



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

"Evaluación de consumo de reactivo en el
proceso de pulpeo al sulfito de amonio a
partir de bagazo de caña".

T E S I S

Que para obtener el Título de
I N G E N I E R O Q U I M I C O
P r e s e n t a

JOSE ARTURO ROMERO TENA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

I INTRODUCCION

1.1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVO.

II GENERALIDADES.

2.1.- Antecedentes Históricos sobre la Producción de Pulpa y Papel de Bagazo de Caña en México.

2.2.- Perspectivas de Aprovechamiento del Bagazo de Caña en la Industria de la Celulosa y Papel.

2.3.- Estado Actual de la Industria Productora de -- Pulpa y Papel de Bagazo de Caña en México.

2.4.- Disponibilidad y Aprovechamiento.

2.5.- Usos del Bagazo de Caña.

2.6.- Procesos para la Fabricación de Pulpa Celulósicas.

2.7.- Descripción del Proceso en Estudio.

2.7.1.- Antecedentes del Proceso al Sulfito de Amonio.

III DESARROLLO EXPERIMENTAL.

3.1.- Selección de Variables a Estudio.

3.2.- Materia Prima.

3.3.- Secuencia de Operación.

IV ANALISIS Y RESULTADOS DEL PROCESO.

4.1.- Análisis y Resultados del Proceso.

4.2.- Condiciones del Proceso.

V EVALUACION DEL PROCESO.

5.1.- Evaluación Fisico-mecánica.

5.2.- Análisis Químico de las Pulpas Morenas.

5.3.- Evaluación Económica Preliminar.

5.4.- Análisis de Licores Negros.

VI CONCLUSIONES.

VII BIBLIOGRAFIA.

VIII APENDICE.

8.1.- Terminología.

CAPITULO N°. I

INTRODUCCION

ANTECEDENTES Y OBJETIVO

En los trabajos previos realizados en LANFI (Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial), sobre el proceso al Sulfito de Amonio para la obtención de celulosa a partir de bagazo de caña, se había llegado a la definición de ciertas condiciones de operación; sin embargo, la información obtenida hasta entonces no era suficiente para definir su factibilidad en la aplicación industrial. (11).

Partiendo de esta situación se desarrolló un estudio experimental a nivel laboratorio, cuyo objetivo fué generar información suficiente para producir pulpas celulósicas a partir de bagazo de caña por el Proceso al Sulfito de Amonio y a la vez lograr un ahorro mínimo o significativo en el consumo de reactivo, a través de las recirculaciones de licor negro (residual), con la finalidad, de que el proceso de pulpeo sea competitivo económicamente y comparativamente con los demás procesos comerciales y a la vez definir el grado de contaminación de este proceso, en relación con los procesos tradicionales.

CAPITULO N°. II

GENERALIDADES

2.1.- ANTECEDENTES HISTORICOS SOBRE LA PRODUCCION PULPA Y PAPEL DE BAGAZO DE CAÑA EN MEXICO.

En el pasado, hubo numerosos intentos para implantar la producción de pulpas de bagazo de caña de azúcar en México. Se instalaron varias plantas piloto en diversas partes de la República Mexicana, pero sin éxito. No fué sino hasta 1951, que se inició esta producción sobre bases permanentes.

Dos fueron las empresas que lograron por primera vez, la producción de pulpas de bagazo en forma exitosa, éstas fueron: Compañía Industrial de San Cristobal, S.A. y Fca. de Celulosa "El Pilar", S.A.

La primera se localiza en Ecatepec, Edo. de México, y la segunda en Ayotla, Edo. de México. Ambas se encuentran dentro de la zona urbana del Valle de México y ésta obedece a varias razones que deben de mencionarse.

En primer término, la industria en general surgió al rededor del Valle de México hace muchos años, ya que ésta era la razón que ofrecía las condiciones más propicias y seguridades necesarias, sobre todo lo concerniente a la infraestructura, mercado y otros aspectos importantes.

En el caso particular de la industria de la pulpa y pa
pel, como materia prima, se tenía los bosques de coníferas
que crecen en las montañas que rodean al Valle de México. -
Al expansionarse la industria, se llegaron a utilizar al --
mismo tiempo estos bosques y para el crecimiento de la in--
dustria papelera solamente había dos posibilidades: iniciar
la explotación de otras zonas boscosas, relativamente leja--
nas al Valle de México, o complementar el suministro de la
materia prima con otro tipo de recursos celulósicos.

De hecho se siguieron ambos caminos, iniciando la ex--
plotación de otras zonas forestales, descentralizando la in--
dustria papelera pero a la vez como ya se mencionó, se ini--
ció la industrialización del bagazo por las mencionadas em--
presas, con el objeto inicial de complementar el abastecimien--
to de pulpa de madera a las industrias papeleras estableci--
das dentro del Valle de México.

En la selección de materia prima complementaria, se tu--
vieron varias alternativas, tal como se muestra en la siguien--
te: Clasificación de Fibras.

CLASIFICACION DE FIBRAS

I.- FIBRAS VEGETALES.

A.- Fibras de Frutos.

- 1.- Pelos de semillas - algodón.
- 2.- Vainas - kapok.
- 3.- Cáscaras de coco.

B.- Fibras de Tallos.

- 1.- Fibras de madera -Gimnospermas y Angiospermas.
 - 2.- Fibras Liberianas.
 - a.- Plantas maderables-tejido liberiano de -- corteza interior de los árboles y arbus-- tos de gimnospermas y angiospermas.
 - b.- Herbáceas dicotiledóneas- linaza, cáñamo, yute, cáñamo de india, ramio.
 - 3.- Haces vasculares de monocotiledóneas- pajas - de cereales, bagazo, bambú, esparto, sabia, - carrizos.
- C.- Fibras de Hojas - abaca, sisal, Phormium, caroa, piña.

II.- FIBRAS DE ANIMALES.

A.- Lana.

III.- FIBRAS MINERALES.

A.- Asbesto.

B.- Vidrio.

IV.- FIBRAS HECHAS POR EL HOMBRE O ARTIFICIALES.

A.- Celulosa Regenerada - Rayón.

B.- Poliamida - Nylon.

C.- Piliacrílico - Orlón.

D.- Poliester - Dacrón.

Se llegó a la selección de bagazo de caña por varias razones: el contenido de celulosa en el bagazo es comparable al de otras materias primas convencionales.

El contenido de celulosa en el bagazo sin médula es - aproximadamente del 55%. La longitud de las fibras de bagazo son de 1.7 mm y son más cortas que las maderas de coníferas (2.7 - 1.6 mm).

Desde un punto de vista de su composición química el bagazo se acerca más a las maderas de especies latifoliadas (longitud de fibra de 0.7 - 1.6 mm) o maderas duras -- que a las de coníferas o maderas suaves.

El contenido de lignina en el bagazo es cercano al -- 19 - 20%, es aproximadamente el 75% de las maderas suaves y bastante similar al de las maderas duras.

El contenido de pentosona después del desmedulado varía de 20 - 25% que es muy cercano al de las maderas duras.

El bagazo es abundante, se trata de un subproducto de

una industria básica: la Azucarera. Además se encuentra con centrado en los ingenios azucareros en cantidades importantes, donde existen una adecuada infra-estructura.

Por su voluminosisidad es fácil de disponer de él (bagazo), y constituye la fuente calorífica fundamental en el ci clo térmico de la producción de azúcar.

Consecuentemente, el costo básico del bagazo es el del petróleo u otro combustible sustituto para reemplazarlo en las calderas de los ingenios.

Por todas las razones anteriores, las propiedades del bagazo de caña, muestran ser una materia adecuada para la - obtención de pulpa, pero básicamente por su bajo costo y re lativa cercanía al Valle de México y amplia disponibilidad. Se optó por el bagazo para complementar la madera, como materia prima para el crecimiento de la industria papelera.

(6).

2.2.- PERSPECTIVAS DE APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAÑA EN LA PRODUCCION DE CELULOSA Y PAPEL.

Durante el proceso de fabricación de azúcar, básicamente se generan cuatro elementos, el jugo de donde se obtiene el producto principal denominado azúcar, y tres productos - secundarios, siendo uno de ellos el normalmente conocido co mo bagazo, mismo que en la actualidad se utiliza como com--

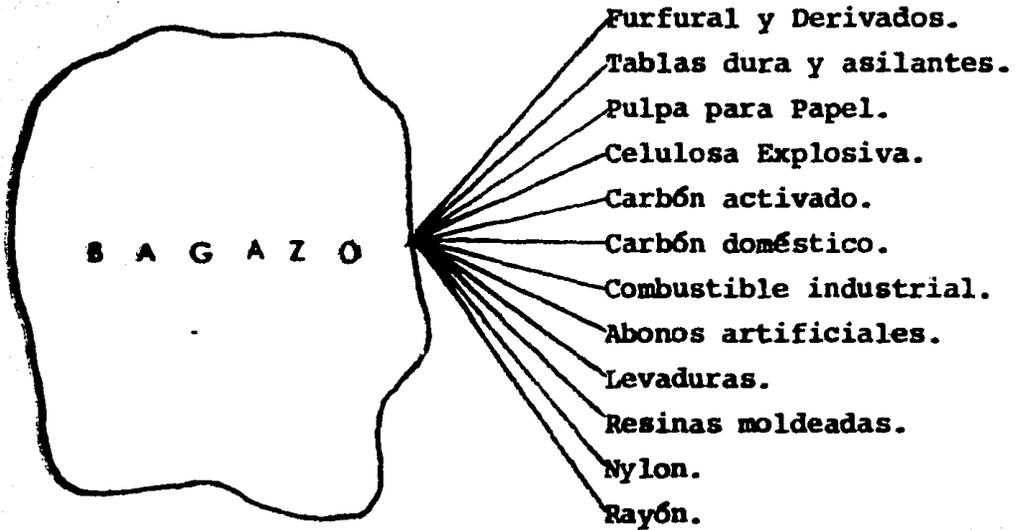
bustible en las calderas de los ingenios para obtener la energía calorífica que permitía cubrir sus necesidades, -- sin que esto en muchas cosas, implique su consumo total.

Es de hacer notar, que el bagazo de caña está formado principalmente por tres compuestos: celulosa, hemicelulosa y lignina. Respecto al primero, es un polímero de la glucosa que constituye aproximadamente el 50% del bagazo y su combustión, desde el punto de vista económico, significa la destrucción de un material de alto valor en fibras de celulosa con posibilidad de uso a diverso y que por tanto, permite el plantear ¿qué será más conveniente, usar el bagazo como combustible o como fuente para producir artículos de mayor valor agregado?.

La respuesta se ha dado a través de la experimentación y obtención de diferentes productos que actualmente son una realidad y corresponden, entre otros a: (Fig. N°.1)

Por lo que se refiere al sobrante de bagazo de caña, no había tenido tradicionalmente en México ninguna explotación, siendo considerado como desperdicio y un factor contaminante hasta su aprovechamiento, a partir de 1951, por la industria de la celulosa y papel.

DERIVADOS DEL BAGAZO



(Fig. N°. 1)

2.3.- ESTADO ACTUAL DE LA INDUSTRIA PRODUCTORA DE PULPA Y PAPEL DE BAGAZO DE CAÑA EN MEXICO.

A la fecha, este insumo a partir de la molienda de caña en los ingenios azucareros, presentan tres usos principales: como combustible y para la fabricación de tableros aglomerados y celulosa.

COMBUSTIBLE.- Originalmente se empleó a nivel nacional, es como sustituto del petróleo para la generación de vapor en las calderas de los ingenios.

TABLEROS AGLOMERADOS.- La obtención de tableros y chapas dentro de la actividad industrial, a partir del aprovechamiento de cierto tipo de recursos materiales, se caracterizaba a nivel nacional hasta hace unos quince años por el tratamiento de la madera.

Sin embargo, el desarrollo de nuevas tecnologías en el aglutinamiento de materiales, ha permitido la utilización del bagazo de caña.

Técnicamente, para el uso del bagazo con este objetivo, debe tomarse en cuenta el porcentaje de la fibra en caña, así como el tamaño de la misma, debiéndose establecer que para la producción, se requiere desmedularlo por que el bagacillo obtenido, resultado de dicho proceso, puede a su vez aprovechar

se, entre otras, para producción de alimentos balanceados y fabricación de furfural.

CELULOSA.- La aplicación industrial más importante -- que ha logrado el bagazo de caña, en los últimos 25 años, -- consiste fundamentalmente en su aprovechamiento como materia prima para la preparación de pasta celulósica en la obtención de papel y cartón.

En la Tabla N°. 1, se muestra la localización de las industrias productoras de celulosa a partir de bagazo de caña. Como se observa, la mayoría de las empresas se encuentran en los Estados de México, Nuevo León y Oaxaca, distantes de las principales zonas azucareras.

A pesar de que el costo de la materia prima se eleva debido a los gastos correspondientes a fletes y manejos, su ubicación por lo general, corresponde a los beneficios que alcanza a través de su cercanía al principal centro de consumo.

Sin embargo, para disminuir el costo ocasionado por el transporte, el bagazo se comprime formando pacas y se deja secar hasta que alcanza una humedad entre 30 y 35%.

EMPRESAS PRODUCTORAS DE CELULOSA A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA.

<u>EMPRESA</u>	<u>ESTADO</u>
Celulosa y Fibras Nacionales, S.A.	Texcoco. (Edo. de México)
Celulosa y Papel de Veracruz, S.A.	San Rafael. (Veracruz)
Cfa. Industrial de San Cristobal, S.A.	Ecatepec. (Edo. de México)
Empaques y Cartón Titán, S.A.	Monterrey, (Nuevo León)
Fca. de Celulosa El Pilar, S.A.	Edo. de México.
Kimberly Clark de México, S.A.	Orizaba. (Veracruz)
Productora de Papel, S.A.	Monterrey. (Nuevo León)
Celulosa de Oaxaca, S.A.	Casolapa. (Oaxaca)
Mexicana de Papel Periódico, S.A.	Tres Valles. (Veracruz)

(Tabla N° 1)

En la industria de la celulosa y papel, poco se puede indicar sobre la trascendencia en todos sus órdenes, que para el país tiene la producción de papel y en consecuencia la elaboración de celulosa para tal fin.

El consumo nacional aparente de papel ha venido creciendo a una tasa promedio anual de 6.7% durante el periodo comprendido entre 1973 y 1982; pudiéndose destacar que las importaciones en tal renglón, han demostrado una tendencia variable y su tasa de crecimiento es poco significativa dentro de dicho marco. (Tabla N°. 2).

Consecuencia de este crecimiento, los requerimientos de materias primas básicas para la industria, como es caso de la celulosa, en donde su producción total establece una tasa del orden de 4.3% aprox., presentan características muy especiales, dado que la obtención del insumo muestra la posibilidad de fabricación de otras fuentes diferentes a las de origen maderable.

En la Tabla N°. 3, se desprende que la participación de la celulosa blanqueada y sin blanquear a partir de bagazo de caña en el total de la producción nacional en 1973, contribuía con el 27.2% del total, mientras en 1982 su porcentaje aumentó el 35.4%, lo que representó pasar de un volumen global de 139,404 a 264,778 tons.

CONSUMO APARENTE DE PAPEL

(Toneladas)

Tabla N°. 2

AÑO	PRODUCCION	IMPORTACION	TOTAL
1973	1 112 658	214 025	1 326 683
1974	1 253 688	292 476	1 546 164
1975	1 184 603	302 206	1 486 809
1976	1 330 922	284 855	1 615 777
1977	1 453 656	297 199	1 750 855
1978	1 583 084	160 980	1 744 064
1979	1 731 425	240 663	1 972 088
1980	1 896 403	534 416	2 430 822
1981	1 950 264	568 667	2 518 931
1982	1 986 473	276 390	2 262 863

Indice de Crecimiento Compuesto en el período

(1973 - 1982) = 6.7%

FUENTE: Memoria Estadística de la CNICP (1983).

PRODUCCION DE CELULOSA POR TIPOS Y SU PARTICIPACION RELATIVA

(TONELADAS METRICAS)

TABLA N°. 3

AÑO	Celulosa Quími- ca de Madera. Al Sulfato y - al Sulfito.		Química de - Bagazo de Ca- ña. Blanqueada.		Química de Bagazo de Caña. Sin Blanquear		Otras Celulosas 1)		TOTAL	%
	TOTAL	%	TOTAL	%	TOTAL	%	TOTAL	%		
1973	285 146	55.6	102 237	19.9	37 167	7.2	88 490	17.3	513 040	6.2
1974	303 638	53.6	125 065	22.1	54 641	9.6	83 419	14.7	566 763	10.5
1975	313 516	57.0	123 254	22.4	47 256	8.6	66 196	12.0	550 222	(-2.9)
1976	356 527	57.2	154 556	24.7	40 116	6.4	72 806	11.7	623 005	13.2
1977	378 746	56.4	175 882	26.2	41 345	6.1	76 064	11.3	671 977	7.9
1978	410 280	58.0	179 506	25.4	38 513	5.5	78 109	11.1	706 408	5.1
1979	396 186	55.2	202 279	28.2	41 883	5.8	77 121	10.8	717 468	1.6
1980	396 603	54.2	230 664	31.5	41 700	5.7	62 802	8.6	731 769	2.0
1981	407 513	54.9	231 892	31.0	37 046	5.0	72 032	9.6	748 483	1.5
1982	400 110	53.5	237 056	31.7	27 752	3.7	83 201	11.1	748 119	0.8

INDICE DE CRECIMIENTO COMPUESTO EN EL PERIODO 1973-1982 = 4.3 %

FUENTE: MEMORIA ESTADISTICA DE LA CNICP (1980)

1) INCLUYE: QUIMICA DE PAJA DE TRIGO.
BORRA DE ALGODON.
PASTA MECANICA DE MADERA, Y
OTRAS CELULOSAS.

