



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**BLANQUEO CON DIOXIDO DE CLORO A UNA PULPA
"TIPO COMERCIAL" DE BAGAZO DE CAÑA**

156

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A

BALDOMERO RAMON IBARRA BORRAYO

MEXICO, D. F.

1974



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.

AB. Tesis
C. 1974
CH. A. 148
B. 148



QUÍMICA

A MIS PADRES, HERMANOS Y ABUELOS

A MIS TIOS Y AMIGOS

A CHELO

PRESIDENTE ADALBERTO TIRADO ARROYAVE

VOCAL MARIO GUEVARA VERA

SECRETARIO JORGE CASTAÑARES ALCALA

1er. SUPLENTE CUITBERTO RAMIREZ

2do. SUPLENTE LUCIA ARCINIEGA

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

LABORATORIOS NACIONALES DE FOMENTO INDUSTRIAL

SUSTENTANTE:

BALDOMERO RAMON IBARRA BORRAYO

ASESOR DEL TEMA:

MARIO GUEVARA VERA

INDICE

- I. ANTECEDENTES Y OBJETIVO DEL ESTUDIO
- II. BREVE HISTORIA DE LA OBTENCION Y USO DEL ClO_2 Y DESCRIPCION DEL METODO USADO EN ESTE ESTUDIO PARA LA GENERACION DEL DIOXIDO DE CLORO
- III. PARTE EXPERIMENTAL
 - a). Evaluación de la pulpa "tipo comercial" sin blanquear y blanqueada de bagazo de caña.
 - b). Blanqueo de la pulpa "morena", a la sosa, con la secuencia C E D variando la concentración del dióxido de cloro.
 - c). Evaluación de las pulpas blanqueadas.
- IV. ANALISIS Y OPTIMIZACION DE LAS PULPAS BLANQUEADAS
- V. ESTUDIO ECONOMICO
- VI. CONCLUSIONES
- VII. BIBLIOGRAFIA

ANTECEDENTES

Las primeras instalaciones para la obtención directa, a partir de clorato, del dióxido de cloro para blanqueo, se hicieron en fábricas de celulosa, en 1946. Dos de ellas en Suecia y una en Canadá. Poco tiempo después comenzó a usarse el dióxido de cloro en muchas otras plantas. Para 1954 se contaba con 18 instalaciones, dos de ellas en Alemania y 11 instalaciones adicionales estaban en proyecto o construcción.

En la industria de la celulosa, hasta una fábrica relativamente pequeña, debería usar cantidades considerables de dióxido de cloro para su blanqueo. La producción del ClO_2 en el sitio de utilización es deseable y no solo es posible desde el punto de vista técnico y económico, sino aconsejable.

Partiendo de las experiencias obtenidas en la fabricación de este gas, se han desarrollado en el curso de los últimos años, diversos procedimientos para la producción del ClO_2 , y se ha acumulado una experiencia suficiente en el manejo de este gas, como para excluir todo peligro.

Las fábricas de celulosa utilizan cada vez más el dióxido de cloro para su blanqueo, porque mediante él puede alcanzarse un efecto de blanqueo an

teriormente desconocido, y por otra parte, la resistencia de la fibra casi no se ve afectada.

Los métodos de blanqueo con ClO_2 en los que se utilizan las clásicas torres, han sido perfeccionados tanto para la celulosa al sulfato como al sulfito y son especialmente adaptables para la obtención de materias primas para papel de alta resistencia mecánica y para la fabricación de fibras sintéticas que requieren un alto contenido de alfa-celulosa.

Se ha encontrado que este reactivo es específico para la oxidación de la lignina presente en la pulpa, sin que reaccione negativamente con los carbohidratos, y no hay por lo tanto un desgarramiento de la molécula.

La celulosa blanqueada con dióxido de cloro presenta las siguientes ventajas:

1. Color excelente, hasta 92 grados GE en contra de los 75-80 grados GE obtenidos en los procesos anteriormente usados. Esto es especialmente deseable en la fabricación de papel de primera calidad.

2. La resistencia mecánica de las fibras permanece casi inalterada en comparación con la de la celulosa sin blanquear, pudiendo obtener, por lo tanto una mejor calidad de papel.

3. Contenido máximo de alfa-celulosa, lo que es esencialmente deseable para la fabricación de fibras sintéticas.

4. La influencia de este tipo de blanqueo en la viscosidad de la pulpa es prácticamente despreciable.

OBJETIVO

En México, la generalidad de las plantas de blanqueo de pulpa, siguen usando el método tradicional, es decir, con el hipoclorito de sodio a pesar de que en otras partes del mundo el blanqueo con ClO_2 se usa comercialmente desde hace aproximadamente 20 años.

Teniendo en cuenta el poder blanqueante del hipoclorito, que bajo ciertas condiciones, ataca las cadenas de celulosa, para dar como resultado una pulpa blanca (75-80 grados GE) con resistencias mecánicas generalmente mucho más bajas que las de la pulpa sin blanquear y contando también con la escasez cada vez mayor de materias primas maderables para la obtención de pulpas celulósicas sin blanquear, semiblanqueadas y blanqueadas, fueron los principales motivos para la elaboración de este estudio.

El bagazo de caña es una de las principales fuentes de obtención de pulpas celulósicas (en la actualidad las pulpas comerciales se obtienen mediante el proceso a la sosa) y en este estudio se tratará de obtener, una pulpa blanca, de mejor calidad en todos aspectos, sin incrementar los costos de producción obtenidos mediante los procesos tradicionales.

Resumiendo, los objetivos de este estudio serán:

1. Usar la pulpa celulósica, de bagazo de caña, sin blanquear, a la sosa, como materia prima.
2. Obtener una pulpa de mayor blancura que las obtenidas actualmente a nivel industrial, así como también la conservación de sus propiedades físicas.
3. Reducir los costos del proceso de blanqueo con la secuencia - CED, comparativamente con los obtenidos actualmente al usar la secuencia CEH. Dichos costos estarán basados únicamente por la cantidad de los reactivos usados, en las dos secuencias antes mencionadas.

BREVE HISTORIA DE LA OBTENCION Y USO DEL ClO_2 Y DESCRIPCION DEL METODO USADO EN EL LABORATORIO PARA SU GENERACION

Cuando alrededor de 1945 comenzó a tener aplicación técnica el ClO_2 en el blanqueo de la celulosa, tanto en Canadá como en Suecia, habían transcurrido casi 150 años desde la fecha de su descubrimiento por Davy, y habían pasado más de 20 años desde los primeros trabajos fundamentales de Schmidt y colaboradores, los que habían demostrado que el ClO_2 , es un blanqueador extraordinariamente efectivo para la celulosa, y que además no daña en lo absoluto el material sometido a tratamiento. Se comprende el largo tiempo de desarrollo, si se considera que el ClO_2 es un compuesto extraordinariamente lábil. Este gas, de color ligeramente amarillento, explota con gran facilidad, además de que también es tóxico. Su manejo, ha sido siempre delicado y peligroso. No fue sino hasta recientemente que se ha aprendido la forma de manejarlo sin peligro. No ha sido posible, sin embargo, hasta la fecha, almacenarlo en tanques sin peligro, y transportarlo en esa forma. Quedaba por lo tanto solo la posibilidad de obtenerlo en el lugar que se fuera a emplear. Por ejemplo: en las plantas de proceso de blanqueo este problema, no fue de fácil solución, y todavía en el año de 1942 se podía leer en un trabajo de Korte y Kaufmann lo siguiente:

"No se puede pensar en la obtención de este gas venenoso y explosi

vo en la misma planta".

Esta dificultad se vino a eliminar hasta que se llegó a la obtención del clorito de sodio (NaClO_2), que es una sal inofensiva y fácil de transportar. Se obtiene por medio de la reacción del ClO_2 sobre sosa caústica, bajo condiciones especiales. El clorito de sodio se descompone en el lugar mismo de su aplicación por oxidación mediante cloro, hipoclorito, o ácido. Este método es tedioso, complicado y costoso. Esto es explicable en forma muy objetiva en un trabajo de Kesting en la siguiente forma:

"Cuando se reflexiona en lo que se tiene que hacer para poder aplicar el dióxido de cloro, a través del clorito, se reconoce, que forzado por las circunstancias, se efectuó un rodeo de magnitud verdaderamente grotesca. Primero se obtenía el dióxido de cloro, enseguida, con grandes dificultades y a elevado costo se reducía la molécula de dióxido de cloro a ión de dióxido de cloro, perdiéndose con esto, parte de la fuerza oxidante del producto. El ión cloroso obtenido se combinaba con sosa caústica costosa; la solución se concentraba por evaporación hasta obtener sal, que era empacada, en empaques costosos y remitida al usuario. Este tenía que disolverla nuevamente y obtener nuevamente el dióxido de cloro, mediante la aplicación de otros productos químicos, tales como un ácido o cloro. Si se calcula el costo que finalmente obtiene el usuario y aplica a su proceso de blanqueo, y se compara con el costo del ClO_2 originalmente obtenido en la fábrica, se apreciará, que a través de las diversas manipulaciones se ha septuplicado". Por otra parte, una unidad de ClO_2 corresponde a 2.63 de cloro activo, -

mientras que una unidad de clorito de sodio comercial (85 %) corresponde a solo 1.33 unidades de cloro activo. Cuando se utiliza clorito de sodio como paso intermedio, se pierde por lo tanto la mitad del cloro activo contenido en el ClO_2 . - A esto debe añadirse también las pérdidas del ClO_2 que se efectúan durante su transformación.

