

Universidad Autónoma de Guadalajara

Incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias Químicas

Caustificación Continua del  
Licor Verde en una  
Fábrica de Papel Kraft.

Tesis Profesional

que presenta el Sr.

Jorge Ruiz Velasco Flores

para obtener el Título de

Ingeniero Químico.



QUÍMICA

Guadalajara, Jal., Méx., abril de 1950



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.

70  
Universidad Autónoma de Guadalajara

Incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias Químicas

Caustificación Continua del  
Licor Verde en una  
Fábrica de Papel Kraft.

Tesis Profesional

que presenta el Sr.

Jorge Ruiz Velasco Flores

para obtener el Título de

Ingeniero Químico.



QUÍMICA

Guadalajara, Jal., Méx., abril de 1950

RADIO-GUAD.

2. disays, d. l. t.  
1 gräf. dobl. . .

A mis queridos padres:

Sr. An. Eudoxio Ruiz Velasco

Sra. Ma. Isabel Flores de R. U.

Con agradecimiento por su ayuda

en mi formación, a mis tíos:

Srta. Clotilde y Ma. del Refugio

Ruiz Velasco.

A mis profesores.

A mis hermanos:

Alicia, Guillermina,  
Humberto y Rosa Fouhel.

A Pilar.

A mis compañeros y amigos.

# Introducción

El presente trabajo fué desarrollado durante el periodo de mi práctica profesional en la Compañía Industrial de Atenquique, S. A.

La idea que me llevó a escogerlo como tema de tesis, fué la de estudiar y tratar de resolver hasta donde me sea posible, uno de los problemas con que cuenta esa fábrica.

Agradezco sinceramente a los dirigentes de dicha Cia., Sr. Lic. J. Angel Cenicerros, Ing. Alvaro de Murga, Felipe Cenicerros e Ing. Victor M. Vidal las facilidades que me dieron para hacer mis prácticas.

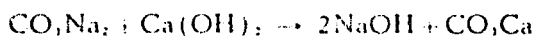
## **II.—GENERALIDADES SOBRE CAUSTIFICACION**



La manufactura de la sosa cáustica ocupa un lugar de importancia en el ramo de las industrias alcalinas. Esta importancia radica en el hecho de que industrias florecientes tales como las de papel, jabón, algodón mercerizado, seda artificial, explosivos, colorantes, etc., la necesitan como materia prima. Es de notarse también su extensa aplicación en trabajos científicos de laboratorio.

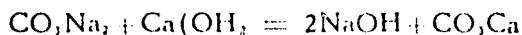
Existen dos métodos industriales para obtenerla: el de Caustificación y el Electroлитico. En mi estudio me dedicaré al primero, ya que es el usado en la industria del papel.

Para obtener sosa por el método de Caustificación, se hace reaccionar una solución de carbonato de sodio con una lechada de cal, de acuerdo con la siguiente reacción:



Los iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{CO}_3^{--}$  forman el compuesto carbonato de calcio, el cual tiene bajo producto de solubilidad y por tanto se precipita. Por otra parte, el carbonato e hidróxido de sodio son muy solubles, mientras que el hidróxido de calcio posee también bajo producto de solubilidad.

La reacción procede en el sentido indicado aumentando la concentración de hidróxido de sodio; este aumento en iones  $\text{OH}^-$ , por el "Efecto del Ion Común", disminuye grandemente la solubilidad del hidróxido de calcio, hasta llegar un momento en que ya no es más soluble que el carbonato de calcio y la reacción alcanza el equilibrio:



A final de la reacción, en la fase líquida resultante, ni el hidróxido ni carbonato cálcicos podrán existir en la solución en cantidad considerable. De aquí deducimos que en la reacción de caustifica-

ción. el equilibrio queda controlado por la concentración del carbonato e hidróxido de sodio.

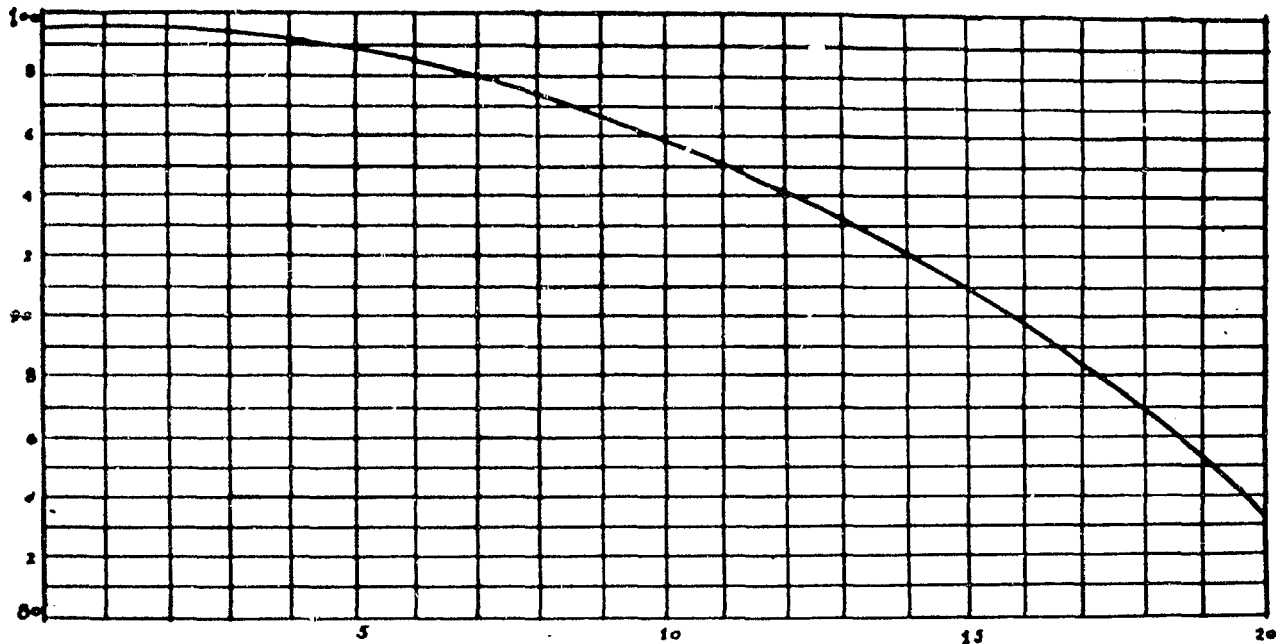
Aplicando la Ley de las Masas, tenemos:

$$K = \frac{(2a)^2 \cdot (2OH)^2}{(2Na)^2 \cdot (CO_2)} = \frac{(2OH)^2}{(CO_2)}$$

Por tanto, para obtener máxima conversión de carbonato a hidróxido de sodio, debemos mantener la concentración de iones  $CO_2$  en la solución lo más baja posible.

A continuación adjunto la gráfica que muestra el equilibrio de caustificación. La concentración del carbonato de sodio, en las abscisas está dado en peso de soluto / peso de 100 c.c. de solución. Supone que se trabaja con cal hidratada sólida. La tomé del libro: *Manufacture of Soda* de Te-Pang Hou.

•% DE CONVERSION•



•% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>  
•EQUILIBRIO DE CAUSTIFICACION•

**III.—FUNCION QUE DEBE LLENAR LA PLANTA DE  
CAUSTIFICACION EN EL PROCESO DE  
RECUPERACION.**

La recuperación de sustancias químicas es la operación más importante, desde el punto de vista económico, en una fábrica de papel Kraft. Por tanto, las utilidades de la planta dependen en gran parte de la buena marcha en operación de esta fase del proceso.

A continuación explico, a grandes rasgos, el proceso desarrollado en Atenquique para la manufactura del papel Kraft y el departamento de Recuperación.

La madera (procedente de árboles de la familia de las coníferas) en fragmentos de dos a tres pulgadas es sometida a la acción del licor blanco, vapor vivo y presión en los aparatos llamados digestores. Después de aproximadamente dos horas de cocimiento, las sustancias activas del licor blanco, sosa y sulfuro de sodio, se habrán combinado con las sustancias orgánicas de la madera, excepto con la celulosa la cual nos dará la pulpa y ésta a su vez se transformará en papel.

La pulpa obtenida en la operación de cocimiento es lavada a través de un sistema de tres filtros de tipo oliver; el agua se aplica al último filtro, el líquido de lavado va en contra-corriente con la pulpa. El filtrado del primer filtro, o sea la solución más concentrada, se denomina licor negro, el cual contiene las sales de sodio del licor blanco, pero ahora en forma de compuestos orgánicos en su mayor parte.

