

300618  
6  
24



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

**ESCUELA DE QUIMICA  
INCORPORADA A LA U.N.A.M.**

**ESTUDIO DE LAS TECNOLOGIAS  
PARA LA PRODUCCION  
DE CARBONATO DE SODIO  
EN MEXICO**

**TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A :  
ROBERTO            CEBREROS            GUERRERO**

Director de Tesis: I.Q. Fernando Garcia Mata

MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **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 está 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.

## CONTENIDO

Pag.

### INTRODUCCION

#### I. GENERALIDADES DE CARBONATO DE SODIO.

1.1.	PROPIEDADES DE CARBONATO DE SODIO.....	1
1.2.	HISTORIA DE CARBONATO DE SODIO.....	3
1.3.	USOS Y APLICACIONES.....	5
1.4.	PROPIEDADES DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	13
1.4.1.	PIEDRA CALIZA.....	13
1.4.2.	CLORURO DE SODIO.....	14
1.4.3.	AMONIACO.....	14
1.4.4.	TRONA.....	15
1.5.	SUBSTITUTOS DE CARBONATO DE SODIO.....	16
1.6.	NORMAS OFICIALES DE CARBONATO DE SODIO.....	17
1.6.1.	DE LA CALIDAD PARA CARBONATO DE SODIO.....	17
1.6.2.	DETERMINACION DE LA PUREZA DE CARBONATO DE SODIO.....	18
1.6.3.	DETERMINACION DE LA DENSIDAD APARENTE DE MATERIALES PULVERULENTOS O GRANULADOS.....	19
1.6.4.	DETERMINACION DE LA GRANULOMETRIA EN MATERIALES PULVERULENTOS O GRANULADOS.....	22
1.7.	PRECAUCIONES PARA EL MANEJO Y USO SEGURO DEL MATERIAL.....	22

#### II. ESTUDIO DE MERCADO.

2.1.	PRODUCCION MUNDIAL.....	25
2.1.1.	PRINCIPALES PRODUCTORES.....	25
2.1.2.	PRECIO MEDIO POR PAIS.....	29
2.1.3.	SITUACION INTERNACIONAL DE CARBONATO DE SODIO.....	29
2.2.	PRODUCCION EN MEXICO.....	31
2.2.1.	PRODUCTORES DE CARBONATO DE SODIO.....	31
2.2.2.	PARTICIPACION EN EL MERCADO.....	31
2.2.3.	CONSUMO NACIONAL APARENTE.....	37
	A) CALCULO DEL CONSUMO APARENTE.....	37
	B) ESTIMACION DE LA DEMANDA FUTURA EN BASE AL CONSUMO NACIONAL APARENTE.....	37
2.2.4.	DISPONIBILIDAD DE MATERIAS PRIMAS PARA LOS PROCESOS EN MEXICO.....	38
2.3.	ESTIMACION DE LA DEMANDA FUTURA PARA CADA SECTOR.....	39

### III. TECNOLOGIAS DISPONIBLES.

3.1.	METODOS NATURALES.....	46
3.1.1.	A PARTIR DEL EX-LAGO DE TEXCOCO.....	46
3.1.2.	A PARTIR DE TRONA.....	49
	A) PROCESO DEL SESQUICARBONATO.....	49
	B) PROCESO DEL MONOHIDRATADO.....	50
	C) PASOS DEL ESQUEMA DEL PROCESO DEL MONOHIDRATADO.....	52
3.1.3.	CARBONATACION DE UNA SALMUERA.....	54
3.1.4.	A PARTIR DE BURKEITA CONTENIDA EN UNA SALMUERA.....	56
3.2.	METODOS SINTETICOS.....	58
3.2.1.	METODO LE BLANC.....	58
3.2.2.	METODO SOLVAY.....	60

### IV. SELECCION DE LA TECNOLOGIA MAS ADECUADA.

4.1.	METODOS NATURALES.....	63
4.2.	METODOS SINTETICOS.....	64
4.3.	ANALISIS DE LOS METODOS.....	65

### V. DESCRIPCION DEL PROCESO SOLVAY.

5.1.	ETAPAS DEL PROCESO SOLVAY.....	67
5.2.	OPERACION Y CONTROL.....	74
5.3.	DESCRIPCION DE EQUIPOS.....	74
5.4.	ANALISIS DE CARBONATO DE SODIO.....	77
5.5.	SUBPRODUCTOS.....	77
5.5.1.	CLORURO DE CALCIO.....	77
5.5.2.	BICARBONATO DE SODIO.....	77
5.5.3.	SOSA CAUSTICA.....	78
5.6.	BALANCE DEL PROCESO SOLVAY.....	78
5.7.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.....	87
5.8.	LOCALIZACION POSIBLE DE LA PLANTA.....	89
5.8.1.	EXPLICACION DE CADA PARAMETRO.....	89
5.8.2.	SELECCION DE LA UBICACION DE LA PLANTA.....	90

### VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....94

#### APENDICES.

I.	ALGUNAS GRAFICAS Y TABLAS DEL CAPITULO I.....	96
II.	ESTIMACION DE LA DEMANDA FUTURA PARA CADA SECTOR.....	104
III.	BALANCE DEL PROCESO SOLVAY EN PROGRAMACION BASICA.....	106
	BIBLIOGRAFIA.....	113

## INTRODUCCION.

El Carbonato de Sodio es un producto de la Industria Química Inorgánica Básica (B). Hay varios productos que tienen cierta relación con el Carbonato Sódico, ya sea porque entran en las reacciones de obtención de éste, porque son sustitutos, etc.; estos son, entre otros, el Cloruro de Sodio, el Carbonato de Calcio, el Bicarbonato de Sodio, etc.

En el territorio nacional hay dos industrias que elaboran Carbonato de Sodio:

- Industria del Alkali S.A. de C.V.  
(Estado de Nuevo León).
- Sosa Texcoco S.A. de C.V.  
(Estado de México).

Estrictamente hablando, la palabra "álcali" se refiere al Carbonato de Sodio (Soda Ash, como es conocido en los lugares de habla inglesa). Esta palabra viene de una derivación arábiga, la cual es "al-qili", que significa "cenizas de Barrilla". La Barrilla es una planta (vegetal) que ha sido utilizada para elaborar Carbonato Sódico.

Las dos industrias anteriormente mencionadas tuvieron en 1991 una producción de Carbonato de Sodio de 250,000 toneladas y 200,000 toneladas respectivamente. Sin embargo, existe una importación considerable del producto, proveniente de Alemania, Reino Unido y sobretodo de los Estados Unidos. Esta importación fue en 1991 de 244,900 toneladas, es decir, 35.24% del consumo total, por lo que esto trae por consecuencia la inquietud de hacer un estudio técnico y económico del producto para proponer una solución, a modo de que se importe la menor cantidad de Carbonato de Sodio, tratando de satisfacer las demandas existentes del producto y de ser posible, hacer que las exportaciones, que obviamente son muy pobres, suban de nivel. En los últimos años se ha exportado solo una cantidad mínima (solo a países de Latinoamérica) en relación a las importaciones que ha habido.

Así pues, el objetivo de este trabajo será efectuar un análisis de las tecnologías existentes para determinar el proceso tecnológico más adecuado en la producción de Carbonato de Sodio con base en la situación actual del mercado nacional e internacional de éste, a fin de que una firma interesada determine el estudio complementario de factibilidad económica.

Para esto, el trabajo se va a dividir de la siguiente forma:

En el capítulo I se presentan las generalidades del producto: sus propiedades y las propiedades de las materias primas más importantes, sus usos, así como también datos de las normas que debe seguir el Carbonato de Sodio en el mercado: puntos de calidad, pureza, densidad, etc., y también se muestran las medidas de seguridad para su adecuado manejo.

En el capítulo II se presenta lo referente al estudio de mercado: Las producciones mundiales y nacionales, características de productores, Situación del producto, buscando una relación a fin de determinar cual será el futuro del mercado de Carbonato de Sodio.

En el capítulo III se presentan las tecnologías que existen para producir el Carbonato de Sodio, dando una explicación de ellas, y agregando los diagramas de cada proceso.

En el capítulo IV se hace la selección de la tecnología que sea considerada la más adecuada, tomando en cuenta la situación de cada una de ellas, sus características, pros y contras.

En el capítulo V se presenta la descripción del proceso seleccionado: sus características, balances de materia, su diagrama de flujo de proceso, así como también se proponen opciones de localización de la planta en base a ciertas condiciones como mano de obra, factores económicos, disponibilidad de materia prima, etc.

Finalmente, en el último capítulo se muestran las conclusiones a las que se haya llegado, proponiendo las recomendaciones pertinentes.

CAPITULO I

GENERALIDADES DE CARBONATO DE SODIO.

1.1. Propiedades de Carbonato de Sodio.

El Carbonato de Sodio,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , es la sal sódica neutra del Acido Carbónico. Es un polvo higroscópico, blanco y cristalino. En el comercio químico, en los países de habla inglesa se le denomina Ash (Ceniza), Soda Ash (Ceniza de Sosa), Soda (Sosa) y Calcined soda (Sosa calcinada). La denominación más usual es Soda Ash. En español, los nombres más comunes son Sosa calcinada, Sosa anhidra o Carbonato Sódico Anhidro (1). Esta sal se disuelve lentamente en agua y por lenta evaporación de esta disolución se puede obtener "Sosa cristal", llamada también "Sosa de lavar", el cual es un hidrato con 10 moléculas de agua de cristalización, su fórmula es  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Los cristales son muy transparentes y se disuelven en agua más fácilmente que la Sosa anhidra. La Sosa cristal efloresce fácilmente al aire (a temperatura ambiente) y pierde en corto tiempo 9 moléculas de su agua de cristalización; se forma, por lo tanto, el monohidratado  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Para desecarlo por completo es preciso calentar a unos 200°C (calcinación), obteniéndose así la Sosa anhidra ó calcinada. La Sosa cristal funde por encima de 100°C en su propia agua de cristalización, mientras la calcinada lo hace a 850°C. (2) y (3)

El Carbonato de Sodio se clasifica en dos tipos denominados:

- Tipo I. Denso.
- Tipo II. Ligero.

A su vez el tipo I se clasifica en dos subtipos denominados IA y IB, de acuerdo con una granulometría. (Cuadro B)

En su estado natural, el Carbonato de Sodio se encuentra en grandes cantidades en los lagos de "Natron" de Egipto, así como en América del Norte y del Sur (3). En el país se encuentra en forma sedimentada en el territorio que ocupaba el Lago de Texcoco, ya desaparecido.

A continuación se presentan algunas propiedades del Carbonato de Sodio: (1)

Peso molecular	105.99 gr/grmol
Punto de fusión	851°C
Capacidad calorífica a 45°C	256 cal/gr
Calor de fusión	7000 cal/grmol
Densidad a 20°C	2.533 gr/ml

Cuadro 1: Propiedades del Carbonato de Sodio.

La solubilidad en el agua se muestra en la Gráfica 1 (Ver Apéndice I), y ciertos valores de pH en solución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  se presentan en la Gráfica 2 (Ver Apéndice I). (5)

Reacciones de Carbonato de Sodio:

A) Reacciones de obtención de Carbonato de Sodio.

- Método de Le Blanc: (3)

A partir de Sal común y Acido Sulfúrico se obtiene primeramente Sulfato de Sodio y Cloruro de Hidrógeno.



El Sulfato de Sodio se reduce con Coque y se calcina con Caliza (Carbonato de Calcio) desprendiéndose  $\text{CO}_2$ .



Por extracción con agua se puede separar el Carbonato de Sodio (soluble) del Sulfuro de Calcio (insoluble).

- Método Solvay: (1)

Las materias primas son sal común y piedra caliza ( $\text{CaCO}_3$ ); el Amoniaco entra al proceso, pero no es consumido. La reacción general del proceso es:



la cual no se lleva a cabo directamente, sino en los siguientes pasos:

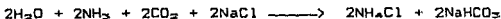
La Caliza se descompone en Cal viva y Anhídrido Carbónico:



Al hidratar la Cal, se convierte en Hidróxido de Calcio:

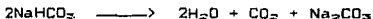


Para obtener Bicarbonato de Sodio se usa Salmuera saturada, Anhídrido Carbónico y Amoniaco:





Por medio del Bicarbonato se obtiene el Carbonato de Sodio:

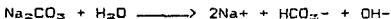


Con el Cloruro de Amonio y el Hidróxido de Sodio obtenidos se forma una solución de Cloruro de Calcio que puede ser un subproducto ó desecho y se recupera el Amoniaco:

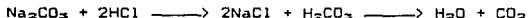


B) Algunas reacciones en donde interviene el Carbonato de Sodio.

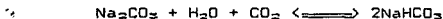
a) Una disolución acuosa de Carbonato de Sodio tiene reacción alcalina debido a la hidrólisis: (3)



b) Casi todos los demás ácidos desplazan al ácido carbónico del Carbonato de Sodio y éste se descompone inmediatamente en agua y Anhídrido Carbónico:



c) Formación de Bicarbonato de sodio (1):



d) Obtención de Sosa Cáustica a partir de Cal apagada [Cal viva ( $\text{CaO}$ ) y agua]: (6)



## 1.2. Historia de Carbonato de Sodio.

Ya en la antigüedad se utilizó la "Sosa" o, respectivamente, el producto que se tenía entonces por Sosa, para la limpieza y fabricación de vidrio. Se obtenía entonces de las aguas de los lagos que la contienen y de cenizas de plantas.

En realidad se trataba de los siguientes productos:

1. "Trona" (Sesquicarbonato de Sodio:  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) de los lagos de Sosa.
2. "Potasa" ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) de las cenizas de plantas terrestres.
3. "Sosa" (Carbonato de Sodio:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) en las cenizas de plantas terrestres y marinas.

Hasta la mitad del siglo XVIII, al comienzo de la investigación científica en la química, las cenizas de plantas (como la Barrilla) eran la única fuente de "Sosa". En 1775, la Academia Francesa de Ciencias convocó un premio para ser adjudicado a un procedimiento de fabricación de Carbonato de Sodio que hiciese a la nación independiente de las importaciones. El objetivo fue cubierto en 1787 por el médico francés Nicolás Le Blanc (1742-1806), que obtuvo una patente pero no el premio debido a la revolución que había comenzado. En 1791 se construyó en Francia la primera fábrica que operaba por el método de Le Blanc, con una producción diaria de 300 kg. La fábrica no trabajó durante mucho tiempo porque el capitalista que la financió fue guillotinado y Le Blanc murió en la pobreza. Sin embargo, los fundamentos de la fabricación eran ya conocidos y primeramente se pusieron en marcha varias fábricas en Francia y luego en otros países. La primera fábrica que trabajó en Alemania por este método se construyó en 1818 y la primera fábrica inglesa en 1823. Sobre todo en Inglaterra, la fabricación progresó rápidamente. En 1880, que marca el punto culminante de la fabricación de Carbonato de Sodio por el método Le Blanc, había 45 instalaciones en Inglaterra y 21 en Alemania. Sin embargo, no duró mucho tiempo este proceso y fue suplantado por un nuevo método: el Solvay.

Ya desde los primeros años de la introducción del método Le Blanc comenzaron los científicos de todos los países la búsqueda de un mejor procedimiento para fabricar el Carbonato de Sodio. Fue entonces que en 1861, el belga Ernest Solvay (1838-1922) encontró un camino útil para "la precipitación del Bicarbonato de Sodio por introducción de gas carbónico en una disolución de Cloruro de Sodio saturada con Amoniaco. Consiguió también aprovechar toda la experiencia adquirida reuniéndola en un procedimiento técnicamente utilizable que es el proceso Solvay.