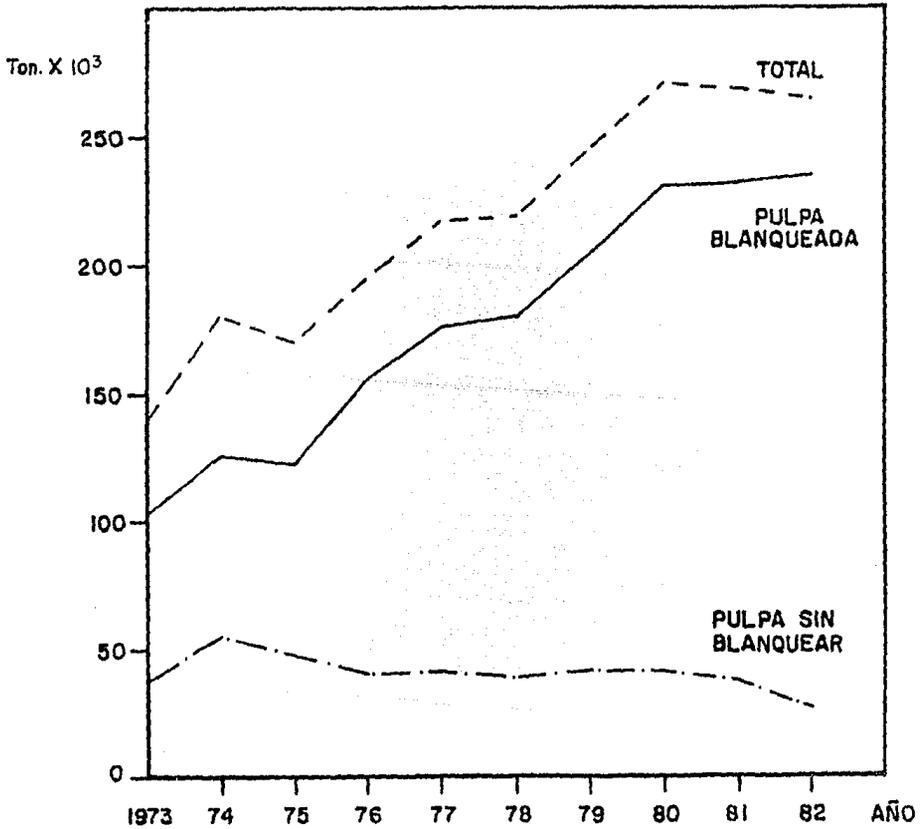
Cabe destacar que la celulosa sin blanquear exhibe, con relación al global, una disminución en su producción de 7.2% en 1973 a 3.7% en 1982, sus tasas de crecimiento promedio en el periodo considerado son de 6.1% y 0.8% respectivamente, lo que permite concluir que el bagazo de caña ha tenido una gran acogida dentro de esta industria. (Gráficas N°. 1 y 2).

Por lo que respecta a la capacidad instalada para la producción de celulosa, de acuerdo a la Tabla N°. 4, se aprecia de que las posibles fuentes de obtención de este insumo, el rubro con mayor dinámica de crecimiento es el que corresponde, a la obtenida del bagazo de caña por vía química, el cual presenta una tasa de crecimiento de 18.6% para 1982 y 6.5% para 1983, manteniéndose constante a un nivel bastante considerable durante los siguientes años.

Es de señalarse que para el año de 1985, el porcentaje de participación de su capacidad instalada de la celulosa química de plantas animales blanqueada y sin blanquear, disminuirá de 34.07% y 5.05% respectivamente, a 33.24% y 4.93% respectivamente, debido a que la Pasta Mecánica de Madera se proyecta un incremento de 17.7% de la cual influye en la composición total de la participación instalada para la producción de celulosa. (Tabla N°. 5).

GRAFICA No. 1

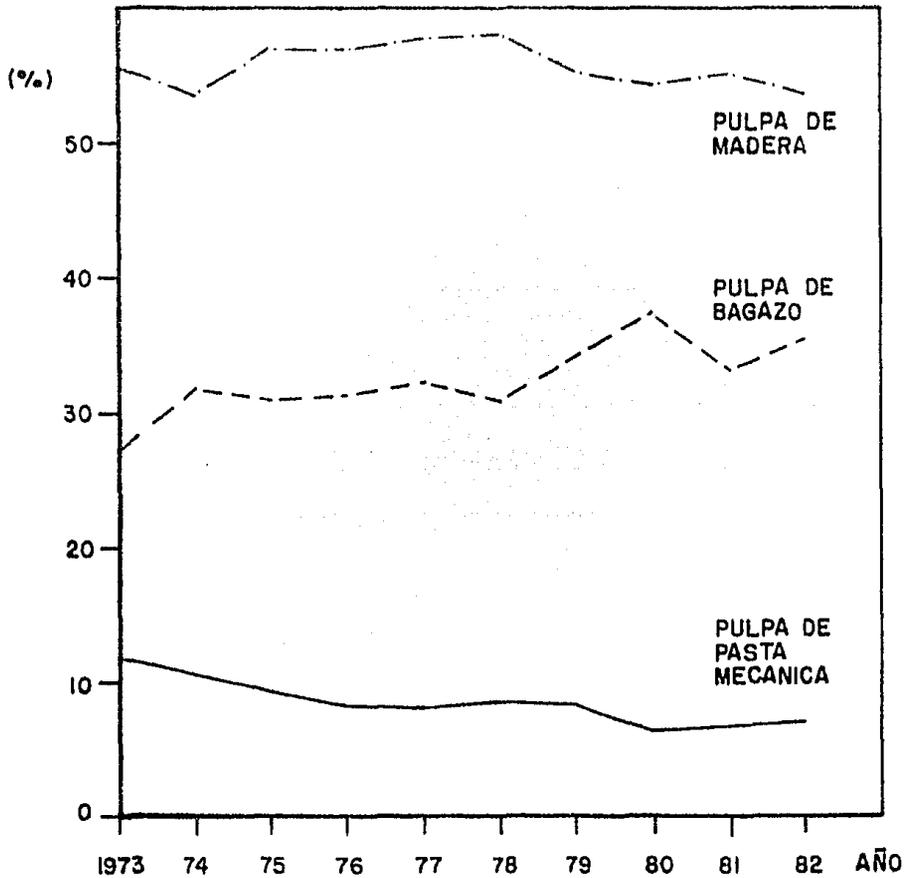
**PRODUCCION DE PULPA
DE BAGAZO DE CAÑA**



Fuente: Memoria estadístico de la Camara Nacional de la Industria de la Celulosa y papel. (1983)

GRAFICA No. 2

**CRECIMIENTO DE LA PRODUCCION
DE PULPA DE BAGAZO, EXPRESADA
EN % DE LA PULPA TOTAL
PRODUCIDA EN MEXICO.**



Fuente: Memoria estadística de la CNICP. (1983)

CAPACIDAD INSTALADA PARA LA PRODUCCION DE

CELULOSA

(MILES DE TONELADAS METRICAS)

TABLA N°. 4

GRUPO AÑOS	1982	%	1983	%	1984	%	1985
Celulosa Química de Madera Blanq. (1)	298	-	298	-	298	-	298
Celulosa Química de Madera sin Blanq. (2)	262	-	262	-	262	-	262
Celulosa Química de Plantas Anuales - - Blanqueada. (3)	323	18.6	383	6.5	408	-	408
Celulosa Química de Plantas Anuales - - sin Blanquear. (4)	60.5	-	60.5	-	60.5	-	60.5
Pasta Mecánica.	79.0	75.9	109.0	55.0	169.0	17.7	199.0
TOTAL	1 022.5	8.5	1 112.5	7.6	1 197.5	2.3	1 227.5

(1) Incluye Celulosas al Sulfito de fibra larga, corta y regenerada.

(2) Incluye Celulosa al Sulfato y al Sulfito.

(3) Incluye Celulosa de Bagazo y borra de algodón.

(4) Incluye Celulosa de Bagazo y de paja.

FUENTE: MEMORIA ESTADISTICA DE LA CNICP (1983)

CAPACIDAD INSTALADA PARA LA PRODUCCION DE

CELULOSA

(TABLA N°. 5)

(EN PORCIENTO %)

GRUPO AÑOS	1982	1983	1984	1985
Celulosa Química de Madera. Blanqueada (1)	29.14	26.79	24.89	24.28
Celulosa Química de Madera sin blanquear (2)	25.62	23.55	21.88	21.34
Celulosa Química de Plantas Anuales. Blanqueada (3)	31.59	34.43	34.07	33.24
Celulosa Química de Plantas Anuales. Sin blanquear (4)	5.92	5.44	5.05	4.93
Pasta Mecánica de - Madera.	7.73	9.79	14.11	16.21
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0

(1) Incluye Celulosas al Sulfito de fibra larga, corta y regenerada.

(2) Incluye Celulosa al Sulfato y al Sulfito.

(3) Incluye Celulosa de Bagazo y borra de algodón.

(4) Incluye Celulosa de Bagazo y de paja.

FUENTE: MEMORIA ESTADISTICA DE LA CNICP (1983)

2.4.- DISPONIBILIDAD Y APROVECHAMIENTO.

Entre las muchas fibras agrícolas utilizadas para la fabricación de pulpa, el bagazo de caña de azúcar destaca más que ninguna otra, por ser una de las que prometen llegar a ser una importante materia prima fibrosa, en cuanto a sus características: químicas y físicas y por ser más abundante, fácil de manejo y bajo costo para la industria papelera en México.

Este subproducto (bagazo de caña de azúcar), es accesible en varios países del mundo, y abunda especialmente en varios de los países que son pobres en madera. A la fecha, a partir de bagazo de caña, se puede producir varios tipos de pulpas, estos varían desde una pulpa de tipo mecánico, similar a la pasta mecánica de madera, hasta cualquier tipo de pulpa blanqueada de alta calidad y blancura. (6)

En México, durante 1982 se produjo (4,369,262 TMBS/Z) de bagazo de caña, con una variación de (22.6%) (406,134 -- TMBS/Z), respecto al año de 1982. La tendencia de esta producción de bagazo de caña se puede apreciar en la (Tabla -- N°. 6), con un ritmo de 0.40% anual de índice de crecimiento promedio durante 1975-1982.

PRODUCCION TOTAL DE BAGAZO DE CAÑA

TABLA N°. 6

AÑO	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
PROD. (TON.)	4,389,069	3,939,978	4,452,657	4,516,246	4,974,390	4,321,099	3,563,128	4,369,262
VAR. (TON.)	- 150,149	- 449,091	512,679	63,589	458,144	- 653,290	- 759,970	806,134
VAR. (%)	- 3.30	- 10.2	13.0	1.42	10.14	- 13.13	- 17.5	22.6

UNIDAD: TONELADAS METRICAS BASE SECA/ ZAFRA.
0.4% indice de crecimiento promedio (1975-1982)

FUENTE: MANUAL AZUCARERO MEXICANO (1975 - 1983)

De los 4,369,262 TMBS/Z producidos durante 1982, solo se aprovechó el 17.13% (750,639 TMBS), para la fabricación de pulpa y papel.

2.5.- USOS.

Los usos de la pulpa de bagazo de caña sin blanquear o blanqueada, están encontrando crecientes aplicaciones.

En el pasado se pensó que la pulpa de bagazo, por ser fibra corta, servía solamente como pulpa de relleno; sin embargo, durante los últimos años, se ha encontrado que esta pulpa se puede utilizar en muy altas proporciones en muchos tipos de papel.

En consecuencia, la pulpa de bagazo se ha destinado preferentemente, a los papeles que no requieren altas resistencias físicas, como son: los de escritura e impresión, en las cuales se usan hasta en un 90%, en algunos casos -- particulares; en los higiénicos y faciales, en un 40% y en las especialidades, en porcentajes variables que algunos casos, pueden llegar hasta un 80-85%. (6)

En la actualidad, se utilizan las pulpas de bagazo en todos los tipos de papel, que son los siguientes:

Para bolsas, envoltura, escritura, impresión, "Tissue" cartones blanqueados, base para papeles recubiertos y cantidades limitadas aún en papel periódico.

2.6.- PROCESOS PARA LA FABRICACION DE PULPAS CELULOSICAS.

Pulpeo es el término usado para describir la transformación de las materias primas a fibras, para la elaboración de papel; proceso que puede llevarse a cabo por medios mecánicos o químicos o bien por combinación de ambos. (1)

PROCESOS PARA ELABORACION DE CELULOSA.

Existen varios procesos, para la elaboración de pulpas celulósicas a partir de bagazo de caña, algunos de ellos solo son estudios a nivel laboratorio, o piloto y otros se aplican a escala industrial. Estos procesos se pueden clasificar en tres grupos:

- Proceso Químico
- Proceso Semiquímico
- Proceso Mecánico

PROCESO QUIMICO.- En este proceso se lleva a efecto, por la reacción selectiva de un reactivo, con la lignina y permitir la eliminación de lignina y sustancias no celulósicas en una etapa que se denomina cocimiento.

El tipo de reactivo de cocimiento depende de la calidad del producto deseado. (2)

Los principales procesos químicos empleados para la elaboración de pulpas celulósicas son:

1.- Proceso al Sulfato, (Proceso Kraft.)

2.- Proceso al Sulfito.

3.- Proceso a la Sosa.

Los rendimientos de las fibras en estos procesos están entre 35-55% aproximadamente. Se obtienen pulpas de alta calidad, las cuales se usan en la elaboración de pulpas que requieren un alto grado de blancura.

Además los procesos químicos, tienen la ventaja, de -- que, al quemar los licores residuales de la digestión con-- centrados se puede recuperar calor y prácticamente la totalidad de los reactivos cargados al digestor, con lo que resultan un proceso cíclico, con ventajas económicas.

PROCESO AL SULFATO.

El proceso al sulfato para la obtención de pulpas, se conoce también como proceso Kraft, que significa "fuerte" - en Alemán y Sueco, debido a la alta resistencia lograda en el papel de envoltura, mediante este proceso, a partir de - madera.

Los reactivos principales en este proceso son: Sulfuro de Sodio e Hidróxido de Sodio, las cuales son alimentadas - junto con la materia fibrosa al digestor, después de un - - tiempo a condiciones de presión temperatura controladas en el digestor, pasa a un tanque de soplado, con el fin de que

exploten las astillas por la descompresión, ya que guardan su forma geométrica después de terminado el ciclo de cocción. Después pasa a una etapa de lavado para obtener una pulpa morena.

Este proceso es usado, cuando se requiere un ataque químico fuerte en los materiales de alto contenido de lignina.

En cuanto al nombre de este proceso, se debe a que se repone Sulfato de Sodio, en el horno de recuperación del proceso, reduciéndose a Sulfuro en dicho horno.

PROCESO AL SULFITO.

En este proceso se utiliza generalmente para la obtención de pulpas a partir de madera y en mucho menor escala para pulpas a partir de otros materiales. En los procesos al Sulfito, cabe hacer una clarificación, dependiendo de la base empleada en el reactivo, que puede ser el calcio, magnesio, amonio y sodio.

Estas pulpas al Sulfito presentan una resistencia mecánica algo menor que las obtenidas al Sulfato; pero tienen un color claro y son más fáciles de blanquear a altos grados de blancura. (2)

PROCESO A LA SOSA.

Este proceso, puede considerarse como un proceso útil de aplicación general, ya que se ha adaptado para la obtención de pulpa tanto de madera como de otros vegetales, tales como: el bagazo.

El bagazo es un material que puede ser fácilmente convertido en pulpa, como se podría esperar de sus propiedades físicas y de su composición química. Existen diversas técnicas para la manufactura de pulpa a partir de bagazo, que son los siguientes: Cussi, Peadco y Pomilio. El sistema más usado es el de: Simón-Cussi, en el proceso a la sosa.

Este sistema Simón-Cussi, consiste en que se efectúa primeramente, una impregnación con sosa cáustica a presión atmosférica. Después se emplea un digestor continuo, en el cual se agrega sosa cáustica y vapor, para efectuar el cocimiento de la fibra.

La impregnación tiene como finalidad lograr un mínimo consumo de reactivos y vapor durante el cocimiento o digestión. Además de que con ella se logra un pulpeo selectivo de las diferentes fibras que constituyen el bagazo, con lo que se obtiene una pulpa final de alto grado de rendimien-

to y calidad óptima. (4)

PROCESO SEMIQUIMICO.

Este proceso se realiza en dos pasos:

Primero se efectúa un tratamiento químico moderado, el cual se produce un reblandecimiento de los materiales cementantes, el segundo paso, se efectúa mediante un tratamiento mecánico con molinos de discos (desfibrador). Los rendimientos que se obtienen van del 60 al 85%.

PROCESO MECANICO.

Este proceso no requiere reactivo químico, la pasta se obtiene al refinar la fibra en agua, que prácticamente toda la fibra de madera que existe en el tronco, en la que se incluye tanto a la celulosa como a la lignina, mientras que - los diferentes procesos químicos disuelven la lignina en -- distinto grado, de modo que el rendimiento de las pulpas -- químicas es aproximadamente la mitad del de la pasta mecánica (90-96%).

Tanto el proceso Semiquímico como el Mecánico aplica-- dos a la madera, producen pulpas con rendimiento alto alto que tienen gran aplicación en la elaboración de papeles en los que requiere un alto grado de blancura, principalmente en el papel periódico. (5)

En México, se piensa que el bagazo puede tener un papel importante durante los próximos años, para el desarrollo de la industria papelera, debido a que existe una producción -- bastante grande, por ser fácil obtenerlo de los ingenios, -- por sus características físicas y químicas, fácil transporte y costo bajo de dicha materia prima, que no es aprovechada.

(3)

2.7.- DESCRIPCION DEL PROCESO.

2.7.1.- ANTECEDENTES DEL PROCESO AL SULFITO DE AMONIO.

Es bien sabido, que en casi la totalidad de los procesos para obtención de pulpas químicas, se debe contemplar -- la recuperación de reactivos para que el producto resulte -- económico.

A continuación se expone una tabla de los procesos más generados, que ilustra el tipo de recuperación a que se someten los licores residuales (Tabla N°. 7)

El análisis de la información; así como la creciente -- necesidad de evitar la contaminación de efluentes, que obliga a todas las fábricas a recuperar sus licores residuales, aún en plantas de baja capacidad, (en las que dicho proceso es anti-económico), por lo que indujo a los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial, a diseñar un nuevo proceso, en el cual se pensó utilizar los licores residuales como --

aguas de riego (fertilizantes), dando con esto un proceso - de bajos efectos contaminantes, tal es el caso del proceso al Sulfito de Amonio.

