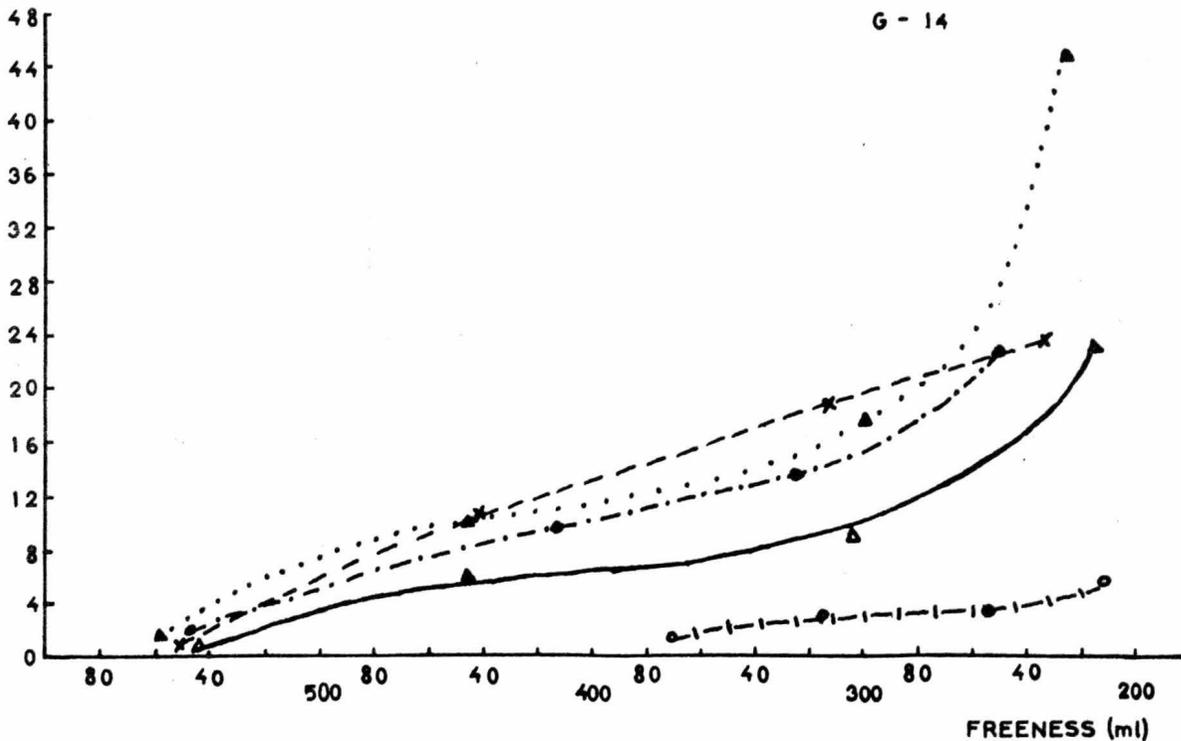


FIGURA II

PROPIEDADES FISICAS DE LAS PULPAS

B-1, C-1, A-5, B-2, C-2

(a 300 ml C.S.F.)