En 1863 se construyó en Bélgica la primera fábrica de Carbonato de Sodio de Solvay & Cia., y posteriormente, en 1872 se construyó otra fábrica en Francia. A éstas siguieron fábricas construidas por Solvay con grupos industriales de otros países. Así en 1872 se construye una fábrica en Inglaterra, en 1880 en Alemania, en 1881 en Estados Unidos y Polonia (menciono aquí Polonia por el detalle de que Karol Wojtyła, es decir, el Papa Juan Pablo II, trabajó a los 21 años, en 1942, en la planta Solvay que se encuentra en las afueras de Cracovia) y en 1883 en Rusia.

La competencia inicial con las plantas del método Le-Blanc terminó pronto con la desaparición de estas últimas. En 1886 el Carbonato de Sodio obtenido por el proceso Solvay alcanzó la misma producción que la obtenida por el proceso de Le Blanc y en 1915 se cerró la última fábrica con dicho proceso. Desde entonces, el Carbonato de Sodio se produce, en forma sintética, solamente por el proceso Solvay. (3) y (4) En la Gráfica 3 (Ver Apéndice 1) se muestra la relación que hubo entre el Método Solvay y el Método Le Blanc. (4)

### 1.3. Usos y aplicaciones.

En la gráfica 4 puede observarse la distribución de la demanda de Carbonato de Sodio en 1991. (8)

a) El Sector Vidrio ha sido el más importante consumidor de el Carbonato de Sodio ya que en 1992 consumió el 55% de la demanda. Este tiene la función de actuar como un fundente de manera que al fundir la arena no requiera temperaturas tan altas que encarezcan los costos de la fusión, además de que su adición al vidrio le da propiedades más plásticas. Para ello utilizan el Oxido de Sodio en forma de Carbonato que actúa rompiendo las uniones Si-O de la Silica.

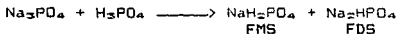
La reacción química es la siguiente:



La relación  $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$  no es equimolar. Por ejemplo, la relación puede ser del tipo  $\text{Na}_2\text{O}/1.85\text{SiO}_2$ . En un vidrio común para ventana, las relaciones molares son, aproximadamente, 1.5 mol  $\text{Na}_2\text{O}$ , 1 mol  $\text{CaO}$ , y 5 mol  $\text{SiO}_2$ . Otros varían ampliamente, como lo podemos ver en el cuadro 2. (6)

El tipo de Carbonato de Sodio usado en la industria del vidrio es el de grado granular densa, esto por su mayor densidad.

b) La elaboración de Tripolifosfato de Sodio (TPPS), que es usado en la industria de los detergentes, le sigue en importancia consumiendo el 12% de la demanda. El Carbonato de Sodio actúa junto con el Acido Fosfórico para producir el TPPS, esto ocurre al producir dos ortofosfatos que son el Fosfato Monosódico (FMS) y el Fosfato Disódico (FDS), los cuales a su vez, reaccionan entre si para obtener el Tripolifosfato de Sodio y Agua. (6)



c) La Industria Química consume 10% de la demanda. Anteriormente se han puesto algunas reacciones en donde interviene el álcali. Además, el Carbonato de Sodio es usado como reactivo alcalino, para neutralizar ácidos y sales ácidas inorgánicas y orgánicas. Esta neutralización puede tener por objeto, por un lado, mantener el pH en un valor bien determinado en el curso de un proceso en el que se liberan ácidos como por ejemplo, en ciertos casos de

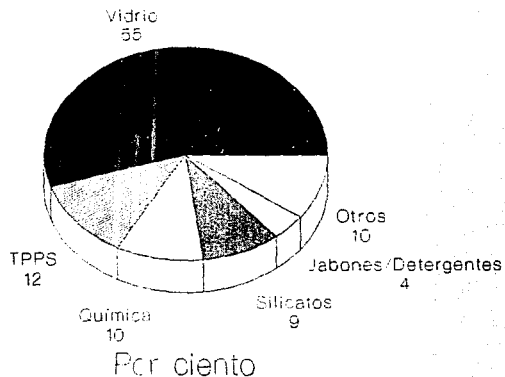
No.	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PbO	ZnO	BaO	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Li <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
1	67.8		4.4			4.0	2.3	13.7	2.3						1.0
2	69.4		3.5	1.1		7.2		17.3							
3	72.5		1.4			13.3		14.0							
4	73.0		0.8			12.7	0.2	12.7							
5	71.8		1.4	0.1		8.9	3.3	14.3							0.3
6	70.6		0.8	0.1		10.6	0.1	17.0							0.8
7	72.7		0.5	0.1		13.0		13.2					0.2		0.4
8	72.0		2.1			10.2		14.9							0.8
9	72.4		0.8	0.4		5.3	3.7	17.4							
10	66.4	4.0	2.4				5.2	15.6			6.2				
11	81.0	12.5	2.0					4.5						1.0	
12	72.4		1.0	0.1		8.1	0.2	18.1				0.2			
13	67.2				0.5	0.9		9.5	7.1	14.8					
14	96.3	2.9		0.4											
15	100.0														
16	55.0	10.0				13.0	5.0	0.5				1.0			

1, Egipcios, 1500 A.C.; 2, ventana, pompeyana; 3, ventana, Estados Unidos, s. XIX; 4, ventana, 1920; 5, ventana, Fourcalt, Estados Unidos, 1929; 6, ventana europea; 7, plato con SbO<sub>2</sub>; 8, recipiente de Cal sodada, Estados Unidos, 1949; 9, foco -- eléctrico; 10, laboratorio jena, anterior a 1910; 11, laboratorio Pyrex; 12, servicio de mesa de Cal sodada; 13, servicio de mesa--cristal de Plomo; 14, vycor con 96% de Sílice; 15, Sílice fundida; 16, vidrio "E" para fibras.

Cuadro 2: Composición química de algunos vidrios típicos, en por ciento.

# CARBONATO DE SODIO

## Distribución de la demanda (1991)



Fuente: Anuario Estadístico. A.N.I.Q. México (1992)

GRAFICA 4

# CARBONATO DE SODIO

## Distribución de la demanda (1991)

SECTOR	
Vidrio	55%
TPPS	12%
Química	10%
Silicatos	9%
Jabones/Detergentes	4%
Otros	10%
TOTAL	100%

Fuente: Anuario Estadístico. A.N.I.Q. México (1992)

TABLA 4

fabricación de pastas de madera, y por el otro, preparar sales sódicas de ácidos: cromatos, nitratos, fosfatos, nitritos, dicromatos, citratos, tartratos, etc. A continuación se presentan otros ejemplos.

1. El Nitrito de Sodio se elabora haciendo pasar el producto de la oxidación del Amoniaco a través de una solución de Carbonato de Sodio:



2. El Nitrato de Sodio también es obtenido con Sal ó Carbonato de Sodio y Acido Nitríco:



3. También es usado para eliminar la dureza del agua:



d) La elaboración de Silicatos, que es usado en la industria de vidrio, jabones, pigmentos y algunas otras, demanda el 9% del Carbonato de Sodio que se obtiene. Los Silicatos de Sodio se obtienen básicamente de una fusión química de Carbonato de Sodio y Silica (arena), y se producen en diversas relaciones de peso del Oxido de Sodio con respecto al Oxido de Silicio con diversas viscosidades y concentraciones.

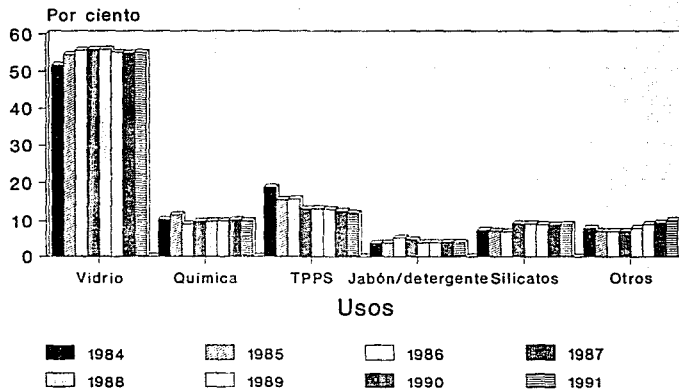
e) En la rama de los detergentes, el Carbonato de Sodio tiene una demanda de 4%, éste, junto con otros materiales como tripolifosfatos y silicatos son promotores de detergencia, ayudando a dispersar la suciedad en la solución de lavado y sirviendo como agentes anticorrosivos.

f) El restante 10% englobado en "otros", considera industrias tales como minería, pulpa y papel, etc. Por ejemplo, en la producción de la pulpa existe el proceso Kraft ó de Sulfato; con este proceso se obtienen cantidades de pulpa bastantes grandes y el Carbonato de Sodio interviene en la cocción de esta, puesto que se hace con una solución que tiene Sulfuro de Sodio, Sosa Cáustica y el Carbonato.

Como se ha mencionado, el sector vidrio es el que tiene la mayor demanda de Carbonato de Sodio; esta situación, junto con los demás sectores que requieren del Carbonato de Sodio las podemos ver en la Gráfica 5 que muestra los por cientos que han ocupado todas las áreas de 1984 a 1991. (8)

# CARBONATO DE SODIO

## Histórico de la distribución



Fuente: Anuario Estadístico. A.N.I.Q. México (1992)

GRAFICA 5



# CARBONATO DE SODIO

## Histórico de la distribución

Usos	1984	1985	1986	1987
Vidrio	51.6%	54.4%	55.6%	55.8%
Química	10.4%	11.6%	9.1%	9.9%
Tripolifosfatos	18.7%	15.5%	15.6%	13.1%
Jabones/detergentes	3.8%	4.0%	5.4%	4.9%
Silicatos	7.5%	7.3%	7.1%	9.2%
Otros	8.0%	7.2%	7.2%	7.1%

Fuente: Anuario Estadístico. A.N.I.Q. México (1992)

TABLA 5

# CARBONATO DE SODIO

## Histórico de la distribución

Usos	1988	1989	1990	1991
Vidrio	55.8%	55.0%	54.8%	55.0%
Química	9.9%	10.0%	10.2%	10.0%
Tripolifosfatos	13.1%	13.0%	12.5%	12.0%
Jabones y detergentes	4.0%	4.0%	4.2%	4.0%
Silicatos	9.2%	9.0%	8.9%	9.0%
Otros	8.0%	9.0%	9.4%	10.0%

Fuente: Anuario Estadístico. A.N.I.Q. México (1992)

TABLA 5 (CONTINUACION)

#### 1.4. Propiedades de las materias primas.

##### 1.4.1. Carbonato de Calcio.

El Carbonato de Calcio existe en cuatro formas distintas:

a) Como piedra caliza,  $\text{CaCO}_3$ , es una parte principal de las grandes formaciones de rocas sedimentarias de la Tierra. Estas formaciones deben su origen a los depósitos de caparazones calcáreos de animales marinos diminutos.

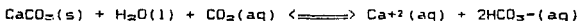
Aún cuando la mayor parte de la piedra caliza se convierte en Cal viva, una gran cantidad se utiliza directamente como material de construcción.

b) La piedra caliza que ha sido comprimida fuertemente por fuerzas naturales, es el mármol. Es denso, duro y tiene una superficie de textura cerrada que puede ser pulida.

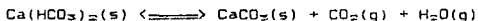
c) La piedra caliza porosa, de grano fino que se desmorona fácilmente es el gis o tiza.

d) El Carbonato de Calcio puro, cristalino, incoloro y transparente se encuentra como mineral Calcita.

Las cuevas de piedra caliza, distribuidas por todo el mundo, son el resultado de la erosión interna de depósitos masivos de piedra caliza. La erosión es de naturaleza química e implica la conversión lenta del Carbonato de Calcio insoluble en Bicarbonato de Calcio soluble. Esta conversión es provocada por la acción del gas  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua subterránea (7):



Quando el agua, rica en Bicarbonato de Calcio disuelto, se filtra en las cuevas, quedan los residuos sólidos al evaporarse el agua. Después, los residuos de Carbonato de Calcio soluble se convierten en Carbonato Cálcico insoluble:



A continuación se presentan algunas propiedades del Carbonato de Calcio (1):

Peso molecular	100.09 gr/grmol
Formas cristalinas:	
a) aragonito(ortorrómbico)	
Punto de fusión	825°C
Densidad	2.94 gr/ml
Formación	>30°C
b) Calcita(hexagonal)	
Punto de fusión	1339°C
Densidad	2.75 gr/ml
Formación	temperaturas bajas

Cuadro 3: Propiedades del Carbonato de Calcio.

### 1.4.2. Cloruro de Sodio.

Esta sal es uno de los compuestos más importantes del Sodio, por su abundancia en la naturaleza y su aplicación en la industria. En nuestro país, la explotación de la sal común se hace en los litorales de Baja California, Sonora, Sinaloa, Colima, Jalisco, Tamaulipas, Campeche y Yucatán, por evaporación de las aguas de mar; y en el interior del territorio, de yacimientos en Zacatecas y del ex-lago de Texcoco.

La mayor parte del Cloruro de Sodio se emplea en la obtención de Ácido Clorhídrico, Cloro, Hidrógeno, Hidróxido de Sodio y Sodio. Se usa también en la síntesis del Carbonato de Sodio (6). En Estados Unidos utilizan 6% de Cloruro de sodio para elaborarlo.

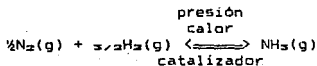
A continuación se presentan algunas propiedades del Cloruro de Sodio (1):

Peso Molecular	58.454 gr/grmol
Composición centesimal	39.342% Na, 60.658% Cl
Dureza	2.5 (Escala de Mohs)
Densidad	2.165 gr/ml
Punto de fusión	800.8±0.5°C
Punto de ebullición	1413°C
Calor de fusión	123.59 cal/gr
pH	6.7-7.3

Cuadro 4: Propiedades del Cloruro de Sodio.

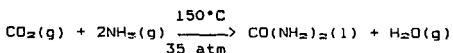
### 1.4.3. Amoníaco.

Obtención de Amoníaco: Una fuente mayor de compuestos nitrogenados es la fijación sintética del Nitrógeno mediante el proceso Haber:



Para que el proceso sea productivo, se necesitan más de 1000 atmósferas de presión, cerca de 500°C y óxidos de metal pesado como catalizadores. Una parte se utiliza como fertilizante y el resto para sintetizar compuestos de Amonio.

La Urea,  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , se sintetiza según la siguiente reacción:



El Acido Nitrico y el Sulfato de Amonio se producen en grandes cantidades a partir del Amoniac. Ya vimos como se utiliza el Amoniac en el proceso Solvay.

Las soluciones acuosas del Amoniac se utilizan como fuente de gas  $\text{NH}_3$  y de los iones  $\text{OH}^-$ . El Amoniac es muy soluble en agua.

A continuación se presentan algunas propiedades del Amoniac (1):

Peso Molecular	17.03 gr/grmol
Punto de ebullición	-33.35°C
Punto de congelación	-77.7°C
Solubilidad en agua	0°C=42.8%
	20°C=33.1%
	40°C=23.4%
	60°C=14.1%
Gravedad especifica	-40°C=0.690
	0°C=0.639
	40°C=0.580

Cuadro 5: Propiedades del Amoniac.

#### 1.4.4. Trona.

La Trona es un mineral que contiene Carbonato y Bicarbonato de Sodio. Su nombre quimico es Sesquicarbonato de Sodio dihidratado, cuya fórmula es  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ , es blanco ó amarillo y vidriado. Contiene 41.2% de  $\text{Na}_2\text{O}$ , 38.9% de  $\text{CO}_2$  y 19.9% de agua, con algunas impurezas. Su gravedad especifica es de 2.112, si se trata de fundir se descompone, es soluble en agua y menos alcalino que el Carbonato. (9)

1.5. Substitutos del Carbonato de Sodio.

- El Carbonato de sodio tiene gran competencia con la Sosa Cáustica en varias industrias; por ejemplo, la fabricación de vidrio requiere Oxido de Sodio, el cual lo contienen tanto el Carbonato como la Sosa Cáustica.