Los primeros procesos que dieron la pauta o la idea -- fueron los procesos al bisulfito de calcio, magnesio y so-- dio.

En el pasado, las fábricas al Sulfito de calcio se vie ron en la necesidad de recuperar sus licores residuales pa- ra evitar la contaminación de corrientes, a pesar de que és ta recuperación era antieconómica, pues solo se recuperaba la materia orgánica en función de su poder calorífico.

Con la evolución tecnológica, las bases de sodio y mag nesio permitieron una recuperación más atractiva de los lig nosulfonatos especialmente los de sodio, que se utilizan en la estabilización de los lodos de perforación de pozos.

Por lo que se iniciaron investigaciones que fructifica ron en la obtención de una serie de subproductos como los - mencionados en la Tabla N°. 7.

Tomando en cuenta lo anterior, se eligió el proceso al Sulfito de Amonio, con la finalidad de emplear al amoniaco de acuerdo con su valor de nitrógeno asimilable por las plan tas no celulósicas orgánicos, como nutrientes de los vegeta- les. (13)

RECUPERACION DE LICORES RESIDUALES
EN LOS PROCESOS MAS GENERALIZADOS.

TABLA N°. 7

PROCESO	KRAFT	SOSA	BISULFITO
RECUPERA- CION DE ORGANICOS	LIGNINA TALL-OILL AGUARRAS		LEVADURAS NUTRIENTES ORGANICOS ESTABILIZADORES LIGNOSULFONATOS CARGAS PARA PLASTICOS CARBON ACTIVADO
RECUPERA- CION DE REACTIVOS	Na ⁺	Na ⁺	Mg ⁺ Na ⁺ NH ₃

C A P I T U L O N ° . I I I

DESARROLLO EXPERIMENTAL.

3.1 SELECCION DE VARIABLES A ESTUDIO.

En la parte experimental se mantuvieron fijos los siguientes parámetros: (15)

- 1.- Cantidad de materia prima.
- 2.- Humedad de la materia prima.
- 3.- pH del licor de cocimiento.

Esto se debe a que se ha demostrado en estudios realizados en LANFI (15), que las variables que mayor influencia tienen sobre la materia prima en un proceso de pulpeo, son las siguientes:

- 1.- Tiempo de Reacción o de Cocimiento.
- 2.- Temperatura de cocimiento.
- 3.- Dosificación del Reactivo, respecto a la cantidad de materia prima seca.

Razón por la cual, estos parámetros de mayor influencia son seleccionados como variables independientes para el estudio.

Por lo tanto, las propiedades de la pulpa que fueron evaluadas, fueron seleccionadas como variables dependientes, por lo que se sabe que son indicadores de calidad y cantidad de la misma, siendo las siguientes:

Canadian Standard Freeness.

Número de Permanganato.

Rendimiento Total, (aceptado o rechazo).

3.2. MATERIA PRIMA.

Bagazo de Caña de Azúcar.- Fue utilizado bagazo de caña desmedulado al 35%, con 6 meses de almacenaje aproximadamente, con una humedad del 80% aproximadamente.

El bagazo húmedo se prensó, con la finalidad de obtenerlo al 65% de humedad, siendo ésta la consistencia para la experimentación de este estudio.

Licor Blanco o de Cocimiento.- El licor de cocimiento que se usó fue el Sulfito de Amonio, que se obtuvo absorbiendo el dióxido de azufre en una solución concentrada de amoniaco (NH_4OH), utilizando para esto una torre de vidrio empacada con anillos rasching. (10)

LICOR DE COCIMIENTO.

Las materias primas que intervienen en la generación del Sulfito de Amonio son: Azufre, Amoniaco y Agua, y al mismo tiempo involucra tres operaciones que son:

1.- Combustión del Azufre.



2.- Disolución de Amoniacó.



3.- Absorción del SO_2 en la solución de Amoniacó.



De las tres operaciones, la más importante para la formación del Sulfito de Amonio, es la Absorción del Dióxido de Azufre en la solución amoniacal. (10)

Como primeras experiencias a nivel piloto en los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial, con el objeto de tener los datos necesarios para el diseño de una torre de absorción, se estableció primeramente el pH, como una variable principal, empleando el procedimiento intermitente de burbujear dióxido de azufre dentro de una solución amoniacal contenida en un recipiente. (10)

Esta operación se llevó a cabo dentro de una torre de absorción de vidrio, empacada con anillos rasching del mismo material. (Tabla N°. 8)

Estas experiencias sirvieron para comprobar, además la relación existente entre el pH y la concentración del dióxido de azufre y entre la concentración de hidróxido de amonio y el calor generado en la reacción. (Fig: 2).

La concentración del Sulfito de Amonio disuelto en las soluciones así obtenidas, se determinó, tomando una muestra y titulándola después de cada adición del dióxido de azufre.

La titulación involucra reacciones de óxido reducción que son las siguientes:

M A T E R I A L Y E Q U I P O

(Usado para la Generación del Sulfito de Amonio)

TABLA N°. 8

Material y Equipo

Torre Empacada

Empaque: Vidrio

Dimensiones:

Diámetro Promedio 1.025 cm

Diámetro 6.4 cm

Tipo Anillos Rasching

Altura de la Torre 82.5 cm

Altura del Empaque 55.0 cm

Potenciómetro:

Termómetro (0 - 100°C)

Envases de plástico de 70 lt

Rotámetro.

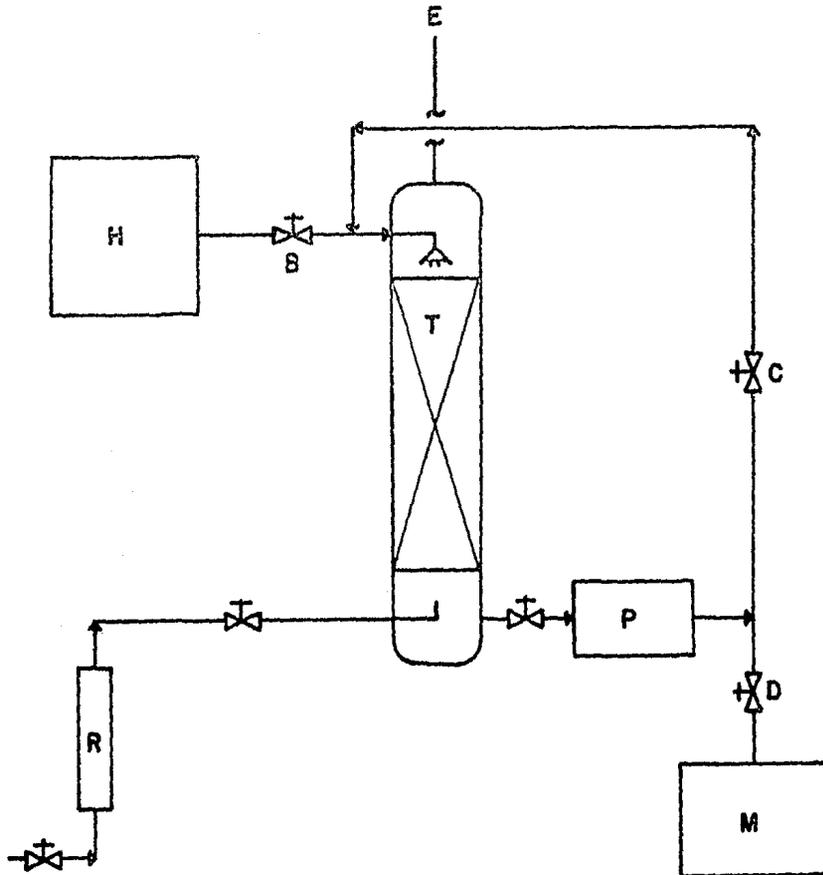
Reactivos Utilizados:

Hidróxido de Amonio (NH_4OH) (28-30%)

Dióxido de Azufre (SO_2), en tanque. (99%)

FIGURA No. 2

DIAGRAMA DEL EQUIPO



PARTES DEL EQUIPO

- T Torre.
- R Rotámetro.
- H Tanque de almacenamiento de NH_4OH .
- M Tanque de almacenamiento de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$.
- P Potenciómetro.

LINEAS

- A Entrada de SO_2
- B Entrada de NH_4OH
- C Recirculación.
- D Salida del Sulfito de Amonio.
- E Ventóo.



La ecuación para calcular la cantidad de gramos por litro de Sulfito de Amonio de una solución dada es:

$$(V_1 - V_2) \times 14.5 = (\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 \text{ (g/l)}$$

donde: V_1 = Volumen de I_2 (0.1 N) utilizado.

V_2 = Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (0.1 N), utilizado.

14.5 = Factor en el que se incluyen alícuotas, -
aforo y equivalente químico.

El proceso al Sulfito de Amonio, se considera como - un proceso útil y de aplicación, debido a sus bajos efectos contaminantes. (9)

Para la generación del reactivo, se puede decir que no existe ninguna dificultad técnica en la producción de licor blanco, y por lo tanto en la obtención de pulpas celulósicas al Sulfito de Amonio en gran escala.

3.3.- SECUENCIA OPERATORIA.

Una vez establecidas las condiciones de operación para este estudio, se introdujeron las materias primas en un digestor enchaquetado de acero inoxidable de 30 lt de

capacidad.

Se precalentó con vapor directo hasta 100°C (2 kg/cm^2), girando el digestor (1.7 Rev./min.) durante 5 minutos, con la finalidad de lograr una mejor impregnación entre las fibras y el licor blanco.

Transcurridos los 5 minutos de impregnación, se alimentó más vapor directo (saturado), con la finalidad de llegar a la temperatura de cocimiento y al mismo tiempo, se efectúen las reacciones entre el reactivo químico y la lignina compuesto que une a las fibras una con otras.

El tiempo de cocimiento fue aproximadamente de 35 a 45 minutos.

Durante el tiempo de cocimiento, cada 10 minutos se detenía la rotación del digestor, abriendo la válvula; con el objetivo de aliviar un poco la presión y eliminar los incondensables (aire) que se formaban dentro del digestor durante el cocimiento de la materia fibrosa, debido a que estos incondensables formados dentro del digestor, no permiten la elevación de la temperatura de cocimiento.

Al término del tiempo de cocimiento establecido, se suspendió la alimentación del vapor y la rotación del digess

tor abriendo la válvula, con la finalidad de aliviar la presión dentro del digestor poco a poco, hasta llegar a la atmosférica, al mismo tiempo se pasó agua a través del encaquetado del digestor, con el objeto de no diluir el licor blanco y enfriar la suspensión formada dentro del digestor.

Al llegar a la temperatura de 45 ± 5 °C, se descargó la suspensión formada y se prensó (8-9 ton.) en una prensa - - hidráulica, con la finalidad de extraer el volumen del licor negro generado durante la digestión y al mismo tiempo, se tomó una muestra de licor negro para determinar la cantidad de reactivo residual y contenido de sólidos.

La suspensión fue mandada a un tanque lavador, con el - objeto de lavar la pulpa y eliminar el licor negro remanente.

Finalmente se pasó a una prensa hidráulica a una presión de (8 a 9 ton.), con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de agua y así facilitar su manejo para cuantear el rendimiento de aceptado.

Para determinar el rendimiento total de la digestión, - se suman los rendimientos del aceptado y rechazo.

C A P I T U L O N º . I V

ANALISIS Y RESULTADOS

DEL

PROCESO

4.1.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

El objetivo de esta parte, es analizar y comentar los datos experimentales obtenidos a través de los experimentos realizados, que se resumen en Tablas N°. 9 al 13, donde se anotan las condiciones de operación del proceso manejado y los resultados de cocimiento y los balances de materia y energía de las pulpas morenas al Sulfito de Amonio.

4.2.- CONDICIONES DEL PROCESO.

El propósito fue definir las condiciones del proceso para la obtención de pulpas celulósicas de calidad blanqueable (número de permanganato de 14), cuando en el proceso se realizan recirculaciones de licor negro.

Para el logro de este propósito, se realizaron 17 experimentos a nivel laboratorio, de cuyos resultados se concluye lo siguiente.

En la primera etapa experimental (de la 1 a la 19), el propósito fue definir el grado de influencia de la recirculación de licor negro (L.N) en los resultados del proceso. (N°. de Permanganato y Rendimiento).

Se había considerado que la influencia de la recirculación de licores negros resultaría ser mínima, que no se detectarían variaciones importantes en los resultados.

Para la probación de esa consideración se realizaron 6 experimentos, se observó efectivamente que la recirculación de licor negro no produjo variaciones importantes en el N°. de Permanganato de la pulpa y en el rendimiento del proceso, a una Relación de Baño de 3:1 (Tabla N°. 9 y 10).

La definición de condiciones se logró en los experimentos N°. 11, 12 y 13, ratificándose posteriormente en la secuencia Digestión N°. 14 a 19; quedando definidas como sigue:

Relación de Baño	(RB)	3:1
Dosificación de Reactivo	(%/MPSE)	25
Temperatura Máxima	(°C)	180
Tiempo de Cocción	(Min.)	36
Tiempo de Precocción a 100°C	(Min.)	5

La segunda etapa experimental fue programada con la finalidad de medir el efecto de la variación de la relación de baño, en el N°. de Permanganato de la pulpa y el rendimiento del proceso.

En esta etapa se consideró que la variación de la relación de baño tendría efectos importantes en los resultados. Para determinar el efecto de la Relación de Baño, se realizaron 3 experimentos, con relación de baño de: 4:1, 5:1 y 6:1 (experimentos N°. 20, 21 y 22, de donde se observa lo siguiente:

En las experiencias que se realizaron con una relación de baño de 4, 5 y 6; se encontraron valores de N°. de Permanganato de 15, 14.92 y 16.89, respectivamente, en el caso de la experiencia con relación de baño de 5:1 se realizó -- con un menor consumo de vapor total, debido a que se presentaron variaciones muy contrastantes en la calidad de vapor, de lo cual se traduce en una mayor dilución del reactivo durante el cocimiento, y por lo tanto, un efecto de concentración relativa de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ menor, dando como consecuencia - una pulpa menos cocida y un N°. de permanganato menor.

En cuanto al rendimiento del proceso se presentan efectos similares en las experiencias realizadas con relación - de baño de 4, 5 y 6, los rendimientos fueron de 62.1, 61.1 y 65.1, respectivamente. La observación hecha anteriormente para el N°. de Permanganato, es aplicable a los resultados obtenidos en el rendimiento.

La tercera etapa experimental fue para la definición y ratificación de condiciones a una relación de baño de 4:1, para la obtención de pulpas celulósicas de calidad blanqueable (N°. de Permanganato de 14), con recirculación de licor residual. Para el logro de este objetivo se realizaron 6 - experimentos a escala piloto.

La definición de condiciones se logró en los experimenen

tos 28 a 32, ratificándose posteriormente en la secuencia 33 a 38 quedando definidas como sigue: (Tabla N°. 12)

Relación de Baño	(RB)	4:1
Dosificación de Reactivo	(%/MPSE)	28
Temperatura Máxima	(°C)	180
Tiempo de Cocción	(Min.)	36
Tiempo de Precocción a 100°C	(Min.)	5

La cantidad de licor negro bajo estas condiciones, fue del 7% aprox. con relación a la dosificación propuesta de - lo cual el gasto de reactivo nuevo fue de 26%/MPSE.

La cuarta etapa experimental tuvo por objetivo la definición de condiciones a una relación de baño de 6:1, con recirculación de licor negro, para el logro de este objetivo - se realizaron 6 experimentos (N°. 39 a 49), la definición de condiciones se logró en los experimentos 42 y 43, quedando - definidas como sigue: (Tabla N°. 13).

Relación de Baño	(RB)	6:1
Dosificación de Reactivo	(%/MPSE)	28
Temperatura Máxima	(°C)	180
Tiempo de Cocción	(Min.)	45
Tiempo de Precocción a 100°C	(Min.)	5

La cantidad de licor negro en la recirculación bajo estas condiciones, fue del 14% con relación a la dosificación, dando como resultado un gasto neto de reactivo nuevo del 24%/MPSE.

Las condiciones que se manejaron en el pulpeo al Sulfito de Amonio, se lograron obtener pulpas de calidad blanqueable y buen rendimiento del proceso. (Tablas N°. 9 al 13).

T A B L A S
D E
R E S U L T A D O S
D E
C O C I M I E N T O

RESULTADOS DE COCIMIENTO

(SULFITO DE AMONIO)

TABLA N°. 9

		CONDICIONES DEL PROCESO									
DIGESTION N°.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Relación de baño	—	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1
Tiempo	min	36	40	36	36	40	40	45	45	45	45
Temperatura	°C	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Dosificación	% R. aplic.	25	30	28	30	28	30	28	25	25	25
Sulfito de Amonio	g/l	327.7	346.4	346.4	346.4	346.4	346.4	346.4	301.4	305.5	296.1
N°. de Permanganato	--	18.4	12.2	17.2	15.1	15.2	14.3	18.4	14.6	12.3	16.1
Rendimiento	%	72.0	61.8	64.7	63.4	62.6	65.0	59.3	63.2	62.3	63.3
Consistencia de pulpa prens.	%	38.5	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Vol. de licor neg. drenado	l	5.95	5.90	5.76	5.0	5.0	5.34	7.76	5.70	5.83	4.20
Vol. de licor neg. total	l	7.06	6.81	6.70	5.93	5.91	6.29	8.63	6.62	6.74	5.12
W de licor negro tot.	kg	7.29	6.93	6.91	6.07	6.12	6.44	8.83	6.80	6.92	5.27
Sulf. de Amonio en lic. neg.	g/l	18.8	20.1	20.7	25.0	22.8	23.4	14.2	12.8	16.0	19.5
Sulf. de A. consumido	%	47.3	54.3	50.4	50.5	51.8	50.9	56.2	66.1	56.8	60.06
Sólidos totales en lic. neg.	g/l	69.8	78.6	80.0	90.4	94.9	91.1	62.2	77.5	77.7	110.1
Vapor consumido	Kg	3.94	3.55	3.56	2.70	2.74	3.09	5.42	3.43	3.54	1.90
W a p...											

