

Estudio sobre la Caustificación  
de los Carbonatos Alcalinos  
en el Estado de Jalisco.

Tesis

Que para obtener el Título de  
Ingeniero Químico presenta,

J. Javier Cárdenas Ochoa.

Guadalajara, Jal., Mayo de 1948.



QUÍMICA



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.

1 diag. f. d. t.  
1 prof. f. d. t.

1

# Estudio sobre la Caustificación de los Carbonatos Alcalinos en el Estado de Jalisco.

Tesis

Que para obtener el Título de  
Ingeniero Químico presenta,  
J. Javier Cárdenas Ochoa.

Guadalajara, Jal., Mayo de 1948.



QUÍMICA

*Dedico el presente trabajo con veneración y  
eterna gratitud a mis queridos padres, el  
Sr. Adolfo Cárdenas Ruiz Esparza y  
María Ochoa de Cárdenas Ruiz Esparza.*

*Con cariño a mis hermanas*

*A mis Maestros*

*A mis Compañeros*

*A mis Amigos*

# BIBLIOGRAFIA

INDUSTRIAL CHEMICAL CALCULATION. O. A. Hougen & K.M. Watson.

CHEMICAL ENGINEERING'S HANDBOOK. John H. Perry.

MANUFACTURE OF SODA. Te-Pang Hou.

ELEMENTS OF CHEMICAL ENGINEERING. W. L. Badger & W. L. McCabe.

CHEMICAL AND METALLURGICAL ENGINEERING.



# Introducción

Me atrevo a presentar este trabajo no con la pretensión de un estudio completo, ni en lo técnico ni en lo económico, sino como una pequeña aportación a la ampliación de horizontes, en nuestro incipiente medio Industrial.

No hemos alcanzado todavía en nuestra Industria, el desarrollo necesario para bastarnos a nosotros mismos, estando supeditados al Extranjero en el más elevado porcentaje de productos primarios, siendo el que nos ocupa uno importantísimo y base de grandes Industrias vitales.

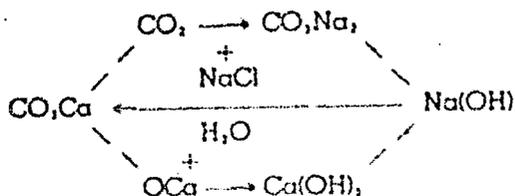
Dejando a un lado cantidad de recursos naturales inaprovechables a la fecha, fijamos nuestra atención en dos de los más comunes los inmensos Mantos de Caliza y nuestras Salinas, dos armas poderosas que en manos de la Química darían fundamento a un vasto desarrollo Industrial, que tratar de abarcarlo sería imposible, pero mencionaremos unas cuantas de estas Industrias, la fabricación de jabones en todas sus ramas, Explosivos, Algodón Mercerizado, derivados de Celulosa, etc.

Las razones para optar por éste método de fabricación son las siguientes:

1a.—Nuestro desarrollo casi nulo en la producción de energía eléctrica barata, para la fabricación de Sosa Cáustica Electrolítica.

2a.—El poco consumo en nuestra Industria de los Sub-Productos de Electrolisis del Cloruro de Sodio (Cloro).

3a.—La conexión íntima que tiene este método, con la Industria del  $\text{CO}_2$ , Na, (Soda ash.) pudiendo hacerse un ciclo de aprovechamiento, en productos y sub-productos, como se ve en el esquema adjunto, lo cual redundaría en la economía de su obtención.



4a.—La pureza obtenida del producto en este método es mucho más alta, que la obtenida en el método Electrolytico.

Sosa Cáustica Electrolytica	2% NaCl
Sosa Cáustica (Cal-Soda ash.)	0.2% NaCl

## GENERALIDADES

### (Historia)

El Hidróxido Sódico (NaOH) llamada comunmente Sosa Cáustica, ya se conocía en la antigüedad, y aún se llegó a usar, en la fabricación de los primeros jabones.

Aunque su fabricación Industrial data de mediados del siglo pasado, ya Black en 1755 la había obtenido mediante la acción de la cal viva sobre el  $\text{CO}_3\text{Na}_2$ ; pero fué hasta 1844 en que Mansfield consiguió obtenerlo Industrialmente y por fin en 1853 Gesajé mejoró el método y obtuvo brillantes resultados; no fué hasta 1890 que se encaminaron los trabajos para su obtención electrolytica, siendo este método el que va ganando terreno sobre los demás; sobre todo en aquellos países en los cuales la técnica ha desarrollado el aprovechamiento de la energía Hidráulica a un grado máximo de economía.

En nuestro país y particularmente en nuestro Estado de Jalisco, se usaba años atrás la Caustificación por la cal, de los salitres, los cuales contenían un elevado porcentaje de Carbonato y compuestos de Sodio.

Emploando las lejías obtenidas en la fabricación de jabones que alcanzaron renombre en la región, siendo aún fabricados y estimados aunque casi han desaparecido del mercado por la competencia de las grandes Fábricas modernas.

## MATERIAS PRIMAS

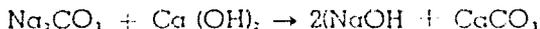
Tenemos en nuestro Estado grandes yacimientos de piedra Caliza de una pureza variable, alcanzando en algunas partes hasta 96% en su contenido de  $\text{CO}_2\text{Ca}$  y otras aun más puras.

Sobre la vía del Ferrocarril Guadalajara-Manzanillo se encuentran las más grandes y explotados yacimientos de mas pureza entre todos, como son Huescalapa a 148 Kts. de Guadalajara, Sn. Andrés a 129 Kts. de la misma Ciudad, etc.; estos Mantos corren de Noroeste a Sur hasta unos cuantos Kmts. antes de la costa del vecino Estado de Colima y frente a la Laguna de Cuyullán donde se encuentran las Salinas que producen un  $\text{NaCl}$  de incomparable pureza y que a la fecha únicamente ha tenido aprovechamiento para el consumo doméstico.