- Para la elaboración de detergentes, en lo que se refiere a las contribuciones específicas al proceso de lavado se utilizan, aparte del Carbonato de sodio, Tripolifosfato Pentasódico, Silicato de sodio, una Zeolita, y algunos otros productos; en el cuadro ó se muestra la forma en que contribuyen al proceso: (10)

Beneficio	STPP	Zeolita-A	Silicato	Soda Ash
Remoción de Calcio	***	***	*	**
Remoción de Magnesio	***	*	**	*
Antiredeposición	***	**	**	--
Ausencia de residuo	***	***	***	xx
Emulsificación	**	--	*	--
Actividad dispersante	**	--	*	--
Alcalinidad(Buffer)	***	--	**	***
Procesabilidad	***	*	***	x
* Efecto positivo				
-- Sin efecto				
x Efecto negativo				
Cuadro ó: Contribuciones específicas al proceso de lavado.				

- Por otro lado, en la industria del vidrio, algunas empresas están estudiando la posibilidad de sustituir el Carbonato de Sodio por Dolomita (MgO) con la cual se obtiene, al parecer, una mayor velocidad de fraguado, propiedad necesaria para altas velocidades de producción. (10)

1.6. Normas oficiales del Carbonato de Sodio.

Las Normas que a continuación se presentan fueron obtenidas de la Dirección General de Normas de SECOFI.

1.6.1. De la calidad para Carbonato de Sodio. (11)

A) Especificaciones.

El producto considerado en esta Norma debe cumplir con las especificaciones indicadas en los cuadros 7 y 8.

Especificaciones	Tipo I (denso)		Tipo II (ligero)
	Subtipo A	Subtipo B	
Carbonatos como $\text{Na}_2\text{CO}_3$ % en peso mínimo.	98.8	98.8	99.3
Bicarbonatos como $\text{NaHCO}_3$ % en peso máximo.	0.005	0.005	0.005
Cloruros como $\text{NaCl}$ % en peso máximo.	0.6	0.6	0.004
Hierro como Fe % en peso máximo.	0.006	0.006	0.005
Sulfatos como $\text{Na}_2\text{SO}_4$ % en peso máximo.	0.2	0.2	0.021
Material insoluble % en peso máximo.	0.1	0.1	0.12
Cuadro 7			

Malla	Granulometria		
	Por ciento retenido máximo		
	Tipo I (denso)		Tipo II (ligero)
	Subtipo A	Subtipo B	
6.5 M	1.0	0.5	0.5
40.0 M	84.0	6.5	6.5
80.0 M	13.0	52.9	52.9
Fondo	2.0	40.1	40.1
Cuadro 8			

B) Marcado.

En los envases u hojas de entrega del producto debe indicarse:

- \* Nombre y marca registrada.
- \* Tipo y subtipo.
- \* Peso neto en Kg ó en toneladas métricas.
- \* La leyenda "Hecho en México"
- \* "Sello Oficial de Garantía", cuando la Secretaría de Industria y Comercio así lo autorice.

C) Empaque.

El Carbonato de Sodio debe envasarse en sacos de tres capas de papel Kraft, de 100 gr/m<sup>2</sup>; la segunda de dichas capas debe ser impermeabilizada por medio de una capa de plástico adherida al papel previamente a la manufactura de la bolsa, y con un espesor de 0.013±0.002 mm; ó en cualquier tipo de recipiente que no afecte las características del producto.

1.6.2. Determinación de la pureza de Carbonato de Sodio.(12)

A) Aparatos y Equipos.

Balanza analítica capaz de pesar 0.0001 gr.  
Bureta de 50 ml graduada en 0.1 ml.  
Equipo usual de laboratorio.

B) Materiales y Reactivos.

Los materiales que a continuación se mencionan deben ser reactivos analíticos, a menos que se indique otra cosa. Estos son Solución de Acido Sulfúrico 0.5 N y Solución de Anaranjado de Metilo al 0.1%. Cuando se hable de agua, se debe de entender agua destilada.

C) Procedimiento.

C.1. Principio.

El método consiste en la determinación de la alcalinidad total, empleando una solución valorada de ácido y como indicador una solución de anaranjado de metilo.

C.2. Determinación.

De la cantidad total de muestra se toma una porción y se seca en la estufa a 250°C durante 2 horas; se deja enfriar en un desecador por lo menos durante 1 hora. De la muestra seca, se pesa  $1 \pm 0.0001$  gr y se pasa a un matraz Erlenmeyer de 300 ml, y se disuelve con 50 ml de agua. Se



agregan 2 gotas de solución de Anaranjado de Metilo y se titula con la solución de Acido Sulfúrico hasta el vire del indicador.

### C.3. Cálculos y resultados.

La pureza del Carbonato de Sodio en tanto por ciento se calcula con la siguiente expresión:

$$\% \text{Na}_2\text{CO}_3 = \frac{V \times N \times 0.053}{G} \times 100$$

donde: V = Mililitros de Acido Sulfúrico empleados en la valoración.  
N = Normalidad de la solución del Acido Sulfúrico.  
G = Gramos de muestra empleados.

### C.4. Reproducción de la prueba.

La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor de 0.1%; en caso contrario se recomienda repetir la determinación.

## 1.6.3. Determinación de la densidad aparente de materiales pulverulentos ó granulados. (13)

### A) Alcance.

La presente Norma establece el procedimiento para la determinación de la densidad aparente de materiales pulverulentos y granulados.

### B) Aparatos y Equipo.

#### B.1. Descripción del aparato.

El aparato consiste en un embudo de Hierro laminado ó acero apoyado en un soporte de Hierro y una copa de Aluminio (Figura 1).

En la varilla del soporte se encuentra un perno que sostiene el embudo en una posición fija y tres pernos más en la base del soporte, que sirven para fijar la copa de Aluminio de manera que ésta queda centrada en el embudo.

El embudo está provisto en su parte inferior de un obturador de bisagra con cerradura de muelle y un resorte para accionar el obturador y abrirlo.

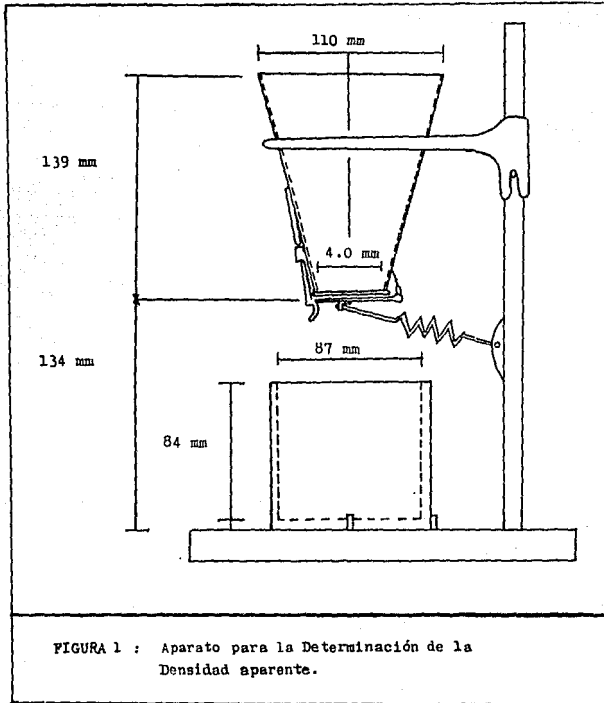


FIGURA 1 : Aparato para la Determinación de la Densidad aparente.

## B.2. Calibración de la copa.

Con un calibrador de interiores se efectúan dos mediciones del diámetro interior (cerca de la parte superior de la copa), en ángulos rectos con una exactitud de 0.025 cm.

Se efectúan dos mediciones similares cerca del fondo de la copa, se calcula el diámetro promedio y se divide entre dos para obtener el radio promedio.

Con una escala apropiada se mide la altura interior de la copa sobre sus paredes en tres puntos equidistantes del borde superior y una en el centro con una exactitud de 0.05 cm. Se calcula la altura promedio.

El volumen de la copa en centímetros cúbicos se calcula de la siguiente manera:

$$V = 3.1416 \times r^2 \times h$$

donde: V = Volumen de la copa en cc.  
r = Radio interior de la copa en cm.  
h = Altura interior de la copa en cm.

## C) Preparación de la muestra.

La muestra se extrae como se indicó en el método de muestreo correspondiente y se toma la cantidad necesaria para la determinación.

## D) Procedimiento.

La copa de Aluminio limpia se pesa con una exactitud de  $\pm 0.1$  gr.

Se cierra el obturador del embudo y se llena con el material que se va a probar agregando un exceso, con una espátula se enrasa y se elimina el excedente.

La copa de aluminio se fija en su posición y se abre el obturador del embudo y se deja que el material caiga libremente dentro de la copa.

Sin agitar se enrasa la muestra en la copa con una espátula removiendo el material excedente.

Se pesa la copa y su contenido con una exactitud de  $\pm 0.1$  gr y por diferencia se determina el peso del material.

## E. Cálculos y resultados.

La densidad aparente en gramos por litro se calcula con la siguiente expresión.

$$D_a = 2 (G_1 - G_2)$$

donde:  $D_a$  = Densidad aparente.  
 $G_1$  = Peso de la copa llena con el material.  
 $G_2$  = Peso de la copa vacía.

1.6.4. Determinación de la Granulometría en materiales pulverulentos ó granulados. (14)

A) Alcance.

Esta Norma especifica el procedimiento a seguir para determinar la granulometría en materiales pulverulentos ó granulados.

B) Aparatos y Equipo.

Máquina de tamizar.  
Estufa eléctrica.  
Tamices con mallas DGN.  
Balanza granataria cuya sensibilidad no sea menor de 0.1 gr.  
Cepillo apropiado.

C) Procedimiento.

Los tamices se colocan uno encima de otro, previendo que estén perfectamente limpios y secos; y comenzando por el de mayor abertura se colocan en orden descendente en la máquina vibratoria.

Se pesan por diferencia  $100 \pm 0.1$  gr de muestra, previamente secada durante dos horas a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Se ponen en el tamiz superior, y se hace trabajar la máquina durante 10 minutos. Después de las vibraciones a que fueron sometidos, los tamices serán cuidadosamente separados; al pasar el retenido al papel ó plato para coleccionar residuos, con un cepillo limpio se desprenden cuidadosamente, por la parte de atrás del tamiz, las partículas adheridas a éste. Los retenidos en cada tamiz se pesarán con exactitud de 0.1 gr.

D) Cálculos.

La granulometría se calcula y reporta en por ciento, sobre la base de la muestra seca. Los resultados se reportan con una exactitud de 0.1 gr.

Comunmente hay pequeñas pérdidas, pero si estas son mayores del 2% se debe repetir la operación.

1.7 Precauciones para el manejo y uso seguro del material. (15)

I. Identificación del producto.

Nombre químico: Carbonato de Sodio.

Nombres comunes: Ceniza de soda;

Soda Ash.

Fórmula química:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

## II. Datos físicos.

Estado físico: Sólido/granular  
Color: Blanco  
Olor: Inodoro

## III. Información contra incendio.

El Carbonato de Sodio es un producto químico no combustible.

No es susceptible a producir flamas ó explosiones.

## IV. Reactividad.

En condiciones normales, es un producto químico estable.

Puede reaccionar violentamente al combinársele con ácidos fuertes, liberando Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y calor.

Durante su manejo deberá evitarse la exposición simultánea del cuerpo humano al polvo de Carbonato de Sodio y al polvo de cal; estos materiales, con la presencia de humedad o sudoración, se combinan para formar la Sosa caustica, irritante y corrosiva.

## V. Precauciones.

El Carbonato de Sodio es un producto alcalino, irritante severo de ojos e irritante moderado de membranas mucosas y piel.

Evite el contacto con ojos, piel, ropa y respirar el polvo del mismo. En caso de contacto con los ojos, lávelos de inmediato con agua, por lo menos durante quince minutos, llame a un médico.

En caso de contacto con la piel, lave con agua hasta que esté limpia.

También lave la ropa antes de usarla de nuevo.

En caso de ingestión, no provoque vómito. Lave la boca con agua y dele al enfermo 200 a 300 ml de agua para beber. Llame a un médico.

El manejo y uso de este producto deberá hacerse por personal capacitado, observando las precauciones que se indican.

## VI. Equipo de protección personal.

Durante el manejo y uso del Carbonato de Sodio es conveniente proteger:

a) El aparato respiratorio, mediante el uso de mascarilla respiradora con filtro para polvo.

b) Los ojos, usando lentes de seguridad ó monogoggles.

c) La piel, usando guantes y mandiles que no permitan el paso de soluciones alcalinas.

VII. Derrames y desperdicios.

Si el Carbonato de Sodio se derrama, deberá recogerse con pala, depositándolo en recipientes debidamente identificados para su disposición posterior.

Los desechos y desperdicios de Carbonato de Sodio deberán manejarse de acuerdo a la reglamentación estatal y/o federal vigente.

VIII. Precauciones adicionales.

Almacene el producto en un lugar seco, evitando la humedad y la exposición al calor intenso.

Usese con ventilación adecuada.

Mantenga los recipientes cerrados cuando no estén en uso.

CAPITULO II

ESTUDIO DE MERCADO.

2.1. Producción Mundial.

2.1.1 Principales Productores.

Los principales productores de Carbonato de Sodio son tanto Los Estados Unidos de Norteamérica como Europa Occidental. (16)

A) En Estados Unidos producen Carbonato de Sodio por vía sintética y por vía natural. Además producen Carbonato de Sodio monohidratado  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

A continuación se presentan las compañías que producen el Carbonato de Sodio por vía sintética: (17) y (18)

Compañía	Lugar
Merichem Company	Houston, Texas
The Procter & Gamble Company Richardson-Vicks, Inc., subsidiary J.T. Baker Inc., subsidiary	Phillipsburg, New Jersey
Diamond Shamrock Chemical Co.	Painesville, Ohio

Cuadro 9: Productores de Carbonato de Sodio sintético en Estados Unidos.

El Carbonato de Sodio monohidratado es producido por las siguientes compañías: (17)

Compañía	Lugar
Church & Dwight Co., Inc. Chemical Division	Syracuse, New York
Rhone-Poulenc Inc. Basic Chemical Group	South Gate, California

Cuadro 10: Productores de Carbonato de Sodio monohidratado en Estados Unidos.

A continuación se presentan las compañías que producen Carbonato de Sodio por vía natural en Estados Unidos: (9) y (17)

Compañía	Lugar	Capacidad Anual	Proceso
FMC Corporation Chemical Products Group	Green River, Wyoming	2850	Trona
General Chemical Corporation Henley Manufactur- ing Inc.	Green River, Wyoming	2220	Trona
Kerr-McGee Corporation Kerr-McGee Chemical Corpora- tion.	Argus, California	1300	Salmuera
Stauffer Chemical Company of Wyoming	Green River, Wyoming	1960	Trona
Tenneco Inc. Tennessee Gas Pipe line Company Tenneco Minerals	Green River, Wyoming	1000	Trona
Texasgulf Inc. Tg Soda Ash, Inc.	Granger, Wyoming	1100	Trona
TOTAL		10430	
<p>* La capacidad anual está en miles de toneladas.                      * La Trona es un Sesquicarbonato de Sodio Natural:  <math>\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}</math>                      * La Salmuera se encuentra formada principalmente por Sales                      sales de Sodio y Potasio.</p>			
<p>Cuadro 11: Productores de Carbonato de sodio Natural                      en Estados Unidos.</p>			



B) En Europa Occidental también producen Carbonato de Sodio por vías natural y sintética, y aparte de haber productores de Carbonato de Sodio monohidratado, también producen Carbonato de Sodio peroxihidratado.