Una vez que la pulpa se ha lavado se somete a la centrifugación para separar las astillas de madera que no fueron atacadas en el cocimiento. Pasa luego a los jordanes en donde se desmenuzan las fibras de celulosa, quedando así en condiciones de pasar a la máquina de papel. Sustancias químicas tales como jabón de brea, sulfato de aluminio y almidón se añaden a la pulpa, antes de entrar a la máquina de papel, para obtener un producto más resistente.

El licor negro, cuya composición, es:

Agua .....	794	grs./lt. de sol.
Acidos orgánicos .....	117	" " "
Sales orgánicas de Na .....	22.5	" " "
CO <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> .....	27.5	" " "
SNa <sub>2</sub> .....	17.6	" " "
NaOH .....	4.5	" " "
SO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> .....	12.1	" " "

y otras sales de sodio de menor importancia, tales como: cloruro, sulfito y tiosulfato, se somete al proceso de recuperación, en el cual, sus sales de sodio son tratadas químicamente para generar el licor blanco que se usará de nuevo en la operación de cocimiento.

Primeramente es pasado por un sistema de cinco evaporadores de tubos largos, verticales, donde se concentra de 20 a 45% de sólidos totales. A esta concentración es pasado a un evaporador de disco, en el cual mediante los gases procedentes de la caldera de reducción se concentra hasta 55% de sólidos totales.

A la salida del evaporador de disco se le mezcla una X cantidad de sulfato de sodio para balancear el sodio y azufre perdidos en el sistema.

Pasa luego a la caldera de reducción o recuperación en la cual se quema su materia orgánica, reduciéndose las sales orgánicas de sodio a carbonato y el sulfato a sulfuro. El objeto de esta caldera es doble: efectuar la reducción de las sales de sodio y aprovechar el valor calorífico del licor negro en generar vapor, el cual sumado al producido en la caldera de fuerza nos da el vapor total necesario para el consumo de la fábrica.

Las sales de sodio reducidas a carbonato y sulfuro, salen de la caldera en forma de fundido y caen al tanque de dilución donde son diluidas con "agua de lavado", como veremos más tarde, para dar la concentración debida a las sales de sodio, que estudiaremos al tratar sobre la concentración óptima del licor verde.

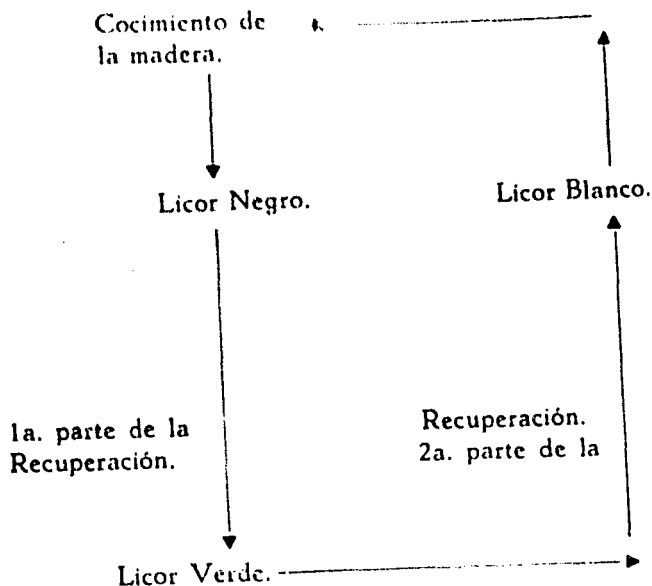
A partir de este punto del proceso llamaremos a la solución licor verde, ya que toma este color por la formación de sales de fierro.

En esta primera fase del proceso hemos recuperado el sulfuro

de sodio, que era uno de los elementos activos del licor blanco, y su otro elemento activo, la sosa, se obtendrán en la planta de caustificación, en la cual el carbonato de sodio del licor verde se hace reaccionar con cal para obtener finalmente el licor blanco que se usará de nuevo en el cocimiento de la madera.

La planta de caustificación, objeto de mi trabajo, debe llenar las siguientes funciones:

- 1o.—Convertir la mayor cantidad posible del carbonato de sodio en el licor verde o sosa.
- 2o.—Producir un licor blanco clarificado y de una concentración determinada.
- 3o.—Lavar el "lodo", carbonato de calcio en su mayor parte, formado en la reacción, para evitar pérdidas de sales de sodio en el sistema.

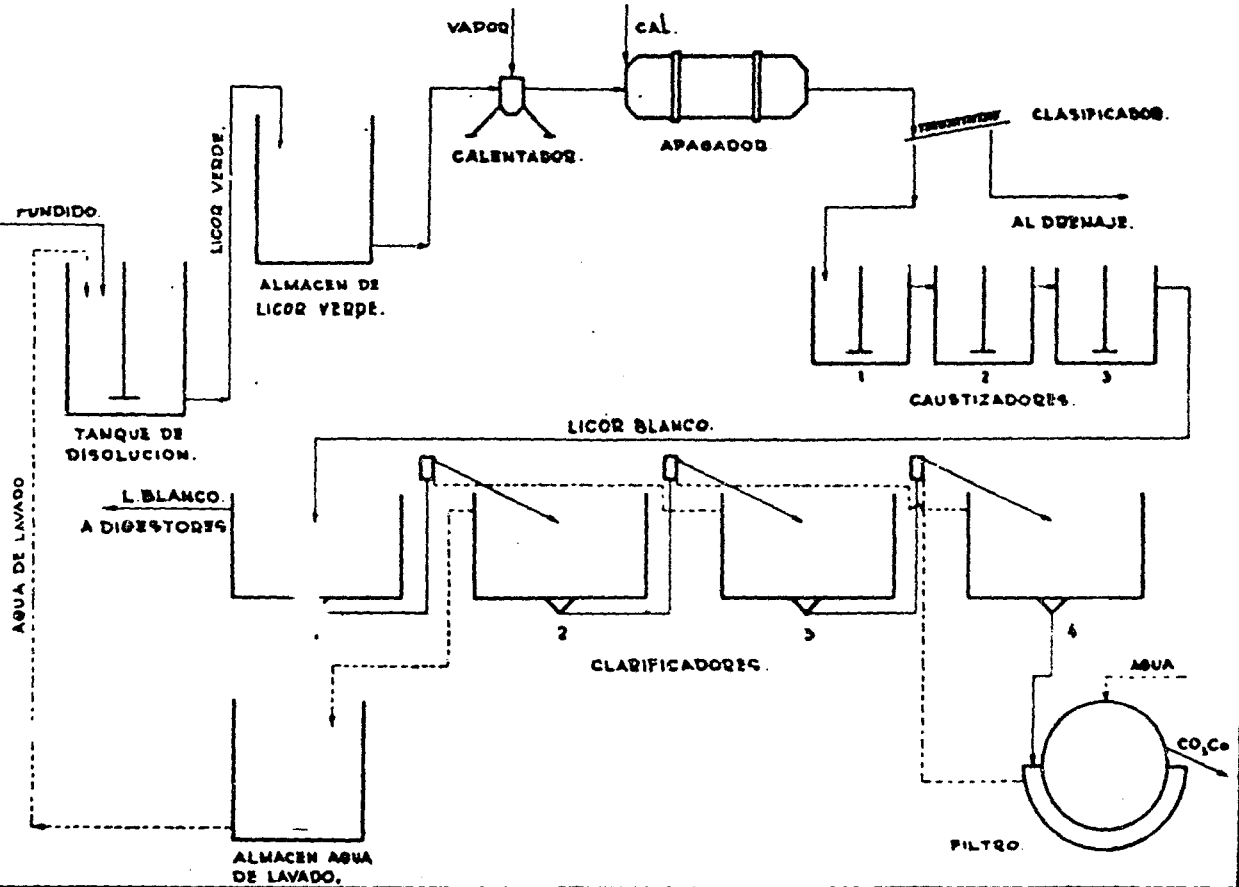


Por lo expuesto, vemos que la recuperación del licor de cocimiento, es un proceso continuo y cerrado; las pérdidas de sales de sodio son balanceadas, como ya cité, con sulfato de sodio. La cantidad añadida de éste = cantidad perdida en el sistema, debe mantenerse al mínimo mediante una buena operación.

#### IV.—DIAGRAMA DE FLUJO.—EXPLICACION.



• DIAGRAMA DE FLUJO.