Porque pues, si tenemos las materias primas inagotables y en una posición inmejorable en cuanto a sus vías de comunicación y proximidad tanto de unas con otras, como de los centros Industriales, hemos dejado a un lado tan importantes recursos?

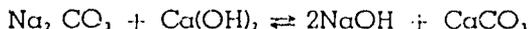
### BASE TECNICA DEL PROCESO

El método de Caustificación es muy conocido.



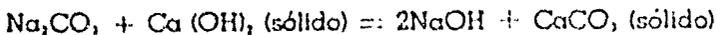
La reacción depende de la poca solubilidad del producto del ion  $\text{Ca}$  y  $\text{Co}$ , que causan la eliminación del  $\text{CaCO}_3$ , obtenido de la solución. Como el Carbonato de Sodio y el Hidróxido de Sodio son muy solubles, la reacción dependerá únicamente de la relación de solubilidad del  $\text{CO}_2\text{Ca}$  y del  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Ahora bien, cuando la reacción se está efectuando, la concentración del  $\text{Na}(\text{OH})$  irá en aumento, el cual aumento por el efecto del Ion común disminuirá mucho la solubilidad del  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , hasta que finalmente esta ya no sea más soluble que el  $\text{CO}_2\text{Ca}$  y se tiene entonces el equilibrio.



y por lo tanto la conversión del  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{NaOH}$  no llegará a completarse y en consecuencia en la lejía final no podrá permanecer en solución ni el Hidróxido de Calcio ni el Carbonato de Calcio por un tiempo, pues se retrocedería al punto de partida.

En la lejía final el equilibrio se reduce al que hay entre el  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  y el  $\text{NaOH}$ .



$$\text{de donde: } K = \frac{(2\text{Na})^2 (\text{OH})^2}{(2\text{Na})^2 (\text{CO}_3)^{-}} = \frac{(\text{OH})^2}{(\text{CO}_3)^{-}}$$

La  $K$  es la constante de equilibrio que nos dá el grado de conversión de la reacción y como se ve en la fórmula anterior  $K$  será mayor si se aumenta la concentración de Oxhidrilos o se disminuye la concentración de Iones  $(\text{CO}_3)^{-}$

Ahora viendo la lejía resultante, como la concentración del  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y el  $\text{CaCO}_3$  son pequeñas, podemos considerarles completamente ionizados y el producto de solubilidad será:

$$\text{Ca}(\text{OH})_2 (K_1) = (\text{Ca}^{++}) \times (\text{OH}^-)^2 = 4(\text{OH})^3$$

$$\text{y } \text{CaCO}_3 (K_2) = (\text{Ca}^{++}) \times (\text{CO}_3)^{-} = (\text{CO}_3)^{-2}$$

de donde

$$K = \frac{(\text{OH})^2}{(\text{CO}_3)^{-}} = \frac{\sqrt[3]{4K_1}}{\sqrt{K_2}} = \frac{K_1^{3/2}}{K_2^{1/2}} = 1.59$$

Por lo anterior vemos que  $K$  está en función de las solubilidades del  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y el  $\text{CaCO}_3$ , y vemos también que mientras menor sea el valor de  $K_2$  y mayor el de  $K_1$ ,  $K$  será mayor; o sea que mientras más soluble es Hidróxido de Calcio y meno soluble su Carbonato, será más aprovechable como Caustificante.

Para terminar tenemos que

$$K = \frac{2 (\text{OH})^2}{(\text{CO}_3)^{-}}$$

siendo K una constante y una T dada, ahora dividiendo los dos miembros por  $(CO_2)$  y sustrayendo raíz cuadrada tenemos:

$$\frac{(2OH)}{(CO_2)} = \frac{K^T}{\sqrt{(CO_2)}}$$

dándole a  $K^T$  el valor de K y examinando la igualdad se verá que la relación  $\frac{OH}{CO_2}$  aumenta como disminuye la  $\sqrt{CO_2}$ .

Con una solución de  $CO_2$  en  $Na_2CO_3$  al 10% se obtiene teóricamente 92% de conversión pero en la práctica no se pasa nunca del 92 al 93%, por lo tanto en este estudio trabajaremos con una concentración de solución de 12.5% que en las pruebas dió los mejores resultados en el laboratorio teniendo una conversión de 92%.

### ESTOQUIOMETRIA

Base de producción 1000 Kgs. de NaOH de 98.06% / en 24 horas.  
 1000 Kgs. = 980.6 NaOH 100% + 19.4 impurezas y agua

Reacción:



P.M.