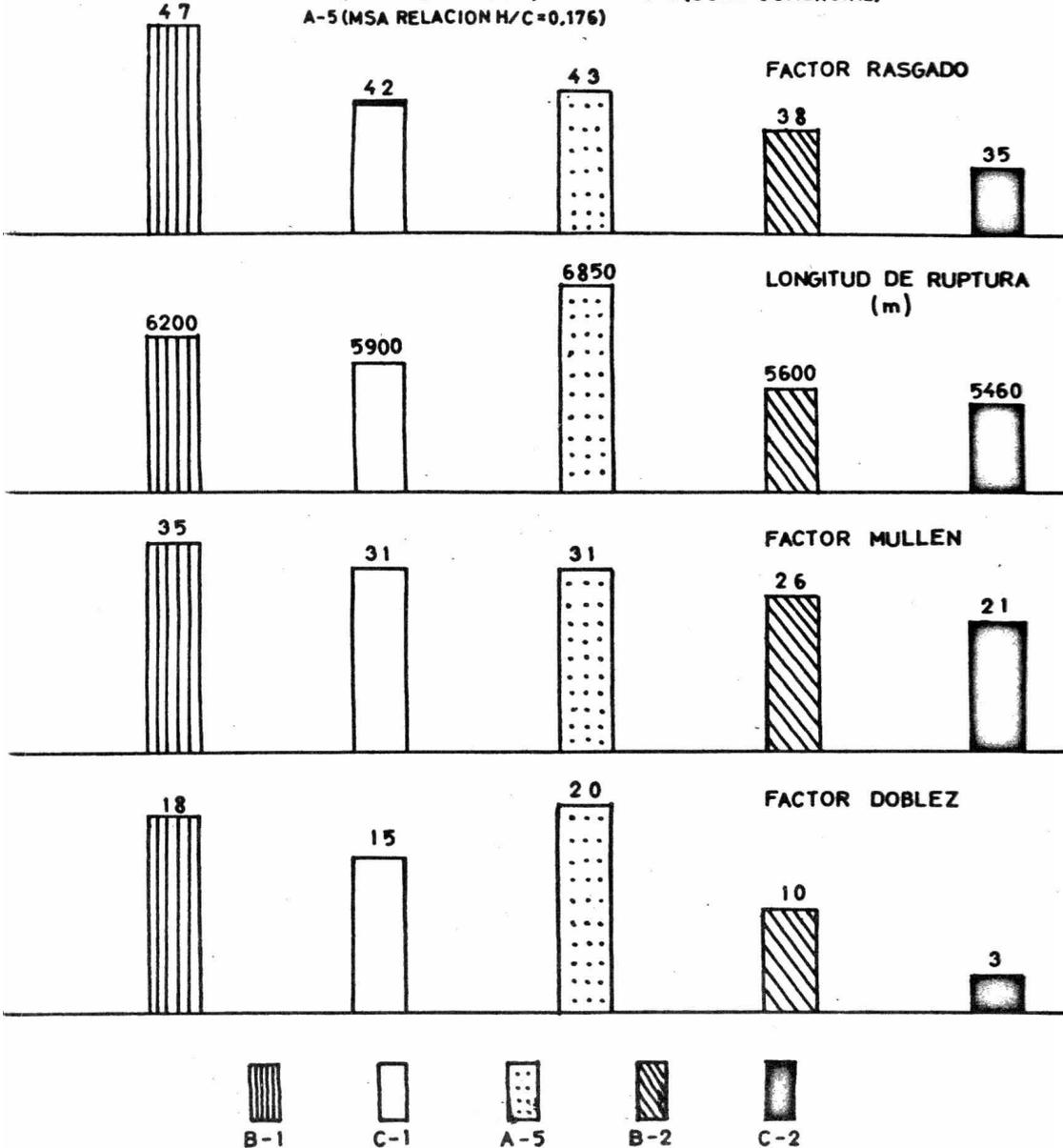
B-1 (NSSC RELACION H/C=0.176)

B-2 (SOSA RELACION H/C=0.176)