RESULTADOS DE COCIMIENTO
(SULFITO DE AMONIO)
TABLA N°. 10

CONDICIONES DEL PROCESO											
DIGESTION N°		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Relación de baño	—	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1	4:1
Tiempo	min	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Temperatura	°C	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Dosificación	% R. aplic.	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Sulfito de Amonio	g/l	317.5	305.0	305.6	302.2	302.2	301.0	307.4	307.4	307.4	309.4
N°. de Permanganato	—	14.1	14.3	14.6	13.7	13.5	13.7	13.3	13.5	13.4	15
Rendimiento	%	62.8	65.2	62.6	62.4	63.0	64.1	63.5	63.3	61.8	62.1
Consistencia de pulpa prens.	%	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Vol. de licor neg. drenado	l	5.12	4.20	4.80	3.87	3.74	4.28	4.27	4.70	4.31	4.80
Vol. de licor neg. total	l	6.05	5.14	5.72	4.80	4.66	5.21	5.20	5.63	5.21	5.72
W de licor negro totl.	Kg	6.15	5.34	5.83	4.98	4.80	5.40	5.33	5.74	5.35	5.80
Sulf. de Amonio en lic. neg.	g/l	10.3	20.6	19.5	13.1	19.7	18.2	16.9	14.0	17.7	15.8
Sulf. de A. consumido	%	75.07	57.65	55.38	74.85	63.28	62.07	64.85	68.47	63.11	63.85
Sólidos totales en lic. neg.	g/l	79.75	103.4	86.2	96.4	106.0	106.7	110.5	99.5	106.6	73.3
Vapor consumido	kg	2.78	1.99	2.45	1.62	1.43	2.04	1.96	2.38	1.97	2.42
W = peso											

RESULTADOS DE COCIMIENTO

(SULFITO DE AMONIO)

TABLA N°. 11

		CONDICIONES DEL PROCESO									
DIGESTION N°		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Relación de baño	--	5:1	6:1	4:1	4:1	4:1	4:1	4:1	4:1	4:1	4:1
Tiempo	min	36	36	36	45	45	36	40	45	36	36
Temperatura	°C	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Dosificación	% R. aplic.	25	25	25	25	25	28	26.5	28	28	30
Sulfito de Amonio	g/l	309.4	312.9	343.8	303.1	296.1	290.2	293.4	327.8	327.8	327.8
N°. de Permanganato	—	14.9	16.9	18.2	12.7	15.8	17.2	16.5	15.1	14.4	14.4
Rendimiento	%	61.1	65.1	60.3	65.2	65.0	61.8	62.0	64.3	61.3	62.1
Consistencia de pulpa prens.	%	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Vol. de licor neg. drenado	l	5.70	7.25	6.0	5.56	5.78	5.72	5.98	5.75	5.70	5.40
Vol. de licor neg. total	l	6.61	8.42	6.68	6.52	6.72	6.61	6.87	6.68	6.56	6.29
W de licor negro totl.	kg	6.68	8.48	7.07	6.64	7.0	6.90	7.15	6.94	6.99	6.58
Sulf. de Amonio en lic. neg.	g/l	15.6	12.1	14.2	13.6	15.8	20.7	16.9	20.9	20.5	21.8
Sulf. de A. consumido	%	58.75	59.25	12.0	64.53	57.63	51.13	56.19	50.14	51.97	54.29
Sólidos totales en lic. neg.	g/l	63.5	59.5	96.9	86.2	77.3	63.1	54.0	79.6	80.1	75.0
Vapor consumido	kg	1.30	2.13	2.68	2.29	2.65	2.52	2.77	2.58	2.60	2.20

W = peso

RESULTADOS DE COCIMIENTO
(SULFITO DE AMONIO)

TABLA N°. 12

CONDICIONES DEL PROCESO											
DIGESTION N°		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Relación de baño	—	4:1	4:1	4:1	4:1	4:1	4:1	4:1	4:1	6:1	6:1
Tiempo	min	45	45	36	36	36	36	36	36	36	45
Temperatura	°C	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Dosificación	% R. aplic.	30	28	28	28	28	28	28	28	25	30
Sulfito de Amonio	g/l	327.8	332.5	329.2	329.2	329.2	329.2	339.3	339.3	300.0	327.8
N°. de Permanganato	--	14.2	10.9	10.3	14.5	12.8	12.6	13.5	13.4	18.0	15.7
Rendimiento	%	60.5	62.0	59.24	60.09	59.06	63.67	60.93	59.6	65.9	62.5
Consistencia de pulpa prens.	%	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Vol. de licor neg. drenado	l	5.90	7.14	6.33	5.55	7.55	5.95	6.01	6.44	7.81	8.48
Vol. de licor neg. total	l	6.77	8.01	7.76	7.0	8.98	7.47	7.48	7.31	8.78	9.37
W de licor negro tot.	kg	7.03	8.55	8.0	7.2	9.2	7.79	7.71	7.52	8.96	9.90
Sulf. de Amonio en lic. neg.	g/l	21.5	17.0	16.2	20.7	13.7	18.7	16.4	16.8	11.3	14.0
Sulf. de A. consumido	%	51.48	51.37	55.06	48.25	56.06	50.11	56.18	56.14	60.3	56.27
Sólidos totales en lic. neg.	g/l	72.7	--	56.1	71.2	64.6	78.8	76.2	74.3	69.6	53.9
Vapor consumido	kg	2.63	4.17	3.59	2.82	4.84	3.42	3.31	3.12	2.62	3.53
S = paso											

RESULTADOS DE COCIMIENTO

(SULFITO DE AMONIO)

TABLA N°. 13

CONDICIONES DEL PROCESO										
DIGESTION N°		41	42	43	44	45	46	47	48	49
Relación de baño	--	6:1	6:1	6:1	6:1	6:1	6:1	6:1	6:1	6:1
Tiempo	min	36	45	45	45	45	45	45	45	45
Temperatura	°C	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Dosificación	% R. aplic.	30	28	28	28	28	28	28	28	28
Sulfito de Amonio	g/l	332.5	332.4	332.5	329.2	329.2	329.2	329.2	339.3	339.3
N°. de Permanganato	--	13.3	13.0	12.3	13.6	14.1	13.7	13.6	13.8	13.8
Rendimiento	%	61.1	60.0	61.4	64.83	60.20	65.30	59.82	60.97	58.9
Consistencia de pulpa prens.	%	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Vol. de licor neg. drenado	l	8.0	8.10	8.24	8.82	8.42	7.80	7.54	8.79	8.53
Vol. de licor neg. total	l	8.88	8.98	9.11	10.39	9.87	9.37	8.95	10.25	9.39
W de licor negro tot.	kg	9.22	9.18	9.68	10.69	10.20	9.73	9.48	10.69	9.66
Sulf. de Amonio en lic. neg.	g/l	14.9	13.3	13.8	12.6	13.9	11.1	12.6	11.1	13.9
Sulf. de A. consumido	%	55.90	53.35	55.10	53.24	51.0	62.85	59.72	59.36	52.05
Sólidos totales en lic. neg.	g/l	--	--	--	64.7	--	75.7	74.4	70.2	70.0
Vapor consumido	kg	2.83	2.78	3.29	4.33	3.80	3.38	3.07	4.29	3.24

W = peso

C A P I T U L O N º . V

EVALUACION DEL PROCESO

EVALUACION FISICO-MECANICA Y QUIMICA

DE PULPAS MORENAS.

La evaluación fisico-mecánica y química de las pulpas morenas obtenidas por el proceso al Sulfito de Amonio a nivel laboratorio, fueron evaluadas comparativamente con la pulpa comercial a la sosa. La evaluación fisico-mecánica, se realizó en un cuarto acondicionado con una temperatura de 23 ± 2 °C y a una Humedad Relativa de $50 \pm 2\%$.

5.1.- EVALUACION FISICOMECANICA.

La resistencia, es una de las principales características por medir en una pulpa, pero a la vez es difícil determinarla con exactitud, debido a que la unión entre fibras es individual.

Por lo general se usa una pila holandesa de laboratorio, aunque suelen también usarse con cierta frecuencia otros tipos de equipo, tales como: Molino de Bolas, Refinadores Mead Bauer, Molinos de Lampen y Molinos Jokro. En todos los casos después de que la pulpa ha sido refinada a diferentes tiempos, se forman hojas, para después ser evaluadas, previamente acondicionadas.

Las evaluaciones que se realizan comúnmente son: Peso Base, Espesor o Calibre, Resistencia a la Explosión, Resistencia al Rasgado, Resistencia al Doblez y Resistencia a la

Tensión.

Usualmente se toma el freeness de la pasta del refinador de laboratorio a intervalos sucesivos de batido.

Al hacer una prueba de batido, existen numerosos puntos en los que se debe tener cuidado con objeto de reducir las variaciones. Puesto que las hojas formadas son muy sensibles a los cambios de humedad relativa, sólo deben probarse después de haber sido apropiadamente acondicionadas. Cuando las hojas se están formando, se debe obtener una buena formación. Para esto se necesita agitar adecuadamente la suspensión diluida de pulpa.

Una formación pobre dará amplias variaciones en las mediciones individuales de resistencia y un valor promedio demasiado bajo. Al prensar las hojas formadas, la presión nunca debe ser mayor a la especificada.

Una presión excesiva durante un tiempo muy corto, aumentará los valores de las pruebas de resistencia a la explosión y a la tensión. La cantidad de pulpa y agua en la pila, debe ser lo más correcta posible, dado que un error en consistencia, cambiará la velocidad de circulación, dicho error tendrá un apreciable efecto en la cantidad de batido en un tiempo dado.

Los procedimientos para determinar la resistencia de la pulpa, están cubiertos por los métodos TAPPI.

Nº. de Permanganato	T-220-0s-21
Canadian Standar Freeness	T-227-m58
Drenado	T-220-0s-21
Espesor	T-411-m44 (micrómetro)
Resistencia a la Explosión	T-403-m53
Resistencia a la Tensión	T-404-m50
Resistencia al Rasgado	T-414-m49
Opacidad	T-435-m44 (Photovolt)
Blancura	T-452-m58 (Photovolt)

Desintegrador de pulpa tipo Herman de 1425 r.p.m. $\frac{1}{4}$ HP

Pila Valley (Holandesa). Capacidad de 23 lt.

Formadora de hojas, tipo herman, de 16 cm de diámetro, con tela plástica para retener las fibras que forman la hoja.

Prensa hidráulica, capacidad de 100 kg/cm^2 con espejos de metal pulido, con diámetro de 16 cm, arillos para sujetar los discos con las hojas adheridas a estos.

Las pulpas morenas obtenidas a nivel laboratorio por el proceso al Sulfito de Amonio, fueron evaluadas comparativamente con pulpa comercial de bagazo de caña.

De esta evaluación comparativa realizada, se presentan en tablas y gráficas a tres muestras de pulpas, por el proceso al Sulfito de Amonio y una pulpa comercial a la Sosa. (Tablas N°. 14 al 17).

Tomaremos únicamente para efectos de comparación a estas gráficas a un Canadian Standar Freeness de 300 ml.

La gráfica para el factor de rasgado muestra valores de 29, 38 y 39 para pulpas al Sulfito de Amonio y de 42 para la pulpa comercial a la Sosa.

El largo de Ruptura es de 68, 72 y 72 metros para las pulpas al Sulfito de Amonio y de 72 metros para la pulpa comercial a la Sosa.

Así mismo el Factor de Explosión para las pulpas al Sulfito de Amonio tienen valores de 30, 32 y 34, en tanto que para la pulpa comercial a la Sosa es de 33.

De tal comparación de las propiedades fisico-mecánicas de las pulpas por el proceso al Sulfito de Amonio, resultaron ligeramente superiores, comparándola con la pulpa comercial a la Sosa. (Gráficas N°. 3 al 11).

T A B L A S D E R E S U L T A D O S

**Características Comparativas de las Pulpas More-
nas al Sulfito de Amonio.**

PROPIEDADES FISICO-MECANICAS

PULPA MORENA COMERCIAL

PROCESO A LA SOSA

TABLA N°. 14

Tiempo de Refinación	(min)	0	8	18	25	29
Canadian Std. Freeness	(ml)	597	501	378	284	223
Tiempo de Drenado	(seg)	4.44	5.23	7.26	10.98	14.66
Encogimiento	(%)	6.0	5.0	7.0	8.0	10.1
Peso base acondicionado	(g/m ²)	66.47	65.84	67.05	66.77	67.30
Peso base seco a la estufa	(g/m ²)	61.43	60.83	61.95	61.71	62.19
Espesor	(mm)	0.127	0.110	0.099	0.092	0.088
Vol. específico aparente	(cc/g)	2.07	1.81	1.61	1.49	1.42
Peso específico aparente	(g/cc)	0.48	0.55	0.62	0.67	0.70
Resistencia a la Explosión	(lb/pulg. ²)	12.0	19.3	25.9	29.2	30.3
Factor de Explosión	----	13.7	22.3	29.4	33.3	34.3
Resistencia a la Tensión	(Kg)	3.46	5.34	6.40	6.89	7.0
Largo de Ruptura	(m)	3755	5851	6887	7442	7504
Elongación	(%)	1.56	2.4	2.3	2.6	2.5
Resistencia al Rasgado	(g)	31.5	31.1	27.9	25.9	23.4
Factor de Rasgado	----	51.3	51.1	45.0	42.0	37.7
Indice de Longitud de fibra	(g)	0.578	0.355	0.279	0.225	0.204
Opacidad, Photovolt.	(%)	58.10	55.85	54.85	53.40	52.65
Blancura, Photovolt.	(%)	35.68	32.64	30.58	28.47	27.08

PROPIEDADES FISICO-MECANICAS

PULPA MORENA

PROCESO AL SULFITO DE AMONIO

DIG. N°. 2 R:B = 3:1

TABLA N°. 15

Tiempo de Refinación	(min)	0	7	14	21	26
Canadian Std. Freeness	(ml)	556	436	347	248	195
Tiempo de Drenado	(seg)	5.43	7.03	9.71	15.43	23.79
Encogimiento	(%)	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Peso base acondicionado	(g/m ²)	66.77	65.15	65.54	65.19	64.78
Peso base seco a la estufa	(g/m ²)	61.28	59.68	60.09	59.72	59.40
Espesor	(mm)	0.09	0.084	0.078	0.074	0.071
Vol. específico aparente	(cc/g)	1.468	1.410	1.306	1.242	1.202
Peso específico aparente	(g/cc)	0.681	0.709	0.765	0.804	0.831
Resistencia a la Explosión	(lb/pulg. ²)	18.30	22.45	23.85	27.15	28.10
Factor de Explosión	----	20.99	26.44	27.90	31.95	33.20
Resistencia a la Tensión	(kg)	4.72	5.46	5.92	6.32	6.50
Largo de Ruptura	(m)	5135	6099	6568	7055	7295
Elongación	(%)	1.80	1.97	1.95	1.90	1.87
Resistencia al Rasgado	(g)	22.55	20.2	18.44	16.75	16.91
Factor de Rasgado	----	41.0	33.84	30.69	28.05	28.46
Indice de Longitud de fibra	(g)	0.272	0.197	0.152	0.127	0.107
Opacidad, Photovolt.	(%)	51.10	50.05	48.05	47.80	46.60
Blancura, Photovolt.	(%)	31.2	29.4	26.5	26.2	25.6

PROPIEDADES FISICO-MECANICAS

PULPA MORENA

PROCESO AL SULFITO DE AMONIO

DIG. N°. 38 R:B = 4:1

TABLA N°. 16

Tiempo de Refinación	(min)	0	7	10	15	20
Canadian Std. Freeness	(ml)	477	400	375	284	218
Tiempo de Drenado	(seg)	579	7.66	8.72	14.66	17.85
Encogimiento	(%)	2.0	3.0	3.0	4.0	6.0
Peso base acondicionado	(g/m ²)	67.01	66.83	66.82	66.28	66.12
Peso base seco a la estufa	(g/m ²)	62.10	61.83	61.89	61.37	61.16
Espesor	(mm)	0.098	0.090	0.086	0.084	0.083
Vol. específico aparente	(cc/g)	1.59	1.46	1.34	1.37	1.36
Peso específico aparente	(g/cc)	0.630	0.685	0.719	0.728	0.730
Resistencia a la Explosión	(lb/pulg. ²)	20.75	25.85	27.0	27.60	29.45
Factor de Explosión	----	23.49	29.34	30.67	31.61	33.85
Resistencia a la Tensión	(kg)	5.72	6.35	6.37	6.63	6.72
Largo de Ruptura	(m)	6140	6852	6861	7202	7325
Elongación	(%)	1.95	2.05	2.10	2.40	2.25
Resistencia al Rasgado	(g)	25.80	24.0	24.50	24.0	23.5
Factor de Rasgado	----	41.53	38.81	39.70	39.1	38.44
Indice de Longitud de fibra	(g)	0.443	0.309	0.262	0.261	0.235
Opacidad, Photovolt.	(%)	53.17	52.27	50.95	49.52	48.75
Blancura, Photovolt.	(%)	35.12	34.75	33.45	30.45	29.67