P.M.

$$Ca(OH)_2 = 74$$

$$CaCO_3 = 100$$

$$Na_2CO_3 = 106$$

$$2NaOH = 80$$

$$\hline 180$$

$$\hline 180$$

1.—Cálculo de  $CO_2$  en  $Na_2CO_3$ —

$$\frac{106}{80} = \frac{X}{980.6} = 1,300 \text{ Kgs. de } CO_2 \text{ en } Na_2CO_3$$

Como solo hay una conversión de 92%

$$\frac{.92}{.92} = \frac{X}{1,300} = 1,412 \text{ Kgs. de } CO_2 \text{ en } Na_2CO_3$$

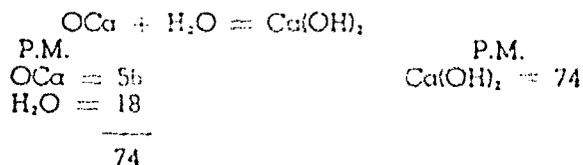
y como estamos trabajando con una Soda Ash comercial de 58° o sea de 98.72%

$$\frac{100}{98.72} = \frac{X}{1,413} = 1,431.2 \text{ Kgs. de Soda Ash}$$

2.—Cálculo del Ca(OH)<sub>2</sub>,

$$\frac{106}{74} = \frac{1413}{X} = 986.5 \text{ Kgs. de Ca(OH)}_2$$

Para producir este Hidróxido partimos del OCa (Cal viva)  
Reacción.



ahora

$$\frac{56}{74} = \frac{X}{986.5} = 746.9 \text{ Kgs. de OCa}$$

pero la cal que usamos tiene únicamente el 2% de OCa, por lo tanto:

$$\frac{100}{95.2} = \frac{X}{746.9} = 783 \text{ Kgs. Cal viva}$$

3.—Agua de Hidratación del OCa.—

$$\frac{56}{18} = \frac{746.9}{X} = 240 \text{ Lts. de H}_2\text{O}$$

4.—Cálculo del agua para la solución del CO<sub>3</sub>Na<sub>2</sub>.—

La concentración de la solución que usaremos será de 12.5% para obtener una gravedad específica de 1.125 (17°Be) con la cual obtenemos

una conversión real de 92%. Como es una solución Molal se tomarán 100 gramos de H<sub>2</sub>O por 12.5 gramos de CO<sub>2</sub>Na<sub>2</sub>,

$$\frac{100}{12.5} = \frac{X}{1,413} = 11,230 \text{ Lts. de H}_2\text{O}$$

Otras sales solubles en el Soda ash.—

NaCl      0.54%  
SO<sub>4</sub>Na<sub>2</sub>    0.20%

Además tenemos 0.26% de H<sub>2</sub>O

$$\frac{100}{0.26} = \frac{1,413.2}{X} = 3.75 \text{ Lts.}$$

NaCl.—

$$\frac{100}{0.54} = \frac{1,431.2}{X} = 7.72 \text{ Kgs. de NaCl}$$

SO<sub>4</sub>Na<sub>2</sub>.—

$$\frac{100}{0.20} = \frac{1,431.2}{X} = 2.86 \text{ Kgs. de SO}_4\text{Na}_2$$

La solución saturada de NaCl tiene 39.8%

La solución saturada de SO<sub>4</sub>Na<sub>2</sub> tiene 42.5%

$$\frac{39.8}{100} = \frac{7.72}{X} = 19.4 \text{ Lts. de H}_2\text{O para el NaCl}$$

$$\frac{42.5}{100} = \frac{2.86}{X} = 6.7 \text{ Lts. de H}_2\text{O para el SO}_4\text{Na}_2$$

TOTAL 26.1 Lts. de H<sub>2</sub>O

5.—Agua total para la reacción

1.—Agua para la Hidratación del OCa	240	Lts.
2.—Agua para la solución del CO <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub>	11,230	"
3.—Agua para la solución de Sales	25.1	"
	<hr/>	
Suma	11,496.10	Lts.
4.—Menos agua en el Soda ash	3.76	"
	<hr/>	
Total	11,492.34	Lts.

Como nuestra reacción se verifica completa en un tiempo de 90 minutos, nuestros cálculos para el equipo deberán ser tomando en cuenta este tiempo.

Dividiremos nuestro material total por 16 que serán las veces que se efectúa la reacción en las 24 horas.

89.07 Kls. Soda ash	→	→ 66.70 Kgs. NaOH
		→ 76.75 .. CaCO <sub>3</sub>
48.90 Kgs. Cal	→	→ 703.50 .. H <sub>2</sub> O
		→ 7.05 .. no convertidos
718.27 Lts. agua	→	→ 2.25 .. impurezas Cal
<hr/>		<hr/>
856.24.		856.16 Kgs.

Con los pesos específicos de los materiales sólidos los convertiremos a volúmenes.

	P.E.	48.9	=	14.7
Cal	3.32	<hr/> 3.32		
		89.07		
		<hr/>	=	36.50
Soda ash	2.45	2.45		
		<hr/>		51.2

Estos litros sumados al total de litros de agua nos darán el volumen que vamos a manejar.

$$718.27 + 51.2 = 769.47$$

1.—Agua para la Hidratación del OCa	240	Lts.
2.—Agua para la solución del CO <sub>2</sub> Na <sub>2</sub>	11,230	..
3.—Agua para la solución de Sales	25.1	..
	<hr/>	
Suma	11,496.10	Lts.
4.—Menos agua en el Soda ash	3.76	..
	<hr/>	
Total	11,492.34	Lts.

Como nuestra reacción se verifica completa en un tiempo de 90 minutos, nuestros cálculos para el equipo deberán ser tomando en cuenta este tiempo.

Dividiremos nuestro material total por 16 que serán las veces que se efectúa la reacción en las 24 horas.

89.07 Kls. Soda ash →		→ 65.70 Kgs. NaOH
		→ 76.75 .. CaCO <sub>3</sub>
48.90 Kgs. Cal →		→ 703.50 .. H <sub>2</sub> O
		→ 7.06 .. no convertidos
718.27 Lts. agua →		→ 2.25 .. impurezas Cal
<hr/>		<hr/>
856.24.		856.16 Kgs.

Con los pesos específicos de los materiales sólidos los convertiremos a volúmenes.