LIBRARY  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
LIBRARY

Las sales de sodio, en forma de fundido, salen de la caldera de reducción y caen al tanque de disolución donde son diluidas con "agua de lavado", procedente del sistema lavador de lodos, hasta alcanzar una concentración determinada que la fijaremos al estudiar la concentración óptima del carbonato y sulfuro de sodio en el licor verde. Este tanque está provisto de un agitador y bomba de recirculación para obtener solución homogénea.

Una bomba centrífuga es la apropiada para mandar el licor verde al tanque de almacenamiento, otra bomba centrífuga toma el licor del tanque y lo manda a la planta de caustificación. La capacidad de esta bomba se regula de tal manera que se obtiene una operación continua.

Pasa el licor al calentador en el cual con vapor directo se eleva su temperatura de 70° C aproximadamente a 90° C para prepararlo a la operación de apagado de la cal; ésta se alimenta al apagador en pedazos no mayores de dos pulgadas de diámetro aproximadamente mediante un conductor helicoidal que a su vez la toma de un silo almacenador. En este punto del proceso, principia la reacción de caustificación. Descarga el apagador a un clasificador en el cual se separa la materia inerte e impurezas voluminosas de la cal.

Por gravedad pasa la solución a tres tanques en serie o caustificadores, provistos con agitador, donde la reacción alcanza el equilibrio. Del caustizador No. 3 fluye la solución, por gravedad, al clarificador No. 1 en el cual se sedimenta el carbonato de calcio formado en la reacción y el licor blanco, clarificado, queda en condiciones de usarse en la operación de cocimiento.

El sistema lavador de lodos, a contra-corriente, consta de tres clarificadores Door de simple compartimiento y un filtro de tipo oliver, cuyo principal objeto es el de preparar el carbonato de calcio para una posterior calcinación y recuperar el óxido de calcio que se usaría nuevamente en la reacción. La fábrica no cuenta con esta instalación.

Bombas de diafragma Door son las empleadas para recircular el lodo sedimentado a través de los asentadores.

El "agua de lavado", a una temperatura de 60° C se aplica al cilindro de filtro: el camino seguido por esta es a contra-corriente como el lodo.

El derrame o sobre-flujo del clarificador No. 2 denominado "agua de lavado", rico en sales de sodio, fluye al tanque almacenador de donde se toma para la solución del fundido.

Todo el equipo está forrado con aislante térmico para evitar pérdidas de calor.

En cuanto al mantenimiento del equipo debe ser constante, ya que está sujeto a la acción abrasiva del carbonato de calcio y el ataque químico de los componentes de los licores.

**V.—ESTUDIO SOBRE LAS VARIABLES: CONCENTRACION,  
SULFIDEZ, TEMPERATURA Y CALIDAD DE CAL.**

Estas cuatro variables son las más importantes en la caustificación del licor verde, de ellas depende el grado de complejión de la reacción y las características de asentamiento del carbonato de calcio producido.

## CONCENTRACION DEL CARBONATO DE SODIO

Como se vió en el punto segundo, a mayor concentración del carbonato de sodio en la solución por caustificar, decrece el por ciento de conversión y por tanto también disminuye la cantidad de sosa producida.

El trabajar con un licor verde de poca concentración en carbonato de sodio, nos dará mayor conversión de carbonato a sosa, pero esto implica el tener que manejar un volúmen excesivo de solución que en nuestro caso no es conveniente, ya que el volúmen del licor blanco usado en el cocimiento está en función de su concentración. Por tanto trabajando con esta solución diluida aumentamos la cantidad de agua en el licor negro y en consecuencia vendria luego el problema de la evaporación de esa cantidad excesiva de agua.

Industrialmente se trabaja con soluciones que contienen de 111 a 128 grs. de  $\text{SO}_3\text{Na}_2$ /t. de sol. = 65 a 75 grs./lt. de sol., base de  $\text{Na}_2\text{O}$ , obteniéndose una causticidad o por ciento de conversión que depende de los valores que veremos enseguida.

Con una solución que contenga 116.4 grs. de  $\text{CO}_3\text{Na}_2$ /lt. de sol. a 20° (que equivalen a 68 grs./lt. de sol., base  $\text{Na}_2\text{O}$ , obtenemos teóricamente, basándonos en la curva de equilibrio adjunta en el cap. II, un por ciento de conversión de 95.5 (correspondiente a una sol. de 10.58% de carbonato de sodio, grs. de soluto/100 grs. de sol.)

Las concentraciones de los álcalis: Carbonato, hidróxido y sul-

furo de sodio, las expresaré en sus equivalentes de  $\text{Na}_2\text{O}$ , ya que esta es la nomenclatura usada en la industria del papel.

El término Causticidad será sinónimo de por ciento de conversión o grado de compleción de la reacción.

Prácticamente no obtenemos esta causticidad, ya que la gráfica supone el uso de cal hidratada sólida y las cales que en nuestro caso nos vemos obligados a usar no exceden de 85% de  $\text{CaO}$  útil, como veremos al tratar sobre las cales.

Por otra parte, el uso de soluciones de carbonato de sodio muy concentradas, trae consigo la formación de sales dobles tales como el  $\text{CO}_3\text{Ca}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  y la Gaylucita  $\text{CO}_3\text{Ca}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_3\text{Na}_2$ , que aumentan la pérdida de esta sal en el sistema.

En trabajo de laboratorio observé, que trabajando con una sol. de la concentración citada (68 grs. lt. de sol. base  $\text{Na}_2\text{O}$ , a  $90^\circ \text{C}$ . usando cal de 80%  $\text{CaO}$  útil en un exceso de 5% del teóricamente necesario, se alcanza una causticidad de 80% con un tiempo de reacción de 15 min.

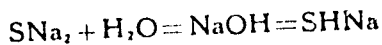
Logré aumentar la causticidad hasta 88% aumentando las variables: exceso de cal y tiempo de reacción: la primera a 10% y la segunda a 25 min.

En nuestro caso, tratar de conseguir causticidades mayores de 80% no conviene, ya que aumentaríamos el consumo de cal y por otra parte habría necesidad de equipo auxiliar para obtener mayor tiempo de reacción, pues con el que existe, damos a la reacción un tiempo de 15 min. aproximadamente.

## S U L F I D E Z.

La concentración del sulfuro de sodio en el licor verde es de importancia, ya que influye en la causticidad de la reacción.

A concentraciones altas se hidroliza:



Esta hidrólisis aumenta la concentración de iones  $\text{OH}'$ , y como vimos en el capítulo primero, este aumento disminuye la solubilidad del hidróxido de calcio y por tanto el equilibrio se anticipa.

Valores de 24 a 28 grs. de  $\text{SNa}_2$ /lt. de sol., base  $\text{Na}_2\text{O}$ , es la concentración en que debe estar este compuesto en el licor verde, para evitar la hidrólisis, por una parte, y por otra se ha demostrado que a menores concentraciones de este compuesto disminuye la resistencia del papel obtenido.

La concentración de la sosa en el licor verde depende de la manera de trabajar el sistema lavador de lodos. Valores de 6 a 8 grs./lt. de sol., base  $\text{Na}_2\text{O}$ , tenemos cuando los lodos son lavados bajo las condiciones que veremos adelante.

## TEMPERATURA

Trabajando con temperaturas elevadas no se consigue alta causticidad, pero si aumentamos la velocidad con que la reacción alcanza el equilibrio y también obtenemos un "lodo" con alto valor de asentamiento.

Por otra parte, trabajando con estas temperaturas, la solubilidad del hidróxido de calcio baja, ya que posee curva de solubilidad invertida, y la del carbonato cálcico sube; en consecuencia la reacción irá de derecha a izquierda, reduciéndose la causticidad obtenida.

Una temperatura de 90 °C en el licor verde balancea las condiciones arriba citadas.

El calentador con vapor directo (saturado) para el licor verde que aparece en el diagrama de flujo tiene algunos inconvenientes:

1o. —El no poderse regular exactamente el flujo de vapor cuando se varía el flujo del licor.

2o. —La condensación del vapor aumento la dilución del licor, aumentando por tanto el volumen del licor blanco obtenido. Esta disminución en la concentración del licor blanco aumentará el agua en el licor negro, lo cual trae consigo el problema de evaporación como ya cité al principio.