PROPIEDADES FISICO-MECANICAS

PULPA MORENA

PROCESO AL SULFITO DE AMONIO

DIG. N°. 49

R:B = 6:1

TABLA N°17

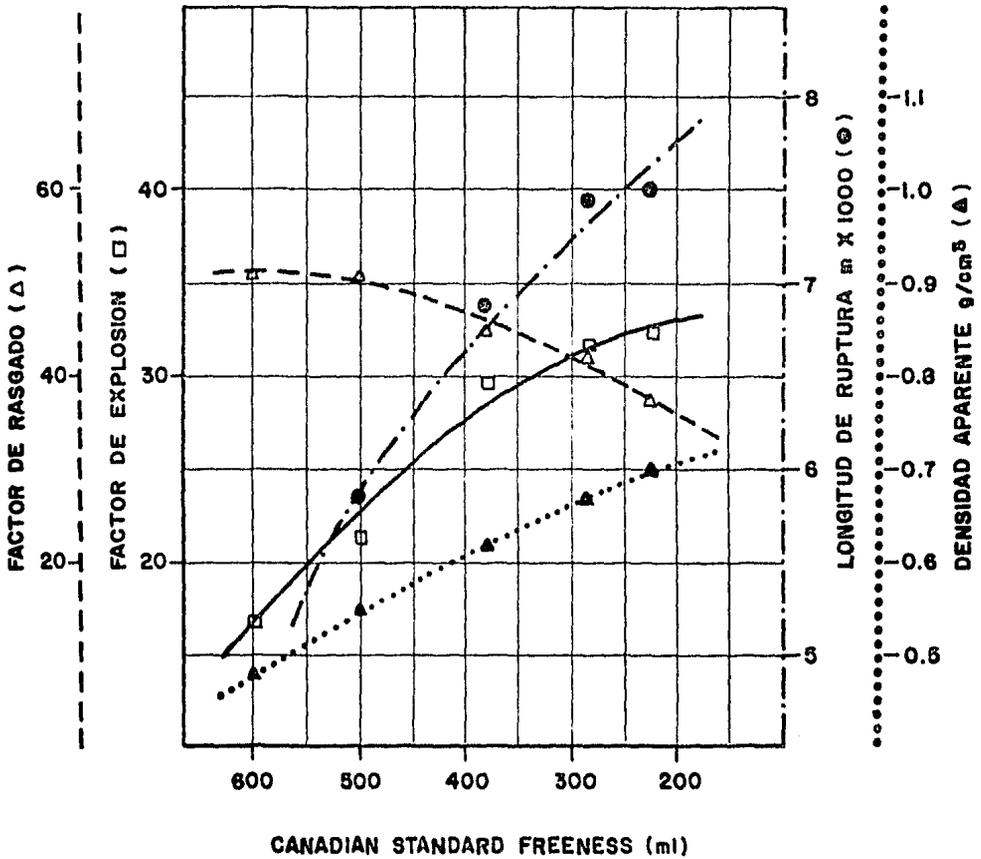
Tiempo de Refinación	(min)	0	6	12	18	22
Canadian Std. Freeness	(ml)	566	462	357	270	218
Tiempo de Drenado	(seg)	4.89	6.22	8.77	12.2	17.91
Encogimiento	(%)	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Peso base acondicionado	(g/m ²)	69.03	64.44	66.35	66.16	65.34
Peso base seco a la estufa	(g/m ²)	63.77	59.78	61.53	61.37	60.29
Espesor	(mm)	0.110	0.096	0.095	0.085	0.083
Vol. específico aparente	(cc/g)	1.73	1.60	1.59	1.39	1.38
Peso específico aparente	(g/cc)	0.58	0.62	0.62	0.72	0.73
Resistencia a la Explosión	(lb/pulg.)	19.66	22.85	26.0	30.0	34.2
Factor de Explosión	----	21.7	26.9	29.7	34.4	39.9
Resistencia a la Tensión	(kg)	5.11	5.64	6.39	7.0	7.3
Largo de Ruptura	(m)	5336	6289	6923	7596	8072
Elongación	(%)	1.56	2.0	2.1	2.2	2.4
Resistencia al Rasgado	(g)	27.0	23.7	24.0	24.0	23.4
Factor de Rasgado	----	42.0	39.6	39.0	39.1	38.7
Indice de Longitud de fibra	(g)	0.433	0.354	0.317	0.223	0.212
Opacidad, Photovolt.	(%)	55.25	54.50	53.85	53.25	50.90
Blancura, Photovolt.	(%)	34.9	32.71	31.8	30.1	27.3

**REPRESENTACION
GRAFICA DE
RESULTADOS .**

CURVA DE BATIDO
PULPA MORENA "COMERCIAL" (A LA SOSA)

No. de K-12.6

Hojes de 60 g/m²

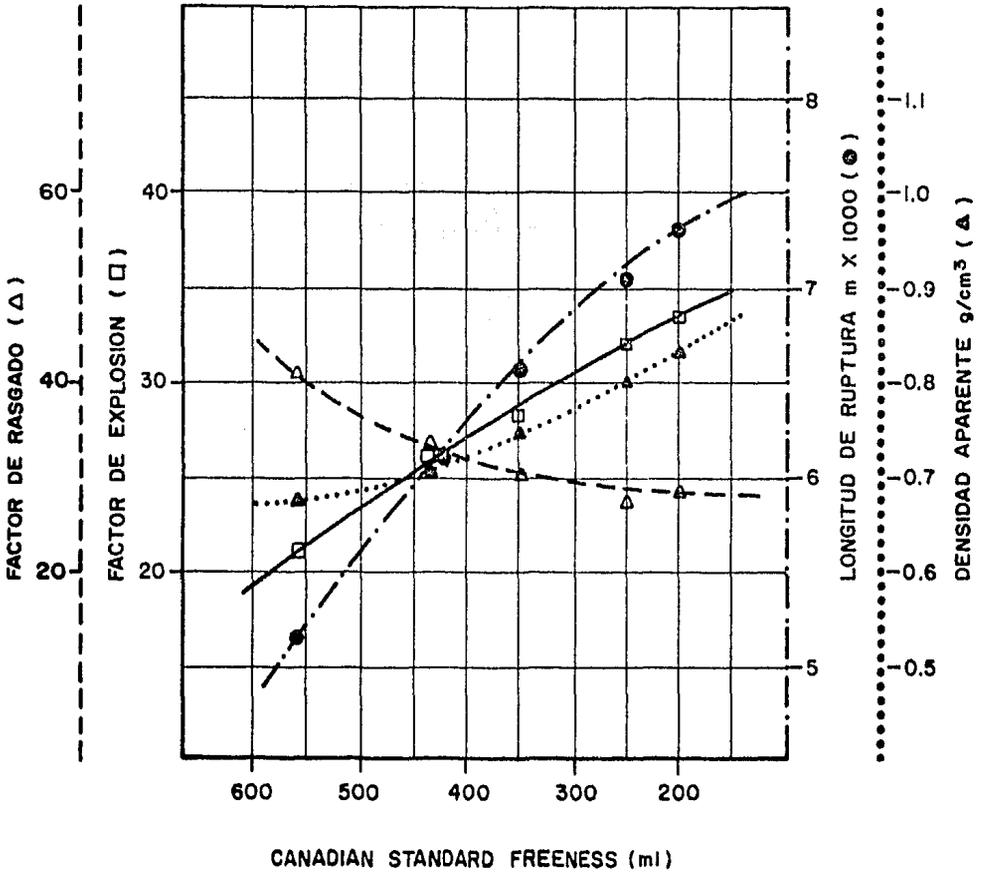


CURVA DE BATIDO
PULPA MORENA (PROCESO AL SULFITO DE AMONIO)

DIG. No. 2

No. de K=12.2

Hojas de 60 g/m²



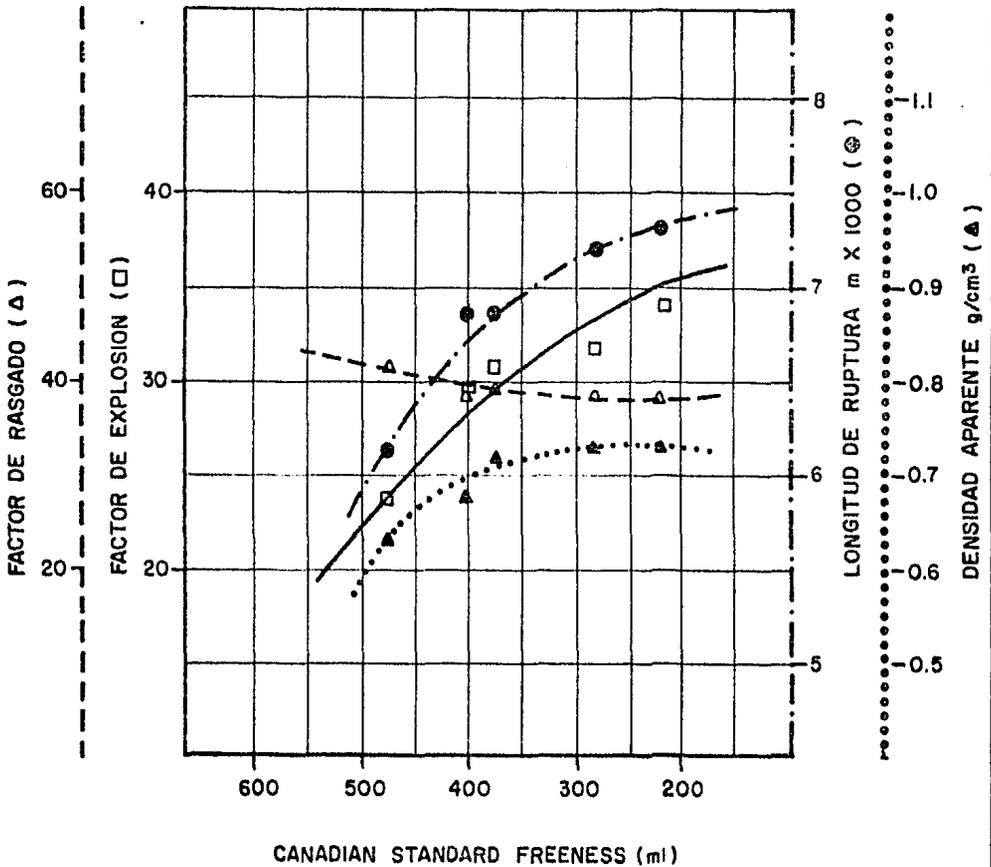
GRAFICA No. 5

CURVA DE BATIDO
 PULPA MORENA (PROCESO AL SULFITO DE AMONIO)

DIG. No. 38

No. de K=13.4

Hojas de 60 g/m²

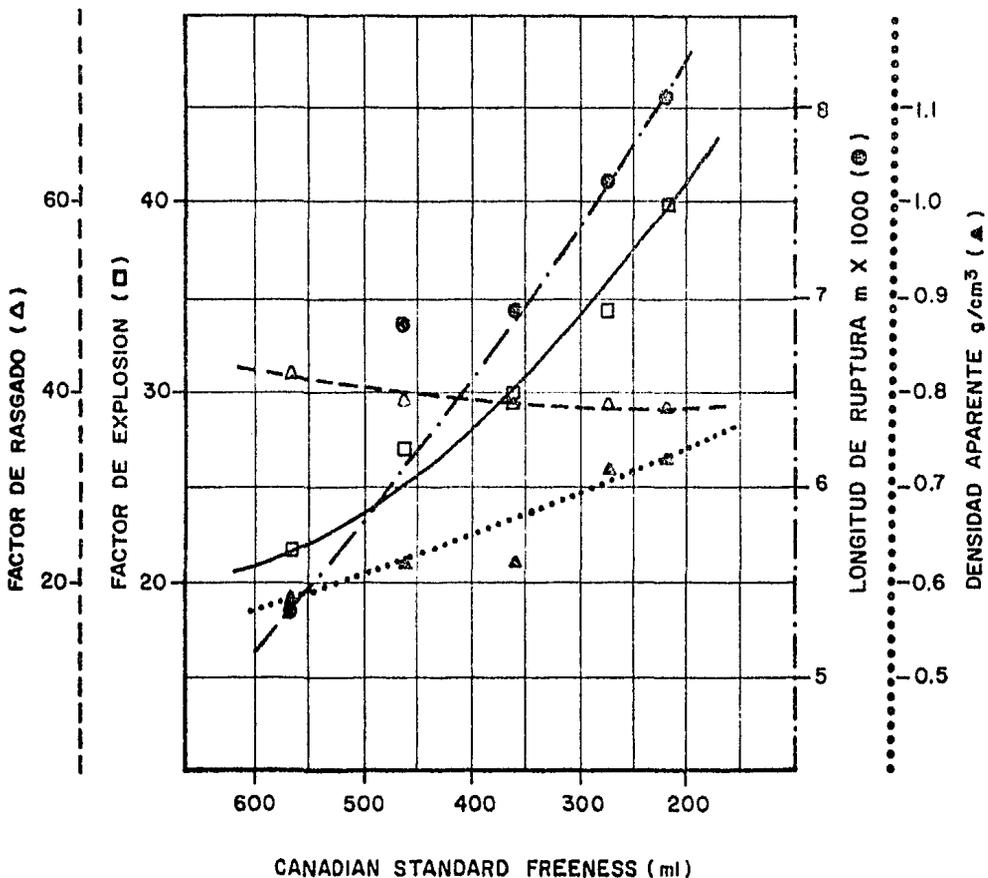


CURVA DE BATIDO
PULPA MORENA (PROCESO AL SULFITO DE AMONIO)

DIG. No. 49

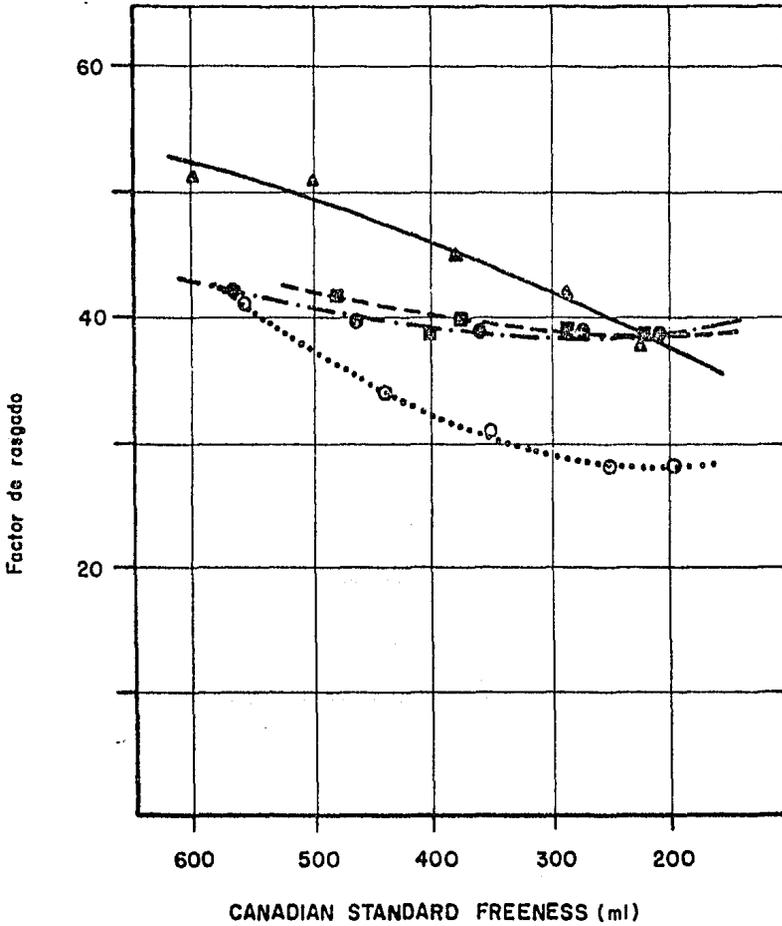
No. de K=13.9

Hojas de 60 g/m²



EVALUACION COMPARATIVA
 PULPA MORENA
 (PROCESO AL SULFITO DE AMONIO)
 (YA LA SOSA)

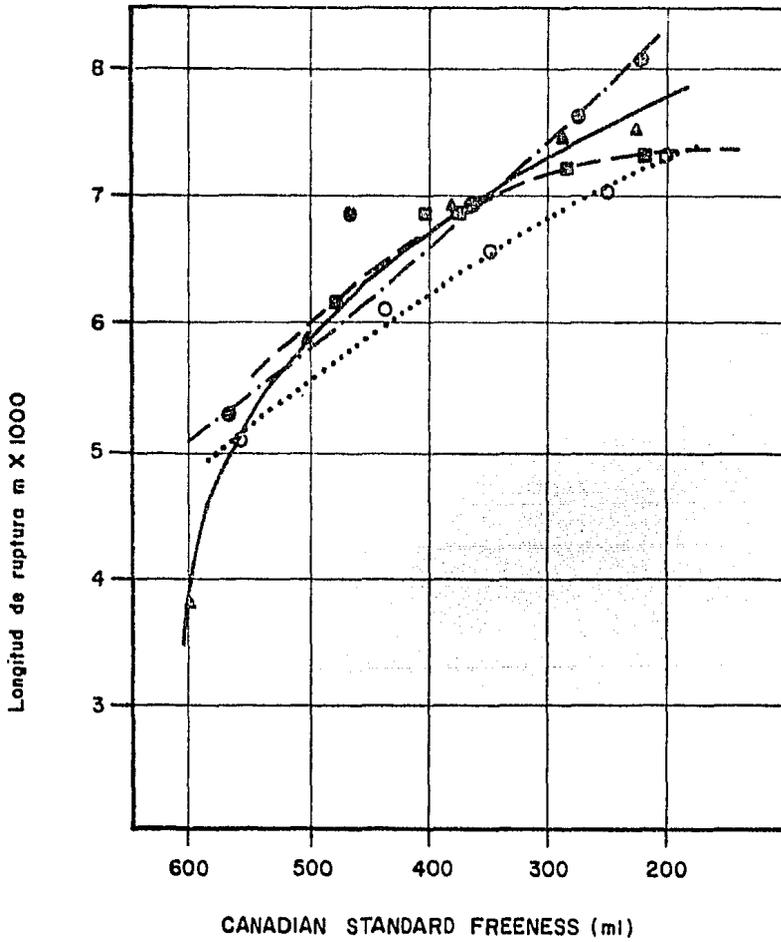
Hojas de 60 g/m²



- Pulpa Dig. 49
- - - Pulpa Dig. 38
- Pulpa Dig. 2
- Pulpa "Comercial"

EVALUACION COMPARATIVA
 PULPA MORENA
 (PROCESO AL SULFITO DE AMONIO)
 (YA LA SOSA)