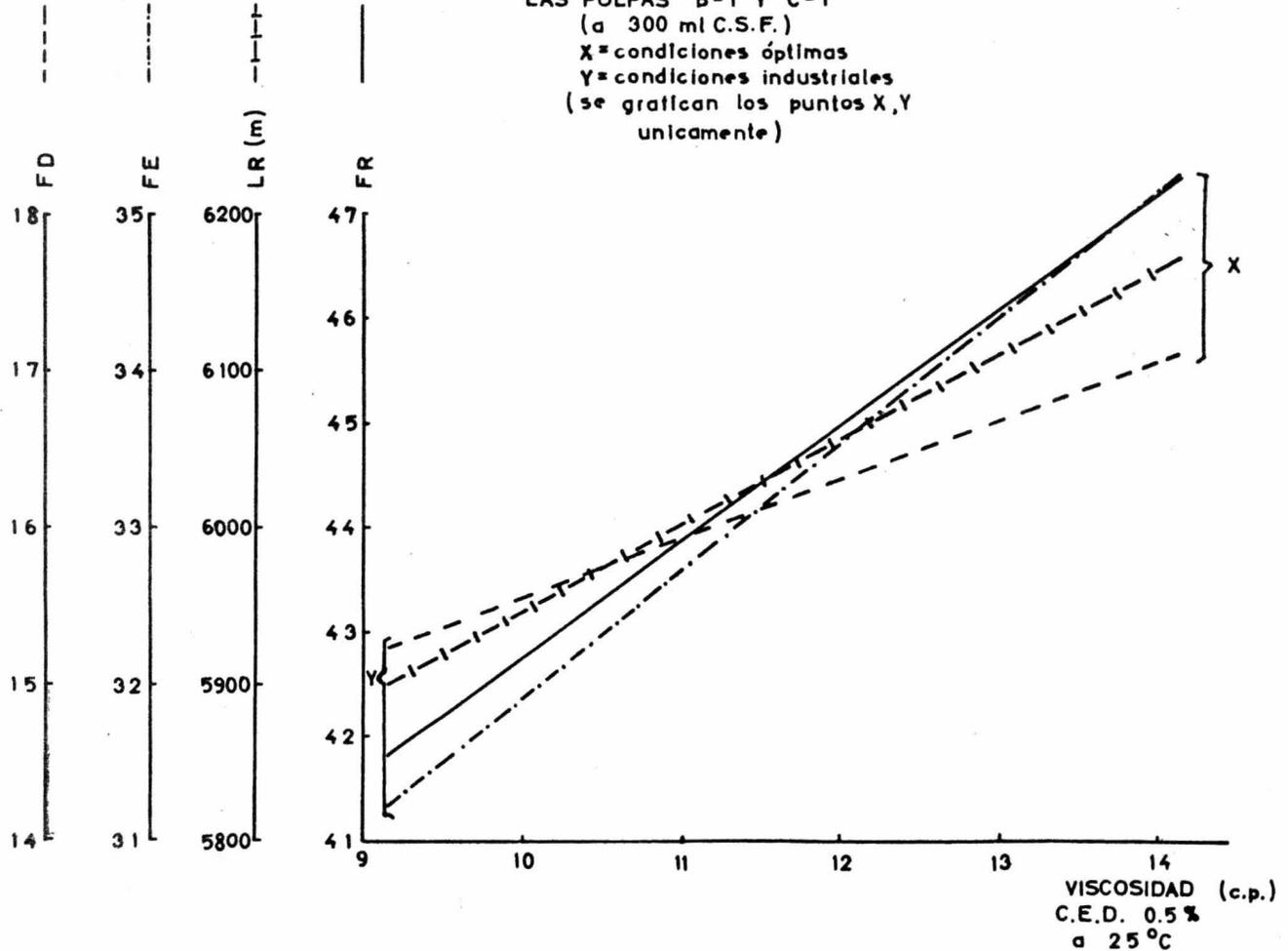
C-1 (NSSC COMERCIAL)

C-2 (SOSA COMERCIAL)

A-5 (MSA RELACION H/C=0.176)