A continuación se presentan las compañías que producen Carbonato de Sodio por vía natural: (17)

Pais/Compañía	Lugar
Francia Rhône-Poulenc Chimie Basic Chemicals Division	La Madeleine (Meurthe et Moselle)
Alemania Dr. Paul Lohmann GmbH KG	Emmerthal 1 (Niedersachsen)

Cuadro 12: Productores de Carbonato de Sodio natural en Europa Occidental.

Ahora se presentan los productores de Carbonato de Sodio monohidratado ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) y peroxihidratado ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 1.5 \text{H}_2\text{O}$ ): (17)

- Carbonato de Sodio monohidratado:	
Pais/Compañía	Lugar
Francia Rhône-Poulenc Chimie Basic Chemicals Division	La Madeleine (Meurthe et Moselle)
- Carbonato de Sodio peroxihidratado:	
Pais/Compañía	Lugar
Alemania E. Merck	Darmstadt (hessen)
Reino Unido Interox Chemicals Ltd.	Warrington, (Cheshire)

Cuadro 13: Productores de Carbonato de Sodio monohidratado y peroxihidratado en Europa Occidental.

Los productores de Carbonato de Sodio sintético se presentan a continuación: (5) y (17)

Pais/Compañía	Lugar	Capacidad anual miles de toneladas
Austria Solvay osterreich GmbH	Ebensee, (Oberösterreich)	170
Bélgica Solvay S.A.	Couillet, (Hainaut)	400
Francia Solvay S.A.	Dombasle Sur Meurthe, (Meurthe et Moselle) TAVAUX, (Jura)	1000
Alemania BASF Aktiengesellschaft	Ludwigshafen, (Rheinland- Pfalz)	35
Chemische Fabrik Kalk GmbH - CFK	KoLN [Cologne], (Nordrhein Westfalen)	300
Deutsche Solvay-Werke GmbH	Heilbronn, (Baden- Württemberg)	350
	Rheinberg, (Nordrhein Westfalen)	800
Matthes & Weber GmbH	Duisburg 1, (Nordrhein Westfalen)	280
Italia Solvay S.A.	Rosignano-Solvay (Livorno)	820
Holanda Akzo Salt and Basic Chemicals Nederland BV	Delfzijl, (Groningen)	370
Portugal Solvay Portugal - Produtos Químicos, S.A.	Póvoa de Santa Iria, (Lisboa)	150
España Solvay S.A.	TORRELAVEGA, (Santander)	730
Reino Unido Brunner Mond & Co.	Northwich, (Cheshire)	1100
TOTAL		6505

Cuadro 14: Productores de Carbonato de Sodio sintético en Europa occidental.

2.1.2. Precio medio por País.

En el año de 1991 el precio medio de los países que exportan Carbonato de Sodio denso a México fueron los siguientes: (19)

Pais	Precio medio/kg Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (U.S.D.)
Alemania (R.F.A.)	1.06
Estados Unidos	0.15
Reino Unido	0.38

Cuadro 15: Precio medio de países que exportaron a México el Carbonato de Sodio (1991)

A continuación se presentan los datos de importación de 1989 a 1991, encontrados en el Banco Nacional de Comercio Exterior con la fracción arancelaria de importación de Carbonato de Sodio: 28.36.20.01.

Volumen de importación en Kg			
PAIS	1989	1990	1991
Alemania	221	1,661	4,566
E.U.A.	34'234,377	53'121,261	81'823,626
Reino Unido	412	200	220

Valores de importación en Dólares			
PAIS	1989	1990	1991
Alemania	244	1,261	4,851
E.U.A.	4'774,128	7'771,402	12'583,563
Reino Unido	187	101	84

Cuadro 16: Datos de Importación de Carbonato de Sodio

2.1.3. Situación internacional de Carbonato de Sodio.

En el cuadro siguiente se presenta la situación de la producción mundial de Carbonato de Sodio en el año de 1989 (16). La producción total fue de 29'713,104 toneladas.

PAIS	PRODUCCION Toneladas	%	PAIS	PRODUCCION Toneladas	%
Albania	27,068	0.1	Francia	1'583,742	5.3
Alemania	2'508,969	8.4	Grecia	998	-
Australia	299,320	1.0	Holanda	497,152	1.7
Austria	172,336	0.6	India	868,180	2.9
Bélgica	258,470	0.9	Italia	82,355	0.3
Brasil	230,822	0.8	Japón	931,352	3.1
Bulgaria	1'425,554	4.7	Kenya	208,381	0.7
Canadá,	343,376	1.1	México	456,470	1.5
Colombia	108,752	0.4	Noruega	27,741	0.1
Corea	276,212	0.9	Paquistán	136,815	0.4
Chad	4,989	.02	Polonia	907,602	3.0
Checoslovaquia	79,731	0.3	Portugal	167,293	0.5
Chile	8,072	.03	Reino Unido	1'031,431	3.5
China	2'320,762	7.8	Rumania	808,164	2.7
Dinamarca	125	-	Suecia	1,102	-
Egipto	67,935	.23	Suiza	44,962	0.1
España	448,867	1.5	Taiwán	106,913	0.3
Estados Unidos	7'667,055	26	Turquia	40,816	0.1
Ex-Unión Soviética	5'345,410	18	Yugoslavia	217,810	0.7

Cuadro 17: Producción mundial de Carbonato de Sodio en toneladas y en el por ciento correspondiente.

Como se muestra en el cuadro anterior, Estados Unidos ocupa, por mucho, el primer lugar de producción (26 %), y detrás de ellos seguiría La Unión Soviética, ya desaparecida. El hecho de que Estados Unidos se encuentre en primer lugar bien puede deberse por las reservas de mineral Trona de Wyoming, que son de 15000 millones de toneladas aproximadamente. Esto ha contribuido, junto con la diversidad de usos de el Carbonato de Sodio, a que el mercado de E.U.A. y el internacional sea bastante estable.

México solo aporta 1.5 % de la producción mundial, pero es el segundo en América, seguido por Canadá, Brasil y Colombia. A continuación se van a poner en orden los primeros países de cada continente.

AMERICA	ASIA	EUROPA	AFRICA
1. E.U.A.	4. China	3. Alemania	21. Kenya
13. México	8. Japón	5. Francia	29. Egipto
15. Canadá	10. India	6. Bulgaria	OCEANIA
19. Brasil	17. Corea	7. Reino Unido	
25. Colombia	24. Paquistán	9. Polonia	16. Australia
34. Chile	26. Taiwán	10. Rumania	

Cuadro 18: Países productores por continentes.

## 2.2. Producción en México.

### 2.2.1. Productores de Carbonato de Sodio.

En el territorio nacional solo hay dos industrias que producen el Carbonato de Sodio: (21) y (22)

#### A) Industria del Alkali, S.A. de C.V.

La empresa se constituyó en 1942 como parte del Grupo Industrial Vitro con capital 100% nacional, para la elaboración de productos químicos inorgánicos.

Producen Carbonato de Sodio, denso y ligero, por medio del proceso soda-amonio, también conocido como proceso Solvay, a partir de Cloruro de sodio, Carbonato de calcio y Carbón. También producen Bicarbonato de Sodio, Cloruro de Calcio 38% solución y 94% granular, y Cloruro de sodio refinado industrial y comestible.

#### B) Sosa Texcoco, S.A. de C.V.

Producen Carbonato de Sodio Anhidro por vía natural, por medio de la conversión del álcali que se obtiene de el ex-Lago de Texcoco.

Este álcali se purifica en una serie de evaporadores precipitando el Bicarbonato de Sodio y regenerando el Carbonato mediante calcinación.

Como subproducto del proceso que ellos llevan a cabo para elaborar el Carbonato, obtienen Cloruro de sodio industrial, y además tienen una planta de alga Espirulina proveniente de la periferia (vaso 1) de su evaporador solar.

### 2.2.2. Participación en el Mercado.

#### A) Producción.

Como ya hemos visto, el Carbonato de Sodio es necesario en la fabricación de vidrio, detergentes, etc. La producción de Carbonato de Sodio en 1991 fue aproximadamente de 450 000 toneladas anuales repartidas de la siguiente forma:

Industria del Alkali	250 000 ton/año
Sosa Texcoco	200 000 ton/año

B) Precio en México.

El precio del Carbonato de Sodio en México es el doble que el de Estados Unidos:

$$\frac{\text{Precio en México Na}_2\text{CO}_3}{\text{Precio en U.S.A. Na}_2\text{CO}_3} = 2.0$$

C) Situación del Carbonato de Sodio.

A continuación se presenta la situación del Carbonato de Sodio en México: (8)

Toneladas	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Producción	406000	401000	390000	395500	423600	447223
Importación	198700	141000	117000	134300	105200	76000
Exportación						1000
Consumo aparente	604700	542000	507000	529800	528800	522223
Incremento del C.A. %	11.3	(10.3)	(6.4)	4.5	(0.1)	(1.2)
Capacidad Instalada	440000	440000	440000	440000	444000	460000

Cuadro 19: Situación del Carbonato de Sodio en México. (1985).

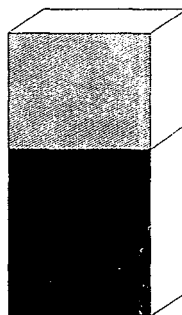
Toneladas	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Producción	405344	417329	421158	456466	448072	352936
Importación	93000	127000	90000	149000	196457	244487
Exportación	2000	3000	46000			158
Consumo aparente	496344	541329	465158	605466	644529	597265
Incremento del C.A. %	(5.0)	9.1	(14.1)	30.2	6.5	(7.3)
Capacidad Instalada	460000	460000	460000	460000	460000	460000

Cuadro 19: Situación del Carbonato de sodio en México (1991). (Continuación).

Como podemos ver en este cuadro, a partir de 1985 el valor de importación, a excepción de 1988, ha ido creciendo año con año, este aumento se debe a que no se alcanzan a cubrir las demandas que tiene el Carbonato de Sodio. En la gráfica 6 se muestra la balanza comercial de 1991. Por otro lado, en la gráfica 7 se encuentra la relación de producción-consumo aparente.

# CARBONATO DE SODIO

## Balanza Comercial (1991)



Exportación  
0.03

Importación  
40.91

Nacional  
59.06

Por ciento

Fuente: Anuario Estadístico. A.N.I.Q. México (1992)

GRAFICA 6

# CARBONATO DE SODIO

## Balanza Comercial (1991)

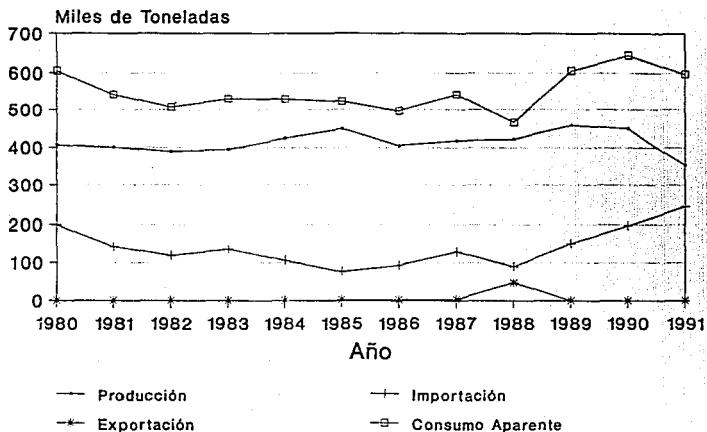
	POR CIENTO
Nacional	59.06%
Importación	40.91%
Exportación	00.03%
TOTAL	100.00%

Fuente: Anuario Estadístico. A.N.I.Q. México. (1992)

Tabla 6



## CARBONATO DE SODIO Producción y Consumo Aparente



GRAFICA 7

Fuente: Anuario Estadístico. A.N.I.Q. México (1992)

## CARBONATO DE SODIO

### Producción y Consumo Aparente

Año	Producción	Importación	Exportación	C. Aparente
1980	406.0	198.7	0.0	604.7
1981	401.0	141.0	0.0	542.0
1982	390.0	117.0	0.0	507.0
1983	395.5	134.3	0.0	529.8
1984	423.0	105.2	0.0	528.8
1985	447.2	76.0	1.0	522.2
1986	405.3	93.0	2.0	496.3
1987	417.3	127.0	3.0	541.3
1988	421.1	90.0	46.0	465.1
1989	456.4	149.0	0.0	605.4
1990	448.0	196.4	0.0	644.5
1991	352.9	244.9	0.2	597.6

\* Datos en miles de toneladas

Fuente: Anuario Estadístico. A.N.I.Q. México (1992)

TABLA 7

La disminución de producción en 1991 se debió fundamentalmente a que Sosa Texcoco enfrentó un problema laboral, el cual impidió su operación normal durante dos meses. Esto trajo por consecuencia que en el lapso de enero a abril de 1991 se importaran 15000 toneladas más que en el mismo periodo de 1990.

En 1991, las importaciones alcanzaron casi el 41% de la oferta de Carbonato de Sodio. Este hecho no es totalmente determinante puesto que influyó el problema laboral de Sosa Texcoco, pero si nos da una pauta de que no se puedan satisfacer las demandas de Carbonato para los siguientes años y muy posiblemente sigan aumentando las importaciones de éste. Un ejemplo de ello es el arranque del horno No. 4 en la empresa Nueva Fábrica Nacional de Vidrio, lo que significará un consumo mayor de Carbonato de Sodio.

### 2.2.3. Consumo Nacional Aparente.

#### A) Cálculo del consumo Aparente.

El consumo aparente se calcula sumando la producción obtenida con las importaciones y a este resultado se restan las exportaciones. En el cuadro 19 se muestra la situación del Consumo Nacional Aparente.

#### B) Estimación de la Demanda futura en base al Consumo Nacional Aparente.

Para estimar la demanda de Carbonato de Sodio que habrá en los próximos años se utilizará el Consumo Nacional Aparente. Del cuadro 19 vemos que los valores del Consumo aparente en el periodo 1980-1991 (en toneladas/año) son los siguientes:

Año	toneladas	Año	toneladas
1980	604700	1986	496344
1981	542000	1987	541329
1982	507000	1988	455158
1983	529800	1989	605466
1984	528800	1990	644529
1985	522223	1991	597265

Cuadro 20: Consumo Aparente en México.

La estimación de la demanda se obtendrá mediante una regresión tomando en cuenta las siguientes expresiones:

Expresión lineal  $y = a + bx$

Expresión logarítmica  $y = a + b \ln x$

Expresión exponencial  $y = ab^x$

Expresión potencial  $y = ax^b$

En donde  $y$  es el consumo Nacional Aparente y  $x$  es el año respectivo.

Después de haber utilizado las cuatro expresiones se encontró que la que presentaba el mejor coeficiente de correlación (0.71) era la lineal, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$Y = 4261.3153 X - 7912120.28$$

Ahora se presenta la estimación del consumo aparente hasta el año 2000 (en toneladas) usando la ecuación anterior.

Año	toneladas	Año	toneladas
1992	576420	1997	597727
1993	580681	1998	601988
1994	584943	1999	606249
1995	589204	2000	610510
1996	593465		

Cuadro 21: Estimación de la Demanda futura en base a el Consumo aparente.

#### 2.2.4. Disponibilidad de materias primas para los procesos en México.

##### a) Carbonato de Sodio natural.

Para producir Carbonato de Sodio de forma natural, México cuenta con los yacimientos que se encuentran en la zona del ex-lago de Texcoco, en donde existe una gran cantidad de Salmuera, que Sosa Texcoco utiliza en su proceso.