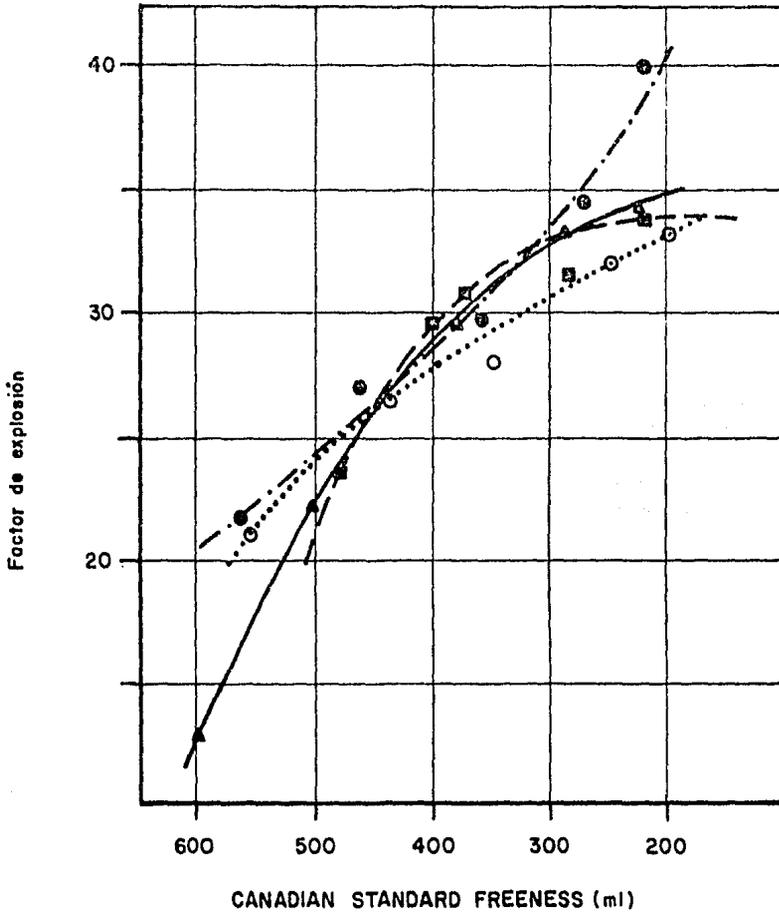
Hojas de 60 g/m²



- · — Pulpa Dig. 49
- - - Pulpa Dig. 38
- Pulpa Dig. 2
- Pulpa "Comercial"

EVALUACION COMPARATIVA
 PULPA MORENA
 (PROCESO AL SULFITO DE AMONIO)
 (YA LA SOSA)

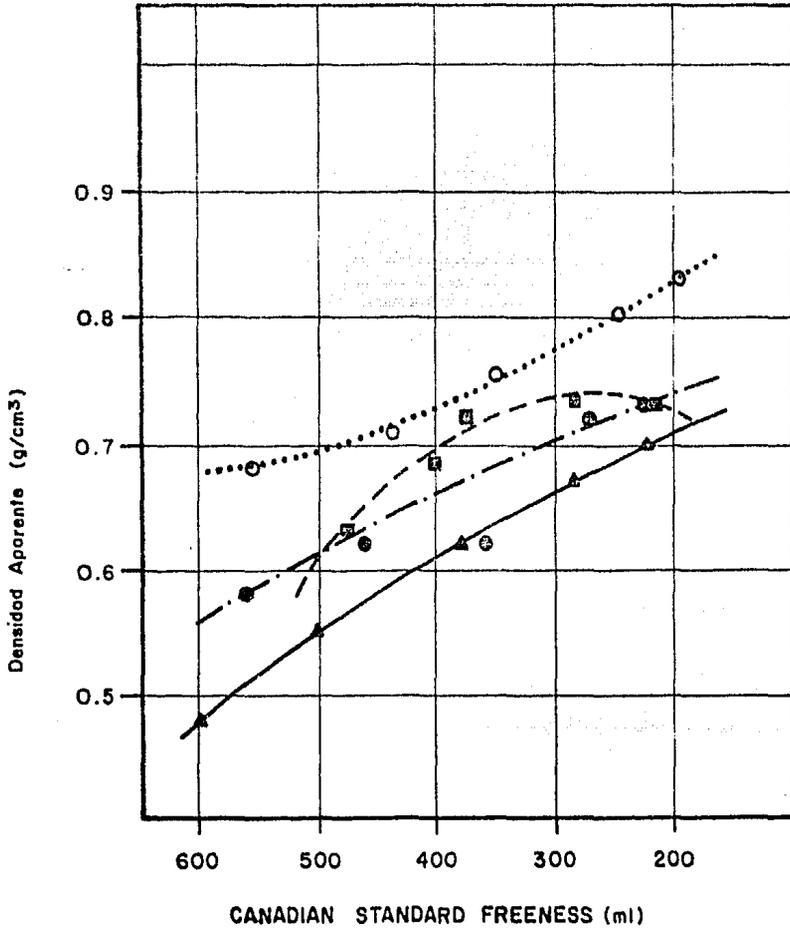
Hojas de 60 g/m²



- · — Pulpa Dig. 49
- - - Pulpa Dig. 38
- Pulpa Dig. 2
- Pulpa "Comercial"

EVALUACION COMPARATIVA
 PULPA MORENA
 (PROCESO AL SULFITO DE AMONIO)
 (YA LA SOSA)

Hojas de 60 g/m²

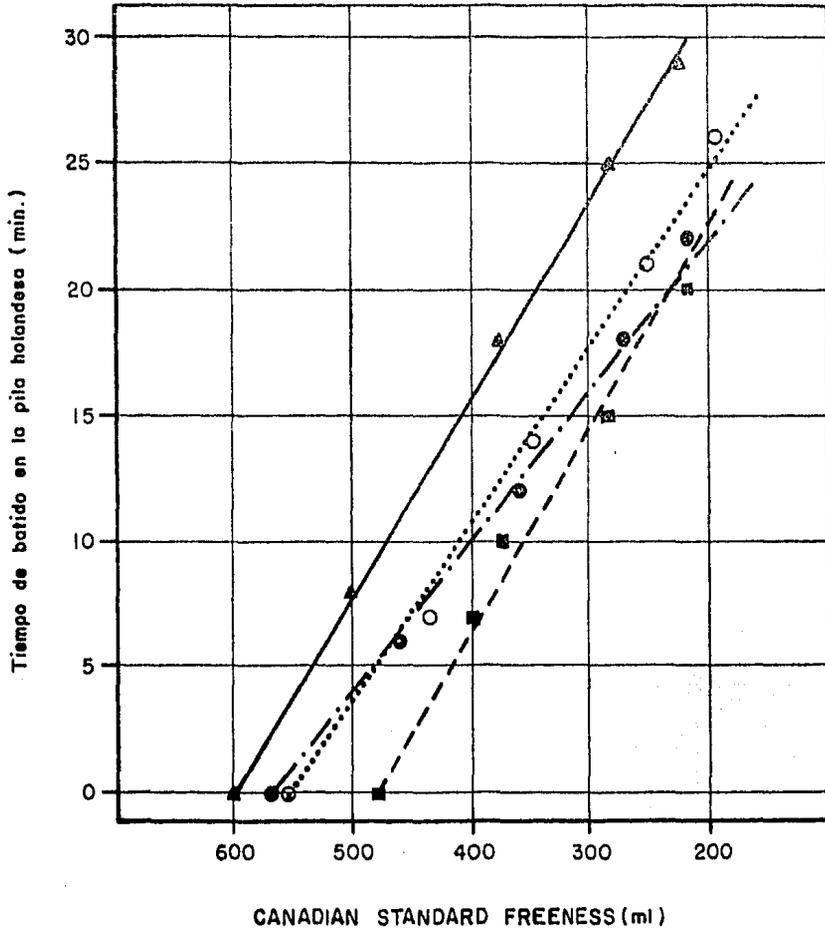


- Pulpa Dig. 49
- Pulpa Dig. 38
- Pulpa Dig. 2
- Pulpa "Comercial"

GRAFICA No. 11

EVALUACION COMPARATIVA
PULPA MORENA
(PROCESO AL SULFITO DE AMONIO)
(Y A LA SOSA)

Hojas de 60 g/m²



- Pulpa Dig. 49
- .- Pulpa Dig. 38
- Pulpa Dig. 2
- Pulpa "Comercial"

5.2.- ANALISIS QUIMICO DE LAS PULPAS.

Los análisis químicos realizados de acuerdo a los métodos TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry) fueron los siguientes:

- Solubilidad en agua fría.
- Solubilidad en agua caliente.
- Contenido de extractos en Alcohol-Benceno.
- Contenido de cenizas.
- Contenido de celulosa.
- Contenido de lignina.

Los resultados del análisis químico de las pulpas al Sulfito de Amonio, con respecto a la pulpa comercial a la Sosa, resultó lo siguiente:

Las propiedades químicas resultaron ser buenas y satisfactorias, a pesar de que algunas no alcanzaron las características de la pulpa comercial a la Sosa, pero sus características de las pulpas al Sulfito de Amonio indican que son de buena calidad y competitiva. (Tabla N°. 18)

ANALISIS QUIMICO DE

PULPAS MORENAS

TABLA N°. 18

	Pulpa Morena Comercial (Sosa)	Pulpas Morenas al		
		Sulfito de Amonio		
		Dig. N°.2	Dig. N°.38	Dig.N°. 49
Solubilidad en Agua Caliente %	3	2.5	6.6	4.7
Solubilidad en Agua Fría. %	1.6	1.9	2.3	2
Extractos en Acohol-Benceno. %	3	4	3.4	3.8
Contenido de Cenizas %	1.7	2.7	3	2.7
Contenido de Celulosa %	82.5	82.9	84.8	84.0
Contenido de Lignina %	7.7	5.6	5.2	5.3

5.3.- EVALUACION ECONOMICA PRELIMINAR.

Las pulpas morena de bagazo obtenidas por el proceso al Sulfito de Amonio, tienen una calidad similar a la de las -- correspondientes pulpas comerciales de bagazo de caña, obtenidas por el proceso a la Sosa. (Fig. N°. 6 al 13)

Merced a esta similitud, es factible hacer un balance -- de costos de pulpa, cuyo objetivo es hacer una evaluación -- económica preliminar en función de materias primas e insumos principales para la producción de pulpas celulósicas.

En esta evaluación económica preliminar, se comparan -- los consumos de reactivos y materia prima, llevándose a cabo un balance de materiales y energía para diferentes condiciones de proceso en función de la relación de baño.

La comparación del proceso de pulpeo en función de la -- relación de baño en el proceso al Sulfito de Amonio, se tomó como base de cálculo, una tonelada por hora de pulpa comercial, con un 10% de humedad comercial. (Tabla N°. 19)

5.3.1.- COSTOS DE PULPEO.

(En función de materias primas e insumos principales)

Base de Cálculo: Producción de 1 ton. por hora de pulpa morena comercial (seca al aire 90:100).

COSTOS DE MATERIALES.

Concepto	\$/Ton.
(+) BAGAZO	8,200.00
(++) SULFITO DE AMONIO	73,165.30
SOSA (al 100%)	47,625.60
VAPOR	155.00

(+) En el costo del bagazo, no se ha considerado el costo - del desmedulado; sin embargo, se ha considerado que el bagazo se desmedula al 25%.

(++) Costo determinado al generar el Sulfito de Amonio a nivel laboratorio, en los LANFI.

5.3.2.- BALANCE DE MATERIALES Y ENERGIA.

Comparación del proceso de pulpeo para diferentes condi ciones en proceso al Sulfito de Amonio.

Esta comparación se realizó en función de la relación - de baño empleada en la digestión. Se empleó vapor saturado directo para la impregnación y la digestión.

R B = 3 : 1	Rend. 63.0%
Bagazo	Ton. 1.763
Reactivo	Ton. 0.441
Vapor	Ton. 2.659

R B = 4 : 1	Rend. 61.0%
Bagazo	Ton. 1.821
Reactivo	Ton. 0.509
Vapor	Ton. 3.527

R B = 6 : 1	Rend. 60.0%
Bagazo	Ton. 1.851
Reactivo	Ton. 0.518
Vapor	Ton. 4.881

Proceso a la Sosa.	Rend. 50.0%
Bagazo	Ton. 2.200
Reactivo	Ton. 0.264
Vapor	Ton. 5.878

COMPARACION DE COSTOS DE PULPEO DE BAGAZO DE CAÑA AL -
SULFITO DE AMONIO Y A LA SOSA.

TABLA N°. 19

Proceso al Sulfito de Amonio.

	RB = 3:1 Ton.	\$/TON. P.M.
Bagazo	1.763	14,456.60
Reactivo	0.441	32,265.89
Vapor	2.659	412.14
Total	--	47,134.63

	RB = 4:1	
Bagazo	1.821	14,936.25
Reactivo	0.509	37,305.52
Vapor	3.527	546.68
Total	--	52,788.45

	RB = 6:1	
Bagazo	1.851	15,178.20
Reactivo	0.518	37,899.62
Vapor	4.881	756.55
Total	--	53,834.37

Proceso a la Sosa.

Bagazo	2.200	18,040.00
Reactivo	0.264	12,573.16
Vapor	5.878	911.09
Total	--	31,524.25

De la Tabla N°. 20, se observa que las condiciones más satisfactorias del proceso al Sulfito de Amonio desde un punto de vista de operación, se definió para una relación de baño de 3:1.

De acuerdo a las condiciones de operación y resultados obtenidos durante las etapas experimentales fueron las siguientes:

TABLA N°. 20

Etapas experimentales	—	1a.	2a.	3a.
Relación de baño	RB	3:1	4:1	6:1
Dosificación de reactivo	%/MPSE	25	28	28
Temperatura máxima	°C	180	180	180
Tiempo de cocción	Min	36	40	45
Tiempo de impregnación (a 100°C)	Min	5	5	5
N°. de Permanganato	—	13-14	13-13.5	13.5-14
Rendimiento (base seca)	%	63.0	61.0	60.0
Costo de la pulpa M. (+)	\$/Ton.	47,134	52,788	53,834

(+) En función de materia prima e insumos principales.

5.4.- ANALISIS DE LICORES NEGROS.

En este análisis de licores negros, tiene por objeto definir el grado de contaminación por efluentes del proceso, comparándolo contra un licor del proceso a la Sosa.

A las 7 muestras analizadas se le hicieron 17 determinaciones del tipo fisicoquímico, con el objeto de evaluar los sólidos transportados, tanto disueltos como suspendidos en forma global y por grupos, así como la diferencia de oxígeno disuelto principalmente.

En la Tabla N°. 21 aparecen los resultados finales del análisis de licores negros del proceso al Sulfito de Amonio y a la Sosa.

En las Gráficas N°. 12 al 19, se ilustran la variación y tendencia de los valores para cada uno de los parámetros en -- las recirculaciones realizadas, con una relación baño de 3:1 -- al Sulfito de Amonio y a la Sosa.

De los resultados reportados en la Tabla N°. 21 del análisis de licores residuales al Sulfito de Amonio y a la Sosa, de uno y otro proceso están considerablemente contaminados, -- por los altos contenidos de materiales orgánicos e inorgánicos y diferencia de oxígeno.

El licor negro del proceso a la Sosa deteriora al medio, en mayor grado, por su pH elevado y alta salinidad.

T A B L A
D E
R E S U L T A D O S

RESULTADOS DE LABORATORIO DE ANALISIS DE

LICORES NEGROS AL SULFITO DE AMONIO

TABLA N°. 21

P A R A M E T R O	UNIDAD	D I G E S T I O N E S						LICOR NEGRO A LA SOSA
		14	15	16	17	18	19	
Potencial Hidrógeno (pH)		6.8	6.8	6.8	6.9	6.95	6.7	12.5
Sólidos sedimentables (SSe)	ml/l	1.5	50.0	0.0	3.5	46.0	70.0	N.D
Grasas y aceites (G y A)	mg/l	25.8	38.8	20.0	27.8	14.6	33.0	96.8
Sólidos totales (ST)	mg/l	109200.0	114800.0	107600.0	109400.0	95700.0	110400.0	75075.0
Sólidos totales fijos (STF)	mg/l	71550.0	81900.0	79350.0	77050.0	68000.0	80950.0	22200.0
Sólidos totales volátiles (STV)	mg/l	37650.0	32900.0	28250.0	32350.0	27700.0	29450.0	52875.0
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/l	107050.0	112900.0	105600.0	107000.0	92600.0	107900.0	74600.0
Sólidos disueltos fijos (SDF)	mg/l	70700.0	80900.0	78100.0	75300.0	65900.0	79600.0	22000.0
Sólidos disueltos volátiles (SDV)	mg/l	36350.0	32000.0	27500.0	31700.0	26700.0	28300.0	52600.0
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/l	2150.0	1900.0	2000.0	2400.0	3100.0	2500.0	475.0
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	mg/l	850.0	1000.0	1250.0	1750.0	2100.0	1350.0	200.0
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	mg/l	1300.0	900.0	750.0	650.0	1000.0	1150.0	275.0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	42500.0	45550.0	22540.0	52170.0	80230.0	96450.0	68980.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/l	16230.0	19750.0	16580.0	13750.0	13400.0	16230.0	2180.0
Nitrógeno Amoniaco (N-NH ₄)	mg/l	5190.0	5090.0	6340.0	5500.0	4890.0	5140.0	8.0
Nitrógeno Orgánico (N-Org)	mg/l	5250.0	6360.0	4370.0	4290.0	4230.0	5040.0	32.0
Sulfatos (SO ₄)	mg/l	818.0	613.0	607.0	743.0	1580.0	355.0	2540.0