A continuación calculo un calentador, en el que se usará calor indirecto, será de serpentines, vapor dentro de los tubos. Aconsejo esta clase de calentador ya que se puede instalar a un precio bajo; por otra parte, el sulfato de sodio existente en el licor verde, aunque en pequeña cantidad, formará incrustaciones en el calentador, ya que esta sal posee curva de solubilidad invertida. Usando este tipo de calen-

tador fácilmente se podrá limpiar para mantener alto el coeficiente de transmisión de calor.

Consideré un flujo de 100 gal./min. (378.5 lts), cuya temperatura se va a elevar de 158° a 194° F (70° a 90° C). Se usará vapor saturado y seco a una presión de 32 lbs./pulg.<sup>2</sup> (kgs./cm<sup>2</sup>) gauge, ya que son las condiciones a que se encuentra el vapor en este departamento de la fábrica. El coeficiente total lo consideraré de 300 B. T. U./Hr.Ft.<sup>2</sup>°F (Perry pag. 1000). La gravedad específica del licor igual a 1.14, calor específico 0.85.

#### CANTIDAD DE CALOR NECESARIO:

$$Q = W \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = 194 - 158 = 36^\circ F$$

$$W = 378.5 \times 1.14 \times 2.2 = 949.18 \text{ lbs./min.}$$

$$= 56,950.8 \text{ lbs./Hr.}$$

$$c = 0.85$$

Substituyendo:

$$Q = 56,950.8 \times 0.85 \times 36 = 1,742,694.48 \text{ B.T.U./Hr.}$$

#### AREA NECESARIA PARA EL CALENTAMIENTO:

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

Despejando:

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T}$$

Temperatura del vapor correspondiente a la presión de 32 lbs./pug.<sup>2</sup> gauge: 276.67 °F.



El calentamiento se efectuará alimentando el líquido y vapor en corriente paralela:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{2.303 \log \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{118.67 - 82.67}{2.303 \log \frac{118.67}{82.67}} = 92.3^\circ \text{ F.}$$

$$\Delta T_1 = 276.67 - 158 = 118.67^\circ \text{ F}$$

$$\Delta T_2 = 276.67 - 194 = 82.67^\circ \text{ F}$$

$$U = 300 \text{ B.T.U. Hr. Ft.}^\circ \text{ F}$$

Substituyendo.

$$A = \frac{1.742.694.48}{300 \times 92.3} = 63 \text{ Ft.}^2$$

Usando tubería de hierro de 1 pulgada, por el apéndice No. 4 del Badger, tenemos 2.904 pie/pie<sup>2</sup>

Luego, la longitud de la tubería será.  $63 \times 2.904 = 182.95$  pies.  
= 55.8 mts.

### CANTIDAD DE VAPOR NECESARIO:

Temperatura del vapor:  $276.67^\circ \text{ F}$

Calor que necesitamos:  $1.742.694.98 \text{ B.T.U./Hr.}$

Calor que cede una libra de vapor al condensarse:

Del apéndice No. X del Badger, interpolando, obtenemos:

926.6 B.T.U./lb.

$$\frac{1.742.694.48}{926.6} = 1910 \text{ lbs. de vapor/Hr.}$$

## CALIDAD DE LA CAL.

El término calidad de la cal se refiere al por ciento de óxido de calcio,  $\text{CaO}$ , utilizable para la reacción. Es el factor básico para obtener buena causticidad y lodos de rápido asentamiento.

Adjunto el análisis de una muestra de cal procedente del cerro de Tuxpan:

Pérdida por ignición .....	3.7 %
$\text{SiO}_2$ y materia insolb. ....	4.3 "
$\text{R}_2\text{O}_3$ .....	3.4 "
$\text{CaO}$ .....	88.7 "
$\text{MgO}$ .....	trazas
	100.1 "

$\text{CaO}$  útil ..... 78.5%

La diferencia entre  $\text{CaO}$  y  $\text{CaO}$  útil nos indica la cantidad de óxido de calcio que se encuentra combinada en forma de carbonato cálcico. El origen de esta impureza en la cal se debe a dos causas principalmente: a).—que la piedra caliza no fué calcinada totalmente en la obtención del óxido, y b).—a la carbonatación, ocasionada por la humedad y  $\text{CO}_2$  del aire; por tanto no debe almacenarse por mucho tiempo, sino usarse lo más pronto posible después de obtenida.

La sílice, además de ser insoluble, aumentando el volúmen de lodos formados en la reacción, tiene acción abrasiva sobre el equipo.

Las sales de fierro, aluminio y sobre todo las de magnesio deben estar presentes en mínima cantidad ya que se ha demostrado su influencia en el bajo poder de asentamiento del carbonato de calcio producido en la reacción.

En Torreón hay calerar que producen cal hasta de 95%  $\text{CaO}$  útil, pero los fletes recargan su costo, siendo por esto más conveniente usar cales de la región. El valor cáustico de ellas raramente excede de 85%.

Existen grandes mantos de piedra caliza en las cercanías de la fábrica, y su explotación se hace en grande escala.

Dada la importancia que tienen la calidad y propiedades de la

cal en la reacción, debe controlarse su compra mediante previo análisis.

Adjunto tres pruebas de laboratorio hechas a las cuales más usadas. El método seguido para estas pruebas está estandarizado por el TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry).

Temp. Máx.	Prueba de apagado	Tiempo de asentamiento.	Volumen de sedimento.	% CaO útil.	Procedencia
39°	15 min. 10 sgs.	4 min.	330 cc.	79	Tuxpan
41.5	8 min. 10 sgs.	8 min. 30 cgs.	450 cc.	86	Huescalapa
38	7 min. 10 sgs.	6 min. 10 sgs.	350 cc.	76	Buen Pais

Prueba de apagado—20 grs. de la cal molida se ponen en un vaso de precipitados y se añaden 180 cc. de agua a 30° C; mezcle con agitador mecánico (100-200 R.P.M.) Anote el tiempo necesario para que la solución alcance la temperatura máxima.

Tiempo de Asentamiento y Volumen de Sedimento.—Se pesan 200 gramos de carbonato de sodio, equivalentes a 117 gramos de  $\text{Na}_2\text{O}$ , se ponen en un vaso de 2,000 cc. con 1,800 cc. de agua. Lleve a ebullición durante 15 minutos. Al finalizar los 15 minutos, pase el contenido del vaso de precipitados a una probeta de 2,000 cc. Anote tiempo y volumen total. El tiempo necesario para que se sedimente la mitad del volumen total se llama Tiempo de Asentamiento.

El volumen que alcanza el sedimento después de 120 minutos se llama Volumen de Sedimento.

La determinación de CaO útil se efectúa mediante un análisis empírico que consta de dos pasos:

1er. paso: — De la muestra de cal previamente molida (debe pasar la malla No. 100 de la escala de Taylor) tome 1.4 gramos. Póngalos en un erlenmeyer, diluya con 200 cc. de agua previamente hervida; hierva durante tres minutos; enfrie evitando el contacto con el  $\text{CO}_2$  del aire. Titule con ácido clorhídrico usando fenolftaleína como

indicador. El punto final de la titulación se anota cuando la coloración de indicador desaparezca y no vuelva hasta dos segundos después. El retorno de la coloración roja de la fenolftaleína al finalizar la titulación se debe a lo siguiente: Una vez que ha sido neutralizado el hidróxido de calcio con el ácido clorhídrico vira la coloración roja a incolora. El pH de la solución en este punto es de 8.3. El carbonato cálcico existente en la cal, aunque con un grado de disociación pequeño, de reacción alcalina, lo cual ocasiona que el indicador a la solución de nuevo el tinte rojo. Por tanto, este primer paso debe hacerse rápido para evitar que el carbonato cálcico reaccione con el ácido.

2o. paso: — Tome otra muestra de la misma cantidad de cal (1.4 grs.), póngase en un frasco volumétrico de 1 lit., agregue 200 cc. de agua destilada y previamente hervida. Hierva la solución durante tres minutos, enfríe como en el primer paso. Añada un volumen de ácido clorhídrico igual al necesario para la primera titulación menos 5 cc. Esta cantidad de ácido se llama volumen A. Afore, agite y deje asentar durante 30 minutos. Tome 200 cc. del líquido claro con una pipeta y titule rápidamente con clorhídrico usando fenolftaleína como indicador. El volumen de ácido necesario para esta segunda titulación se denomina volumen B.

Con este segundo paso hemos chequeado O comprobando la cantidad de ácido necesaria para neutralizar únicamente el hidróxido de calcio.

El por ciento de CaO útil es igual a  $2A + B$ .