Este método se encuentra justificado, sin embargo, cuando las cantidades usadas no justifiquen económicamente la obtención del dióxido de cloro en el sitio en el que se va a utilizar. Y es recomendable usar este método de obtención del gas (el del clorito) para industrias que usan solo pequeñas cantidades, - por ejemplo: el blanqueo de grasas, harinas, tratamiento de aguas, etc.

Las instalaciones para la producción del dióxido de cloro se utilizaban exclusivamente en la industria de la celulosa y se trabaja de acuerdo con diferentes procedimientos. Los más importantes son conocidos con los nombres de -- procedimiento Holst, Solvay, Rapson, Persson-Angel, Mathieson y Kesting.

El éxito que acompañó al uso del ClO_2 libre, se puede deducir de la siguiente frase de un trabajo de Rapson:

"Las magníficas propiedades de las celulosas blanqueadas con dióxido de cloro, han hecho tal impresión en la totalidad de las fábricas de papel, que a ello se debe el interés que en la actualidad despierta el dióxido de cloro."

De los procesos mencionados anteriormente, se seleccionó por la facilidad de reproducirlo en el laboratorio, además de la abundante información, el pro

ceso Solvay.

El proceso Solvay, se basa en las siguientes reacciones:



Y esta reacción toma lugar a un número infinito de condiciones de --
concentración y temperatura.

Si la relación ácido-clorato se aumentan mucho, la producción del _
 ClO_2 puede terminar y comenzar a formarse cloro, y si disminuye mucho la rela--
ción, la reacción se hará muy lenta, hasta detenerse totalmente. Por otro lado,
si la concentración del clorato disminuye, las cantidades de ácido deben aumentar.

En las tres tablas siguientes, se ven las diferentes combinaciones y -
sus características para la producción del ClO_2 .

T A B L A I. USANDO CLORATO DE SODIO AL 24 %, ACIDO SULFURICO DE 60° Be Y METANOL

ml.ácido	ml.clorato	ml.totales	ml.CH ₃ OH	CARACTERISTICAS
30	99	129	3.0	Reacción muy lenta, no aparece el color amarillo después de varios minutos.
35	92	127	0.6	Reacción lenta, aparece el color amarillo después de algunos minutos.
40	85	125	0.4	Buena reacción, aparece inmediatamente el color amarillo.
45	78	123	0.3	Buena reacción, aparece inmediatamente el color amarillo.
50	71	121	-	La mezcla reaccionante pierde color (involucra producción de cloro) no se genera el dióxido de cloro
60	56	116	-	Producción extremadamente violenta de cloro aún con una sola gota del alcohol.

TABLA II. USANDO CLORATO DE SODIO AL 32 % Y ACIDO SULFURICO DE 60 ° Be Y METANOL

ml. ácido	ml. clorato	ml. totales	ml. CH ₃ OH	CARACTERISTICAS
28	80	100	1.5	Reacción muy lenta
25	75	100	0.6	Reacción lenta, pero - después de algunos minutos aparece el color amarillo.
27.5	72.5	100	0.5	La reacción arranca satisfactoriamente.
30	70	100	0.3	La iniciación de la - - reacción y la aparición del color amarillo es -- inmediata.
32.5	67.5	100	0.3	La iniciación de la reacción y la coloración - - amarilla son instantáneas
35	65	100	0.4	Pérdida de coloración - después de la primera -- adición de metanol, - - arranca repentinamente con mucha producción - de ClO ₂ y una coloración bastante fuerte.
36	64	100	0.5	Pérdida de color y generación muy lenta de - - ClO ₂
37.5	62.5	100	-	Pérdida de color, se genera solamente cloro.

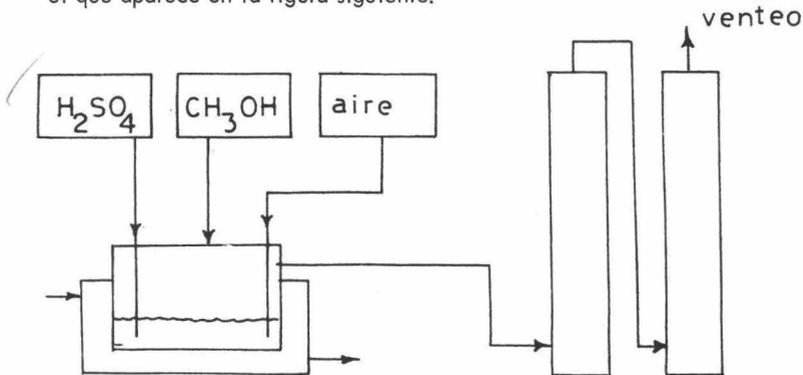
TABLA III. USANDO CLORATO DE SODIO AL 40 %, ACIDO SULFURICO DE 60 GRADOS Be Y METANOL

ml. ácido	ml. clorato	ml. totales	ml. CH ₃ OH	CARACTERISTICAS
15	64	79	0.7	Reacción lenta, arranca después de algunos minutos.
17.5	62	79.5	0.5	Reacción lenta, arranca después de un minuto.
20	60.5	80.5	0.4	Reacción buena, el color amarillo aparece inmediatamente.
22.5	58	80.5	0.3	Reacción y color amarillo son instantáneos.
25	56.5	81.5	0.3	Reacción y color amarillo son instantáneos.
27.5	54.5	82	0.4	Pérdida de color y poca generación de ClO ₂
30	53	83	-	Se genera cloro únicamente.

De los datos anteriores se seleccionó la combinación de NaClO_3 - -
32 % y H_2SO_4 de 60. Be en las siguientes cantidades:

Acido sulfúrico	32.5 ml
Clorato de sodio	67.5 ml
Volumen total	100.0 ml
Metanol	0.3 ml

y para la generación del gas a escala laboratorio se usó un pequeño equipo como -
el que aparece en la figura siguiente:



En este equipo, la cantidad medida de clorato de sodio se deposita_
en un matraz, cuya función es la de un reactor "batch", a continuación se adicio_
na el ácido sulfúrico por medio de un embudo de separación y ya que la mezcla -
clorato-ácido sulfúrico está perfectamente homogénea se procede a adicional el -
metanol, y debido al pequeño volumen de este reactivo, la adición es gota a gota
por medio de otro embudo de separación, cuando la mezcla está nuevamente homo_

geneizada, se inyecta aire, por un tercer orificio en la tapa del matraz y se le pone en un baño, para que la temperatura sea de 50°C, este baño es con el fin de que el gas se desorba más fácilmente de la solución ácida, ayudado con la inyección de aire.

La mezcla así formada, aire-dióxido de cloro - dióxido de carbono, se hace pasar a través de dos pequeñas columnas de absorción, sin empacar, llenas con agua exclusivamente. Después de unos 20 minutos de operación del equipo, se puede dar por terminada la reacción y por lo tanto se puede usar la solución de dióxido de cloro preparada en las torres. La concentración del gas en el agua es de 4 g/l en la primera y de 1 g/l en la segunda.

Industrialmente, el uso del gas es de la misma manera que en el laboratorio, es decir, en forma de "agua de dióxido de cloro".

A continuación se hace una breve descripción del paso de blanqueo con dióxido de cloro y de la obtención industrial de éste, mediante el proceso Solway, tomando como base información publicada por TAPPI y proporcionada por "The Riegel Carolina Mill" planta que opera desde 1952 y que usa un paso de blanqueo con ClO_2 con la secuencia C E H E H D en pulpas al sulfato como al sulfito.

Equipo de blanqueo paso D:

"La pulpa sale del quinto paso hacia los lavadores y aquí se mantie-

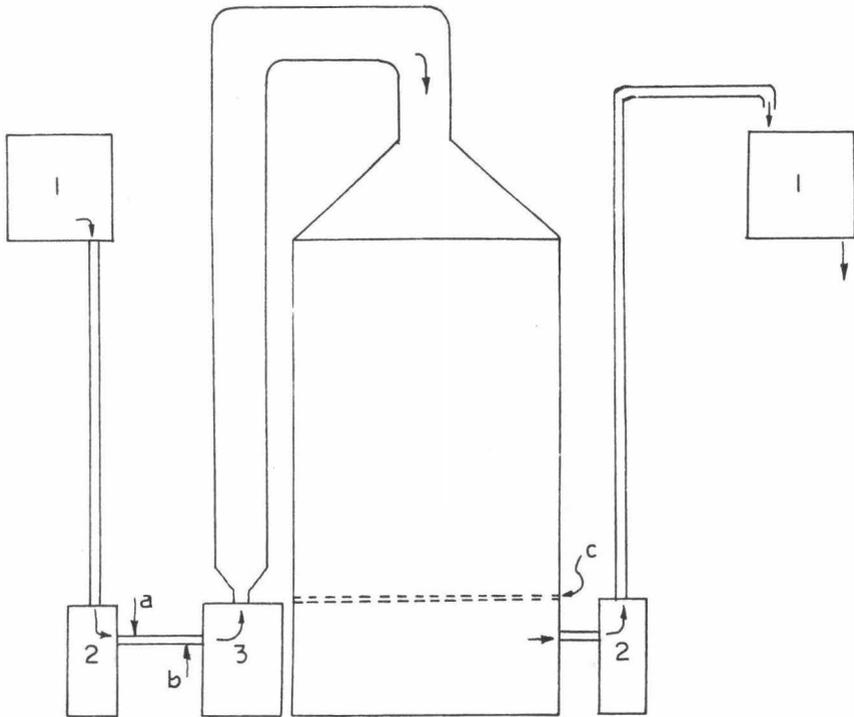
ne su consistencia entre 11 a 13 por ciento, de aquí cae, por un tubo de 14 pulgadas de diámetro, de acero inoxidable, a una bomba de alta consistencia, la cual, manda la pulpa a un mezclador, el vapor es aplicado, justo cuando la pulpa entra en el mezclador, e inmediatamente después se adiciona el agua de dióxido de cloro. La pulpa bien mezclada con el vapor y el dióxido de cloro es alimentada continuamente por una línea recubierta de azulejo, de 50 pulgadas de diámetro hacia la parte superior de la torre del dióxido de cloro.