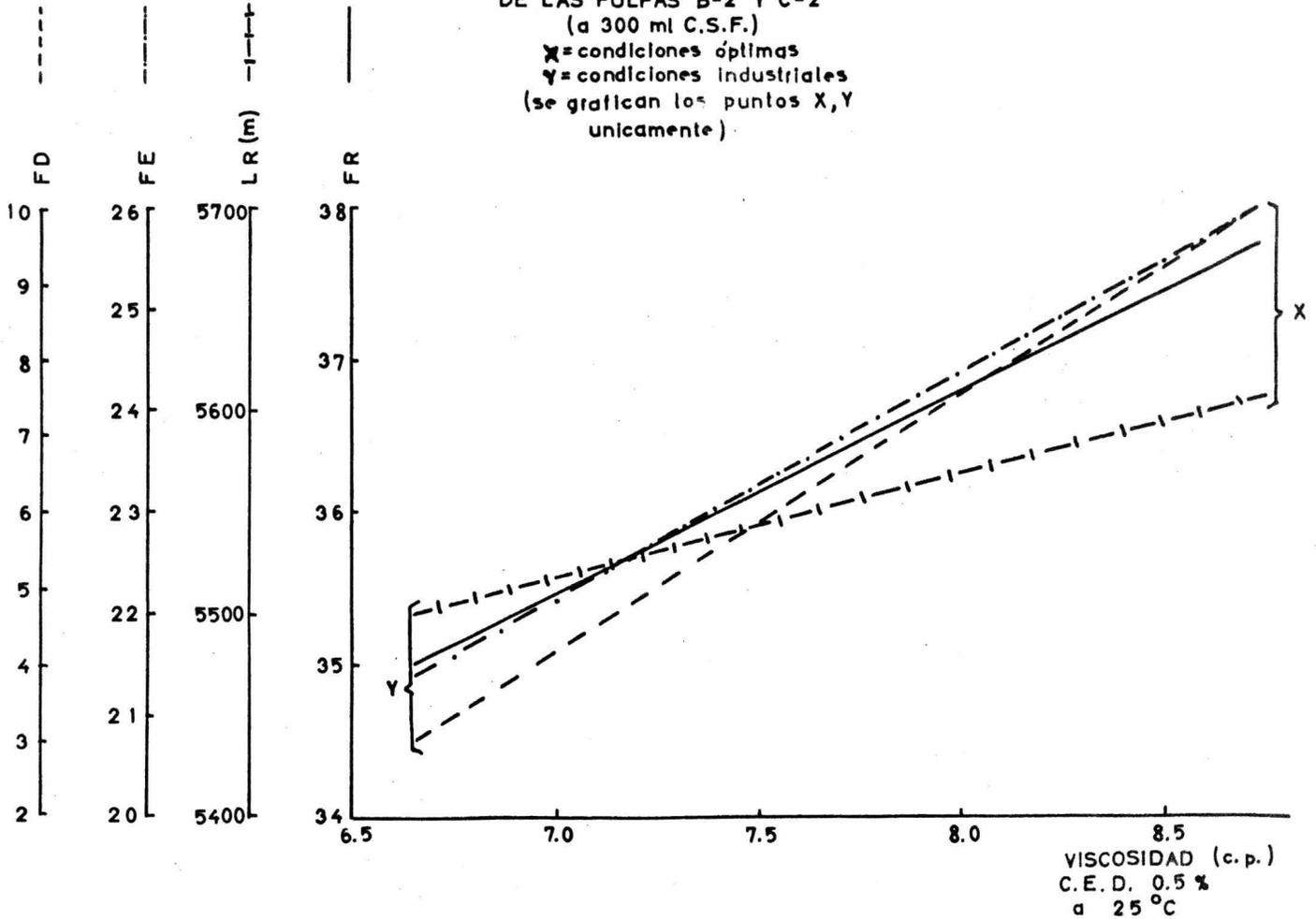


G-15 INFLUENCIA DE LA VISCOSIDAD  
 EN LAS PROPIEDADES FISICAS DE  
 LAS PULPAS B-1 Y C-1  
 (a 300 ml C.S.F.)  
 X=condiciones óptimas  
 Y=condiciones industriales  
 (se grafican los puntos X,Y  
 unicamente)



G-16 INFLUENCIA DE LA VISCOSIDAD  
 EN LAS PROPIEDADES FISICAS  
 DE LAS PULPAS B-2 Y C-2  
 (a 300 ml C.S.F.)

X = condiciones óptimas  
 Y = condiciones industriales  
 (se grafican los puntos X, Y  
 unicamente)



## CAPITULO IV

### ANALISIS DE RESULTADOS

- 1) Se demuestra que la influencia de la relación H/C en el blanqueo de pulpas de bagazo para la secuencia C-E-H, es decisiva.
- 2) La relación  $H/C = 0.176$  presentó las siguientes ventajas:
  - Un ahorro considerable de cloro total
  - Un mejor rendimiento en el blanqueo
  - Una menor degradación de la pulpa.