##### b) Carbonato de Sodio sintético.

El proceso Solvay es el método que ocupa Industria del Alkali para producir el Carbonato de Sodio; en éste las materias primas que se emplean son Carbonato de Calcio, Cloruro de Sodio y Amoniaco. El Carbonato de Calcio (Piedra Caliza) se obtiene de las rocas sedimentarias, en caparazones de ostión, etc., y se encuentra ó se produce en la mayor parte del país. El Cloruro de Sodio se obtiene de minas de

sal y se también de los litorales de Baja California, Sonora, Sinaloa, Colima, Jalisco, Tamaulipas, Campeche y Yucatán, por evaporación de las aguas de mar, y también de algunos yacimientos en Zacatecas y otros estados, y del mismo yacimiento del ex-lago de Texcoco (7). El Amoniaco es comprado a PEMEX. La Industria del Alcali posee la ventaja de tener su planta junto a un yacimiento de Cloruro de Sodio.

### 2.3. Estimación de la Demanda futura para cada sector.

A continuación se obtendrá una estimación de la demanda que nos servirá para darnos una idea de la forma en que se va a repartir el Carbonato en los próximos años. Para ello se usará la tendencia de la serie histórica de la demanda (Ver Apéndice II). A partir de 1985, la demanda del Carbonato de Sodio se encuentra de la siguiente forma: (8)

Sector	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Vidrio	54.4	55.6	55.8	55.8	55.0	54.8	55.0
Química	11.6	9.1	9.9	9.9	10.0	10.2	10.0
TPPS	15.5	15.6	13.1	13.1	13.0	12.5	12.0
Jab/Deter	4.0	5.4	4.9	4.0	4.0	4.2	4.0
Silicatos	7.3	7.1	9.2	9.2	9.0	8.9	9.0
Otros	7.2	7.2	7.1	8.0	9.0	9.4	10.0

Cuadro 22: Demanda de Carbonato de Sodio en México. (En por ciento).

Haciendo una proyección hasta 1995 tomando en cuenta la serie histórica tenemos:

Sector	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Vidrio	55.11	55.09	55.07	55.05	55.03	55.00	54.98
Química	9.74	9.65	9.56	9.48	9.38	9.29	9.21
TPPS	11.14	10.54	9.94	9.34	8.74	8.14	7.54
Jab/Deter	3.89	3.77	3.65	3.53	3.41	3.29	3.18
Silicatos	9.74	10.04	10.35	10.65	10.96	11.26	11.56
Otros	10.37	10.89	11.42	11.95	12.47	12.99	13.52

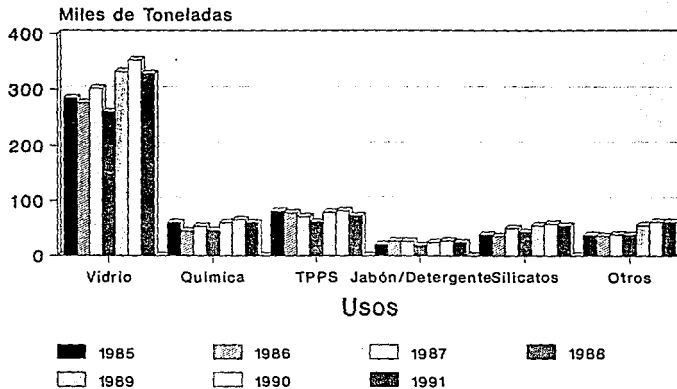
Cuadro 23: Proyección de la demanda de Carbonato de sodio. ( En por ciento)

Esta proyección es hecha por medio de regresión lineal mediante la ecuación de la recta  $y = mx + b$ , siendo  $y$  el por ciento de la demanda en cada sector y  $x$  el año respectivo.

En la gráfica 8 se muestra la distribución de la demanda y en la gráfica 9 se presenta la estimación de dicha demanda (ambas en miles de toneladas).

# CARBONATO DE SODIO

## Distribución de la Demanda



GRAFICA 8

# CARBONATO DE SODIO

Distribución de la Demanda (Miles de Toneladas)

Usos	1985	1986	1987	1988
Vidrio	284.1	275.9	302.0	259.5
Química	60.6	45.2	53.6	46.0
TPPS	80.9	77.4	70.9	60.9
Jabones/detergentes	20.9	26.8	26.6	18.7
Silicatos	38.1	35.3	49.8	42.8
Otros	37.6	35.7	38.4	37.2

TABLA 8

# CARBONATO DE SODIO

Distribución de la Demanda (Miles de Toneladas)

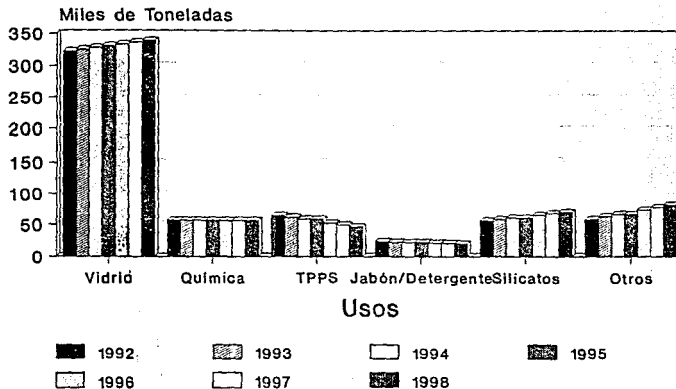
Usos	1989	1990	1991
Vidrio	332.9	353.2	328.7
Química	60.5	65.7	59.7
TPPS	78.7	80.6	71.7
Jabones/Detergentes	24.3	27.1	23.9
Silicatos	54.5	57.4	53.8
Otros	54.5	60.5	59.8

TABLA 8 (CONTINUACION)



# CARBONATO DE SODIO

## Estimación de la Demanda



GRAFICA 9

# CARBONATO DE SODIO

Estimación de la Demanda (Miles de Toneladas)

Usos	1992	1993	1994	1995
Vidrio	321.9	324.4	327.2	330.1
Química	56.8	56.8	56.8	56.8
TPPS	65.3	62.2	59.1	59.1
Jabones/detergentes	22.9	22.2	21.7	21.7
Silicatos	56.8	59.2	61.5	61.5
Otros	59.8	64.1	67.9	67.9

TABLA 9

# CARBONATO DE SODIO

Estimación de la Demanda (Miles de Toneladas)

Usos	1996	1997	1998
Vidrio	332.9	335.7	338.5
Química	56.7	56.7	56.7
TPPS	52.9	49.7	46.4
Jabones/Detergentes	20.7	20.2	19.6
Silicatos	66.3	68.7	71.2
Otros	75.4	79.3	83.2

TABLA 9 (CONTINUACION)

### CAPITULO III

#### TECNOLOGIAS DISPONIBLES.

El Carbonato de Sodio se elabora a partir de dos maneras diferentes que son:

\* Natural

\* Sintética

La forma de elaborarlo por vía natural es mediante el uso de yacimientos que contienen diferentes tipos de salmuera, ya sea ésta sedimentada ó en solución.

Para elaborarlo por vía sintética, se tienen varios procedimientos, como los que ya se han mencionado y que involucran una serie de materias primas como la Piedra Caliza y la sal común, entre otras.

A continuación se presentan las diferentes tecnologías, naturales y sintéticas, para elaborar la Ceniza de Sosa.

#### 3.1. Métodos Naturales.

El Carbonato de Sodio es encontrado en varios minerales, como se indica en el cuadro 24, en los métodos que se muestran después de éste se encuentran algunos de ellos, como cristales ó en solución. (24)

Mineral	Composición	% $\text{Na}_2\text{CO}_3$
Natrol	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	37.1
Termonatrita	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	85.5
Nacolita	$\text{NaHCO}_3$	63.1
Trona	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	70.4
Gaylussita	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	35.8
Pirssonita	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	43.8
Shortita	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2 \text{CaCO}_3$	34.6
Burkeita	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2 \text{Na}_2\text{SO}_4$	27.2
Hanksita	$2 \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 9 \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{KCl}$	13.5
Nortupita	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaCl} \cdot \text{MgCO}_3$	42.6

Cuadro 24: Minerales que contienen Carbonato de Sodio.

#### 3.1.1. A partir del ex-Lago de Texcoco.

La compañía Sosa Texcoco, S.A. de C.V., una de las dos empresas que fabrican Carbonato de Sodio en México, tienen su propio método para obtener este álcali.

El proceso de obtención se basa en la conversión del Alcalí contenido en la única materia prima que utilizan, que es la salmuera que impregna las arcillas del vaso del antiguo Lago de Texcoco, que escurren y se colectan en formaciones de material más poroso conocidas como "capas duras". La capacidad de extracción está limitada por la velocidad de escurreamiento de las salmueras por lo que la capacidad de cada pozo es relativamente pequeña, se estima en promedio tres toneladas por día de alcalí por cada pozo.

La Salmuera contiene Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros de Sodio y de Potasio y pequeñas proporciones de Ácido sulfhídrico, materia orgánica, Silicio, Calcio y Magnesio en algunos pozos y trazas de otras sales.

Se bombea la salmuera al evaporador solar llamado "El Caracol", de donde se obtiene la que tiene la mayor concentración (aproximadamente 8-10%) y se lleva a la planta para procesarla.

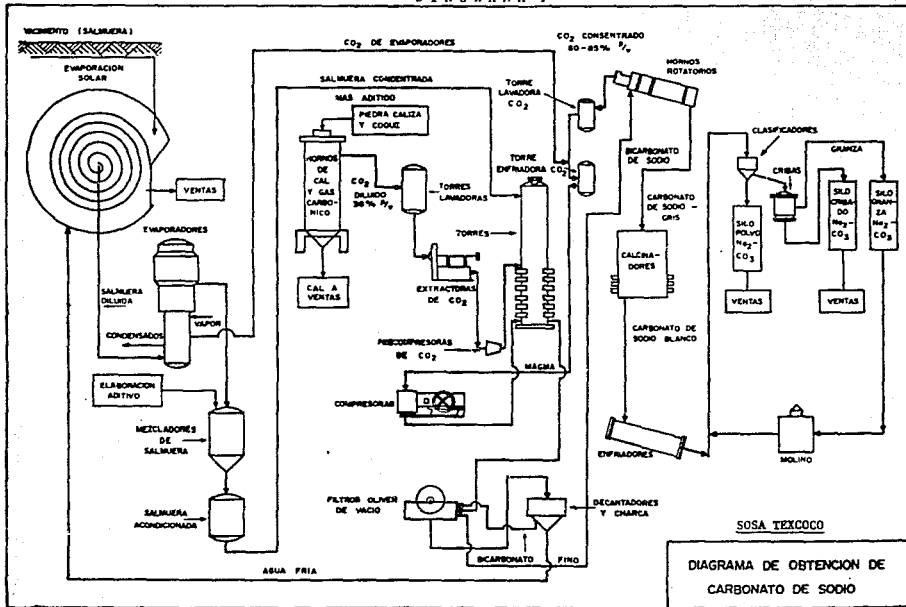
Esta salmuera entra a una serie de evaporadores para aumentar su concentración (16-17%) llegando al límite de saturación, aquí ocurre la siguiente reacción (hacia la derecha):



Luego, el Carbonato de Sodio entra a las torres de carbonatación donde ocurre la reacción anterior hacia la izquierda y el Bicarbonato de Sodio formado sale con una estructura monoclinica que hace difícil el filtrado que se lleva a cabo más adelante. Por este motivo, antes de entrar a la torre se agrega un aditivo que ellos llaman PES (Poliestirensulfonato) al Carbonato con lo que cambia la estructura monoclinica por otra irregular pero de mejores características para el proceso. Luego de las torres de Carbonatación, el "magma", como se le llama a el agua madre con el Bicarbonato que sale, pasa a filtros en donde se separa el agua madre del Bicarbonato pasando a un secador rotatorio en donde vuelve a ocurrir la reacción escrita arriba, nuevamente hacia la derecha, obteniéndose un Carbonato de Sodio gris, producto de la oxidación de las algas que provienen de "el Caracol". Este pasa a un calcinador que contiene Nitrato de Sodio que ayuda a blanquear el Carbonato. De ahí, éste pasa a un enfriador rotatorio en donde baja la temperatura de 300°C a 80°C, para posteriormente pasar a unos clasificadores cónicos, por el exterior pasa el material fino, que ellos le llaman polvo, y por el interior pasa el material grueso, que ellos le llaman granza. El material fino pasa directamente a silos de almacenamiento y el material grueso pasa a cribado y de ahí a los silos de almacenamiento. (25) y (26)

En el Diagrama 1 se ilustra el proceso de Sosa Texcoco. (25)

DIAGRAMA 1



SOSA TEXCOCO

DIAGRAMA DE OBTENCION DE CARBONATO DE SODIO

### 3.1.2. A partir de Trona.

Los métodos que se mencionan han sido elegidos porque, como se muestra en el capítulo II, hay una gran cantidad de industrias en Estados Unidos que obtienen el Carbonato de Sodio de forma natural, por lo que se puede decir que estos métodos son un buen ejemplo de la forma de elaborar este producto a nivel internacional.

En 1947, una planta fue construida en Green River, Wyoming, para utilizar depósitos de Trona que se encontraban 500 m debajo de la superficie. Estos depósitos fueron descubiertos 10 años antes en el curso de una exploración para encontrar petróleo. Actualmente 5 compañías que explotan el mineral, se encuentran ubicadas en esa área. (18)

Los depósitos que existen en esa zona son casi de Trona pura, conteniendo solo alrededor de 5% de impurezas; un análisis típico de Trona Cruda es el siguiente: (27)

Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	45.00 %
NaHCO <sub>3</sub> .....	36.00 %
H <sub>2</sub> O.....	15.30 %
NaCl.....	0.04 %
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0.01 %
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .....	0.08 %
Insolubles.....	3.60 %

Cuadro 25: Análisis de Trona Cruda ( Wyoming, U.S.A.)

El muy bajo contenido de Sulfato y Cloruro distingue estos depósitos de otros como las Salmueras de los Lagos Searles y Owens (California, U.S.A.)

Varios procesos se han utilizado [(27)-(32)] para purificar la Trona y producir Carbonato de Sodio puro, a continuación se mencionan dos de ellos, que son utilizados por las empresas antes mencionadas y en especial por la compañía FMC Corporation, y posterior a estos se muestra un esquema que, a grandes rasgos, muestra el proceso monohidratado:

#### A) Proceso del Sesquicarbonato.

La reacción que ocurre en este proceso es la siguiente:



En este proceso, la Trona entra a un sistema de trituración y disolución, en donde se obtiene una solución llamada licor. Este es bombeado a través de unos

clarificadores en donde los sólidos remanentes e insolubles, como arcilla, pizarra y sales complejas que contienen Carbonato de Calcio son depositadas.

Algunas veces, el licor clarificado es tratado con Carbón activado para remover orgánicos, el Carbón es filtrado usando la ayuda de un filtro de diatomeas; una baja concentración de ión sulfuro es mantenida en este paso para inhibir corrosión y precipitar metales pesados.

Luego, el licor es bombeado a través de una serie de filtros donde cualquier impureza que quede todavía, sea removida. Posteriormente, este licor purificado se manda a una serie de cristalizadores. Es en esta parte del proceso en donde se forman los cristales de Sesquicarbonato de Sodio. Para hacer el Carbonato de Sodio, el líquido es separado de los cristales por centrifugación, este es regresado a la disolución. Los cristales lavados con agua de reposición y posteriormente son calentados en los calcinadores, a una temperatura entre 110 y 175°C, produciéndose así varios grados de el producto. (33)

#### B) Proceso del Monohidratado.

El proceso monohidratado difiere del proceso del Sesquicarbonato en que el mineral Trona es triturado y luego calcinado a una temperatura entre 150 a 200°C.

Esto ocasiona que la Trona se convierta inmediatamente en un Carbonato de Sodio impuro, que es más soluble que la Trona cruda.

El producto crudo es filtrado con agua y la solución es clarificada y filtrada.