	P.E.	48.9		
Cal	3.32	<hr/>	=	14.7
		3.32		
		89.07		
Soda ash	2.45	<hr/>	=	36.50
		2.45		
		<hr/>		
				51.2

Estos litros sumados al total de litros de agua nos darán el volumen que vamos a manejar.

$$718.27 + 51.2 = 769.47$$

Con los datos anteriores podemos calcular la capacidad de nuestros tanques.

Tanque de disolución del  $\text{CO}_2\text{Na}_2$ .—

Como se necesitan para la formación de $\text{Ca}(\text{OH})_2$	15.0 Lts. de $\text{H}_2\text{O}$
y una lechada fluida lleva 1 Lt. / $\text{Ca}(\text{OH})_2$	48.9 " " "
	63.9 Lts. 64.Lts.

718.27—64=654.27 Lts. para el  $\text{CO}_2\text{Na}_2$

Capacidad.—

654.27 + 35.5 (del Soda ash) = 690.77 Lts.

por lo tanto un tanque de 800 Lts. es suficiente y a la vez tendremos un margen de seguridad.

Dimensiones.—

D = 1Mt. H = 1.02 Mt. H del líquido en el tanque = 88.2 cms.

Tanque para la hidratación del Oxido de Calcio.—

Volúmen del $\text{Oxido de Calcio}$	14.7 Lts.
Lechada	64 " "
	Total 78.7 Lts.

La capacidad del tanque deberá ser de 100 Lts. para tener también un margen de seguridad.

Dimensiones.—

D = 50 cms. H = 51 cms. H del líquido en el tanque = 34.5 cms.

Capacidad de los tanques de reacción.—

1000 Lts.

Dimensiones.—

D = 1. Mt. H = 1.275 H del líquido en los tanques = 1. Mt.

Cálculo del número de Engrosadores necesarios para obtener la solución de nuestro problema de extracción.

Tenemos una solución de  $\text{NaOH}$  al 8.70%

12,236.6	Kgs. de solución
1,461.96	" de sólidos inertes

Los sólidos inertes retienen un 60% en peso, de solución, y la solución final adherida a los lados deberá tener 0.25% en peso, de NaOH.

Consideraremos el sistema más usado para Contracorriente, o sea el de tres Engrosadores.

Sólidos con los lodos en cada Engrosador				1,416.96
Agua con los lodos	1,461.96	× 60/40	=	2,193
Sobreflujo del 3o.—	11,256	+ 2,193	=	2,193 = 11,256
" " 2o.—	11,256	+ 2,193	=	2,193 = 11,256
" " 1o.—	11,256	+ 2,193	=	9,063 Kgs. H <sub>2</sub> O
1o.E.—	9,063 X	+ 2,193 X	=	11,256 y + 1,000
2o.E.—	11,256 y	+ 2,193 y	=	11,256 z + 2,193 X
3o.E.—	11,256 z	+ 2,193 z	=	11,256 X + 2,193 y

Resolviendo por sustitución obtenemos los siguientes resultados.

$$1o.E.— \quad 9.42 \times 2.95 + 1,000$$

$$X = \frac{\quad}{9,426} = 108 \text{ Kgs. de NaOH/Tonelada de H}_2\text{O}$$

$$2o.E.— \quad 13,449 \times 2.95 + 233$$

$$Y = \frac{\quad}{13,449} = 20.2 \text{ Kgs. de NaOH/Tonelada de H}_2\text{O}$$

$$3o.E.— \quad 2,193 + 37.7$$

$$Z = \frac{\quad}{13,449} = 2.95 \text{ Kgs. de NaOH/Tonelada de H}_2\text{O}$$

Concentraciones.—

1o.E.—	1,108	=	$\frac{100}{X}$	=	9.75%
2o.E.—	1,020.2	=	$\frac{100}{X}$	=	1.98%
3o.E.—	1,002.95	=	$\frac{100}{X}$	=	0.29%

Por ciento de lavado Eficiencia

$$E = \frac{9.063 \times 109}{1,000} \times 100 = 97.87\%$$

Como vemos por estos resultados tres unidades trabajando en contracorriente son suficientes para dejar agotados los lodos hasta un 0.29% de NaOH en la solución que llevan adherida.

Capacidad de los Engrosadores.—

Según la tabla No. 5 de la página 1635 del Perry se necesitan de 16 a 30 Ft<sup>2</sup>. de superficie de Engrosador por cada tonelada tratada en 24 horas, y como hemos visto necesitaremos tres unidades, las cuales deberán tener cada una una tercera parte de la superficie total, este es 10 Ft<sup>2</sup> c/u.

Medidas.—

$$\frac{10}{0.7854} = 12.7 \therefore \sqrt{12.7} = 3.57 \times 30.85 = D = 1.10 \text{ Mts.}$$

Como tenemos 763.47 Lts. su H será.—

$$1.10 \times 1.10 \times 0.7854 = 0.940 \text{ H} \quad \text{H} = 1.00 \text{ Mts.}$$

La altura del líquido será

$$\frac{763.47}{0.94} \text{ H} = 81.2 \text{ cms.}$$

### BALANCE TOTAL DE MATERIALES

Materia Prima.—	Entradas	Salidas
Soda ash. ....	1,431.2 Kgs.	
Cal. ....	783.6 "	
Agua. ....	11,492.34 "	
	<hr/>	
	Total 13,707.14 Kgs.	