La temperatura máxima y el volumen del sedimento varían proporcionalmente al por ciento de CaO útil, puesto que la primera es causada, casi en su totalidad, por el calor de hidratación del óxido de calcio, y el Volumen de Sedimento a la cantidad de carbonato de calcio producido.

Valores para el Tiempo de Asentamiento varían en función del contenido de sales de magnesio, como cité al principio.

Resultados para la Prueba de Apagado de 10 minutos o cercanos son los mejores; mayores nos indican alto contenido en sales de magnesio, resultados menores demuestran poco contenido de CaO útil.

**VI.—PUNTOS DEL PROCESO EN QUE DEBE FIJARSE  
EL CONTROL QUIMICO.**

El control fisico-químico de la planta lo dividirá en dos partes:

a.—Control Químico.

b.—Aparatos de Control.

La buena operación de la planta depende en gran parte de este punto de mi trabajo, ya que tratamos con un proceso continuo y variable.

## CONTROL QUIMICO.

El control químico debe ser constante para reportar la concentración de los licores, por ejemplo, que se obtienen al trabajar con una cal de determinadas características. Con los análisis practicados en los diferentes puntos del proceso deduciremos la manera más eficaz de trabajar.

Los puntos en los cuales debe practicarse el control analítico son los siguientes:

1.—Tanque de disolución.—En este tanque, como ya expliqué, se diluye el fundido con "agua de lavado" para obtener un licor verde de determinada concentración. El alcali total de este licor deberá fluctuar entre 102-105 grs./lt. de sol., base  $\text{Na}_2\text{O}$ . La distribución de los álcalis la fijaremos en el punto: Cálculos Estequiométricos. La cantidad de sulfuro y carbonato de sodio en el fundido dependen de la cantidad de licor negro que se está quemando en la caldera de reducción, así como del por ciento de reducción de sulfato de sodio añadido.

Este licor antes de iniciar la reacción de caustificación, requiere un análisis para expresar la concentración de sus principales componentes: carbonato, sulfuro e hidróxido de sodio. Por medio de este aná-

lisis controlamos la cantidad de "agua de lavado" que debe ser introducida al tanque. El análisis consta de tres pasos.

**PRUEBA A.**—Ponga 5 cc. de licor claro en un erlermeyer de 250 cc., diluya con 15 cc. de agua, añada unas gotas de indicador, fenolftaleína y titule con ácido clorhídrico. El volumen de ácido necesario para la neutralización será la prueba A.

**PRUEBA B.**—Añada unas gotas de anaranjado de metilo a la solución A después de haber sido decolorada la fenolftaleína y titule nuevamente. El volumen de ácido usado será la prueba B.

**PRUEBA C.**—Con una pipeta tome 50 cc. de licor claro y póngase en un frasco volumétrico de 250 cc. Añada un volumen igual de solución de cloruro de bario al 20%. Aflore con agua, agite, deje asentar. De la porción clara tome 25 cc. y titule usando anaranjado de metilo como indicador. El volumen de ácido requerido será la prueba C.

Suponiendo que los volúmenes de ácido necesarios para las pruebas fueron:

Para prueba A	.....	17.0 cc.	ClH N/1
" "	B	.....	20.5 " " "
" "	C	.....	18.0 " " "

La concentración de cada uno de los álcalis se determina así:  
1er. Paso:

$$B = \text{NaOH} + \text{SNa}_2 + \text{CO}_2\text{Na}_2 = 20.5 \text{ cc.}$$

$$C = \text{NaOH} + \text{SNa}_2 = 18.0 \text{ "}$$

$$B - C = \text{CO}_2\text{Na}_2 = 2.5 \text{ "}$$

2o. Paso:

$$B = \text{NaOH} + \text{SNa}_2 + \text{CO}_2\text{Na}_2 = 20.5 \text{ "}$$

$$A = \text{NaOH} + 1/2 \text{SNa}_2 + 1/2 \text{CO}_2\text{Na}_2 = 17.0 \text{ "}$$

$$\begin{array}{rcl}
 B - A & = & 1/2 \text{SNa}_2 + 1/2 \text{CO}_3\text{Na}_2 & = & 3.5 \text{ ''} \\
 2(B - A) & = & \text{SNa}_2 + \text{CO}_3\text{Na}_2 & = & 7.0 \text{ ''}
 \end{array}$$

3er Paso:

$$\begin{array}{rcl}
 2(B - A) & = & \text{SNa}_2 + \text{CO}_3\text{Na}_2 & = & 7.0 \text{ ''} \\
 B - C & = & \text{CO}_3\text{Na}_2 & = & 2.5 \text{ ''}
 \end{array}$$

---


$$2(B - A) - (B - C) = \text{SNa}_2 \quad = \quad 4.5 \text{ ''}$$

4o. Paso:

$$\begin{array}{rcl}
 B & = & \text{NaOH} + \text{SNa}_2 + \text{CO}_3\text{Na}_2 & = & 20.5 \text{ ''} \\
 2(B - A) & = & \text{SNa}_2 + \text{CO}_3\text{Na}_2 & = & 7.0 \text{ ''}
 \end{array}$$

---


$$B - 2(B - A) = \text{NaOH} \quad = \quad 13.5 \text{ ''}$$

5o. Paso:

Aplicando los factores analíticos para cada volumen de ácido, tenemos:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{NaOH} & = & 13.5 \times 8 & = & 108 \text{ grs./lt. de sol.} \\
 & & 13.5 \times 6.2 & = & 83.7 \text{ '' '' '' como Na}_2\text{O} \\
 \text{SNa}_2 & = & 4.5 \times 7.8 & = & 31.5 \text{ '' '' ''} \\
 & & 4.5 \times 6.2 & = & 27.9 \text{ '' '' ''} \\
 \text{CO}_3\text{Na}_2 & = & 2.5 \times 10.6 & = & 26.5 \text{ '' '' ''} \\
 & & 2.5 \times 6.2 & = & 15.4 \text{ '' '' ''}
 \end{array}$$

Los resultados de estos análisis, tanto de licor blanco como verde, deberán ser anotados en un reporte de laboratorio para ser consultados continuamente y controlar la operación.

Otros términos que deben anotarse en el reporte con el objeto de facilitar el control de operación, son los siguientes:

Alcali Total (Titulable).—Carbonato más sulfuro más sosa, expresados como  $\text{Na}_2\text{O}$ . En el ejemplo anterior tenemos: A.T.=127 grs./lt. de sol.



Alcali Activo.—Sosa mas sulfuro, expresados como  $\text{Na}_2\text{O}$ :  
A.A. = 111.60 grs./lt. de sol.

Causticidad.—Un por ciento encontrado dividiendo sosa por sosa más carbonato, todos expresados como  $\text{Na}_2\text{O}$ : = 84.5 %

El método analítico mostrado en el ejemplo corresponde a un licor blanco, para el verde se sigue la misma marcha.

2.—ANÁLISIS A LA CAL. — Con el dato de  $\text{CaO}$  útil y la concentración del carbonato de sodio en el licor verde, así como su flujo, encontramos la cantidad de cal necesaria para la reacción.

3.—CAUSTIZADOR No. 3. — En este tanque deberá chacarse, mediante análisis, que la reacción haya alcanzado la máxima causticidad, de lo contrario, en el clarificador habrá elevación de temperatura a consecuencia del calor de reacción, originándose corrientes internas que impiden el rápido asentamiento.

4.—LICOR BLANCO. — Este análisis nos sirve para dos cosas:

a).—Deducir si el trabajo en la planta de caustificación es correcto.

b).—En función de la concentración de su alcali activo está la cantidad de licor usado para el cocimiento de la madera.

5.—CLARIFICADORES. — Determinación de la gravedad específica de los lodos, y a partir de ésta, por ciento de insolubles mediante la fórmula:

$$\% \text{ Ins.} = \frac{\frac{100}{D_s} - \frac{100}{D_i}}{\frac{1}{D_s} - \frac{1}{D_i}}$$

$D_i$  = Densidad del lodo.

$D_s$  = " de la solución.

$D_i$  = " " insolubles, determinaciones para esta densidad, dieron el valor promedio de 0.4351.

Mediante estas determinaciones controlamos el tiempo apropiado para bombear los lodos a través de los clarificadores. Con valores menores de 25 a 30 por ciento de insolubles habremos bombeado una cantidad excesiva de licor blanco en el clarificador No. 1, en consecuencia, disminuimos su producción y usaremos mayor cantidad de agua de lavado para evitar pérdidas de sales de sodio en el sistema. Los otros clarificadores deben trabajarse dentro de estos valores para efectuar un lavado correcto de los lodos.