La pulpa empieza a fluir hacia el fondo de manera normal y finalmente entra en la zona de dilución, aquí se mezcla con una solución alcalina para neutralizarla. El stock, diluido y neutralizado es bombeado de manera continua desde el fondo de la torre hasta el sexto lavador. (Todo esto se aprecia en la siguiente figura).

Con el dióxido de cloro se presentan serios problemas de corrosión en el equipo, por ejemplo, el mezclador y la torre de blanqueo deben ser recubiertos de azulejo, las paletas del mezclador deben ser de metal y además recubiertas por Hasteloy C. En la tabla siguiente se dan algunos materiales y su capacidad para resistir la corrosión provocada por el dióxido de cloro:

1. Saran: Muy satisfactorio por tuberías o, para la solución ácida del reactor.
2. Porcelana: Satisfactoria.
3. Hasteloy C: Se usa normalmente en las paletas del mezclador.

DIAGRAMA DEL EQUIPO USADO EN EL PASO "D"



- 1 LAVADORES
- 2 BOMBAS
- 3 MEZCLADOR DE
DIOXIDO DE CLORO

- a vapor
- b solución de dióxido de cloro
- c agua de dilución

dor o para recubrir tuberías, pero no es muy satisfactorio para la solución ácida del reactor.

4. Kel-F: Muy satisfactorio para diafragmas de válvulas.
5. Durimet 20: Se usa satisfactoriamente para los rotámetros -
6. Vidrio: Satisfactorio.
7. Sarancote: Generalmente satisfactorio, pero se ha visto que se deteriora en tanques cerrados.
8. Teflón: Muy satisfactorio.
9. Fibra de Vidrio y Plastificante: Muy satisfactorio en el mezclador.
10. Cemento Alkor: Es satisfactorio para juntas fijas, pero para juntas móviles, no es adecuado.

PARTE EXPERIMENTAL

La evaluación de las pulpas blanca y sin blanquear, "Tipo comercial" de bagazo de caña, se reportan en las dos tablas siguientes; así como en las gráficas posteriores, en las cuales se hace una comparación entre las tres pulpas - (la morena, la blanca comercial y la que se blanqueó con el C10_2).

PULPA A LA SOSA DE BAGAZO DE CAÑA SIN BLANQUEAR

Tiempo de refinación	min.	0	15	23	30
Canadian Standard Freeness	ml.	622	529	430	315
Tiempo de drenado	seg.	5	7.5	10	17.5
Encogimiento	%	6	6.5	8.5	11
Peso base acondicionado	g/m ²	69.25	69.43	66.20	69.25
Peso base seco a la estufa	g/m ²	63.42	63.58	60.62	63.40
Espesor	mm	0.10	0.09	0.081	0.07
Volumen específico aparente	cc/g	1.580	1.375	1.333	1.219
Peso específico aparente	g/cc	0.633	0.727	0.750	0.820
Resistencia a la explosión	lb/plg ²	22.75	31.75	36.10	37.20
Factor de explosión		25.22	35.10	41.86	41.25
Resistencia a la tensión	kg/15mm	5.01	6.6	6.5	7.19
Largo de ruptura	m	5266	6920	7148	7560
Elongación	%	2.2	2.5	2.5	2.45
Resistencia al rasgado		38.85	32.36	28.19	24.75
Factor de rasgado		61.27	50.90	46.50	39.04
Resistencia al dobléz (doblés-dobleces)	800 g	33	86	160	207
Factor de dobléz	dd/pbse	0.520	1.359	2.639	3.274
Porosidad, Gurley Hill	seg/100 ml	26	193	513	>1800
Índice de longitud de fibra	g	0.451	0.229	0.196	0.159
Opacidad photovolt	%	90	85	83	77
Blancura photovolt	%	33.82	-	-	-
Lignina	%	1.32	-	-	-
Número de permanganato		14	-	-	-

PULPA A LA SOSA DE BAGAZO DE CAÑA, BLANQUEADA CON LA SECUENCIA CEH

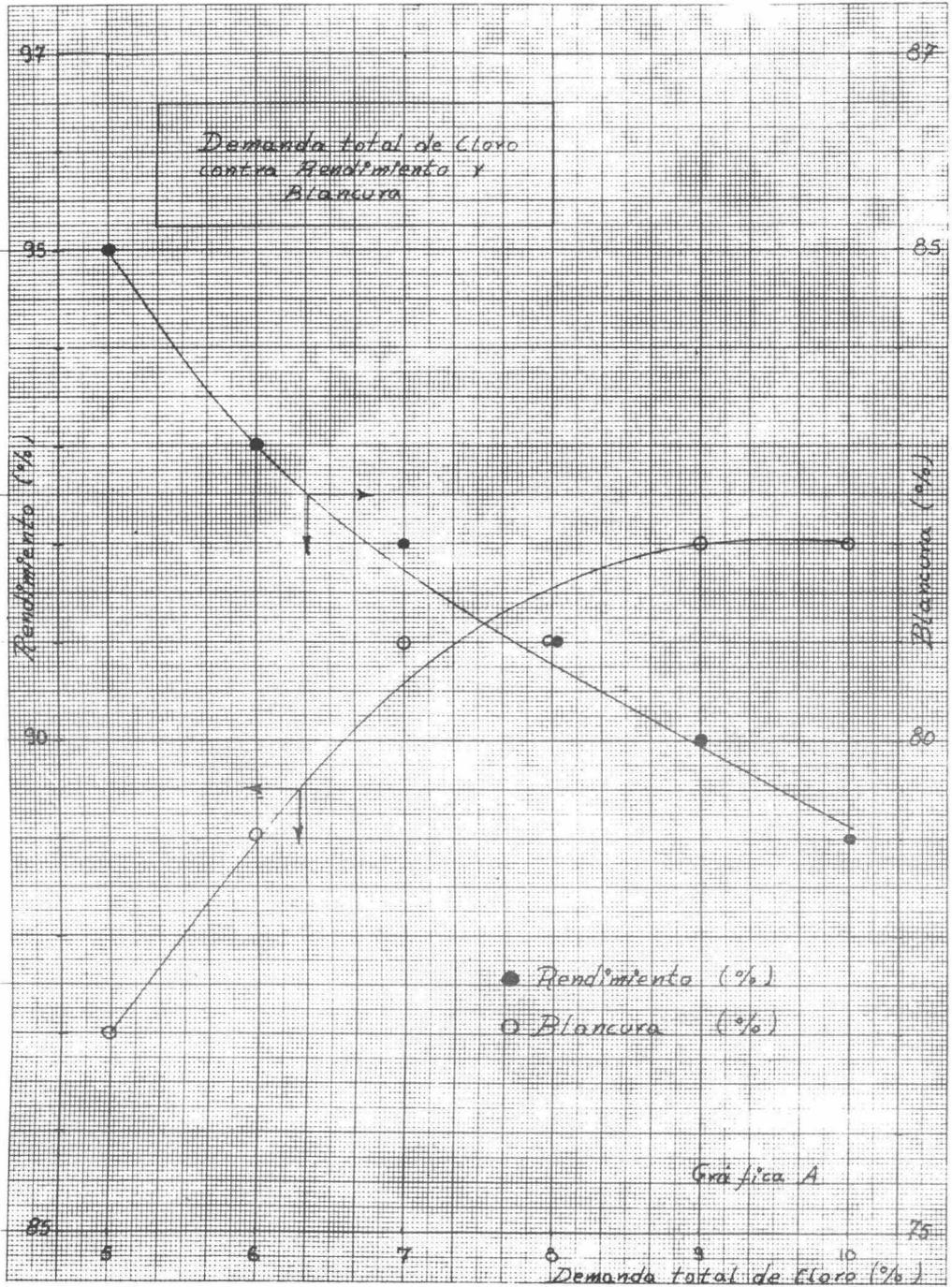
Tiempo de refinación	min.	0	8	17
Canadian Standard Freeness	ml	384	318	219
Tiempo de drenado	seg.	7.5	11	17.8
Encogimiento	%	6.0	7.5	10.0
Peso base acondicionado	g / m ²	66.04	66.49	66.62
Peso base seco a la estufa	g / m ²	60.83	61.24	61.36
Espesor	mm	0.079	0.070	0.068
Volumen específico aparente	cc / g	2.299	1.151	1.100
Peso específico aparente	g / cc	0.435	0.869	0.909
Resistencia a la explosión	lb/plg ²	28.70	30.20	32.60
Factor de explosión		33.16	34.66	37.35
Resistencia a la tensión	Kg/15 mm	5.72	6.66	7.26
Largo de ruptura	m	6268	7250	7887
Elongación	%	2.35	2.40	2.40
Resistencia al rasgado		24.38	25.38	22.85
Factor de rasgado		42.29	40.07	37.23
Resistencia al doblez (dobles-dobleces)	800 g	32	56	93
Factor de doblez		0.526	0.914	1.512
Porosidad, Gurley Hill	seg/100 ml	136	622	>1800
Índice de longitud de fibra	g	0.317	0.279	0.175
Opacidad Photovolt	%	73	68	63
Blancura Photovolt	%	82	-	-

El blanqueo de la pulpa morena, se llevó a cabo variando únicamente la concentración del cloro total y manteniendo todas las demás variables constantes, como se ve en la siguiente tabla. Los resultados de blancura y rendimiento de estos blanqueos de prueba dieron origen también a la gráfica (A) (Blanqueos de 100 gr. de pulpa).