Productos.—

NaOH recuperada. ....	978,7	Kgs.
Lodos. ....	1,461.96	..
H <sub>2</sub> O con los lodos. ....	2,186.65	..
NaOH pérdida en los lodos. ....	6.35	..
H <sub>2</sub> O en la solución de NaOH. ....	9,063.00	..
Impurezas del Soda ash. solubles. ....	10.48	..
	<u>Total</u>	<u>13,707.15</u>

**CALCULO DE CALOR PARA LA REACCION TOTAL.**

$$\Delta t = 80 - 18 = 62^{\circ}\text{C}$$

			C. E./Mol.
Cal	CaO	95.2 %	10.00
	SiO <sub>2</sub>	1.4 ..	10.87
	OMg	2.3 ..	10.86
	O Fe	1.1 ..	12.62
	Total	100.0 %	
Soda ash	CO <sub>2</sub> ,Na <sub>2</sub>	98.72 %	28.9
	NaCl	0.54 ..	10.8
	NaSo <sub>4</sub>	0.20 ..	32.8
	CO <sub>2</sub> ,Mg	0.18 ..	18.0
	CO <sub>2</sub> ,Ca		
	SiO <sub>2</sub>	0.10 ..	10.87
	H <sub>2</sub> O	0.26 ..	1.00
	Total	100.00 %	

CaO.—

$$\frac{100}{95.2} = \frac{48.9}{X} = 46.5 \quad \frac{56}{10} = \frac{46.5}{X} = 8.3 \quad \times 62 = 515 \text{ Kcal}$$

SiO<sub>2</sub>.--

$$\frac{100}{1.4} = \frac{48.9}{X} = 0.68 \quad \frac{60}{10.87} = \frac{0.68}{X} = 0.124 \times 62 = 7.7 \text{ Kcal}$$

OMg.--

$$\frac{100}{23} = \frac{48.9}{X} = 1.12 \quad \frac{40.32}{10.86} = \frac{1.12}{X} = 0.304 \times 62 = 18.8 \text{ Kcal}$$

OFe.--

$$\frac{100}{1.1} = \frac{48.9}{X} = 0.535 \quad \frac{71.84}{12.62} = \frac{0.535}{X} = 0.094 \times 62 = 5.8 \text{ Kcal}$$

Calor total para la Cal. 547.3 Kcal

CO<sub>2</sub>,Na<sub>2</sub>.--

$$\frac{100}{98.72} = \frac{89.07}{X} = 88.3 \quad \frac{105}{28.9} = \frac{88.3}{X} = 24 \times 62 = 1,490.00 \text{ Kcal}$$

ClNa.--

$$\frac{100}{0.54} = \frac{89.07}{X} = 0.48 \quad \frac{58.46}{10.8} = \frac{0.48}{X} = 0.089 \times 62 = 5.50 \text{ Kcal}$$

SO<sub>4</sub>,Na<sub>2</sub>.--

$$\frac{100}{0.20} = \frac{89.07}{X} = 0.17 \quad \frac{14.2}{32.8} = \frac{0.17}{X} = 0.039 \times 62 = 2.53 \text{ Kcal}$$

CO<sub>2</sub>,Mg y CO<sub>2</sub>,Ca.--

$$\frac{100}{0.17} = \frac{89.07}{X} = 0.14 \quad \frac{184}{18} = \frac{0.14}{X} = 0.013 \times 62 = 0.84 \text{ Kcal}$$

SiO<sub>2</sub>.—

$$\frac{100}{0.10} = \frac{89.07}{X} = 0.085 \frac{60}{10.8} = \frac{0.085}{X} = 0.0015 \times 62 = 0.09 \text{ Kcal}$$

Calor total para el Soda ash 1,498.96 Kcal

H<sub>2</sub>O.—

718.27 62 44,500.00 Kcal

Calor total para la reacción.—

Para la cal	547.3
Para el Soda ash	1,498.96
Para el H <sub>2</sub> O	44,500.00
Total.	46,546.26 Kcal.

### CALCULO DE LAS PERDIDAS DE CALOR.

Engrosadores.—

Principiamos el cálculo de la pérdida de calor en la parte final del proceso por ser este continuo y es en la única parte donde tenemos datos fijos.

El material que usaremos para la construcción de los engrosadores será lámina de acero de  $\frac{1}{8}$ " (0.31 cms.) que según las tablas de material de construcción del Chemical & Metallurgical, Engineering resiste perfectamente en su solución al 10% de NaOH, además presenta las ventajas de su facilidad en su construcción y economía, estos engrosadores llevarán un forro de Borra de 2" (5.08 cms.) este forro es con el objeto de tener la menor pérdida de calor posible para poder mandar nuestra solución gruesa a una temperatura conveniente a los evaporadores.

La conductividad térmica del acero es  $K=26$

" " " de la Borra es  $k=0.024$

Como en las tablas de conductividad térmica del Perry pág. 949 y siguientes la  $k$  está dada en B.t.u./hr/ft<sup>2</sup>/oF/ft necesitaremos convertir a Kcal. usando el factor 0.00413 que nos dará cal./gmo./seg./cm<sup>3</sup>/°C/min.

$$k \text{ del acero} = 26 \times 0.00413 = 0.106$$

$$k \text{ de la Borra} = 0.024 \times 0.00413 = 0.00009$$



	Entradas	Salidas
Calor de la suspensión	46,546.26 Kcal.	
Radiación tubería 0.1%		46.54 Kcal.
Radiación en Engrosador		259.20 ..
Calor en solución gruesa		43,244.00 ..
Radiación al aire		460.46 ..
Calor en los lodos		2,526.06 ..
<b>Total</b>	<b>46,546.26 Kcal.</b>	<b>46,546.26 Kcal.</b>

Balance parcial en el 2o. Engrosador.---

Como vemos por el balance el primer Engrosador únicamente nos queda 2,526.06 Kcal. en los lodos que vienen al segundo Engrosador; como para la cantidad de solución que se trata en este E. apenas daría este Calor, un ligero aumento de temperatura, no es conveniente aislarlo con forro de Bertr como al primero.