6.—FILTRO TIPO OLIVER.—Se debe analizar el contenido de sales de sodio en la torta lavada. Con esto controlaremos el sistema lavador se trabajó correctamente, así como también nos indicará la cantidad mínima de agua de lavado que debe introducirse en el filtro para liberar una torta cuyo contenido de sales de sodio sea entre 0.2 y 0.5 por ciento expresadas como  $\text{Na}_2\text{O}$  base seca.

Debe analizarse en la torta el contenido de  $\text{CaO}$  útil. Como es obvio, de este dato deducimos si el exceso en que se añade la cal en el apagador es correcto. Pérdidas de 2 a 4 por ciento base seca con permisibles.

## APARATOS DE CONTROL

Tan importante como el control químico es el uso de aparatos que faciliten el trabajo en la planta. Los puntos del proceso en que deben estar instalados son los siguientes:

1.—Medidores de flujo e integradores:

- a.—En la tubería de licor verde.
- b.—En la tubería de licor blanco, a la salida del clarificador.
- c.—En la tubería de agua de lavado al filtro.

En la primera y última tubería ya se encuentran instalados estos aparatos. Constan de un orificio, la diferencia de presión es captada por un manómetro de la Foxboro; mercurio es el líquido usado para accionar, mediante la diferencia de presiones, la pluma que indica en la gráfica el flujo. Otro aditamento de estos aparatos es el integrador, el cual, mediante un juego de engranes indica numéricamente el volumen de líquido que pasa por la tubería en un tiempo determinado.

## AGUA NECESARIA.

H<sub>2</sub>O necesaria:  $26.07 \times 0.8 \times 18/56 = 6.7 \text{ kgs./min.}$   
 $= 9.6 \text{ Ton. mts./dia.}$

## CARBONATO DE CALCIO PRODUCIDO

CO<sub>2</sub>Ca producido:  $0.355 \times 100 = 35.5 \text{ kgs./min.}$   
 $= 51.12 \text{ Ton. métricas/dia.}$

## PRODUCCION DE LICOR BLANCO.

Para calcular la producción de licor blanco partiré de las siguientes concentraciones de los álcalis en el icor verde:

BASE: Na <sub>2</sub> O			
CO <sub>2</sub> Na <sub>2</sub>	... 68 grs./lt. de sol.	.....	116.4 grs./lt. de sol.
SNa <sub>2</sub>	... 24 " " "	.....	30.2 " " "
NaOH	... 10 " " "	.....	7.75 " " "
Alcali Total: 102			153.35 " " "

### AGUA EN LICOR VERDE:

Gravedad específica 20/4°C.	: 1.14
100 c.c. de solución pesarán	: 114 grs.
Alcali Total	: 15.34 grs.
De donde, H <sub>2</sub> O	: 98.66 "

En 378.5 lts. de licor verde tendremos 375.4 lts. de agua.

Podemos establecer esta ecuación:

H<sub>2</sub>O en licorverde — (H<sub>2</sub>O necesaria para la reacción + H<sub>2</sub>O evaporada) = H<sub>2</sub>O en licor blanco.

H <sub>2</sub> O necesaria para la reacción	: 6.70 lts./min.
H <sub>2</sub> O evaporada, (aproximación)	: 56.78 "
Total	: <u>63.48</u> "

## LA REACCION.

Para desarrollar mis cálculos estequiométricos tomaré como base: un flujo de licor verde de 100 gal./min. con una concentración de carbonato de sodio, base  $\text{Na}_2\text{O}$ , de 68 grs./lt. de sol., una causticidad de 80%.  $\text{CaO}$  útil en la cal usada 80%.



PESOS MOLECULARES:		100 gal./min. = 378.5 lts./min.
$\text{CO}_2\text{Na}_2$ .....	106	68 grs./lt. de sol., base $\text{Na}_2\text{O} =$
$\text{CaO}$ .....	56	116.4 grs. de $\text{CO}_2\text{Na}_2$ /lt. de sol.
$\text{H}_2\text{O}$ .....	18	
$\text{NaOH}$ .....	40	
$\text{CO}_2\text{Ca}$ .....	100	

### CANTIDAD DE CAL USADA.

CO <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> en licor verde:	$378.5 \times 116.4 =$	47.03 kgs./min.
"    que reacciona:	$47.03 \times 0.80 =$	37.6 " = 0.355 Kg.-Mol.
Cal de 100% necesaria:	$0.355 \times 56 =$	19.8 "
"    "    80%    "	$19.8 / 0.80 =$	24.83 "
5 % de exceso:	$24.83 \times 1.05 =$	26.04 "
		= 37.54 Ton. métricas/día.

### CANTIDAD DE SOSA PRODUCIDA.

NaOH producida:	$0.355 \times 2 \times 40 =$	28.4 kgs./min.
		= 40.89 Ton. métricas/día.

Los orificios ocasionan una pérdida de carga bastante grande, aconsejaría para el medidor de licor blanco un venturi, por tratarse de una instalación permanente, ya que el consumo de carga de estos medidores de flujo es menor.

2.—Termómetros industriales en las tuberías de:

a.—Licor verde, antes y después del calentador.

b.—En el caustizador No. 3.

c.—En la tubería de licor blanco, a la salida del clarificador.

d.—En la tubería de agua de lavado al filtro.

Estos son los cuatro puntos importantes en que debe ser controlada la temperatura. El primero nos controlará el trabajo del calentador, la temperatura del licor verde a la salida deberá ser de  $90^{\circ}\text{C}$ , como ya expliqué su razón de ser. El segundo nos controlará la temperatura máxima alcanzada por la reacción. El objeto del termómetro del agua de lavado para el filtro es el de controlar una temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  para efectuar un lavado correcto de la torta.

3.—Niveles para líquidos, en los tanques almacenes de licores y agua de lavado.

## VII.—CALCULOS ESTEQUIOMETRICOS.

Agua en licor blanco

$$: 373.4 - 63.48 = 309.92 \text{ lts.}$$

$$: 373.4$$

$$\frac{\quad}{309.92} \times 100 =$$

O sea, el volumen del licor verde es el 120.4 % del volumen del licor blanco.

NOTA. — No considero en este cálculo la cantidad de vapor que se condensa en el calentador con vapor directo.



## COMPOSICION DEL LICOR BLANCO PRODUCIDO

H <sub>2</sub> O en licor blanco	: 310 kgs.
SNa <sub>2</sub> " " "	: $30.2 \times 378.5 = 11.43$ kgs.
NaOH producida en reacción	: 28.4 kgs.
NaOH en licor verde	: $7.75 \times 378.5 = 2.9$ kgs.
NaOH Total en licor blanco	: 31.3 kgs.
CO <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> que no reacciona	: $47.03 - 37.6 = 9.43$ kgs.
Peso total del licor blanco producido:	: $310 + 11.43 + 31.3 + 9.43 = 362.16$ kgs.

Consideraré la densidad del licor blanco igual a 1.15.

$$V = P/D: 362.16/1.15 = 314.92 \text{ lts. de licor blanco.}$$

Este volumen de licor blanco producido concuerda con la relación para volúmenes de licor verde y blanco deducida anteriormente. (120.4%). por tanto, la suposición de la gravedad específica para el licor blanco de 1.15 es correcta.

La concentración de los álcalis en el licor blanco es como sigue:

$$\begin{aligned} \text{SNa}_2 : 11.43/314.92 &= 36.3 \text{ grs./lt. de sol.} \\ &= 36.3 \times 0.794 = 28.8 \text{ grs/lt. de} \\ &\quad \text{sol. base Na}_2\text{O} \\ \text{NaOH} : 31.3/314.91 &= 99.39 \text{ grs./lt. de sol.} \\ &= 99.39 \times 0.775 = 7.03 \text{ grs./lt. de} \\ &\quad \text{sol. base Na}_2\text{O} \\ \text{CO}_2\text{Na}_2 : 9.43/314.92 &= 29.94 \text{ grs./lt. de sol.} \\ &= 29.94 \times 0.5848 = 17.51 \text{ grs./t.} \\ &\quad \text{de sol. base Na}_2\text{O} \end{aligned}$$

## DISTRIBUCION Y BALANCE DE MATERIALES.

Para el balance de materiales considerare, además de los datos encontrados en los cálculos pasados, el promedio de análisis efectuados en la torta del filtro, determinaciones para fijar los insolubles que acompañan a los licores y a la cal.