% cloro total	5			6			7			8			9		
P a s o	C	E	D	C	E	D	C	E	D	C	E	D	C	E	D
Conc. % del Cloro total	70	1.5	30	70	1.5	30	70	1.5	30	70	1.5	30	70	1.5	30
Cantidad de cloro (g)	3.5	-	1.5	4.2	-	1.8	4.9	-	2.1	5.6	-	2.4	6.3	-	2.7
Cantidad de reactivo (gr)	3.5	1.5	1.57	4.2	1.5	0.68	4.9	1.5	0.80	5.6	1.5	0.91	6.3	1.5	1.02
% cloro en relación con la pulpa	3.5	-	1.5	4.2	-	1.8	4.9	-	2.1	5.6	-	2.4	6.3	-	2.7
Conc. del react g / l	4.04	100	1.62	4.04	100	1.62	4.9	100	3.6	4.9	100	3.6	4.7	100	2.27
% reactivo en relación a la pulpa	3.5	1.5	1.57	4.2	1.5	0.68	4.9	1.5	0.80	5.6	1.5	0.91	6.3	1.5	1.02
Vol. de react. (ml)	865	15	351	1038	15	422	1000	15	222	1135	15	254	1321	15	453
Consistencia de pulpa %	3	10	10	3	10	10	3	10	10	3	10	10	3	10	10
Temp. / ° C	amb.	40	60	amb.	40	60	amb.	40	60	amb.	40	60	amb.	40	60
Tiempo (min)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
PH inicial	2	12.1	6.5	2	11.9	6.5	2	12	6.5	2	11.9	6.5	2	12	6.5
PH final	1.9	11	3.2	1.9	11	3.2	1.9	11	3.6	1.9	11	3.7	1.9	11	3.6
Blancura %		77			79			81			81			82	
Rendimiento %		95			93			92			91			90	

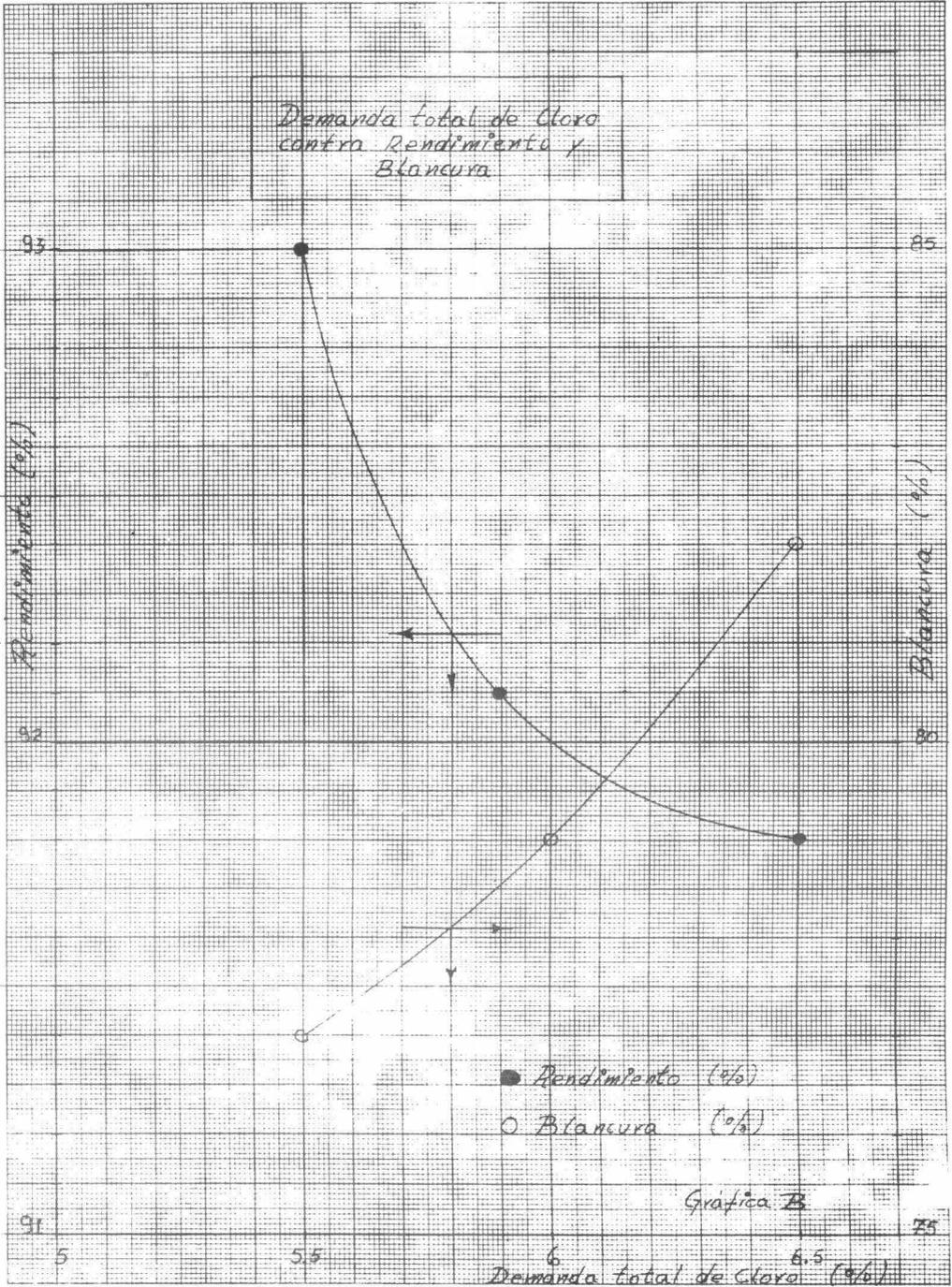
% cloro total		10	
P a s o	C	E	D
Conc. % cloro total	70	1.5	30
Cant. cloro gr.	7	-	3
Cant. reactivo (gr)	7	1.5	1.14
% cloro en relación con la pulpa	7	-	3
% reactivo en relación a la pulpa	7	1.5	1.14
Conc. del reactivo (g / l)	4.77	100	2.68
Vol. de reactivo (ml)	1468	15	503
Consistencia de pulpa %	3	10	10
Temp. / ° C	amb	40	60
Tiempo (min)	60	60	60
PH inicial	2	12	6.5
PH final	1.9	11	3.3
Blancura %		82	
Rendimiento %		89	

% cloro total		10	
P a s o	C	E	D
Conc. % cloro total	70	1.5	30
Cant. cloro gr.	7	-	3
Cant. reactivo (gr)	7	1.5	1.14
% cloro en relación con la pulpa	7	-	3
% reactivo en relación a la pulpa	7	1.5	1.14
Conc. del reactivo (g / l)	4.77	100	2.68
Vol. de reactivo (ml)	1468	15	503
Consistencia de pulpa %	3	10	10
Temp. / ° C	amb	40	60
Tiempo (min)	60	60	60
PH inicial	2	12	6.5
PH final	1.9	11	3.3
Blancura %		82	
Rendimiento %		89	



Y de esta última gráfica se seleccionó el 6 % como óptimo, y para_ checarlo, se efectuaron otros tres blanqueos, a 5.5, 6 y 6.5 % de cloro total, - como se muestra en la tabla siguiente, las blancuras y los rendimientos así obtenidos, se reportan en la gráfica (B) (Blanqueo de 500 gr. aumentando el tiempo de reacción).

Cloro total %	5.5			6			6.5		
P a s o	C	E	D	C	E	D	C	E	D
Conc. % del cloro total	70	1.5	30	70	1.5	30	70	1.5	30
Cant. de cloro (gr)	19.25	-	8.24	21	-	9	22.75	-	9.75
Cant. reactivo en gr .	19.25	7.5	3.14	21	7.5	3.42	22.75	7.5	3.71
% cloro en relación a la pulpa	3.85	-	1.65	4.2	-	1.8	4.55	-	1.55
% reactivo en relación a la pulpa	3.85	1.5	0.63	4.2	1.5	0.68	4.55	1.5	0.74
Consistencia de la pulpa %	3	10	10	3	10	10	3	10	10
Temperatura ° C	amb	40	60	amb.	40	60	amb	40	60
Tiempo (min)	90	90	90	90	90	90	90	90	90
PH inicial	2	11.8	6.5	2	11.8	6.5	2	11.8	6.5
PH final	1.95	11	3.8	1.95	11	3.5	1.95	11	3.8
Blancura %		77			79			82	
Rendimiento %		93			92			91.8	



Las pulpas así obtenidas se evaluaron dando como resultado las tablas (3) que a continuación se presentan:

T A B L A S III

PULPA DE BAGAZO DE CAÑA, A LA SOSA, BLANQUEADA CON 5.5 % DE CLORO TOTAL CON LA SECUENCIA C E D.