Además necesitamos suponer una T del agua del tercer Engrosador para ver si hay una elevación real de temperatura en el segundo; así que tendremos 2,526.06 Kcal. en los lodos que al mezclarse con una so-

lución diluida de NaOH nos dará aproximadamente  $\frac{2,526.06}{570} = 4.4 \text{ }^\circ\text{C}$

y descontando la radiación por las paredes del Engrosador vendrá a anularse totalmente este Calor; por lo tanto en el tercer Engrosador debemos siempre considerar los lodos y el agua a  $16^\circ\text{C}$ . lo mismo que en el agua de salida del segundo Engrosador por la comprobación que a continuación expresamos.

Como tenemos un  $\Delta t$   $4.4^\circ\text{C}$  y es de lámina de acero únicamente:

$$q = \frac{t}{L_1} = \frac{4.4}{0.31} = 9.056 \text{ Kcal.}$$

$$\frac{KA_1}{0.107} = 36,700$$

Como se ve en la pura radiación se puede perder más del Calor que entra en los lodos por lo tanto no debemos considerar el Calor en el

Kg. Mol de  $\text{CO}_3\text{Na}_2$  es desarrollan al disolverse éste 7,000 Kcal.

$$\frac{84}{106} = 0.793. \text{ Mol } \text{CO}_3\text{Na}_2$$

$$\frac{654.54}{18} = 36.5 \text{ Mols. de } \text{H}_2\text{O}$$

$$\frac{36.5}{0.793} = 46 \text{ Mols. de } \text{H}_2\text{O/Mol de } \text{CO}_3\text{Na}_2$$

$$\text{Por lo tanto: } 7,000 \times 0.793 = 5,550 \text{ Kcal} = 8.4^\circ\text{C.}$$

Como el material que debemos usar para la construcción de este tanque debe ser económico y a la vez presentar dos importantes características, que son:

1a.—Baja conductividad térmica

2a.—Resistencia a los efectos de la solución de  $\text{CO}_3\text{Na}_2$ .

Escogéndolo en las Tablas de materiales de construcción del Perry, encontramos que la madera de pino nos brinda estas características (pág. 2165) pues su conductividad térmica  $k = 0.087$  es muy baja por lo cual usaremos este material con un espesor de 1.5" (3.81 cms.)

Capacidad.

654.27 Lts. de  $\text{H}_2\text{O}$  + 36.5 Lts. de Soda ash = 690.77 Un tanque de 800 Lts. nos dará la capacidad necesaria con un amplio margen.

Dimensiones.—

$$D = 1 \text{ Mt.} \quad H = 1.02 \text{ Mt.} \quad H \text{ del líquido} = 88.2 \text{ cms.}$$

Cálculo de pérdidas por Radiación.

$$A_1 = 100 \times 3.14 \times 88.22 \times 28,500 \text{ cms}^2 = 36,354$$

$$A_2 = \frac{3.81 \times 2 \times 100 \times 3.14 \times 88.22}{36,354 + 37,604} = 29,750 \times 0.7854 = 37,604$$

$$A_{av.} = \frac{36,354 + 37,604}{2} = 37,129$$

En este cálculo tomamos en cuenta únicamente la resistencia térmica del material de que está hecho el tanque por ser la resistencia de las películas Líquida y Gaseosa muy grande en comparación de esta.

$$q = \frac{KA}{L} = \frac{(0.087 + 0.00413) 37,129 \times 8.4}{3.81} = 0.0027 \text{ Kcal/sec}$$

$$q = 15.66 \text{ Kcal./90min.}$$

Balanco parcial de calor en este tanque

	Entradas	Salidas
Calor desarrollado	5,550.00 Kcal	
Pérdida por radiación		15.66
Remanente		5,534.34
<b>Total</b>	<b>5,550.00</b>	<b>5,550.00 Kcal.</b>

Calor desarrollado por la hidratación del OCa.

$$\text{Mols de OCa} = \frac{46.62}{56} = 0.825$$

$$\text{Mols } H_2O = 0.825$$

$$\text{Mols } Ca(OH)_2 = 0.825$$

$$CaO \text{ QI} = 151,700$$

$$H_2O \text{ QI} = 68,310$$

$$Ca(OH)_2 = 238,630$$

$$151,700 + 68,310 = 238,680 + Q_{18^\circ}$$

$$Q_{18^\circ} = 18,670 \text{ Kcal/Kg. Mol}$$

$$18,670 \times 0.825 = 15,400 \text{ Kcal.}$$

Cálculo de la pérdida de calor en este tanque.  
Calor específico de la suspensión:

72.048

$$\begin{array}{r} \text{Elevación de temperatura por la hidratación} \\ 15.400 \\ \hline 72.048 \end{array} = 21.4^{\circ}\text{C}$$

Área de enfriamiento

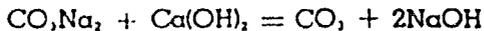
$$53.81 \times 3.14 \times 40 = 6,720 + 1,960 = 8,680 \text{ cms.}^2$$

$$q = \frac{0.0003 \times 8,680 \times 21.4}{3.81} = 91.8 \text{ Kcal/90 min.}$$

Balance parcial en el tanque de hidratación.

	Entradas	Salidas
Calor desarrollado	15,400 Kcal.	
Calor perdido por radiación		91.8 Kcal.
Remanente		15,308.2
Total	<u>15,400 Kcal.</u>	<u>15,400.00 Kcal.</u>

Calor desarrollado en el tanque de reacción



$$\text{CO}_2\text{Na}_2 = Q_f = -270,400 \times 0.782 = -211,045$$

$$\text{Ca}(\text{OH})_2 = Q_f = -236,000 \times 0.790 = -186,400$$

$$\text{CO}_2\text{Ca} = Q_f = -288,000 \times 0.793 = -228,384$$

$$\text{NaOH} = Q_f = 112,020 \times 1.53 = 171,614$$

$$-211,045 - 186,440 = -228,384 - 171,614 + Q_{18^{\circ}}$$

$$Q_{18^{\circ}} = 2,513 \text{ Kcal.}$$

Pérdidas de calor en el tanque de reacción.