Aunque las ventajas anteriores no se pueden constatar en las pulpas comerciales, en vista de que se desconoce la relación H/C empleada, se puede considerar la influencia de esa relación, en forma indirecta, recurriendo a los datos de viscosidad.

- 3) Una aparente incongruencia se presenta al analizar las Tablas 1, 16 y 17, pues se observa que el contenido de alfa celulosa en las pulpas obtenidas por los tres procesos, es prácticamente el mismo.

Sin embargo, las propiedades físicas de la pulpa a la sosa son inferiores a las que presentan las obtenidas por los procesos MSA y NSSC.

Lo anterior se explica por el hecho de que el efecto hidrolizante de la sosa actúa en las hemicelulosas de la fibra y menos enér-

gicamente en la alfa celulosa.

- 4) Es interesante comparar los análisis químicos de las pulpas crudas con las blanqueadas, tanto de un mismo proceso como de los procesos entre sí.

Se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Se aprecia que el proceso a la Sosa es el que produce pulpas más degradadas; el NSSC abate menos la viscosidad y - aún menos el proceso MSA.

Los procesos NSSC y Sosa mantienen prácticamente el mismo contenido de alfa celulosa; en el caso del proceso al - MSA se nota un incremento de la misma.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Ya que son extrapolables a una fábrica los resultados obtenidos - en un estudio de blanqueo a nivel piloto se recomienda que las fábricas optimicen sus condiciones de operación mediante este procedimiento.
- 2) Por los resultados obtenidos, se observa que tanto desde el punto de vista económico como de la carencia de una pulpa semiblanqueada de origen nacional, es conveniente enfocar la producción a pulpas con blancura del orden de 80%.
- 3) Por razones de costo de este trabajo no se probaron relaciones - H/C inferiores a 0.176, por lo que se recomienda hacer estudios posteriores analizando el efecto de la relación H/C menor a -- 0.176.
- 4) Es obvio que las propiedades de la pulpa de bagazo, incluyendo - el blanqueo, dependen de la estiba y condiciones de almacenamiento del bagazo, por lo que se recomienda llevar a cabo estudios - similares al presente pero en diferentes épocas del año y en forma estadística.

Se estima que la metodología presentada en el presente trabajo , establece el camino a seguir.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Ingruber, V. O.  
Chemical Equilibrium in Heated Sulphite Solutions.  
Pulp and Paper Mag. of Canada. 1965, 66 (4) : T-215, T-228.
- 2.- Tirado, A. A.  
Control de Olores en las Fábricas de Celulosa Kraft.  
A.T.C.P. 1963, 3 (4) : 267 - 274.  
(Trabajo presentado en el Congreso Mundial de Contaminación del Aire. Actas 1a. Buenos Aires 1965, 2, 693 - 712).
- 3.- Garrido Yáñez, José Félix Bernabé.  
Tesis: "Diseño del Reactor Prototipo para la Obtención de Monosulfito de Amonio". U.N.A.M. (1975).
- 4.- Gómez Serrano, José Francisco.  
Tesis: "Obtención de Biomasa y el Uso como Agua de Riego, A Partir de los Efluentes del Proceso a la Cal para la Fabricación de Pulpa Celulósica". U.N.A.M. (1976) (por publicar).
- 5.- Rojas Gutiérrez, Rafael.; Rendón R., Próspero.  
Proceso al Monosulfito de Amonio para la Obtención de Pulpas Celulósicas y Nutrientes Orgánicos.  
A.T.C.P. Vol. IX, (5) 403 -9, 1969.
- 6.- Grant, Julius.  
Manual sobre la Fabricación de Pulpa y Papel.  
Cía. Editorial Continental, S. A. México, D. F. (1966).
- 7.- Libby, C. E.  
Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel.  
Tomo I: Pulpa  
Cía. Editorial Continental, S. A. México, D. F. (1974).
- 8.- TAPPI Mongraph Series N° 27  
"The Bleaching of Pulp" (1963).
- 9.- Pulp and Paper Manufacture  
Vol. I: The Pulping of Wood (1969)
- 10.- TAPPI  
"Testing Methods Recomend Practices Specifications Of"  
155 East 44th Street, New York, 27 N.Y. (1974).