NOTA: N.D. No determinado

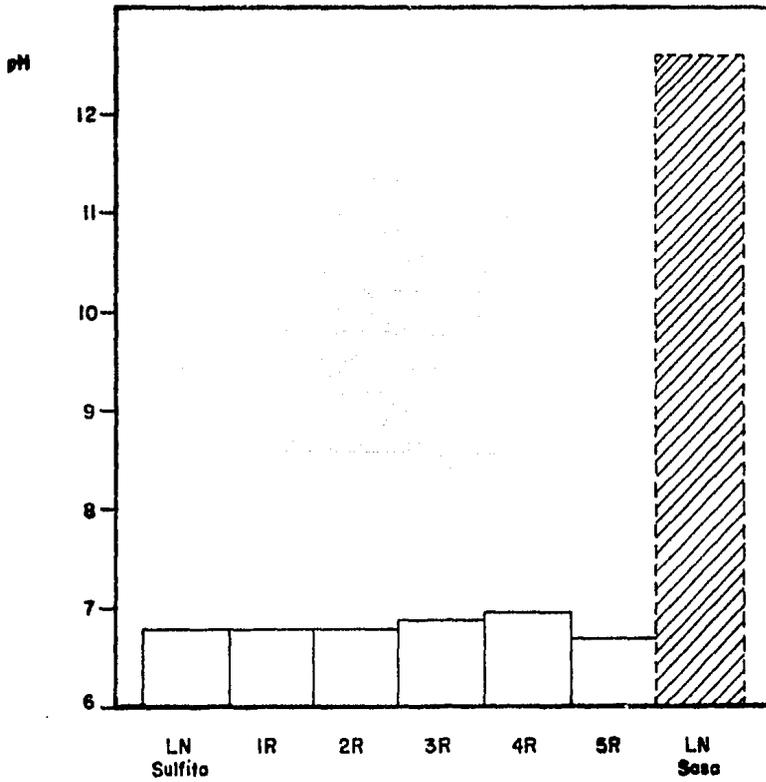
PRESENTACION GRAFICA

DE

RESULTADOS

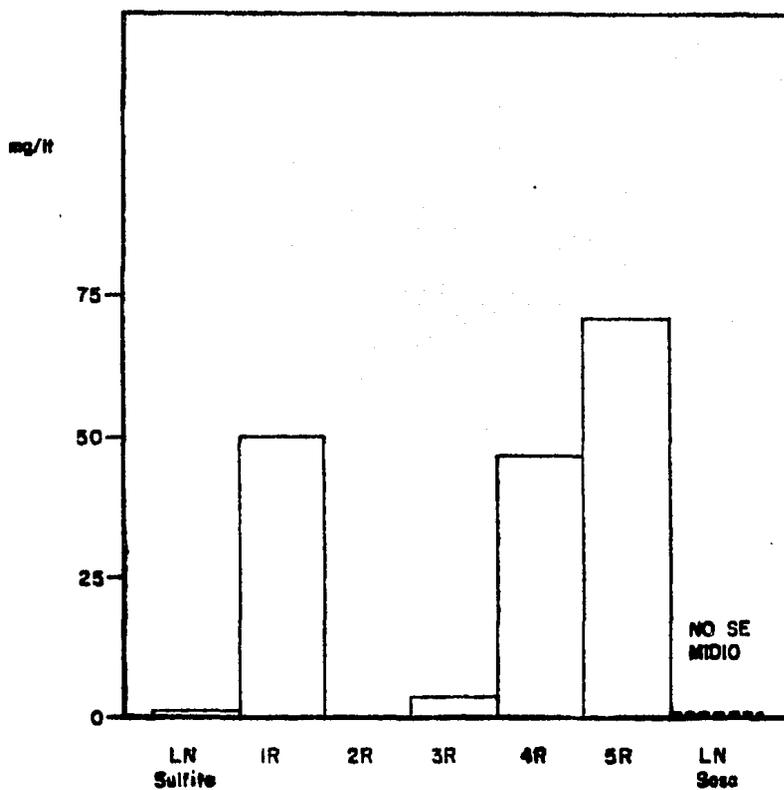
GRAFICA No. 12

POTENCIAL DE HIDROGENO

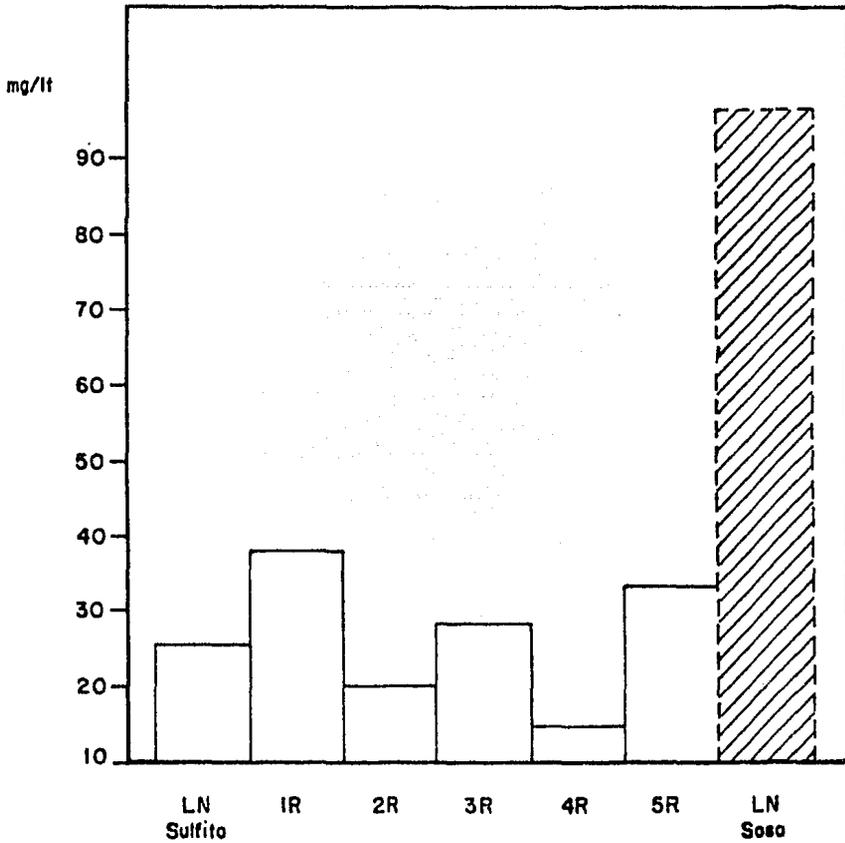


GRAFICA No. 13

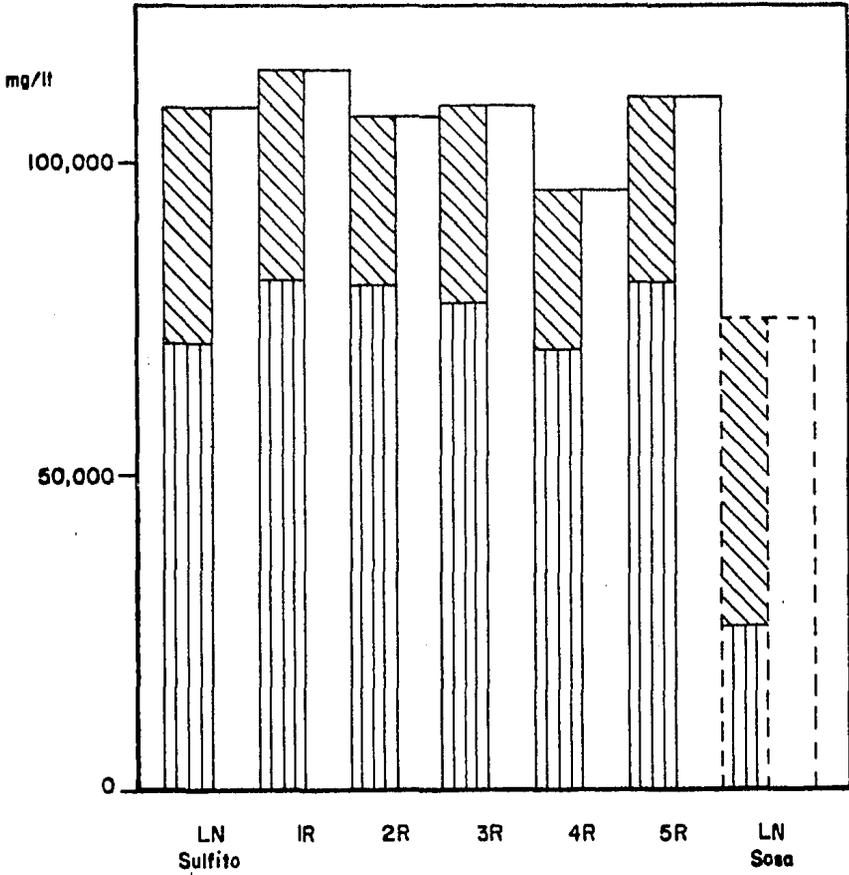
SOLIDOS SEDIMENTABLES



GRASAS Y ACEITES

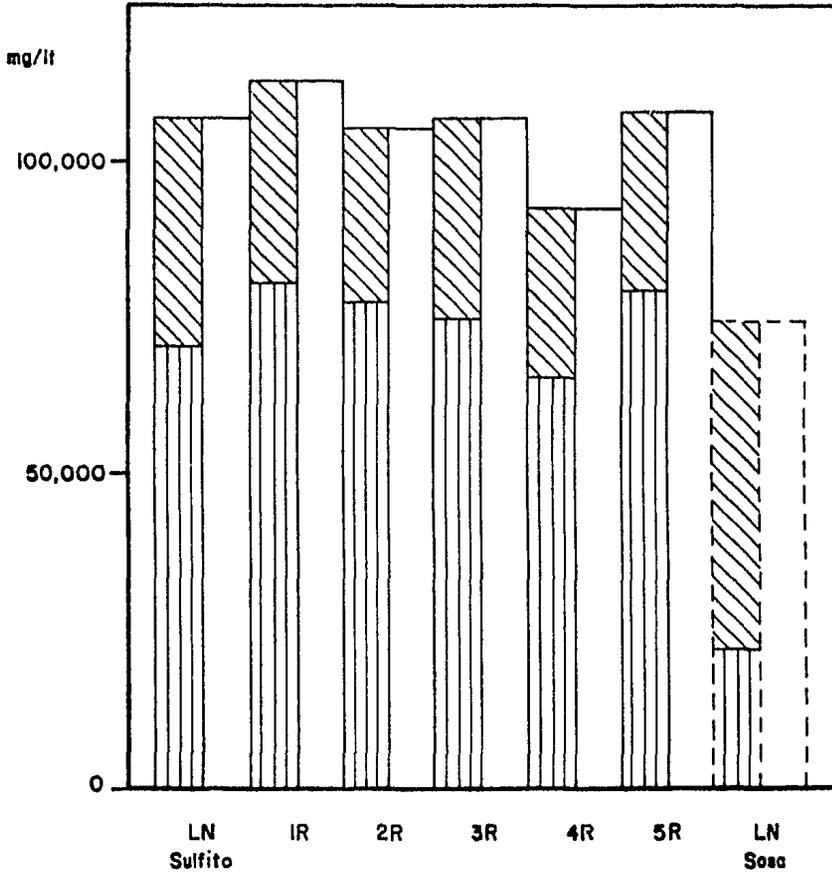


SOLIDOS TOTALES



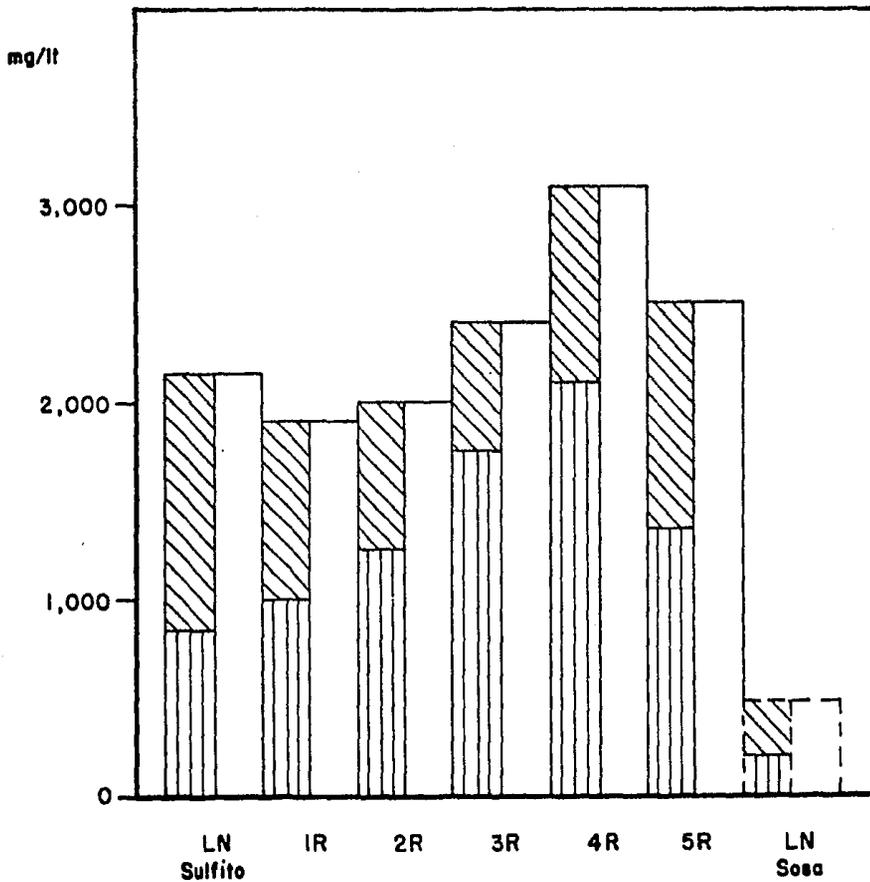
-  (STF) Sólidos totales fijos.
-  (STV) Sólidos totales volátiles.
-  (ST) Sólidos totales.

SOLIDOS DISUELTOS



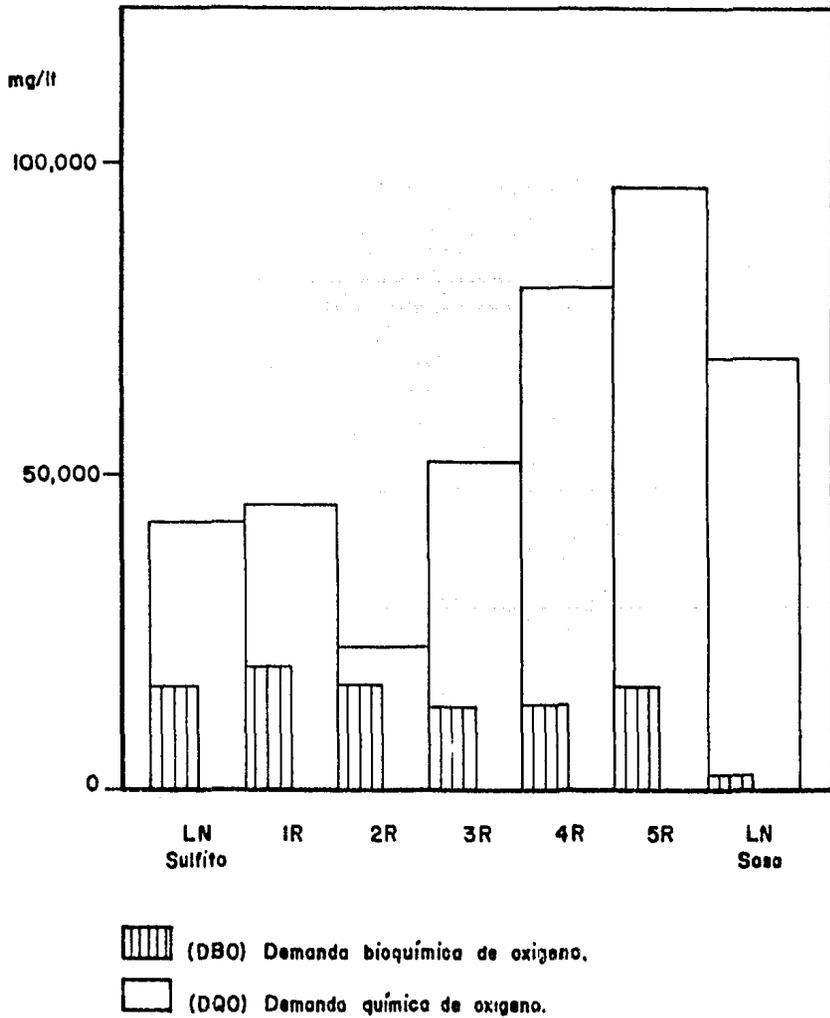
-  (SDF) Sólidos disueltos fijos.
-  (SDV) Sólidos disueltos volátiles.
-  (SDT) Sólidos disueltos totales.

SOLIDOS SUSPENDIDOS

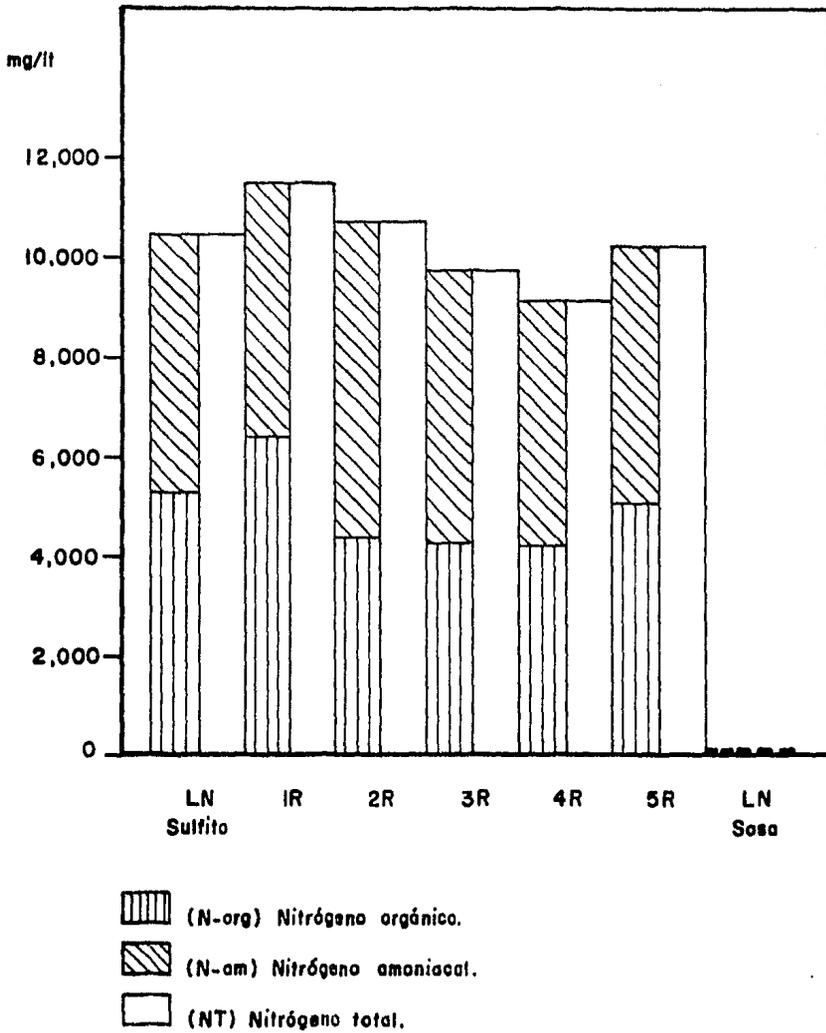


-  (SSF) Solidos suspendidos fijos.
-  (SSV) Solidos suspendidos volatiles.
-  (SST) Solidos suspendidos totales.