Tiempo de refinación	min	0	8	15	25
Canadian Standard Freeness	ml	502	420	336	220
Tiempo de drenado	seg	7	8	12	19
Encogimiento	%	7	8	11	12
Peso base acondicionado	g/m ²	66.73	63.77	68.56	66.92
Peso base seco a la estufa	g/m ²	61.20	58.77	63.03	61.54
Espesor	mm	0.087	0.076	0.076	0.067
Volumen específico aparente Pe	cc/g	1.413	1.288	1.201	1.113
Peso específico aparente	g/cc	0.707	0.776	0.832	0.898
Resistencia a la explosión	lb/plg ²	19.55	26.50	34.85	35.15
Factor de explosión		22.45	31.70	38.86	40.15
Resistencia a la tensión	kg/15 mm	4.94	5.71	7.11	7.27
Largo de ruptura	m	5375	6471	7515	7875
Elongación	%	2.62	2.73	3.09	2.96
Resistencia al rasgado		40.36	35.13	29.71	29.71
Factor de rasgado		65.94	59.77	48.27	47.14
Resistencia al dobléz con 800 gr doblés-dobleces		30	67	139	225
Factor de dobléz	dd/PBSE	0.485	1.145	2.217	3.661
Porosidad Gurley Hill	seg/100 ml	44	130	449	>1800
Indice de longitud de fibra	g	0.334	0.319	0.240	0.233
Opacidad photovolt	%	73.60	68.80	68.10	61.30
Blancura photovolt	%	79			

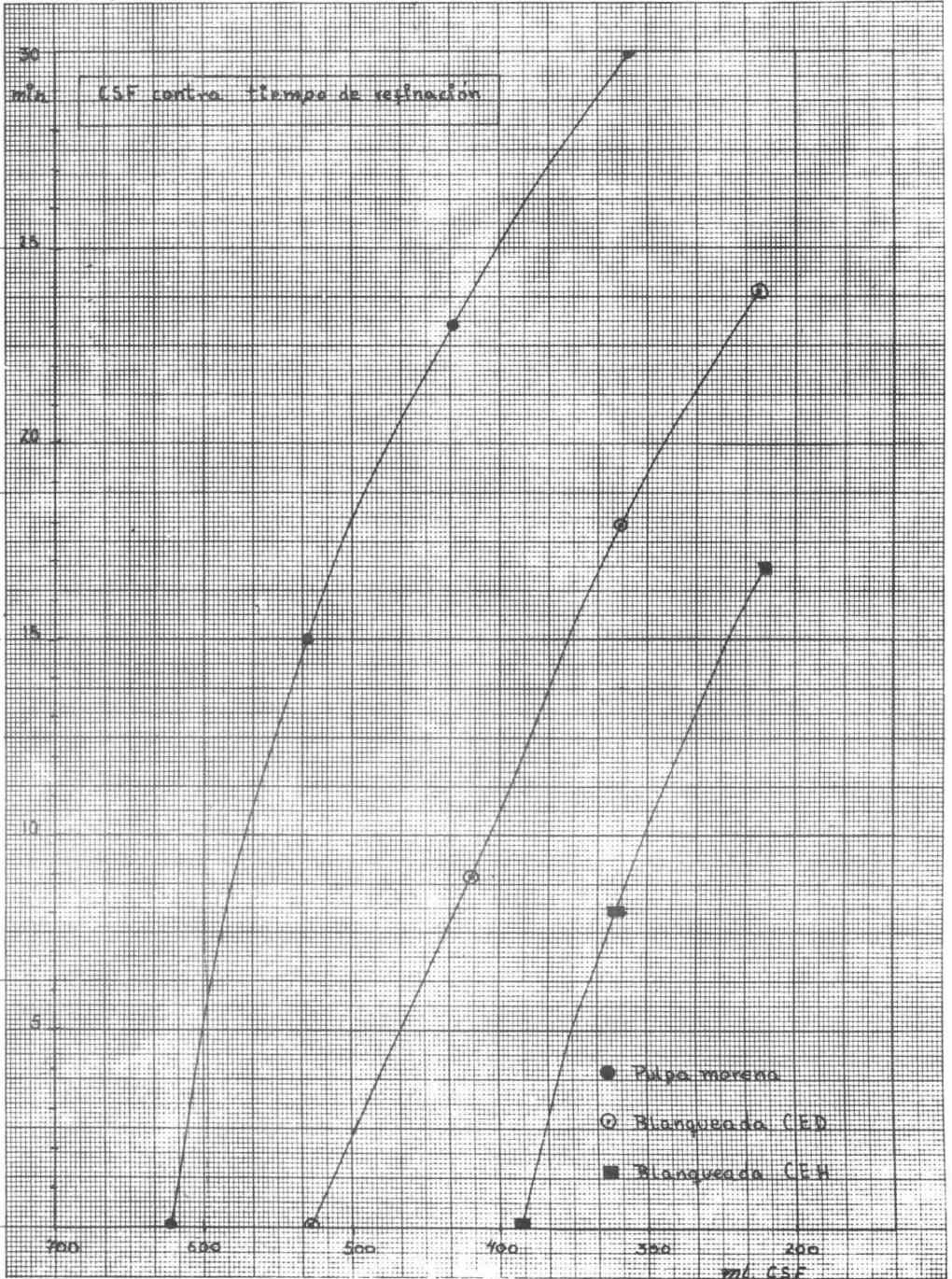
PULPA DE BAGAZO DE CAÑA, BLANQUEADA CON 6 % DE CLORO TOTAL -
CON LA SECUENCIA C E D .

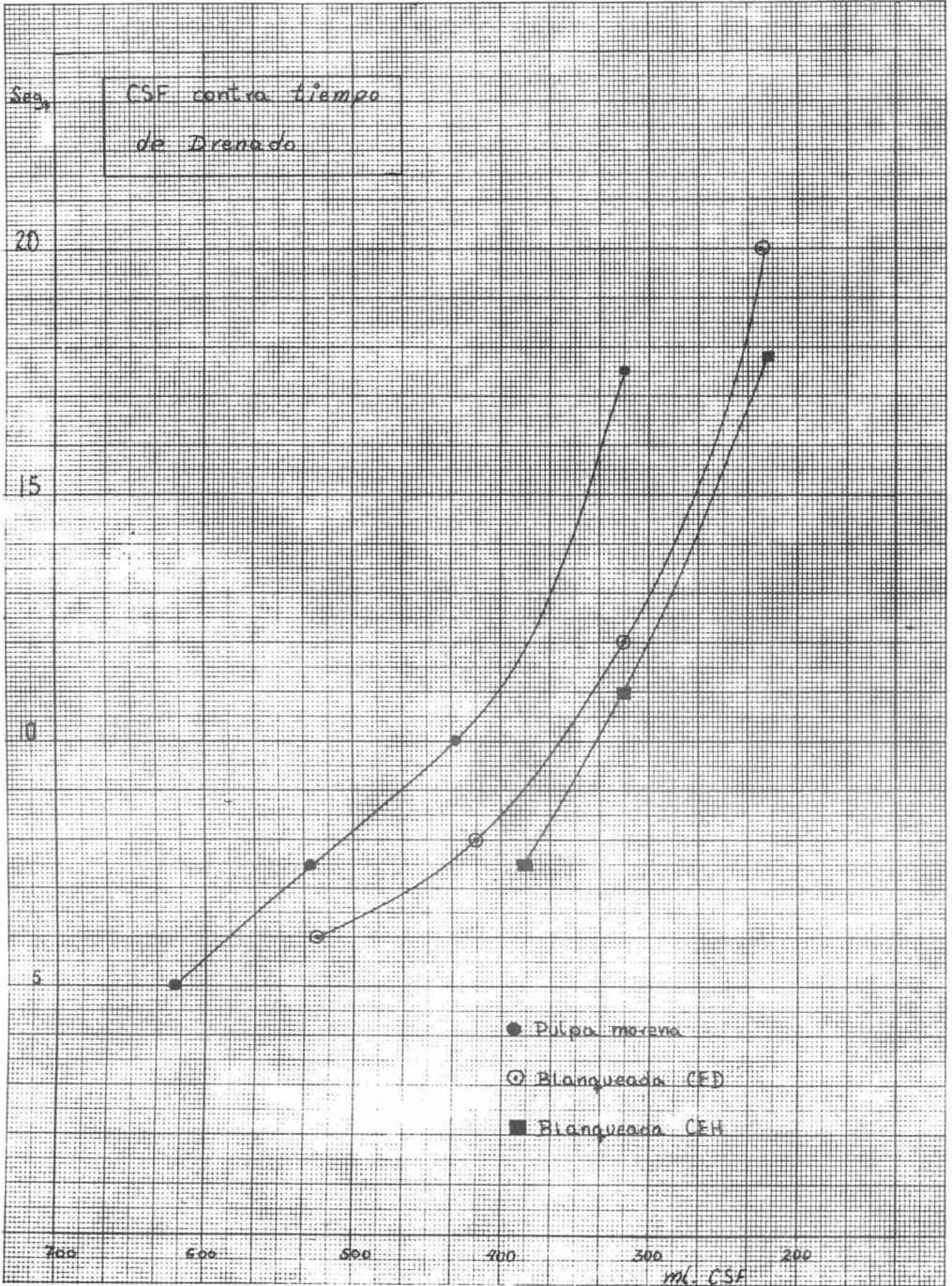
Tiempo de refinación	min	0	9	17	26
Canadian Standard Freeness	ml	525	415	326	217
Tiempo de drenado	seg	6	8	12	20
Encogimiento	%	7	8	9	12
Peso base acondicionado	g/m ²	68.78	68.25	67.35	68.46
Peso base seco a la estufa	g/m ²	63.61	62.79	61.80	62.97
Espesor	mm	0.088	0.075	0.073	0.070
Volumen específico aparente	cc/g	1.375	1.189	1.174	1.111
Peso específico aparente	g/cc	0.727	0.840	0.851	0.900
Resistencia a la explosión	lb/plg ²	21.15	30.45	33.40	38.80
Factor de explosión		23.73	34.09	38.00	43.31
Resistencia a la tensión	kg/15 mm	4.885	6.560	6.920	7.510
Largo de ruptura	m	5120	6965	7465	7950
Elongación	%	2.83	3.12	3.28	3.07
Resistencia al rasgado		41.50	35.04	30.85	29.71
Factor de rasgado		65.25	55.80	49.91	47.18
Resistencia al dobléz con 800 dobles-dobleces		32	91	150	232
Factor de dobléz	dd/PBSE	0.511	1.458	2.427	3.684
Porosidad Gurley Hill	seg/100 ml	34	225	471	>1800
Indice de longitud de fibra	g	0.346	0.298	0.226	0.153
Opacidad photovolt	%	73.90	68.00	66.50	61.90
Blancura photovolt	%	80.5			