El material que usaremos para la construcción de estos tanques será igual al de los Engrosadores, teniendo además de la lámina de acero, un forro de borra del mismo espesor mencionado antes, este es 2", pues en estos tanques es donde más interesa la conservación de calor durante toda la reacción, usaremos tres unidades calculando que

en cada unidad dure nuestro material reaccionante 30 minutos, para que al salir del tercer tanque se haya completado la reacción.

La capacidad de cada uno de estos tanques es de 1,000 Lts. y sus dimensiones serán  $D=1.000$  Mts.  $H=1.275$  mts. la altura que alcanzará el líquido será  $H=1.00$  Mts.

Calcularemos el desarrollo de calor y las pérdidas en el primer tanque.

Area promedio de la lámina de acero de  $\frac{1}{8}$ ".

$$\begin{array}{r} 1.00 \times 3.14 \times 1.00 = 31,400 \text{ cms}^2 \\ 1.0062 \times 3.14 \times 1.00 = 33,500 \text{ ..} \\ \hline 64,900 \text{ ..} \end{array}$$

$$A_{av.} = \frac{64,900 + 0.7854}{2} = 40,304 \text{ cms}^2$$

2

Area promedio de la Borra.

$$\begin{array}{r} 1.0063 \times 3.14 \times 1.00 = 33,500 \text{ cms}^2 \\ 1.1079 \times 3.14 \times 1.00 = 37,000 \text{ ..} \\ \hline 70,500 \text{ ..} \end{array}$$

$$A_{av.} = \frac{35,250 + 0.7854}{2} = 43,104 \text{ cms}^2.$$

$\Delta t = 62^\circ \text{ C.}$

$$q = \frac{62}{\frac{0.31}{0.106 \times 40,304} + \frac{5.08}{0.00009 \times 43,104}} = 74.8 \text{ Kcal/30min.}$$

Balance parcial de calor en este tanque.

	Entradas	Salidas
Calor del tanque de $\text{Co}_2\text{Na}_2$	5,539.34	
Calor del Tanque de hidratación	15,316.00	
Calor de la reacción	837.66	

Pérdida en tubería 0.1% S		5.53
Pérdida en tubería 0.1% H		15.31
Pérdida por radiación		74.80
Pérdida por radiación 2o. tanque		74.8
Pérdida en tubería 0.1%		46.54
Pérdida por radiación 3er. tanque		74.8
Pérdida en tubería 0.1%		46.54
Calor desarrollado en la reacción en el tanque	837.66	
Calor desarrollado en la reacción en el 3er. tanque	837.66	
Remanente		23,030.00
	<hr/>	<hr/>
Total:	23,367.60	23,367.60
El calor total necesario para la reacción es		46,546.26
Como tenemos un remanente de		23,030.00
		<hr/>
		23,516.26 Kcal.

Necesitamos suplir

Comparando esta cantidad con la del Balance Total se ve que tenemos una diferencia por error de 8.00 Kcal, la cual cantidad es insignificante y debida quizá a la regla de cálculo que nos da solamente aproximaciones.

#### BALANCE TERMICO TOTAL.

	Entradas	Salidas.
Calor desarrollado en la SolCO <sub>2</sub> Na <sub>2</sub>	5,550.00	
Calor desarrollado en el tanque de Hidratación.	15,400.00	
Calor desarrollado por la reacción	2,513.00	
Radiación en el tanque de CO <sub>2</sub> Na <sub>2</sub>		15.66
Radiación en la tubería al tanque de reacción 0.1%		5.59
Radiación en el tanque de Hidratación		91.8
Radiación del tanque de Hidratación al tanque de reacción 0.1%		15.31
Radiación en el 1er. tanque de reacción		74.8

Radiación tubería al segundo tanque de reacción	46.54
Radiación en el 2o. tanque de reacción	74.8
Radiación tubería al 3er. tanque de reacción	46.54
Radiación en el 3er. tanque de reacción	74.8
Radiación tubería al 1er. Engrosador	46.54
Calor en la solución gruesa	43,244.00
Radiación el 1er. Engrosador	259.20
Radiación al aire	465.46
Calor en los lodos	2,526.06
	<hr/>
	46,987.04
Calor suplido para la reacción	23,524.04
	<hr/>
	46,987.04

### CALCULO DEL SERPENTIN NECESARIO PARA DAR EL FALTANTE DE CALOR NECESARIO PARA LA REACCION

La temperatura que alcanza la mezcla en el tanque de reacción con su propio calor es de  $32.8^{\circ} + 18g = 50.8^{\circ}C$ .

por lo tanto  $80^{\circ} - 50.8^{\circ} = 29.2^{\circ}C$  es la temperatura que debemos suplir con una fuente de calor externa o sean 23,524.04 Kcal./90 min. 15,750 Kcal/hr.