### TORTA DEL FILTRO.

Sólidos totales .....	50%
Na <sub>2</sub> O .....	0.25% base seca.
CaO útil .....	4.0%

Impurezas insolubles del licor verde: 3.74 grs./lt.  
 " " " de la cal: 8%

BASE: 24 Hrs. de operación.

Licor verde en sistema	: 545.040 lts.
Contenido de Na <sub>2</sub> O	: 545.040 × 102 = 55.59 Ton.
Impurezas Insolubles	: 2.04 Ton.
Licor blanco producido	: 545.040 × 100/120.4 = 452.691 lts.
Contenido de Na <sub>2</sub> O	: 452.691 × 123.34 = 55.6 Ton.
Licor blanco al sistema de lavado	: 137.160 lts.
Contenido de Na <sub>2</sub> O	: 137.160 × 123.34 = 16.5 Ton.
Licor blanco a digestores	: 452.691 - 137.160 = 315.531 lts.
Contenido de Na <sub>2</sub> O	: 315.531 × 123.34 = 38.9 Ton.
Pérdida de Na <sub>2</sub> O en torta	: 133 kgs. (se calculará adelante)
Na <sub>2</sub> O en agua de lavado	: 16.5 - 0.133 = 16.36 Ton.

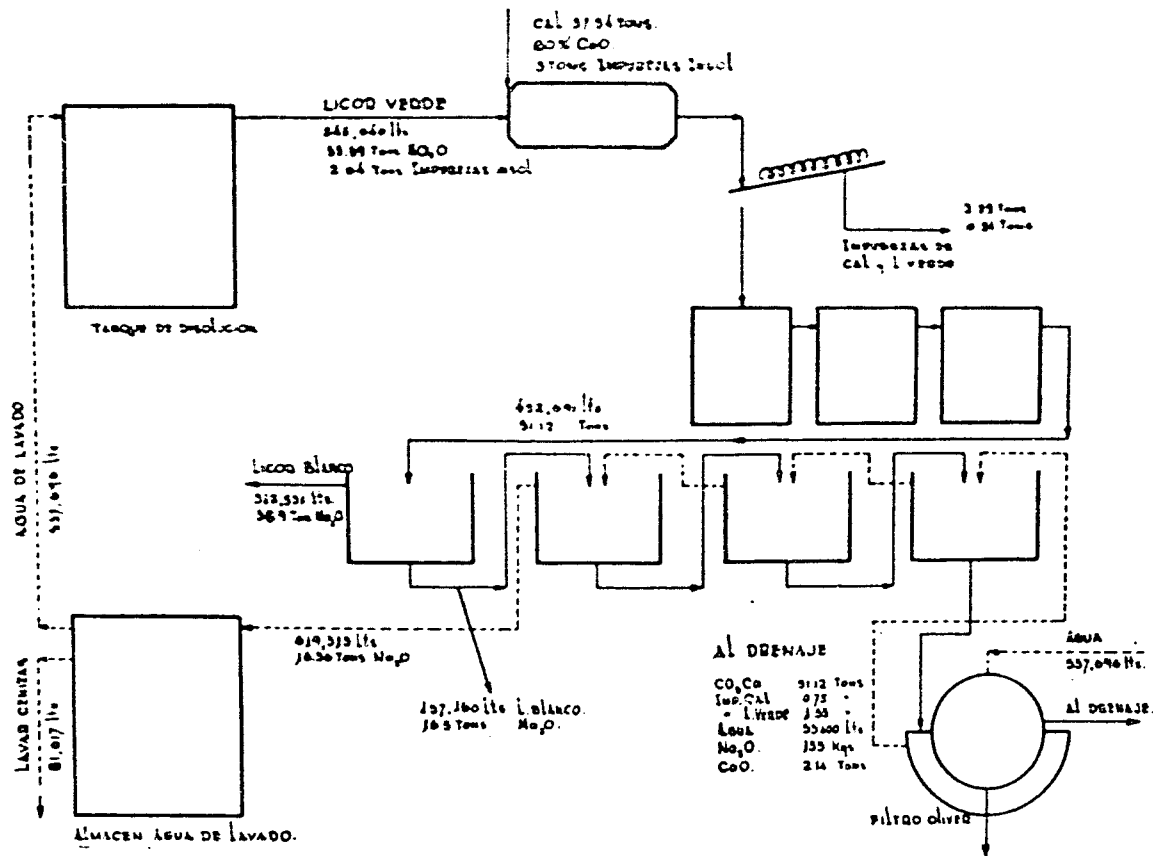
Por tanto, del total Na<sub>2</sub>O que entra al sistema, el 69.9% va en

## FE DE ERRATAS

Pág.	Línea	Escrito:	Debe ser:
Introducción	7	Sr.	Srs.
11	24	Ca(OH) <sub>2</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>
11	24		
12	4	(2a) <sup>2</sup>	(2Na) <sup>2</sup>
15	2	económica	económico
21	21	para	pasa
25	19	SO <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> /lt de sol.	CO <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> /lt. de sol. <span style="float: right;">N</span>
26	11	CO <sub>2</sub> Ca . 5H <sub>2</sub> O . CO <sub>2</sub> Na <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> Ca . 5H <sub>2</sub> O . CO <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub>
26	30	SNa <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O = NaOH = SHNa	SNa <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O $\rightleftharpoons$ NaOH + SHNa
27	25	aumento	aumenta
28	13	= 949.18 lbs/min.	= 949.18 lbs/min.
31	8	39°	39°C
31	11	cas.	sgs.
35	1	dividirá	dividiré
36	24	NaOH	NaOH
38	1	Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
38	10	chacarse	checarse
39	10	controlamos el	controlamos si el
39	17	base seca con	base seca son
46	2	· 100 =	× 100 = 120.4
48	10	123.34 = 38.8 Kgs. Na <sub>2</sub> O	123.34 = 38.8 Kgs. Na <sub>2</sub> O
49	6	área	área
50	12	lts. Hs.	lts/Hr.
51	1	Na <sub>2</sub> O lt. de sol.	Na <sub>2</sub> O/lt. de sol.
52	9	4.0 %	4.0 % " "
53	22	on	Ton.
53	26	80 %	80 %
55	3	el cálculo de la coden- sación del vapor	el cálculo de la composi- ción de este licor sin to- mar en cuenta la con- densación del vapor usa- do en el calentador di- recto.
57	9	(invertidos los libros de	Scott y Hougén & Watson)

# • DIAGRAMA DE FLUJO CUANTITATIVO •

• BASE 24 HORAS DE OPERACION •



MOYER  
REPUBLICA ARGENTINA  
SECRETARIA DE ECONOMIA  
DIRECCION NACIONAL DE INDUSTRIA  
1950

el licor blanco a digestores, 29.8% al sistema de lavado, en éste se recupera el 99.7% tirándose al drenaje en la torta del fitro únicamente 133 Kgs.

Cal que entra al proceso de	
80% CaO útil	: 37.54 Ton.
Impurezas insolubles	: 3.0 "
CaO útil	: $37.4 \times 0.80 = 30.0$ Ton.
CaO que reacciona	: $19.8 \times 60 \times 24 = 28.51$ Ton.
CaO que debe salir en torta	: $30.0 - 28.51 = 1.49$ Ton.

Peso de la torta de fitro:	
CO, Ca producido	: 51.12 Ton.
Impurezas de la cal	: 0.75 "
" del licor verde	: 1.53 "
Torta seca total	: 53.40 "
Agua en torta, por análisis	: 53.40 "
Torta húmeda total	: 106.80 "
Na <sub>2</sub> O perdido en torta, por análisis	: $106.8 \times 0.5 \times 0.25 / 100$
CaO útil perdido en torta por análisis	= 133 Kgs.
	: $106.8 \times 0.5 \times 4 / 100 = 2.14$ Ton.

Calculando la pérdida de CaO útil por el dato del análisis (2.14 on.) se observa que su valor está excedido del teórico (1.49 Ton., que equivale a un exceso añadido en el apagador de 5%). Esto indica que los días en que se efectuaron los análisis se trabajó con un exceso de cal mayor, o también puede ser debido a que la causticidad obtenida en esos días fué menor de 80%.