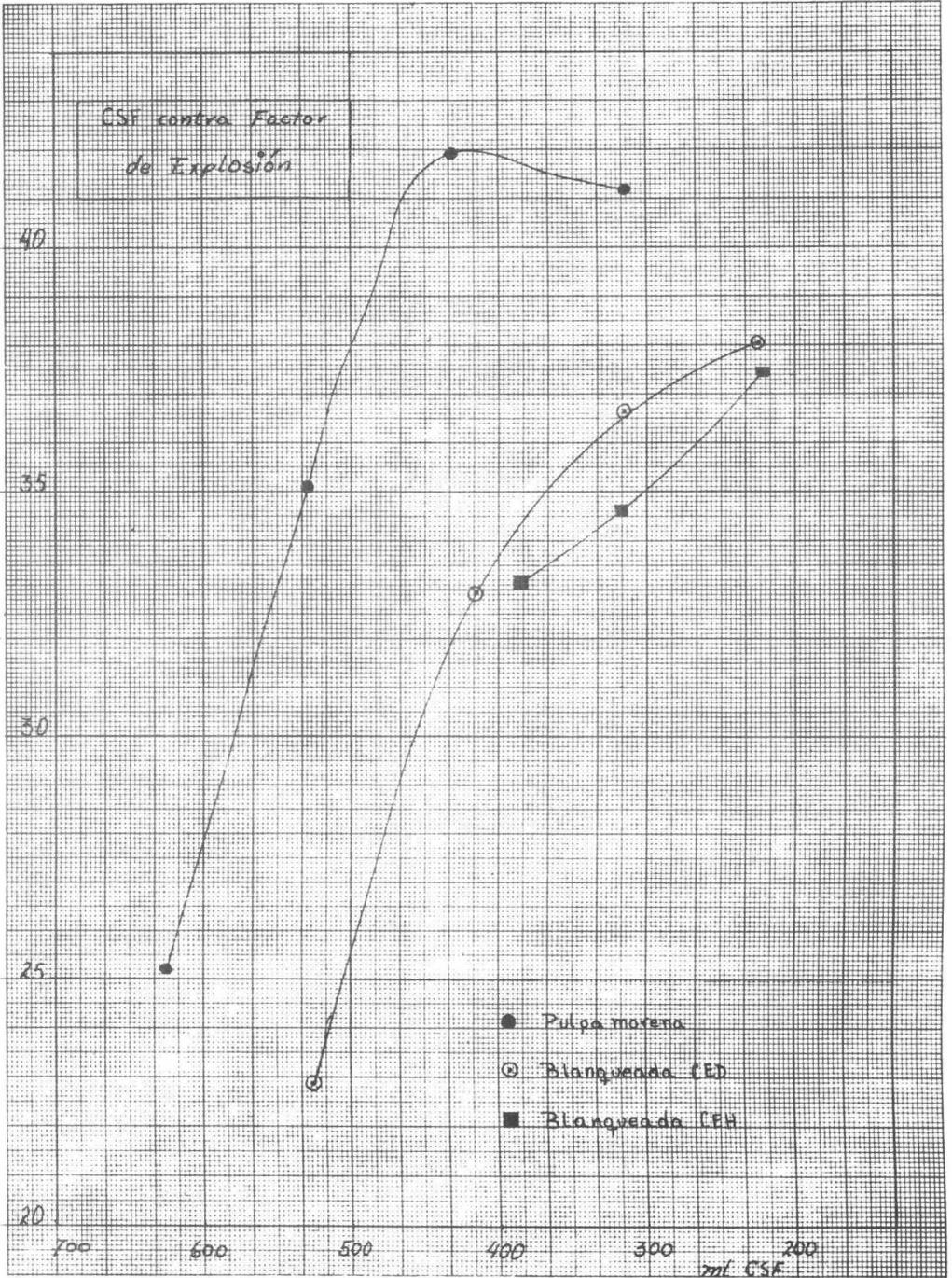
PULPA DE BAGAZO DE CAÑA, A LA SOSA, BLANQUEADA CON 6.5% DE CLORO TOTAL CON LA SECUENCIA C E D .

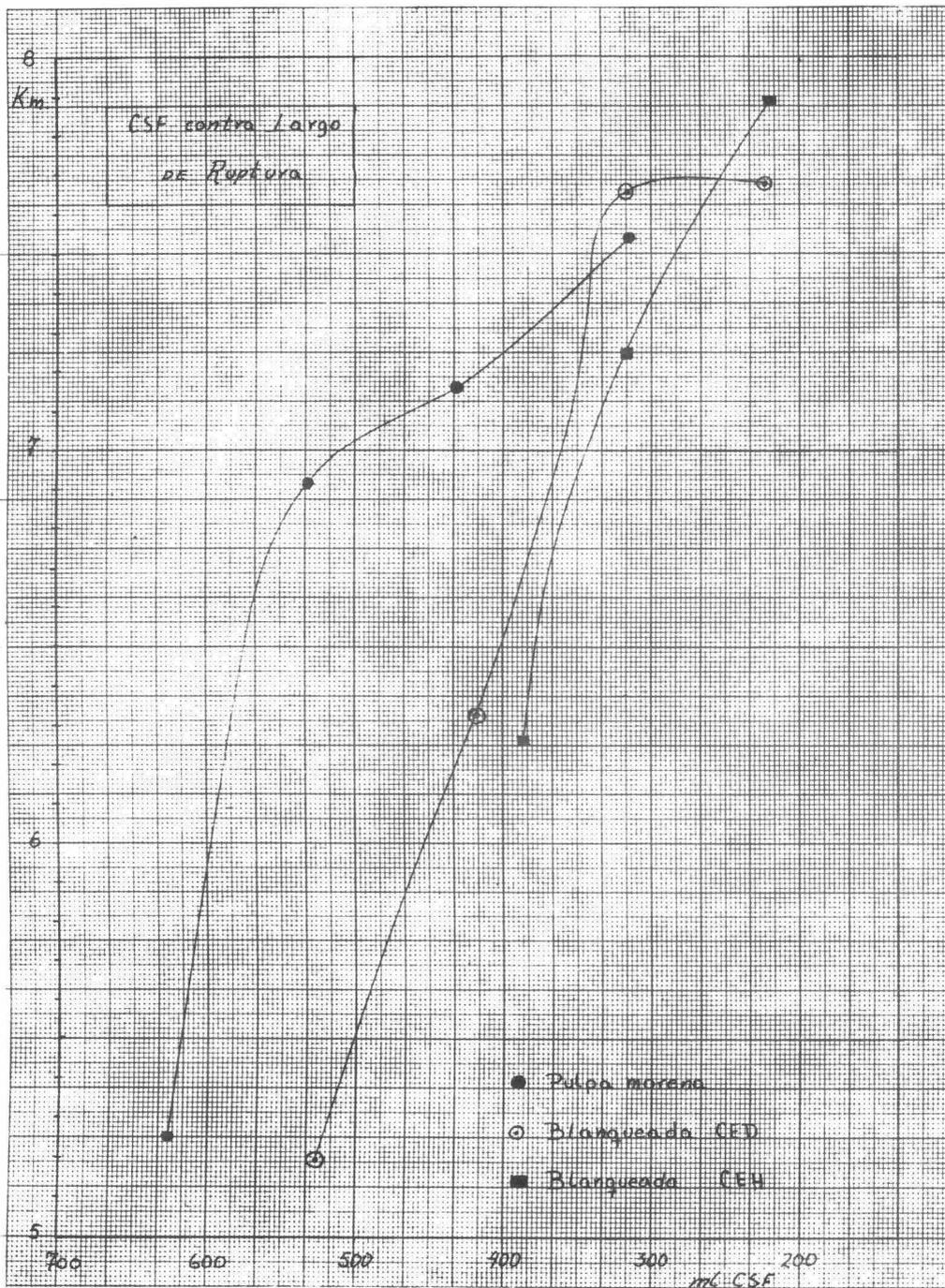
Tiempo de refinación	min	0	9	18	26
Canadian Standard Freeness	ml	525	417	317	224
Tiempo de drenado	seg	6	8	12	20
Encogimiento	%	6	7	9	11
Peso base acondicionado	g/m ²	67.97	69.10	65.98	69.83
Peso base seco a la estufa	g/m ²	62.41	63.41	60.58	63.96
Espesor	mm	0.088	0.079	0.070	0.070
Volumen específico aparente	cc/g	1.395	1.238	1.155	1.094
Peso específico aparente	g/cc	0.717	0.808	0.866	0.914
Resistencia a la explosión	lb/plg ²	20.3	29.7	33.4	32.8
Factor de explosión		22.86	32.92	36.65	38.06
Resistencia a la tensión	kg/15 mm	4.86	6.01	6.95	7.35
Largo de ruptura	m	5191	6318	7648	7660
Elongación	%	2.60	3.05	3.45	3.50
Resistencia al rasgado		38.85	36.18	32.37	32.00
Factor de rasgado		62.26	57.05	53.43	50.03
Resistencia al doblez con 800 gr. dobles-dobleces		28	84	150	189
Factor de doblez	dd/PBSE	0.452	1.326	2.487	2.958
Porosidad Gurley Hill	seg/100ml	31	182	705	>1800
Índice de longitud de fibra	g	0.339	0.300	0.229	0.160
Opacidad photovolt	%	73.50	69.90	63.80	62.40
Blancura photovolt	%	82			