DEMANDA DE OXIGENO



NITROGENO TOTAL



CONCLUSIONES

- El bagazo de caña muestra ser una materia prima adecuada para la obtención de celulosa y además se cuenta con la tecnología para obtener pulpas de buena calidad.

- El proceso al Sulfito de Amonio, es uno de los más eficaces y fácilmente adaptables a plantas a la Sosa, ya -- que producen pulpas de buena calidad y competitivas con las pulpas comerciales a la Sosa.

- En cuanto a las condiciones manejadas del proceso y estudiadas a través de la recirculación de licor negro, no es posible la minimización de consumo de reactivo, porque -- al trabajar con altas relaciones de baños con relación a la estudiada y establecida en LANFI, es necesario aumentar la dosificación.

- Tal aumento de reactivo, aún cuando se le recircula un 14% del mismo, no es suficiente para la minimización del consumo del Sulfito de Amonio.

Se recomienda trabajar con bajas relaciones de baño, -- debido a que éste presentó condiciones satisfactorias, desde un punto de vista de operación.

En cuanto a su evaluación química y fisicoquímica, re-

sultaron ser satisfactorias, aún comparándolas con la pulpa comercial a la Sosa.

- Con la consideración anterior, se determinó el costo de pulpeo de bagazo de caña, por el proceso al Sulfito de Amonio y el proceso convencional (a la Sosa), en función de insumos de materias primas encontrándose que el costo para el proceso al Sulfito de Amonio, resultó lo siguiente:

En función de las diferentes condiciones manejadas, no ofrecen mucha diferencia de 8% aproximadamente entre sí, -- por lo que resulta que cualquiera de ellas no resulta ser muy atractiva, comparándola con el proceso a la Sosa; o sea, el proceso al Sulfito de Amonio resulta más costoso en un 30% aprox. con relación al proceso a la Sosa.

- Por lo que respecta al grado de contaminación de efluentes generados por el proceso de pulpeo al Sulfito de Amonio, resultaron ser contaminantes como los generados por el proceso convencional a la Sosa.

Se recomienda hacer un estudio de tratamiento de licores negros del proceso al Sulfito de Amonio, para analizar su factibilidad y disminuir las altas concentraciones de sólidos disueltos y suspendidos en los licores negros.

B I B L I O G R A F I A .

- 1.- Libby Earl C.
"Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel".
Tomo N°. I
Cía. Editorial Continental, S.A.
México, 1980.
- 2.- Grant Julius.
"Manual sobre la Fabricación de Pulpa y Papel".
Cía. Editorial Continental, S.A.
México, 1966.
- 3.- Memoria Estadística de la Cámara Nacional de la Industria de la Celulosa y Papel.
México, 1980.
- 4.- Pulp and Paper International.
Vol. 10, N°. 6, Pág. 56-59
June. 1968.
- 5.- Raw Materials For More Paper Pulping Process and Procedures Recommended for Testing.
F.A.O.
Rome. 1953.
- 6.- A.T.C.P. (Asociación de Técnicos de la Celulosa y Papel).
Reunión Anual XVII
Vol. 17, N°. 3, mayo-junio (1977).
- 7.- A.T.C.P. (Asociación de Técnicos de la Celulosa y Papel).
Reunión Anual XX.
Vol. 20, N°. 3, julio-agosto (1980).
- 8.- TAPPI ("Testing Methods Recommended Practices Specification of Industry"), 155 East 44 Th. St. New York 17, N.Y.

- 9.- Próspero Rendón, Reynoso.
TESIS: "Diseño de un Nuevo Proceso para Fabricar Pulpa y Abono Químico a partir de Bagazo de Caña".
U.N.A.M. (1969).
- 10.- Garrido Yáñez, J.F. Berdabé.
TESIS: "Diseño del Reactor Prototipo para la Obtención del Monosulfito de Amonio".
U.N.A.M. (1975).
- 11.- A.T.C.P. (Asociación de Técnicos de la Celulosa y Papel)
Rojas Gutiérrez, Rafael - Rendón, R.P.
"Proceso al Monosulfito de Amonio para la Obtención de Pulpas Celulósicas y Nutrientes Orgánicos".
Vol. 9, N°. 5 (1977).
- 12.- Tecnología LANFI.
Vol. 4, N°. 4, Pág. 8-9
Enero-Febrero (1979).
- 13.- Tecnología LANFI.
Vol. 3, N°. 5, Pág. 16-17.
Enero-Junio (1977)
- 14.- Tecnología LANFI.
Vol. 2, N°. 4, Pág. 10-13
Octubre-Noviembre. (1976).
- 15.- Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial.
"Obtención de pulpa celulósica de bagazo de caña por el proceso al Sulfito de Amonio".
Archivo LANFI (1980).

TERMINOLOGIA

Aceptado.- Fracción del producto de digestión, que es aceptada en la operación de depuración o fraccionamiento.

Bagazo Integral.- Bagazo de caña que aún contiene médula -- con que sale del último molino del ingenio azucarero.

Blancura.- Es la medida del color blanco en el papel. Se mide en aparatos basados en la medida del % de luz reflejada por el papel que es mayor cuando el papel es más blanco y se reporta generalmente en % G.E. (General Electric).

Canadian Standard Freeness.- Es una medida convencional de la velocidad de drenado de una suspensión de pulpa. Donde esta medida se emplea en la industria de celulosa y papel e indirectamente indica el -- contenido de finos en la pulpa, producidos durante el pulpeo de bagazo.

Celulosa.- Es una sustancia de sostén que se encuentra abundantemente en las paredes de las células vegetales. La celulosa es un componente carbohidrata--

do, formada por muchas unidades de azúcares - -
(D-glucosa).

Consistencia.- Es la cantidad de gramos de pulpa absoluta--
mente seca en 100 gramos de suspensión.

$$C = \frac{\text{g Pulpa A.S.}}{100 \text{ g de Suspensión.}}$$

Desmedulado.- Proceso por medio del cual se logra la separa-
ción de la médula del bagazo integral.

Densidad Aparente.- La densidad aparente de un papel está re-
lacionada con su porosidad, rigidez y opacidad. -
Se calcula de la siguiente forma:

$$D.A = \text{Peso base seco a la estufa} / \text{espesor} \times 1000$$

Espesor.- Se conoce también con el nombre de calibre, y es -
grueso de una hoja de papel. Las variaciones de
espesor afectan a la mayoría de las propiedades -
del papel y ciertos usos es muy importante que el
calibre sea uniforme.

Elongación.- Es la medida de lo que se estira el papel antes
de romperse cuando se ejerce tensión sobre él.

Fibra Prensada.- Fibra a la que se le ha drenado el líquido por medio de un prensado.

Licor Blanco.- Solución que contiene partículas de Sulfito de Amonio.

Licor Negro.- Solución que contiene partículas de Sulfito de Amonio y materia orgánica que acompaña al producto.

Licor Residual.- Es una solución que contiene partículas de Sulfito de Amonio y Lignina disuelta de la fibra durante la impregnación.

Lignina.- Sustancia incrustante que acompaña a la celulosa y sirve de unión entre las fibras de los vegetales. La Lignina es un polímero formado de unidades de fenil-propano.

Médula.- Finos o bagacillo contenido en el bagazo integral que pasa a través de una malla de 1/8 plg. de -- claro y está constituido básicamente por parén-- quima.

Nº. de Permanganato.- Este método es para determinar la -- blanqueabilidad y dureza relativamente de pulpas

morenas. El N°. de Permanganato es el número de mililitros de una solución de permanganato de potasio décimo normal, el cual reacciona con 1 g - de pulpa seca a la estufa, bajo condiciones específicas y cuidadosamente controladas.

En este método el permanganato de potasio actúa como agente oxidante, reduciendo todos los materiales reductores.

El N°. de permanganato mide el % de lignina residual en la pulpa y consecuentemente la demanda de reactivo en el blanqueo de la misma.

Opacidad.- Es una propiedad del papel que se determina por la cantidad total de luz que pasa de un lado a otro del papel. Un papel perfectamente opaco, es aquel que no deja pasar absolutamente nada de luz. Es una propiedad muy importante en papeles para impresión, Bond, escritura, etc. Se mide en aparatos que se basan en la diferencia que hay al poner entre una fuente de luz y cuerpo negro. Un número de hojas que no deja pasar nada de luz, da el 100%, y luego se pone una hoja (sola), la cantidad de luz que atravieza, es indicada por el aparato en % y corresponde a la opacidad de la muestra. A mayor cantidad de luz que atravieza -

la muestra, la lectura será menor y también su opacidad.

Peso Base.- Es el peso en gramos de un metro cuadrado de papel. Es una propiedad muy importante debido a que se afecta a la compra venta del papel, también está en función del peso base, ya que al cambiar el peso base va a cambiar todas sus propiedades.

Producto de Digestión.- Es una suspensión de pulpa y haces fi brosos a la salida del digestor.

Pulpa.- Son fibras vegetales con características físicas y químicas homogéneas, después de ser pulpeadas.

Pulpeo.- Proceso químico, mecánico o químico-mecánico, por el que se logra la separación de las fibras de las materias primas para obtener pulpa celulósica.

Rechazo.- Fracción del producto de digestión que es rechazada en la operación de depuración o fraccionamiento.

Resistencia al Doblez.- Mide la cantidad de dobleces que resistirá el papel antes de romperse. Existen gran relación con la flexibilidad de los papeles, la resistencia al dobléz, indica la estructura del pa-

pel, ya que por su refinación impropia o una formación mala esta resistencia baja enormemente.

Resistencia a la Explosión.- Mide la presión desarrollada en la parte inferior de un diafragma circular de - - hule, cuando éste se presiona contra el papel hasta hacerlo estallar.

Resistencia al Rasgado.- Mide la resistencia del papel formado, al romperse por rasgado cuando se ha iniciado un corte en la orilla y depende exclusivamente de la longitud de la fibra, por ejemplo, la fibra -- que no ha sido sometida a refinación, la resistencia al rasgado es mayor y a medida que se refina la resistencia al rasgado es cada vez menor.

Resistencia a la Tensión.- Es la medida de la resistencia -- que tendrá el papel a una tensión directa. Mide la fuerza de tensión necesaria para romper una tira de papel.

Suspensión.- Es una mezcla heterogénea de bagazo, fibra limpia, médula, pulpa, etc.

Solubilidad en Agua Fría.

Las sustancias solubles en agua, incluyen, sales inorgánicas, pectinas, azúcares, gomas mucilago, taninos y materiales colorantes.

De tales materiales, pueden decir que esta determinación tiene importancia, debido a que en ella se cuantea parcialmente una parte de los llamados "componentes extraños" del tejido vegetal, por lo tanto, aquellas sustancias que no forman parte de la pared celular y cuya característica principal, es la de ser solubles en agua o solventes neutros.

Además, en el caso de una materia prima altamente soluble en agua, se tendrá un dato preliminar sobre los posibles bajos rendimientos de las pulpas obtenidas, ocasionando por la solubilidad natural del material (8).

Solubilidad en Agua Caliente.

Es frecuentemente que los componentes en agua fría lo sean también en agua caliente, pero en mayor grado.

Por lo tanto, esta última determinación no arroja más luz sobre la fracción soluble en agua, pero puede ser de uti

lidad como dato de corrección a la solubilidad en sosa al -
1%.

Contenido de Extractos.

En esta determinación tiene dos objetivos principales -
que son:

1.- Preparar la muestra para las determinaciones de ce-
lulosa y lignina.

2.- Hacer una cuantificación de los principales materia-
les extraños solubles en solventes orgánicos y en agua.

Por medio de esta prueba de contenido de extractos, se
extraen todos aquellos compuestos que no son celulósicos, en-
tre estos compuestos se encuentran: las grasas, ceras, resi-
nas taninos, colorantes, carbohidratos, etc.

De acuerdo al contenido de extractos que contenga un --
cierto material fibroso, se tendrá un criterio más amplio pa-
ra saber qué tipo de proceso por aplicar al material sería -
el más adecuado.

Contenido de Cenizas.

La determinación de cenizas, puede requerirse para com-

plementar el análisis de un material vegetal en particular - especialmente cuando la suma de los datos analíticos difieren bastante del 100%.

La presencia de ciertos elementos pueden ser de especial significación, por ejemplo: la sílice, perjudica la operación de combustión y rendimiento en los procesos de recuperación de reactivos.

El contenido de cenizas se determina incinerando una cantidad pesada de material en un crisol o cápsula de porcelana. El muestreo es de especial importancia en esta determinación, debido a que las diferentes partes de muchos vegetales pueden variar en su contenido de cenizas.

El contenido de cenizas en la madera es definido como residuo remanente después de la ignición a $575 \pm 25^\circ\text{C}$ y por espacio de 3 horas o más para quemar todo el carbón (8).

Contenido de Celulosa.

La materia prima básica para la fabricación de papel, es la celulosa. El fabricante de papel la obtiene en forma de pulpa fibrosa por el tratamiento químico o mecánico o por combinación de ambos.

La Celulosa.- De todos los componentes naturales del car
bono, la celulosa parece ser el más abundante en nuestro pla
neta, se forma anualmente en enormes cantidades como resulta-
do de la fotosíntesis, y es el principal componente de la pa-
red celular de todas las maderas, pajas, pastos, fibras libe-
rianas y frutos de plantas como el algodón.

Puesto que como mas frecuentemente se encuentra es en la
forma fibrosa, y dado que su resistencia a la tensión es muy
grande, además de ser insoluble en agua fría y en caliente, -
no debe sorprender que la celulosa constituya un importante -
componente característico de la pulpa y del papel.

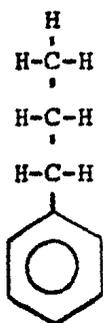
La Celulosa, es un carbohidrato, de esta manera se rela
ciona con los azúcares. Sin embargo; es un polisacárido, --
término que indica que su molécula contiene "poli" unidades
de azúcares.

Al analizar la celulosa de algodón cuidadosamente puri-
ficada, se observa que tiene un 44.44% de carbono, 6.22% de
hidrógeno y 49.34% de oxígeno. Esta composición corresponde
a la fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$, donde, n, es muy grande; -
entre 1000 y 5000, dependiendo de la forma como se aisló, --
trató y purificó la celulosa y también, de como se hicieron
las determinaciones. El peso molecular está comprendido en-
tre 163000 y 81000 aproximadamente.

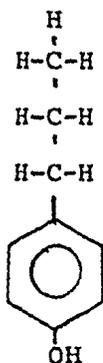
Contenido de Lignina.

Los objetivos principales en las operaciones de pulpeo y blanqueo son la eliminación de la Lignina. La determinación del contenido de lignina en pulpa proporciona información para hacer evaluaciones y aplicaciones del proceso, dureza, - - blanqueabilidad y otras propiedades de la pulpa, tales como: color, son asociadas con el contenido de lignina.

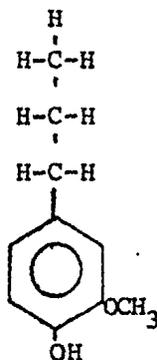
La Lignina representa el llamado material incrustante, - formado parte de la pared celular. Es un compuesto aromáti-- co, una sustancia amorfa que contiene grupos metoxilo, hidro-- xilo y otros grupos. (8) La Lignina constituye entre el 20 y el 30%. Se han podido identificar cuatro principales grupos, los cuales son los siguientes:



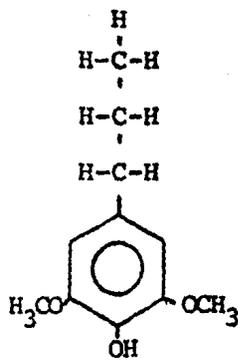
Fenil-propa
no



Hidroxifenil
propano



Guayacil
propano



Siringil-pro
pano

Para calcular la cantidad de licor negro que se va a recircular, se utilizaron las ecuaciones siguientes: (15)

$$V_{L.N} = \frac{\left[RB \times 1000 - W_{H_2O} \text{ en bag.} \right] - \left[\frac{\text{Dosif.} \times \rho_{L.B}}{C_{L.B}} \right]}{\rho_{L.N} - \left[\frac{\rho_{L.B} \times C_{L.N}}{C_{L.B}} \right]} \dots (1)$$

$$V_{L.B} = \frac{\text{Dosif.} - \left[C_{L.N} \times V_{L.N} \right]}{C_{L.B}} \dots (2)$$

donde:

$V_{L.N}$ = Volumen de Licor Negro que se va a recircular, en (ml).

$V_{L.B}$ = Volumen de Licor Blanco para complementar la dosificación, en (ml).

R B = Relación de Baño.

W_{H_2O} en bag. = Agua contenida en el bagazo a utilizar en la digestión, en (g).

Dosif. = Dosificación de reactivo, en (g).

$\rho_{L.B}$ = Densidad del Licor Blanco, en (g/ml)

$C_{L.B}$ = Concentración de Licor Blanco, en (g[(NH₄)₂SO₃]/ml).

$\rho_{L.N}$ = Densidad del Licor Negro, en (g/ml)

$C_{L.N}$ = Concentración de Licor Negro, en
(g[NH₄]₂SO₃/ml).