Después del tratamiento de Carbón, la solución clarificada es evaporada para producir cristales de Carbonato de Sodio monohidratado y luego es calcinada para obtener Carbonato de Sodio neutro. En los diagramas 2 y 3 se muestran ambos procesos. (33)



DIAGRAMA 2

Sesquicarbonato

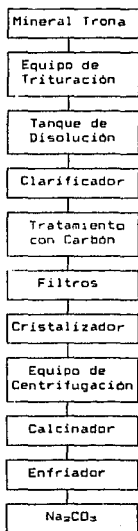
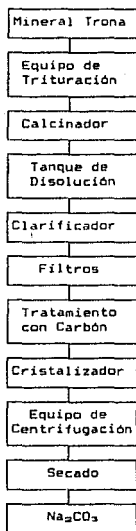


DIAGRAMA 3

Monohidratado

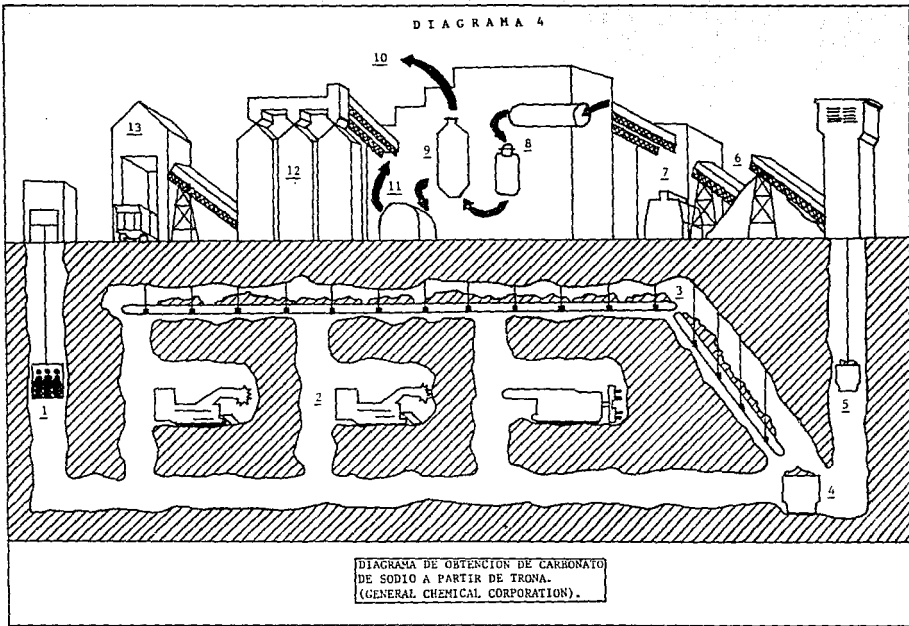


DIAGRAMAS DE LOS PROCESOS DE OBTENCION DE CARBONATO DE SODIO A PARTIR DE TRONA.

C) Pasos del esquema del Proceso del Monohidratado.

Para ilustrar mejor el proceso monohidratado, se muestra a continuación el esquema (diagrama 4) del cual parte la compañía General Chemical Corporation, para obtener su Carbonato. (34)

1. Gente y equipo son transportados 1600 pies por debajo de la superficie.
2. El mineral Trona es cortado de capas expuestas que lo contienen con equipo de minería, explosivos, etc.
3. Luego es colocado en un sistema de transporte que corre a lo largo de toda la mina.
4. El mineral es recibido en unos pequeños tanques de almacenamiento.
5. Dos compartimentos grandes llevan la Trona a la superficie.
6. El mineral se deja apilado en el exterior ó se almacena ó va directamente a la planta.
7. Después es triturado, cribado y llevado al edificio principal de proceso.
8. Luego la Trona es calentada en calcinadores para expulsar los gases y luego es disuelta en agua.
9. El agua es evaporada de la solución para obtener cristales de Carbonato de Sodio.
10. El agua es enviada a estanques.
11. Los cristales son centrifugados y secados para obtener el Carbonato de Sodio puro.
12. Después de un buen cribado y enfriado, el producto obtenido es llevado a silos de almacenamiento.
13. El Carbonato de Sodio es cargado en camiones ó vagones de ferrocarril para su distribución.



A continuación se presentan dos métodos, a partir de Salmuera, de los que se puede obtener Carbonato de Sodio.

### 3.1.3. Carbonatación de una Salmuera.

Las salmueras del lago Searles, cuyo análisis se presenta a continuación (35), se están explotando para obtener Carbonato de Sodio por un proceso de Carbonatación, como se ilustra en el Diagrama 5. (35) y (36)

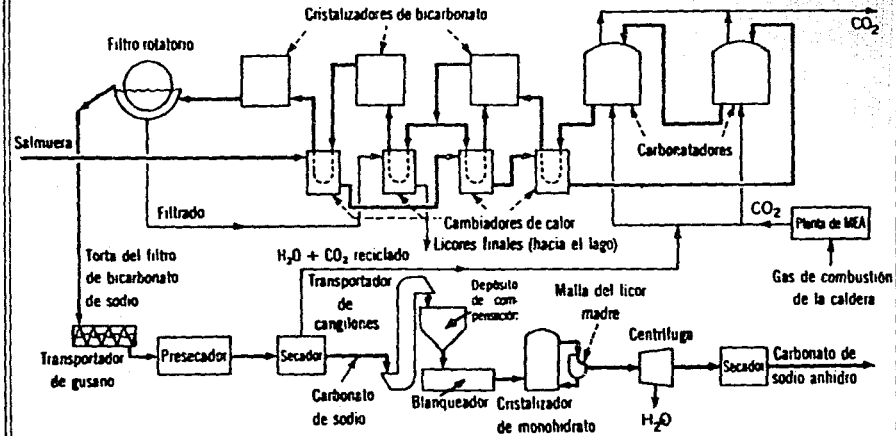
KCl.....	2.94 %
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	6.78 %
Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .....	1.96 %
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	6.56 %
NaCl.....	15.51 %
Na <sub>2</sub> S.....	0.38 %
Li <sub>2</sub> O.....	0.006%
KBr.....	0.08 %
WO <sub>3</sub> .....	0.004%
I <sub>2</sub> .....	0.002%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0.044%
F.....	0.002%

Cuadro 26: Análisis del Lago Searles (California, U.S.A.)

La carbonatación, que se hace a una presión de 93 kPa, convierte al Carbonato presente en Bicarbonato, que entonces es separado por agua de las sales de la salmuera, secado y calentado. Esto elimina el CO<sub>2</sub>, que es reciclado. Se recupera CO<sub>2</sub> adicional de los gases de combustión de la planta de calderas, por absorción con una solución de monoetanolamina.

Por blanqueado con Nitrato de Sodio y combustión a alta temperatura se obtiene el producto blanco. Aunque existe un mercado para el Carbonato de Sodio ligero y para el denso, el material ligero (0.640 Kg/lt) es, por lo común, demasiado voluminoso para ser embarcado económicamente, así que por un tratamiento final se produce material denso (0.993 Kg/lt). (35) y (36)

DIAGRAMA 5



Proceso de carbonatación para la obtención de Carbonato de Sodio de las salmueras del lago Searles. (Planta Kerr-McGee, California).

### 3.1.4. A partir de Burkeita contenida en una Salmuera.

La reacción que ocurre en este proceso es la siguiente:



En este proceso, el contenido de Salmuera (con 35% de sólidos) es bombeado a través de una serie de condensadores y filtros a un evaporador de triple efecto para efectuar una separación de las sales solubles en una solución de Cloruro de Potasio-Tetraborato de Sodio (Bórax:  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ), Cloruro de Sodio sólido, cristales de Burkeita ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2 \text{Na}_2\text{SO}_4$ ) y cristales de Fosfato de Sodio y Litio ( $\text{Li}_2\text{NaPO}_4$ ).

El Carbonato de Sodio es entonces producido de los cristales de Burkeita por el siguiente proceso:

- Los cristales de Burkeita son filtrados de la solución del evaporador y rediseueltos en agua.

- Los cristales de Fosfato de Sodio y Litio no se disuelven y son filtrados. Estos cristales sirven como una fuente de sales comerciales de Litio.

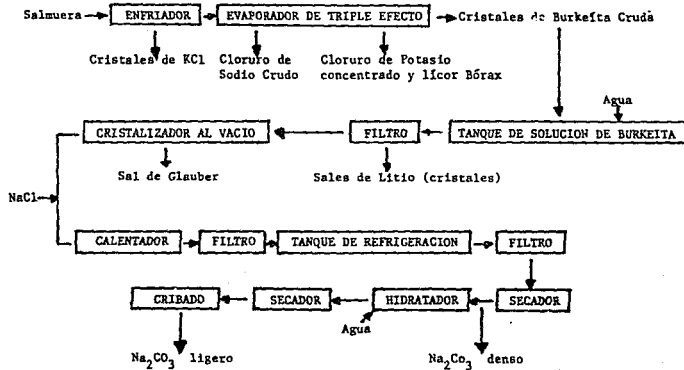
- El filtrado es calentado a 28°C y concentrado en cristalizadores al vacío produciéndose sal de Glauber ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ). La sal de Glauber es filtrada, dejando una agua madre rica en Carbonato de Sodio.

- Los cristales de sal sólida ( $\text{NaCl}$ ) son disueltos en el agua madre y la mezcla es calentada a 53°C; a esta temperatura, cualquier cristal de Sulfato de Sodio remanente sale como Burkeita, que después de filtrar, regresa al tanque principal de solución de Burkeita.

- El filtrado resultante es enfriado a 5°C, en un tanque de refrigeración donde el Carbonato impuro cristaliza. Estos cristales son filtrados y secados directamente obteniéndose la Ceniza de Sosa densa.

- Si se desea obtener Carbonato de Sodio ligero, el denso es humedecido con agua en cantidad que corresponda al heptahidratado y es secado muy lentamente. En el diagrama 6 es ilustrado este proceso. (18) y (37)

DIAGRAMA 6



PROCESO DE OBTENCION DE CARBONATO DE SODIO A PARTIR DE BURKEITA CON TENIDA EN SALMUERA

### 3.2. Métodos Sintéticos.

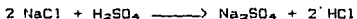
#### 3.2.1. Método Le Blanc.

Fue uno de los primeros procedimientos de la industria pesada y contribuyó al desarrollo y progreso de la industria química. Aunque la última planta de este proceso fue cerrada por 1915, es de interés conocerlo por ser uno de los dos métodos que existen para elaborar sintéticamente Carbonato de Sodio.

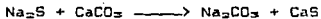
En la mayor parte de las plantas Le Blanc se incluía la fabricación de Acido Sulfúrico, a menudo con Piritas de Hierro. En las mayores plantas Le Blanc se obtenían como subproductos Hierro bruto y Cobre metálico de las piritas quemadas. Así pues, la fabricación de las sustancias químicas de la industria pesada tuvo uno de sus orígenes en las industrias Le Blanc.

El procedimiento de el método Le Blanc es el siguiente:

A partir de Sal común y Acido Sulfúrico se obtenía primeramente Sulfato Sódico y Cloruro de Hidrógeno.



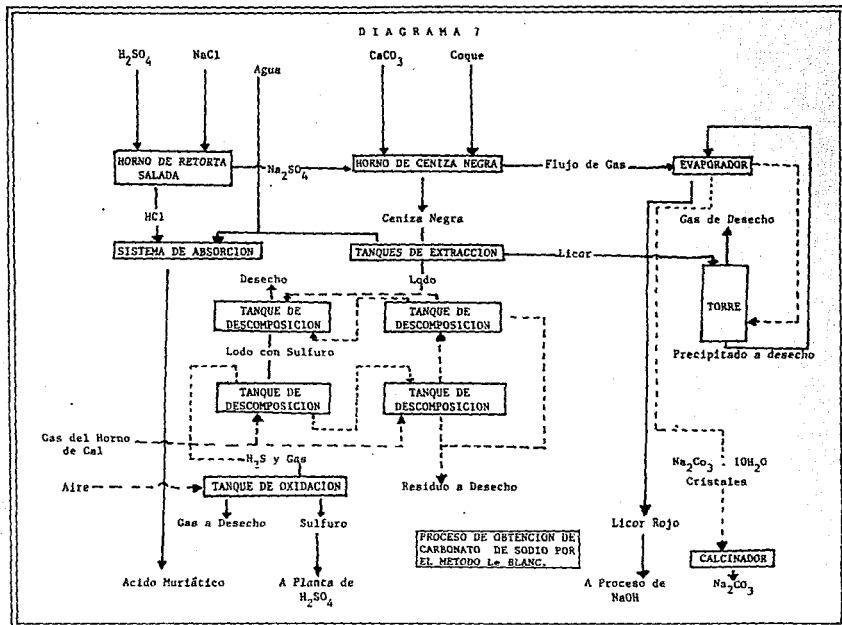
El Sulfato se reducía con Coque y se calcinaba con Caliza, obteniéndose Carbonato de Sodio y Sulfuro Cálculo, a la vez que se desprendía  $\text{CO}_2$ .



Por extracción con agua se podían separar el Carbonato de Sodio (soluble) del Sulfuro Cálculo (insoluble).

En el diagrama 7 se ilustra todo el proceso de obtención por medio del método Le Blanc (38).





### 3.2.2. Método Solvay.

El método Solvay es el proceso que se usa en Industria del Alkali, la otra empresa que elabora el Carbonato de Sodio en el país.

El procedimiento del método Solvay es el siguiente:

La reacción total del proceso se puede expresar de la siguiente manera:



El Carbonato de Calcio (Piedra Caliza) y el Cloruro de Sodio (Salmuera) se combinan para formar Carbonato de Sodio (Ceniza de Sosa) y Cloruro de Calcio. Esta reacción no se efectúa de manera directa, sino en varios pasos, que son descritos a continuación:

1. La solución de Cloruro de Sodio (Salmuera) es saturada con Amoniaco obtenido del paso 7, en un absorbedor, obteniéndose una Salmuera amoniacal:



2. La Salmuera amoniacal entra a la torre de carbonatación donde entra en contacto con Dióxido de Carbono producido en los pasos 4 y 5. El Dióxido de Carbono y el Amoniaco en presencia de Agua, produce Bicarbonato de Amonio:



El Bicarbonato de Amonio y el Cloruro de Sodio llevan a cabo una reacción de doble sustitución para formar Cloruro de Amonio y Bicarbonato de Sodio:

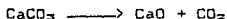


3. El Bicarbonato de Sodio, que es muy poco soluble en esas condiciones, es obtenido en estado sólido, por lo que se separa de la solución por filtración.

4. Una vez separado, se calienta en un calcinador, descomponiéndose en Carbonato de Sodio neutro, Agua y Dióxido de Carbono:



5. Por otra parte, la Piedra Caliza se descompone en un Horno de Cal para producir Dióxido de Carbono y Oxido de Calcio (Cal viva):



6. Posteriormente, la Cal viva es hidratada, formando Hidróxido de Calcio (Cal apagada):

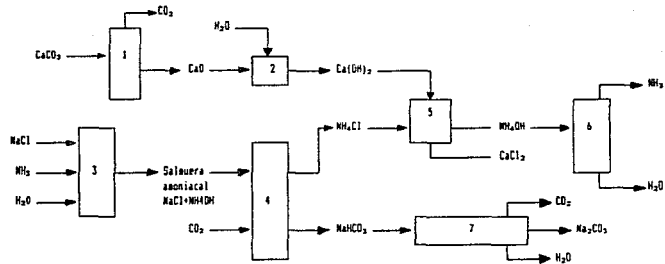


7. El Cloruro de Amonio reciclado del paso 2 y el la Cal apagada del paso anterior reaccionan para producir Amoníaco y Cloruro de Calcio:



El Amoníaco es destilado y regresado al absorbedor del paso 1. En el diagrama B se ilustra el proceso del método Solvay. (3) y (5)

DIAGRAMA B



EQUIPOS

- |                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| 1. HORNO DE CAL           | 5. MECLADOR DE CAL |
| 2. APAGADOR DE CAL        | 6. DESTILADOR      |
| 3. ABSORBEOR              | 7. CALCINADOR      |
| 4. TORRE DE CARBONATACION |                    |

PROCESO DE OBTENCION DE CARBONATO DE SODIO POR EL METODO SOLVAY

## CAPITULO IV

### SELECCION DE LA TECNOLOGIA MAS ADECUADA.

Una vez que ya se han visto las principales tecnologías que existen para producir Carbonato de Sodio, se va a escoger la mejor de ellas en base a las características de cada una.