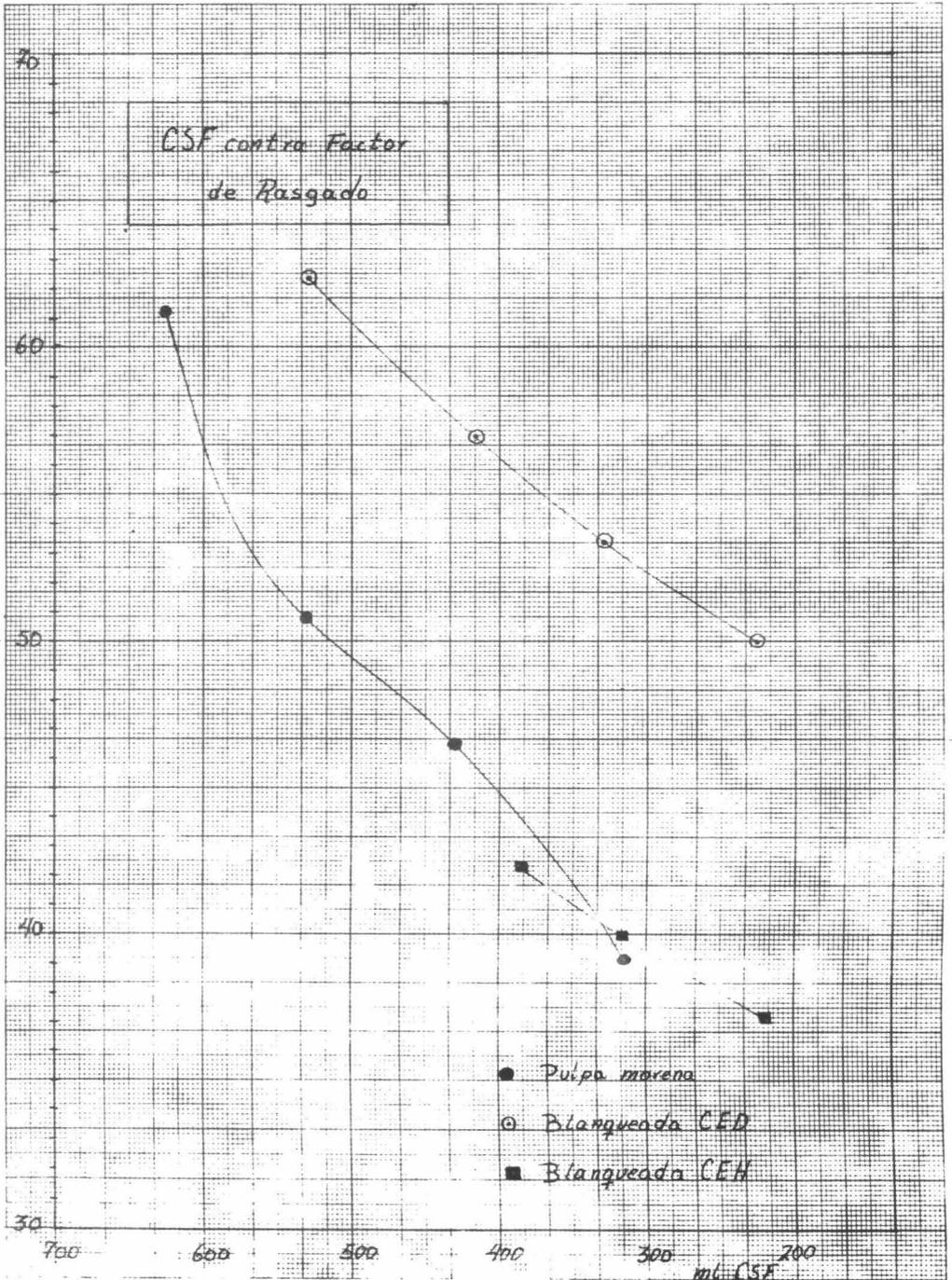
Y para tener una idea global, de las características físicas de las -
3 pulpas (morena, blanca comercial y blanca con ClO_2) se reportan a conti-
nuación gráficas de las características físicas más importantes de las tres pulpas.