De las impurezas insolubles que acompañan a la cal y licor verde, 3 y 2.04 Ton. respectivamente, 5.04 Ton. totales, se distribuyen de la siguiente manera:

Impurezas totales en el clasificador	: 2.76 "
De las de la cal salen en el clasificador:	2.25 Ton. (el 75%)
.. .. del licor .. .. ..	: 0.51 " (el 25%)
Impurezas totales en el clasificador	: 2.76 "
En la torta salen correspondientes a la cal:	0.75 Ton.
" " " " " al licor:	1.53 "



Por tanto,  $C_b = S_b \cdot C_o = 0.0617 \times 123.34 = 7.61$  grs.  $\text{Na}_2\text{O}$ /lt. de sol.

$$\text{Composición del derrame en C : } S_c = \frac{R^{n+1} - 1}{R^{n+1} - 1}$$

$$\text{Substituyendo: } S_c = \frac{3.9 - 1}{3.9^4 - 1} = 0.0126$$

Por tanto,  $C_c = S_c \times C_o = 0.0126 \times 123.24 = 1.55$  grs.  $\text{Na}_2\text{O}$ /lt. de sol.

$$\text{Eficiencia de lavado} = \frac{C_a - R}{C_o}$$

$$\text{Substituyendo: } \frac{3122 \times 3.9}{123.24} \times 100 = 98.7 \%$$

De este último dato deducimos, que con los tres asentadores únicamente, se alcanza una eficiencia de lavado bastante alta. Usando el filtro, e introduciendo el agua de lavado en esta unidad, se tendrá una pérdida de sales de sodio en la torta del filtro casi nula.

En Resumen: Base  $\text{Na}_2\text{O}$

NaOH	....	77.03	grs./lt. de sol.	....	99.39	grs. lt. de sol.
$\text{SNa}_2$	....	28.8	" " "	....	36.3	" " "
$\text{Co}_2\text{Na}_2$	....	17.51	" " "	....	29.94	" " "
Alcali Total		<u>123.34</u>	" " "		<u>165.43</u>	" " "

Para comprobar estos cálculos, hago un balance de  $\text{Na}_2\text{O}$  en los licores. Alcali total, como  $\text{Na}_2\text{O}$ , en licor verde = Alcali total en licor blanco.

Verde :  $378.5 \times 102 = 38.6$  kgs.  $\text{Na}_2\text{O}$ .  
 Blanco :  $314.92 \times 123.34 = 38.8$  kgs.  $\text{Na}_2\text{O}$ .



## SEDIMENTACION DEL CARBONATO DE CALCIO Y LAVADO.

CO<sub>2</sub>Ca producido : 51.12 Ton. métricas/día.  
2.13 " " /Hr.  
56.36 Ton. cortas/día.

El diámetro del clarificador No. 1 es de 30 pies. Por tanto, el área de asentamiento de que se dispone es de:  $3.1416 \times 15^2 = 706.86$  pies cuadrados.

El Paper Trade Journal nov.-1947, fija un área unitaria para equipo de asentamiento, fábricas de pulpa kraft, de 12 pies<sup>2</sup>/Ton. Corta de lodo seco por día, basada en 30% de sólidos.

$$12 \times 56.36 = 676.3 \text{ pies}^2$$

Por tanto, el asentador No. 1 posee un margen de:  
 $706.86 - 676.3 = 30.56 \text{ pies}^2$ , equivalente a un % de 4.3.

El valor para área de asentamiento fijada por el Paper Trade Journal, supone cales que produzcan lodos de rápido asentamiento. En nuestro caso frecuentemente no es necesaria el área de asentamiento disponible, debido a la mala calidad de las cales usadas.

Para resolver el problema de lavado, en contra-corriente y continuo, consideraré el sistema compuesto únicamente por tres asentadores, sin incluir el filtro. El agua de lavado se introduce en el último, llamaré a los asentadores A, B y C. Seguiré el método mostrado en la revista Chemical Engineering, enero de 1950.

### NOMENCLATURA:

Co = Concentración del soluto en la solución original que entra al sistema sin incluir los lodos.

Impurezas totales que salen en torta:	2.28	..
"    "    en las dos salidas:	5.04	..
Agua en licor verde	537,696	lts.
"    "    blanco	446,285	"
" para reacción + evaporada	537,696 + 446,285	= 91,141 lts.
" en el licor que entra al sistema de lavado	135,017	lts.
Agua perdida en torta	53,400	lts.
" a almacen de agua de lavado"	(537,696 + 135,017) - 53,400	619,313 lts.

De este volumen de agua que va al almacen, se necesitarán 537,696 lts. para efectuar la disolución de fundido y el resto, 81,617 lts. se utilizarán para lavar las cenizas de la caldera de reducción, las cuales poseen un alto contenido en sales de sodio

## CONCLUSIONES.

La instalación del calentador con calor indirecto para el licor verde, mejorará mucho la concentración del licor blanco producido, como lo demuestra el cálculo de la condensación del vapor usado en el calentador directo. A las condiciones actuales de operación puede considerarse que la dilución del licor verde debida a la condensación del vapor es aproximadamente igual a la pérdida de agua evaporada debida a la temperatura ocasionada por el calor de reacción.

El material insoluble que acompaña al licor verde, compuesto de material refractario y cenizas en su mayor parte, procedentes de la caldera de reducción, afectarán la transmisión de calor en los serpentines de calentador. Estas impurezas influyen también en la causticidad de la reacción y en el lavado de los lodos. En caso de llevarse a cabo el proyecto de la instalación de un horno para calcinar el carbonato cálcico producido en la reacción, disminuirán la pureza de la cal obtenida.

En los cálculos del sistema de lavado se ve que con los tres clarificadores, sin considerar el filtro de tipo oliver se obtiene una eficiencia de lavado de 98.7%. Por tanto, podría usarse uno de ellos para sedimentar las impurezas del licor verde, pues supongo que el aumento en las pérdidas de  $\text{Na}_2\text{O}$  ocasionadas por este cambio en el sistema de lavado quedarán ampliamente compensadas con las ventajas que se obtendrán al trabajar con un licor verde clarificado.

Análisis efectuados en el último caustizador indican que la reacción no ha alcanzado el equilibrio, pues la causticidad es mayor en el clarificador No. 1. Como indiqué al tratar sobre el control químico, es

de importancia que en el clarificador no continúe la reacción. Por tanto, debe aumentarse el tiempo de reacción. La fábrica cuenta con dos apagadores de cal, mientras trabaja uno, el otro está parado. Podría instalarse una bomba centrífuga a la salida del custizador No. 3, que mandara la solución al segundo apagador y de éste, por gravedad, iría al clarificador No. 1. La potencia consumida por el motor usado para la bomba será pequeña, ya que estas dos unidades se encuentran a una diferencia de nivel de seis metros. Con esto aumentaremos el tiempo de reacción, obteniendo mayor causticidad en la reacción y mejor asentamiento en el clarificador No. 1.

JORGE RUIZ VELASCO FLORES.

## BIBLIOGRAFIA.

- PERRY ..... CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK.
- TAPPI (1) ..... THE MANUFACTURE OF PULP AND PAPER Vol. 111.
- SÜTERMEISTER ..... CHEMISTRY OF PULP AND PAPER MAKING.
- TE-PANG HOU ..... MANUFACTURE OF SODA.
- BADGER & McCABE . . . . . ELEMENTS OF CHEMICAL ENGINEERING.
- SCOTT ..... INDUSTRIAL CHEMICAL CALCULATIONS.
- HOUGEN & WATSON . . . . . STANDARD METHODS OF CHEMICAL ANALYSIS.

Algunos números de las siguientes revistas:

Chemical and Metallurgical Engineering.  
Paper Trade Journal.

(1)—Abreviación TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY.

## INDICE.

- 1.—Introducción.
- 2.—Generalidades sobre Caustificación.
- 3.—Funciones que debe llenar la planta de Caustificación en el proceso de Recuperación.
- 4.—Diagrama de Flujo.—Explicación.
- 5.—Estudio sobre las variables: Concentración, Sulfidez, Temperatura y Calidad de la Cal.
- 6.—Puntos del proceso en que debe fijarse el control químico.
- 7.—Cálculos Estequiométricos.
  - a) La Reacción.
  - b) Producción de Licor Blanco.
  - c) Composición del Licor Blanco producido
  - d) Sedimentación del Carbonato de Calcio y Lavado.
  - e) Distribución y Balance de Materiales.
  - f) Diagrama de Flujo Cuantitativo.
- 8.—Conclusiones.
- 9.—Bibliografía.