Los métodos que se mencionan son los siguientes:

#### 4.1. Métodos Naturales:

\* A partir del ex-lago de Texcoco.

- Como ya se ha mencionado, la compañía Sosa Texcoco es la que explota el único yacimiento que se conoce hasta la fecha en el país, del cual se pueda obtener Carbonato Sódico.
- La producción de Sosa Texcoco es aproximadamente de 200 mil toneladas al año.
- El yacimiento cuenta principalmente con sales de Sodio y Potasio.
- Además de producir Carbonato de Sodio, elaboran Sosa Cáustica y tienen también producción de alga Espirulina.
- Sosa Texcoco tiene la concesión del yacimiento hasta el año 2040.
- Tiene varios problemas de contaminación por lo que las autoridades locales han pedido, desde que se tomen todas las medidas necesarias para evitar perjudicar toda esa zona hasta el cierre de la planta, por lo que las autoridades de Sosa Texcoco tratan de poner el remedio mediante cambios de equipos menos contaminantes. (39)

\* A partir de mineral Trona.

- Este método emplea el mineral Trona como única materia prima.
- Tiene una pureza bastante alta, que es de 99.7%.
- Existe en gran cantidad en Wyoming, E.U.A., donde se cuentan todavía con 42 camas de Trona, equivalentes a 50 mil millones de toneladas, lo que asegura la obtención del producto a partir de este mineral. (33)
- Su producción anual, tomando las cinco empresas que se encuentran en Wyoming, sobrepasa las 8 millones de toneladas.
- Tiene como únicos desechos, los materiales insolubles filtrados de la solución, los cuales no causan problemas ecológicos.
- Consume menos Energía que otros procesos; por ejemplo, para hacer una tonelada de Carbonato se necesita,

por parte del proceso de la Trona, 7.2 millones de BTU's, mientras que el proceso Solvay necesita 15.8 millones.

- La mayor parte de la producción de Estados Unidos, el país número 1 en producción de Carbonato de Sodio en el mundo, es a partir de Trona, la cual colaboró al cierre de todas las plantas del proceso Solvay que existían en ese país.

- Además de Estados Unidos, existe Trona en Kenia (Lago Magadi), en Nigeria (Lago Chad), en Sudáfrica y en otros países.

\* A partir de Salmuera.

- Estos métodos tienen Salmuera como materia prima, la cual tiene diferentes compuestos como se puede ver en el cuadro 26.

- Ocupan la menor parte de producción de Carbonato de Sodio en Estados Unidos, aproximadamente un 10 ó 20% de la producción total.

- Existen depósitos ó lagos que contienen Salmuera en Bolivia, Brasil, Canadá, China, India, México, Ex-Unión Soviética y algunos otros países.

- En Estados Unidos se obtiene una producción poco menor al millón y medio de toneladas de Carbonato Sódico.

#### 4.2. Métodos Sintéticos.

\* Método Le Blanc.

- Es el primer método que existió para elaborar Carbonato Sódico, pero se dejó de utilizar a principios de este siglo, debido a la aparición del proceso Solvay que era mucho más costeable y que poco a poco fue destituyéndolo hasta desaparecer.

- En base a este proceso, la química industrial adquirió algunos conocimientos valiosos de tecnología.

- En la mayoría de las plantas Le Blanc se obtienen como subproductos Hierro Bruto y Cobre metálico. Así pues, la fabricación de sustancias químicas de la industria pesada tuvo su origen en las industrias Le Blanc.

- El producto obtenido era impuro, por lo que se tenía que llevar a cabo una recristalización costosa. (40)

\* Método Solvay.

- Este proceso es el que utiliza la Industria del Alkali para obtener Carbonato de Sodio, la producción anual que obtiene es de 250 mil toneladas.

- Las materias primas que se utilizan en este proceso, existen en abundancia en el país.

- Este proceso trabaja a una producción de 75%.

- Por cada 100 toneladas de producto, son generadas 170 toneladas de Oxido de Calcio.

- El producto de desecho, Cloruro de Calcio, era muy poco utilizado, pero se le ha dado un mayor uso y la Industria del Alkali lo vende para ser usado en la Industria Petrolera, de cementos, de carreteras, etc.

- En este método, El Carbonato de Sodio aparece con 58% de Oxido de Sodio, indispensable para la industria del vidrio.

- Existen plantas Solvay en Bélgica, España, Portugal, Italia y algunos otros países.

#### 4.3. Análisis de los Métodos:

Al analizar cada uno de ellos se tiene lo siguiente:

- En los métodos naturales, el que se basa en la Trona para obtener Carbonato es el que tiene mayor ventaja sobre los de salmuera que tienen más compuestos, puesto que su método de purificación es mucho más sencillo, y por consecuencia más rentable. Por otro lado, la producción de la Ceniza de Sosa usando el mineral Trona es mucho mayor que la producción del Alkali a partir del otro tipo de salmuera.

El mayor problema que existe en este método y en general con cualquier método natural es que el país no cuenta con yacimientos de donde se pueda extraer Carbonato, a no ser por el que se encuentra en la región del ex-Lago de Texcoco, donde existe una salmuera rica en sales de Sodio, y este a su vez es aprovechado por la compañía Sosa Texcoco, que desde 1947 lo ha explotado para obtener de ahí Carbonato de Sodio, Sosa Cáustica y Cloruro de Sodio.

- En cuanto a los métodos sintéticos, como ya se vio anteriormente, el Método Le Blanc ha dejado de utilizarse desde principios de siglo, debido a lo incosteable del proceso y a la contaminación que este provocaba ya que no se obtenía un producto puro, salvo con una recristalización costosa que realizaban los mismos consumidores de vidrio o jabón, y porque era necesario destruir gases nocivos y desperdicios mal olientes; por esto es que la opción corre totalmente por el método Solvay, el cual tiene la ventaja de usar materias primas que existen en el país de forma abundante y suficientes para satisfacer las necesidades requeridas, y por otro lado se obtiene Carbonato de Sodio, tanto ligero como denso, que es de una calidad tal que puede ser utilizado en todos los sectores del cual es demandado.

- A partir de esto, podemos decir que en cuanto a métodos naturales, la mejor opción es utilizar Trona, la cual es encontrada en mayor cantidad en el estado de Wyoming de

Los Estados Unidos, y en cuanto a métodos sintéticos, el único método rentable es el Solvay.

- Si existieran depósitos de Trona en nuestro país, el proceso más apropiado sería a partir de este mineral, por varias ventajas que presenta como por ejemplo que es más barato, porque contamina menos que el proceso sintético y también porque es mayor la pureza de esta (99.7%) que la sosa del Solvay (99.5%). Pero como no es así, se concluye que el proceso más apropiado para producir Carbonato de Sodio en México, debido a las limitaciones que se tienen, es todavía el Solvay, que antes tenía también el problema de que su subproducto, Cloruro de Calcio, era difícil de vender y se trataba como desecho, pero ahora lo utilizan bastante, en el fraguado de cemento, en la industria petrolera, etc.; además, las materias primas de este método se encuentran en gran disponibilidad, cosa que no ocurre con la fuente natural.



## CAPITULO V

### DESCRIPCION DEL PROCESO SOLVAY.

#### 5.1. ETAPAS DEL PROCESO SOLVAY.

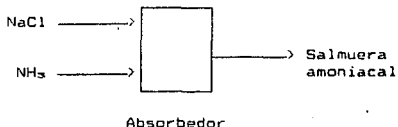
A continuación se va a desglosar el proceso Solvay totalmente: (1) y (41)

##### 5.1.1. Preparación de la solución de Cloruro de Sodio.

En muchas plantas se prepara la salmuera directamente dentro del estrato de sal de piedra. Cuando el estrato no está aislado de las aguas subterráneas, se abren pozos hasta dichas aguas y con elevadores de aire se extrae el agua de sal a la velocidad adecuada para obtener una Salmuera casi saturada. Si el estrato está aislado del agua subterránea, por lo común se introduce agua a la cavidad con tal rapidez que vaya saliendo Salmuera saturada por un tubo interior en el mismo pozo. En las fábricas a que se transporta sal sólida de las salinas, se disuelve sencillamente el Cloruro de Sodio en tanques con fuerte agitación. En las plantas en que se purifica la salmuera antes de que llegue a los absorbedores, se trae ésta en tanques que funcionan continuamente ó de modo intermitente con corrientes reguladas de Carbonato de Sodio y de Cal en equipos químicos relativamente normalizados.

##### 5.1.2. Absorción de Amoniaco.

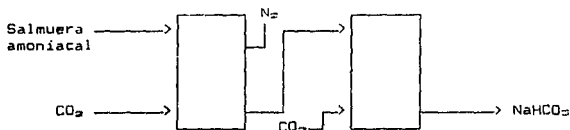
La Salmuera procedente de los pozos se satura con gas Amoniaco en una torre alta de absorción construida de Hierro colado. El gas Amoniaco contiene algo de vapor de agua y Dióxido de Carbono. La mayoría del Amoniaco es obtenido de otras etapas del proceso, sin embargo, pequeñas cantidades son suministradas debido a pequeñas pérdidas. Durante la amoniatación, la Salmuera requiere bastante enfriamiento para que se logre el alto grado de saturación necesario a una presión cercana a la atmosférica. La Salmuera entra en el proceso lo más fría posible, es decir, a la temperatura ordinaria ó menos. La operación se efectúa, por lo general, a presión algo menor que la atmosférica. La Salmuera desciende por la parte principal del absorbedor, en dirección contraria al Amoniaco ascendente.



Si la Salmuera contiene impurezas de Calcio y Magnesio, la reacción del absorbedor las precipita y las convierte en Carbonato de Calcio e Hidróxido de Magnesio. Luego se pasa la Salmuera Amoniacal por tinas de sedimentación.

### 5.1.3. Carbonatación de la Salmuera amoniacal.

De las tinas de sedimentación, la Salmuera amoniacal pasa a través de tanques de almacenamiento, y luego es bombeada a la parte superior de una torre (Solvay), que se encuentra en un grupo de torres de carbonatación en paralelo, usadas para precipitar Bicarbonato de sodio. Por el fondo de esta torre penetra gas del horno de cal y asciende por la solución formando burbujas, de suerte que es absorbida la mayor parte del Dióxido de Carbono. El Nitrógeno, que es aproximadamente 60% gas del horno de Cal, es recogido en la parte superior de la torre por un sistema de conducción. Esta fase del proceso de precipitación se llama "lavado" y se regula para evitar que se forme precipitado. Se requiere relativamente poco enfriamiento. El líquido extraído del fondo de la torre se bombea a la parte superior de otra torre, donde se efectúa el mismo proceso con gas carbónico mas concentrado, que procede parcialmente de los calcinadores del Bicarbonato, y que asciende formando burbujas en la solución. Con esto se precipita Bicarbonato de Sodio y se genera considerable calor, por lo que es necesario enfriar bastante el aparato para aumentar el rendimiento, y la refrigeración se debe regular para que se formen buenos cristales. Algunos de estos, así como los de otras fases solidas, se forman en las superficies de refrigeración y producen una costra que al cabo de varios dias de cristalización reduce la eficiencia de dichas superficies. Cuando sucede esto, es preciso "cambiar" las torres, es decir, convertir la torre productiva en torre de limpieza. La costra se disuelve y desprende de las superficies de enfriamiento con Salmuera amoniacal nueva ayudada por la agitación del gas limpiador, que al mismo tiempo carbonata la Salmuera hasta el punto en que es bastante rápida la precipitación.



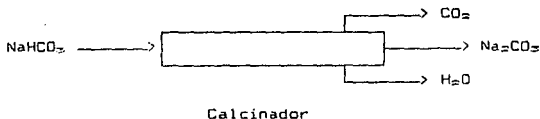
Torres de Carbonatación

#### 5.1.4. Filtración del Bicarbonato de Sodio .

La torta extraída de la torre de producción se recoge en ciertos recipientes, de donde pasa a filtros continuos, estos son filtros giratorios al vacío ó centrifugas, donde los cristales son separados del líquido filtrado. La torta de filtro se lava con porciones bien medidas de agua a temperatura un tanto mayor que la ordinaria. Con esto se desplazan ó se diluyen mucho las aguas madres. Los gases procedentes de los filtros al vacío se lavan con salmuera nueva, lo cual es parte de la operación de absorción. La torta, llamada "Bicarbonato crudo" ó "Sosa amoniacal", contiene aguas madres y Bicarbonato de sodio.

#### 5.1.5. Calcinación del Bicarbonato de Sodio.

El Bicarbonato húmedo e impuro procedente de los filtros es conducido por el transportador a un extremo de los secadores giratorios ó calcinadores, donde es calcinado mediante calentamiento indirecto. Generalmente estos son cilindros horizontales, calentados por fuera con hulla, aceite ó gas en hornos especiales. Algunas veces se mezclan, en el punto de alimentación, el Bicarbonato impuro con algo de Carbonato de Sodio ya secado, para facilitar su manipulación y evitar su tendencia a formar costra. Al pasar la mezcla por el cilindro calcinador, se descompone en Carbonato de Sodio, desprendiendo vapor de agua y Dióxido de Carbono. El Carbonato de Sodio (ligero) se extrae en el extremo opuesto del cilindro a una temperatura de 175 a 225°C. Luego se enfría y pasa por cribado y empaquetado para posteriormente ser transportado a granel. Una cantidad es vendida en esta forma, pero la mayoría es convertida en Carbonato de Sodio denso. Su densidad (empaquetado) es de 0.590 g/ml. El gas enfriado se mezcla con el de hornos de Cal que se ha de introducir en los compresores para alimentar las torres de carbonatación, enriqueciendo así esta alimentación.



El Calcinador debe funcionar con presión casi igual a la atmosférica, exactamente graduada, para recobrar todo el dióxido de Carbono en concentración de 95%. Una presión menor diluiría el gas, y si fuera mayor dejaría escapar una parte.

#### 5.1.6. Almacenamiento y embarque del producto.

Como se mencionaba anteriormente, el Carbonato Sódico caliente que sale por el extremo de descarga del calcinador, se enfría y se almacena luego en bodegas ó en silos cilíndricos diseñados para el manejo mecánico del material en gran escala. El producto se tamiza y se empaqueta en sacos de papel ó de narpillera, en barricas, y gran parte de él se embarca a granel en carros, ó se transporta a otros departamentos de la misma fábrica para producir Carbonato denso, Bicarbonato refinado, Sosa cáustica, etc.

#### 5.1.7. Elaboración de Carbonato de Sodio denso.

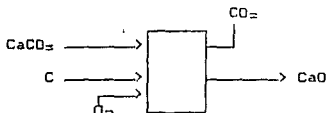
El Carbonato de Sodio en grano grueso se utiliza para la fabricación de vidrio, por que se mezcla mejor con la arena y la cal. El análisis químico del ligero es casi igual al del denso; pero muchas partidas cuando llegan al comercio contienen mayor proporción de Calcio, porque en algunas fábricas se agrega una pequeña cantidad de solución de Cloruro Cálcico para uniformar el tamaño de los cristales. Sin embargo, algunas formas comerciales no se pueden distinguir del ligero por el análisis químico.