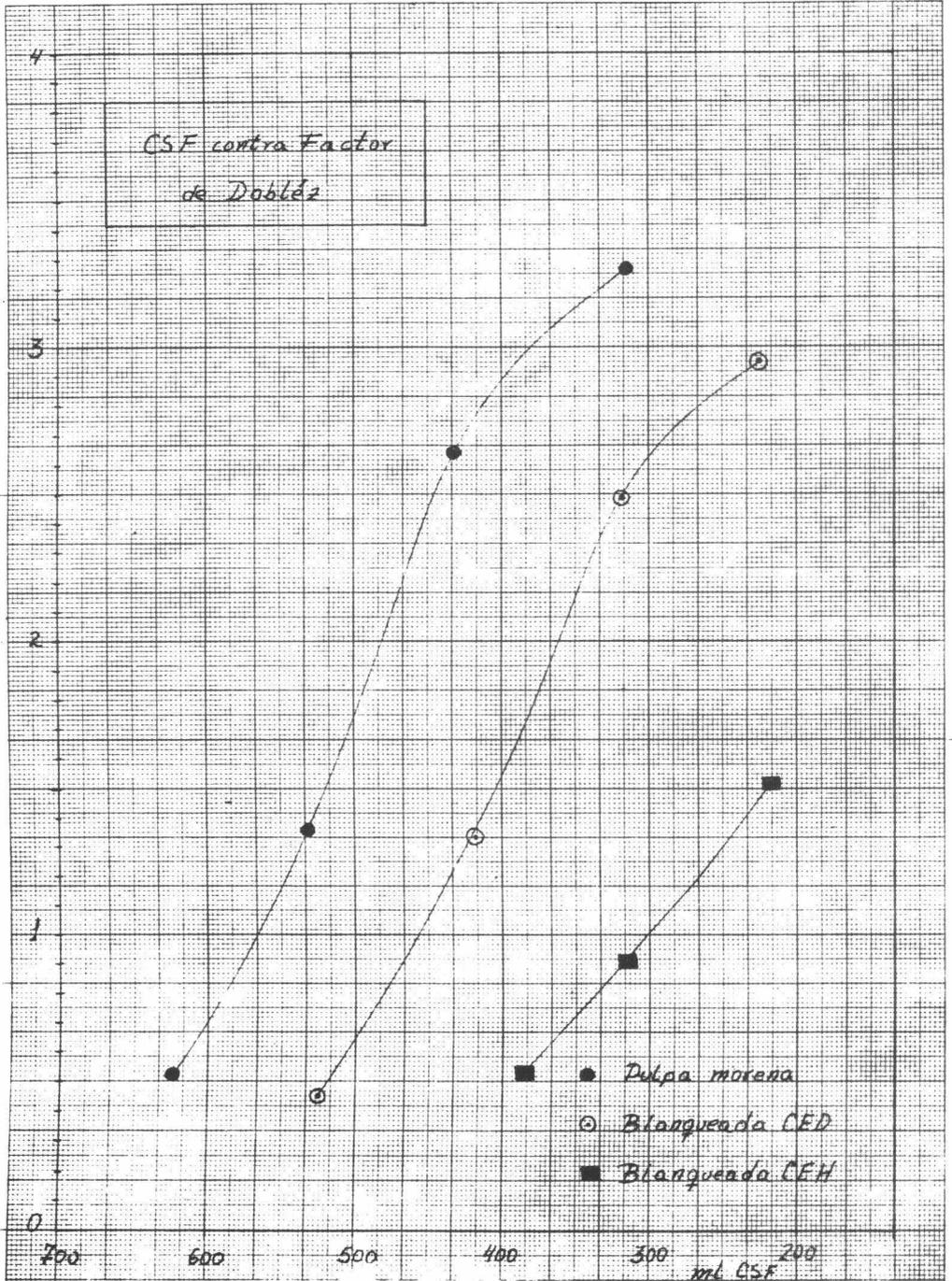


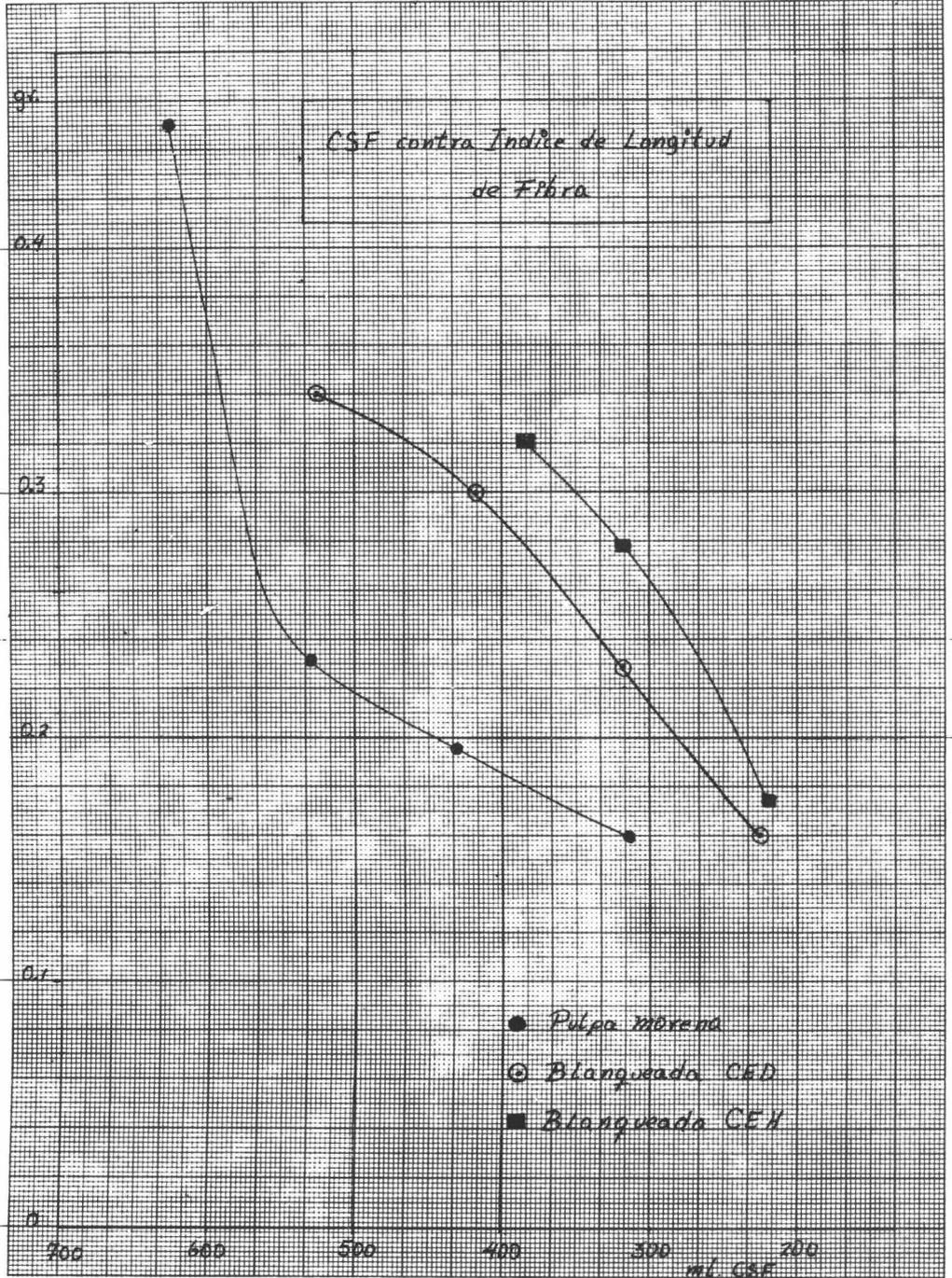










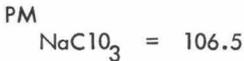


BALANCE ECONOMICO

El balance económico de los costos de blanqueo de la pulpa morena, se hará únicamente en base a los reactivos usados por tonelada de pulpa y a la lista de precios obtenida en el comercio.

El blanqueo en las dos secuencias, C E H y C E D, se hizo con una demanda de cloro total de 6.5 % en base a la pulpa morena y este cloro total se repartió el 70 % en el primer paso y el 30 % en el tercero.

Cálculo del costo para generar un Kg de dióxido de cloro; estequiométricamente el clorato de sodio es el que controla, y por medio de la estequiometría de la reacción y considerando un rendimiento del 90% se calcularan las cantidades de reactivos:



$106.5/67.5 = 1.577$ kg de NaClO_3 para generar 1 kg de ClO_2 y como para la reacción se usaron 27 kg,

$27/1.577 = 17.1211$ kg de ClO_2 generado

como el rendimiento de la reacción es de 90%

$$(17.1211)(0.90) = 15.4089 \text{ kg de ClO}_2$$

este primer cálculo se hizo con el objeto de saber cuál es la cantidad de dióxido de cloro generado en la reacción.

Las cantidades de reactivos que se usaron en la reacción son las siguientes:

$$\text{NaClO}_3 = 27 \text{ kg, H}_2\text{SO}_4 \text{ de } 60^\circ \text{ Be} = 32.5 \text{ lts, metanol} = 0.3 \text{ kg}$$

Una solución de 60° Be es una solución al 77.67 % en peso y tiene una densidad de 1.7058 g/cc

$$(32.5 \text{ lts USADOS})(1.7058 \text{ kg/lit}) = 55.438 = \text{kg de solución de ácido de } 60 \text{ grados Be}$$

$$(55.438)(0.7767) = 43.05 \text{ kg de ácido al } 100 \%$$

$$43.05 / 0.98 = 43.92 \text{ kg de ácido al } 98 \%$$

Entonces, con las siguientes cantidades:

27	kg	NaClO ₃	100 %
43.92	kg	H ₂ SO ₄	98 %
0.3	kg	CH ₃ OH	100 %

se generarán 15.4089 kg de dióxido de cloro, si dividimos cada una de estas cantidades de reactivos entre 15.4089, sabremos la cantidad de reactivos para generar un kg de dióxido de cloro, y estas cantidades son:

1.7522	Kg	NaClO_3	100 %
2.8503	Kg	H_2SO_4	98 %
0.02	Kg	CH_3OH	100 %

CALCULO DE LAS CANTIDADES DE REACTIVOS POR SECUENCIA DE BLANQUEO

Secuencia C E H, base, una tonelada de pulpa morena

Cloro total, 6.5 %	65 Kg
Cloro en el paso C	45.5 Kg
Sosa en el paso E (1.5 %/pulpa)	15 Kg
Cloro en el paso H	19.5 Kg

pero sabemos que 1.049 kg de hipoclorito de sodio, equivale a 1 Kg de cloro activo y por lo tanto, las cantidades reales de reactivos en esta secuencia serán:

Cloro	45.5 Kg
Sosa caústica	15 kg
Hipoclorito de sodio	20.455 kg

Secuencia C E D, base, una tonelada de pulpa morena:

Básicamente son las mismas cantidades, únicamente hay variación en el tercer paso, ya que 2.63 kg de cloro activo equivalen a un Kg de dióxido de cloro.

Cloro activo en el paso D es de 19.5 kg que representa $19.5/2.63$ o

sea 7.414 kg de dióxido de cloro, las cantidades totales de reactivos son los siguientes:

Cloro	45.5 Kg
Sosa cáustica	15 Kg
Dióxido de cloro	7.414 Kg

Teniendo ya todas las cantidades de reactivos necesarios para el -- blanqueo, se elaboraron las siguientes tablas, en las cuales se incluyen los precios de los reactivos y la forma en que se entrega el producto.

REACTIVO	CANTIDAD (kg)	FORMA DE ENTREGA	CANT.REAL USADA EN EL PROCESO kg	PRECIO \$/kg	\$/TON. DE PULPA MORENA
Cloro	45.50	liq. 100 %	45.50	3.20	145.60
S o s a	15.00	Soln. 50 %	30.00	1.60	48.00
Hipoclorito de sodio	20.45	Soln.al 13 %	157.30	0.80	<u>125.84</u>
COSTO DE LA SECUENCIA C E H					319.44
Clorato de sodio	1.7522	Sólido 100 %	1.7522	1.94 *	3.3992
Acido Sulfúrico	2.7938	Liq. 98 %	2.8503	1.60	4.5604
Metanol	0.02	Liq. 98 %	0.02	1.90	<u>0.038</u>
COSTO DE UN KG DE DIOXIDO DE CLORO					7.9976
C l o r o	45.5	Liq. 100 %	45.5	3.20	145.60
S o s a	15.00	Soln. 50 %	30.00	1.60	48.00
Dióxido de cloro	7.41	Soln. obtenida en planta	7.41	8.00	<u>59.28</u>
COSTO DE LA SECUENCIA C E D					252.88

* Dato tomado del anuario estadístico de importaciones de la Dirección General de Estadística

Considerando además los rendimientos de cada secuencia de blanqueo
tenemos:

Rendimiento C E H 90 %

Rendimiento C E D 92 %

Entonces, el costo real por tonelada de pulpa blanca sería:

C E H	$319.44/0.90$	354.93	pesos por ton. pulpa
C E D	$252.88/0.92$	274.86	

CONCLUSIONES

1. El costo para blanquear una tonelada de pulpa con la secuencia C E D es más bajo que con la secuencia C E H, este costo, referido únicamente a los reactivos gastados en el proceso.

2. Las resistencias físicas de las pulpas blanqueadas con la secuencia C E D son mayores que las obtenidas blanqueando con la secuencia C E H.

3. La regresión de blancura de la pulpa blanca "comercial" es de alrededor de 3 puntos en 72 horas y la regresión de la pulpa blanqueada con la secuencia C E D es de un punto, o sea, que a pesar de que al usar la secuencia C E H se llegan a blancuras de 85 % (Photovolt), la diferencia de blancuras en las pulpas se hace bastante pequeña en un lapso de 72 horas y la blancura final de las pulpas después de estas 72 horas será:

C E H 82 %

C E D 81 %

4. Por los resultados obtenidos durante la elaboración del presente estudio, se deduce, que se puede llegar variando ligeramente las condiciones del

proceso, de blanqueo de pulpas a la sosa, de bagazo de caña, a obtener pulpas sin_ afectar en lo más mínimo a la celulosa, es decir, conservando el Canadian Standard Freeness de la pulpa morena, además de llegar a la blancura de 82 % con un rendimiento de pulpa morena a pulpa blanca del 93 al 94 %.

BIBLIOGRAFIA

ARCHIVO LANFI

Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial

JOINT TEXTBOOK COMMITTEE OF THE PAPER INDUSTRY

"Pulp & Paper Manufacture" Vol. I Mc Graw Hill Company 1969,

THE TAPPI PULP PURIFICATION COMMITTEE

TAPPI Monograph Series No. 10 The Bleaching of Pulp 1953.

THE TAPPI PULP PURIFICATION COMMITTEE

TAPPI Monograph Series No. 27 The Bleaching of Pulp 1963.

TAPPI STANDARDS & SUGESTED METHODS