Convirtiendo estas calorías a B.t.u.s para poder usar los datos de nuestros libros tenemos:

$$15,750.00 \times 3.968 = 62,300 \text{ B.t.u.s./hr.}$$

$$\text{Nuestro } \Delta t \text{ será } 29.2 \times 2 = 58.4^{\circ} = 137^{\circ}F.$$

$$\text{Usaremos la fórmula: } q = U A \Delta t$$

Valores.—

$$U = 200 \text{ (tabla No. 5 Perry Pág. 1000)}$$

$$q = 62,300 \text{ B.t.u.}$$

$$t = 137^{\circ}F.$$

$$A = x$$

$$A = \frac{62,300}{200 \times 137} \quad 2.27 \text{ Ft.}^2$$

Según las tablas del Badger en el apéndice No. 4 para un tubo de media pulgada nos da una longitud de 5.344 Ft./Ft<sup>2</sup>.

$$5,344 \times 2.27 = 12 \text{ Ft.} = 3.61 \text{ Mts.}$$

Para calentar este serpentín podemos usar vapor de condensación de otros aparatos o producido por una caldera pequeña, en caso de usar una caldera pequeña deberá ser de:

$$\text{La } T \text{ del vapor será: } 80 + 29.2 = 109.2^{\circ}\text{C.}$$

$109.2^{\circ}\text{C} = 229.9^{\circ}\text{F}$  que corresponde a una presión manométrica de 5 Lbs. por pulgada cuadrada.

Como nuestra  $\Delta t$  es  $137^{\circ}\text{F}$  y la cantidad de calor en B.t.u.s. por hora; para saber la capacidad de nuestra caldera aplicaremos la fórmula

$$q = L \times T \quad L = \frac{q}{T} = \frac{62,300}{137} = 455$$

La equivalencia de Lbs. de agua evaporada por hora en caballos de vapor es de 31.5 Lbs. de donde

$$\frac{455}{31.5} = 14.5 \text{ Hp.}$$

### CONCLUSIONES.

Como dijimos al empezar este trabajo llevaba únicamente las miras de dirigir la atención hacia un camino Industrial todavía no bien explotado y no a un cálculo completo de una planta de determinada capacidad para el desarrollo de esta Industria puesto que variaría enormemente dicho cálculo según la capacidad que requiera la mencionada Planta.

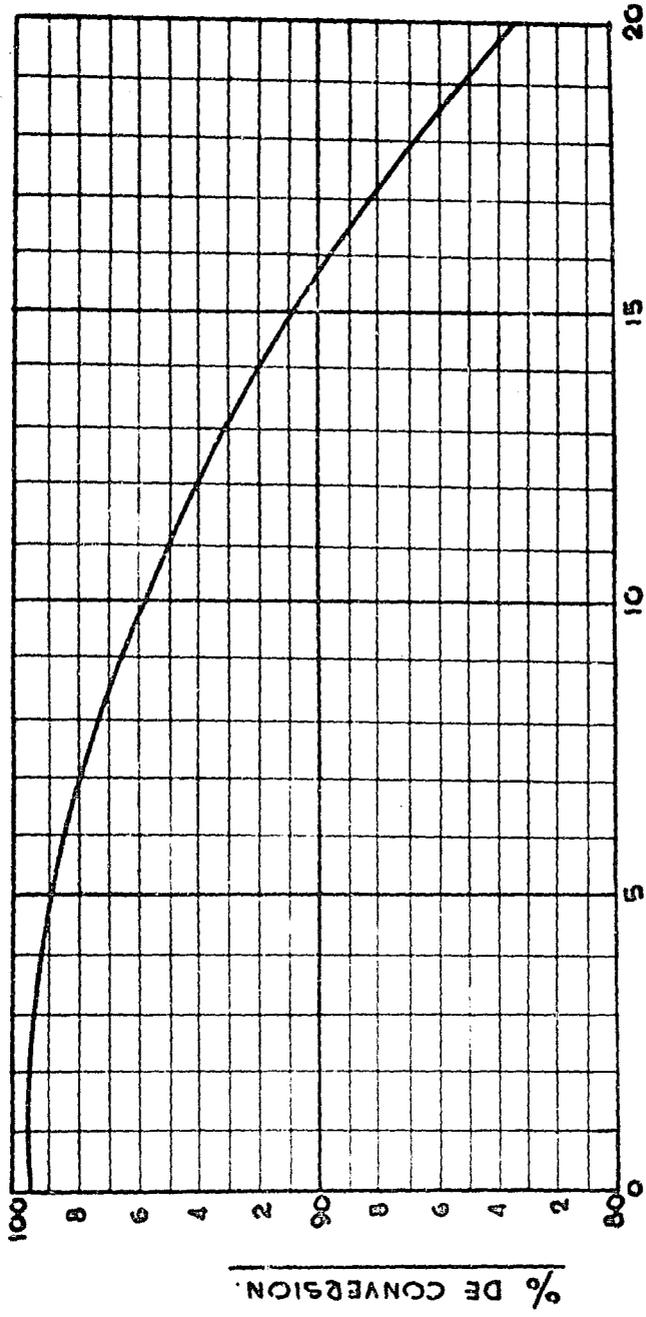
Además se vió con este estudio las siguientes ventajas:

1a.—Como se ve por todos los pasos de este proceso fundamental, el trabajo Industrial para la producción de una lejía de NaOH de 9.75%

es muy sencillo, sin necesidad de recurrir a complicados aparatos de proceso y de control, por los cuales tuviéramos que estar supeditados al Extranjero ni aún en los que se necesitan para la evaporación hasta obtener NaOH sólida: la construcción del equipo puede hacerse sumamente económica y con materiales que se tienen aquí mismo.

2a.—El estudio económico de producción estará en relación con la capacidad de la Planta, pues a una capacidad mayor, tendríamos una economía mayor en costo de producción por lo cual dicho estudio no está incluido en estos cálculos.





$\text{Na}_2\text{CO}_3$   
EQUILIBRIO DE CAUSTIFICACION.



DIAGRAMA DE FLUJO.