El Carbonato denso se obtiene hidratando el ligero para producir el monohidratado y volviendo a calentar para deshidratar los cristales agrandados. La monohidratación se efectúa ordinariamente en un mezclador en que se regulan las entradas de agua y Carbonato ligero y donde permanece tiempo suficiente para que se efectúe el granulado. Es importante que tanto el agua como el Carbonato ligero estén muy calientes (aproximadamente 100°C), a pesar de que se produce calor en la hidratación. El producto que sale del mezclador (ó monohidratador, como también se le llama) pasa inmediatamente a un secador cilíndrico calentado por fuera, a menos de que se disponga de combustible gaseoso. El producto deshidratado que sale del secador solo tiene que ser tamizado para quitarle los terrones, que se muelen en circuito cerrado. De vez en cuando se pasa el Carbonato tamizado por un separador de corriente de aire (elutriación por aire) para quitarle las partículas más finas. Este Carbonato "sin polvo" es adecuado para la fabricación de vidrio, pues con él se reducen considerablemente la pérdida de álcali en la fábrica y la molestia que ocasiona el polvo en el aire. La densidad (empaquetado) oscila entre 0.960 y 1.040 gr/ml.

#### 5.1.8. Preparación de la Cal.

Se tiene que limpiar muy bien la piedra Caliza y clasificarla en tamaños bastante uniformes. La Caliza se mezcla con 7% de su peso de coque; luego se introduce periódicamente la mezcla, por arriba en hornos verticales, por cuyo fondo se introduce aire y donde se aspiran los gases

por arriba, y el coque arde a una zona poco más abajo del centro del horno. Calentada la carga a 1050-1100°C, la Caliza se descompone y se convierte en Cal. El Dióxido de Carbono que se produce proviene de la descomposición de la Caliza y de la combustión del Coque. Como la combustión de este se fomenta con aire, los gases del horno están muy diluidos con Nitrógeno, y generalmente contienen entre 37 y 42% de CO<sub>2</sub>, además de polvo de Caliza, partículas de cenizas del coque e impurezas gaseosas. El gas se enfría un tanto en el propio horno por las capas superiores de piedra, se acaba de enfriar y se purifica en lavadores de agua hasta que queda casi libre de polvo y materia alquitranosa y se distribuye inmediatamente a los orificios de entrada de compresores que lo comprimen a las columnas de Carbonatación.



Horno de Cal

Para calcinar conchas de ostión y otras formas de Carbonato Cálculo en trozos menudos, se emplean hornos giratorios, que tienen menor eficiencia de combustible que los verticales debido a su gran superficie de radiación y al contacto relativamente defectuoso entre gas y sólido, razón por la cual es notablemente menor la concentración de gas carbónico. Además, la circunstancia de que no se pueden quemar combustibles pulverizados de poca volatilidad coopera a reducir la concentración del gas. Algunos de estos hornos funcionan con gas natural y dan gases con 25 a 28% de Dióxido de Carbono. Con ciertas variaciones en el equipo se puede producir un buen Carbonato de Sodio con este gas, a menudo con economía total en virtud del bajo costo y otras características favorables del gas natural.

#### 5.1.9. Preparación de Hidróxido de Calcio.

La Cal, luego que se enfría un poco con el gas que entra en las porciones inferiores del horno, se extrae periódicamente, se pasa por depósitos de almacenamiento y después se apaga continuamente con exceso de agua en apagadores giratorios que producen una suspensión espesa de Hidróxido de Calcio llamada también Lechada de Cal (Cal apagada). Es tan grande el calor de la reacción, que la lechada sale a temperatura de 90 a 100°C y la corriente de agua se regula para que de un contenido de Oxido de Calcio

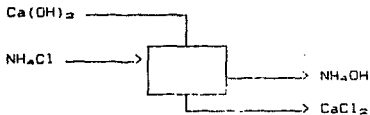
libre de 230 a 300 g/litro. La lechada se guarda en tanques provistos de agitadores potentes.



Apagador de Cal

#### 5.1.10. Reacción con Cal.

La solución de Cloruro de Amonio se trata con Lechada de Cal en un tanque externo llamado Encalador ó Mezclador de Cal. La mayor parte del gas Amoniaco generado en este pasa al destilador. El encalado necesita agitacion violenta, ya que las partículas gruesas de Cal sin digerir reaccionan con bastante lentitud. La solución caliente que resulta y que contiene el Amoniaco residual en forma de Hidroxido amónico, es conducida a la parte superior de un destilador de 10 a 14 platos. El vapor de escape, procedente de los compresores de gas y de otras operaciones mecánicas de la planta, es introducido por el fondo del destilador y arrastra casi todo el Amoniaco de la solución encalada. La solución que queda como "desecho del destilador" contiene Cloruro de sodio sin reaccionar y el exceso de Cal. Esta se encuentra sumamente diluida con el agua en que fue transportada la cal al sitio de la reacción y con el vapor de agua condensado, y además está contaminada con todas las impurezas del Cloruro Sódico y de la Cal. La solución el Cloruro de Calcio que también es obtenida, era antes desechada, pero ahora la recuperan puesto que es usada en varias actividades de la industria.



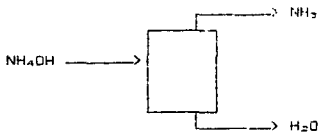
Encalador

Es difícil regular la destilación, pues hay que separar muy bien el Dióxido de Carbono para evitar desperdicio de Cal, y después se tiene que extraer totalmente el Amoniaco para reducir cuanto sea posible la pérdida de esta substancia costosa. Del Amoniaco que se desperdicia, por lo menos 10% se pierde en este desecho del destilador. El

Dióxido de Carbono y el Amoniaco salen en equilibrio gaseoso con agua, y estos gases suministran el calor que se aprovecha en la sección de calentadores donde se descompone el Amoniaco "libre". Todo el gas, aproximadamente a 56°C, es conducido a la torre de absorción de salmuera mencionada al principio, donde la mayor parte del Dióxido de Carbono es absorbido junto con el Amoniaco.

#### 5.1.11. Recuperación del Amoniaco.

Las aguas madres procedentes de los filtros continuos contienen casi todo el Amoniaco con el que al principio se saturó la salmuera, y el resto se halla en los lodos del absorbedor, en los condensados del gas de los calcinadores, etc. La mayor parte se halla en estado de Amoniaco "libre", esto es Hidróxido de Amonio y varios compuestos carbónicos de Amoniaco que se descomponen a temperaturas moderadas, y el remanente en forma de Amoniaco "fijo" o Cloruro de Amonio, que corresponde al Bicarbonato Sódico que fue precipitado. Las aguas de los filtros contienen también la sal común que no ha reaccionado. En las plantas mayores, los lodos que se sacan de las tinas de sedimentación de la Salmuera amoniacal y la solución diluida de Amoniaco que resulta del lavado de los gases que vienen de los calcinadores se destilan en columnas separadas, pues no requieren la reacción con la Cal.



Destilador

El destilador de Amoniaco es la parte más costosa de la planta y la que requiere regulación más exacta. Consta de una torre muy alta cuya porción superior está provista de serpentines refrigeradores para condensar parte del vapor de agua del gas Amoniaco generado en las porciones inferiores. Inmediatamente por abajo del condensador hay un precalentador tubular donde se calientan las aguas de alimentación y se extrae más vapor de agua del gas por condensación. Las aguas de alimentación precalentadas penetran luego en una sección con relleno de coque ó ladrillos ó provista de campanas de burbujeo, donde el calor descompone los compuestos amónicos, excepto el Cloruro, y el vapor de agua arrastra totalmente el Amoniaco y el Dióxido de Carbono.

## 5.2. OPERACION Y CONTROL.

La fábrica funciona de manera que mantenga llenos hasta la mitad o las dos terceras partes los almacenes y silos. En caso que disminuyan los embarques, el primer medio de control consiste en retardar el funcionamiento de los compresores de gas, con lo cual se aspira menos aire a través de los hornos de Cal y, por tanto, se retarda la calcinación. Se bombea menos gas a las torres de precipitación y, en consecuencia, se introduce en ellas menos Salmuera amoniacaal, a efecto de mantener el mismo grado de carbonatación en la torta de Bicarbonato que se extrae de la torre de producción. Al paso que aumenta el nivel de la Salmuera amoniacaal en sus depósitos, se reduce la rapidez de introducción de ésta en el absorbedor y se retarda proporcionalmente la destilación. Estos son los puntos principales de control de producción.

Como el método es continuo y cíclico, el control químico requiere muestras de la solución en cada paso del proceso, que se han de obtener y valorar periódicamente. Se mantienen tan constantes como sea posible las temperaturas, presiones y concentraciones, y solo se varia la rapidez de alimentación y descarga.

Uno de los requisitos más importantes de la operación continua es la provisión de almacenes adecuados para las aguas y los materiales. Tales almacenes no solo han de ser bastante espaciosos para hacer frente a las necesidades en las diversas fases del proceso, sino que también han de estar dispuestos de manera que se reduzca cuanto sea posible el efecto de las variaciones de concentración que son inevitables.

## 5.3. DESCRIPCION DE EQUIPOS.

A continuación se presenta una pequeña descripción de cada equipo:

### 5.3.1. Hornos de Cal.

Un horno con capacidad de 200 a 450 ton de piedra caliza por día, tiene aproximadamente 3.60 a 4.80 m de diámetro y entre 21 a 30 m de altura. Está revestido de una capa gruesa de ladrillo refractario con material aislante entre ésta y el casco exterior de acero. La parte superior del horno está generalmente cerrada para impedir infiltración de aire, pues funciona con vacío moderado para evitar que los gases un tanto nocivos contaminen el puente de carga. Los artificios para efectuar la carga varían desde simples agujeros con campanas de oclusión doble, hasta los mecanismos bastante complicados de distribución de que constan los hornos de mayor diámetro. El mecanismo de descarga extrae uniformemente la Cal de toda la sección transversal y con la



necesaria lentitud para que se vaya enfriando convenientemente con el aire de combustión que entra.

### 5.3.2. Apagadores.

Por lo común, la Cal en terrones que sale del horno se introduce por medio de alimentadores (de tablero ó de tipo pesador) en apagadores continuos horizontales ó de otro tipo. El apagador horizontal giratorio, que es el más usual, tiene aproximadamente 1.50 m de diámetro y 18 m de largo para una capacidad de 225 toneladas de Carbonato de Sodio por día. La Cal y el agua caliente se introducen por un extremo y la lechada de Cal sale por el otro, que tiene un mecanismo para separar las partículas de piedra ó coque. Algunos de los mejores apagadores se descargan por el mismo extremo por donde son alimentados: la Cal entra por un cilindro interno y regresa por cilindros externos.

### 5.3.3. Absorbedores de Amoniaco.

El absorbedor ordinario de Amoniaco es una torre de hierro colado que consta de tres ó más partes. En la superior, en donde entra la salmuera nueva y fria, están los lavadores de los gases procedentes de los filtros de vacío, de los gases procedentes de la torre de carbonatación y de los gases finales de la parte principal del absorbedor. Esta parte es una columna de Hierro colado con relleno de ladrillos ó de coque que descansa sobre parrillas simples. El absorbedor propiamente dicho es igualmente una columna de Hierro colado, con relleno, provista de una placa aproximadamente en la unión de los tercios inferior y medio de la torre, de donde se extrae la salmuera y se enfria en serpentines a la temperatura mas baja posible, con el agua de enfriamiento local. Estos serpentines suelen ser tubos de Hierro colado dispuestos en hileras verticales sobre los cuales se rocía agua en un depósito exterior. La parte inferior del absorbedor, donde se absorbe la mayor parte, en peso, del Amoniaco, recalienta la Salmuera, que luego es enfiada ó "templada" en otros serpentines de enfriamiento. Una torre de 1.80 m de diámetro y 24 ó 30 m de altura total (para todas sus funciones) tiene capacidad de 270 a 450 toneladas de Carbonato de Sodio por día.

### 5.3.4. Torre de Carbonatación.

La carbonatación se efectúa en cinco altas torres de Hierro colado que se mantienen virtualmente inundadas de solución. La mitad superior de la torre, de 1.80 m de diámetro y 24 m de altura, contiene placas y campanas destinadas a romper la corriente de gas en gran número de burbujas. Estas placas están situadas a intervalos de 45 cm.

La mitad inferior de la torre consta de compartimientos enfriados provistos de tubos de Hierro colado para agua, que se extienden a lo largo de la torre; entre uno y otro compartimiento hay otra placa con campanas semejantes a las anteriores para romper el gas en burbujas. Un grupo de cinco torres de esta índole tiene capacidad para unas 270 toneladas de Carbonato de Sodio por día.

#### 5.3.5. Filtración de Bicarbonato de Sodio.

Esta operación se efectúa en filtros giratorios continuos, de vacío, ó en las centrifugas continuas de control cíclico. Generalmente los filtros son de Hierro colado, tienen un número mayor que el ordinario de rodillos de presión y funcionan con vacío algo mayor que para la mayor parte de los materiales granulares. Un filtro de 1.80 m de diámetro con un frente de 1.60 m de ancho tiene capacidad para 100 a 135 toneladas de Carbonato de Sodio por día.

#### 5.3.6. Calcinadores.

Los calcinadores son de 1.80 m de diámetro y 18 m de largo y están contruidos de lámina de acero de 3/4 de pulgada (19.05 mm). Un calcinador con capacidad para 45 a 63 toneladas de Carbonato de Sodio por día, consume alrededor de 125 Kg de Carbón por tonelada de Carbonato, lo que corresponde a un rendimiento térmico de 45 a 50%.

#### 5.3.7. Destilador de Amoniaco.

Un destilador completo, con capacidad para 225 a 270 toneladas de Carbonato por día, tiene aproximadamente 2.60 m de diámetro y 52 m de altura. Esta cifra incluye la altura de una sección de condensación y precalentamiento, el destilador "libre" y el destilador "fijo" de la Cal. Este último tiene entre 11 y 13 placas con 75 a 90 cm de separación, y por consiguiente su altura es de más de 9 m; por lo general se construye totalmente de lámina de acero y está provisto de puertas de acceso para poder sacar la costra, que en 60 a 120 días reduce considerablemente la capacidad del equipo. En algunas fábricas antiguas el destilador tenía un diámetro mucho mayor y estaba provisto de agitadores mecánicos, con el fin de evitar que se formara tan rápidamente la costra.

#### 5.4. Análisis de Carbonato de Sodio.

En el siguiente cuadro se muestra un análisis típico de Carbonato de Sodio. (Solvay)

Componente	Carbonato ligero (Por ciento)	Carbonato denso (Por ciento)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	99.5	99.3
NaHCO <sub>3</sub>	0.0	0.0
NaCl	0.18	0.33
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.012	0.015
SiO <sub>2</sub>	0.002	0.0028
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.002	0.0027
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.002	0.0004
CaCO <sub>3</sub>	0.004	0.104
MgCO <sub>3</sub>	0.005	0.010
H <sub>2</sub> O	0.30	0.20
Na <sub>2</sub> O	58.15	58.1

Cuadro 27: Análisis típico de Carbonato de Sodio.

#### 5.5. Subproductos.

##### 5.5.1. Cloruro de Calcio.

El Cloruro de Calcio era desechado en su mayor parte, pero ahora es mucho más utilizado, por ejemplo, Industria del Alkali, la compañía que en México usa el proceso Solvay, lo utiliza en muchas formas: para acelerar el fraguado de cemento, se usa en salmueras refrigerantes, como secante de gases, como lastre en llantas de tractor, como estabilizador de caminos y en la industria petrolera como aditivo en fluidos de terminación de pozos, en cementado de pozos y como aditivo de lodos de perforación.

##### 5.5.2. Bicarbonato de Sodio.

Muchas plantas elaboran también Bicarbonato Sódico refinado. Como es sabido, este producto se usa como ingrediente de la levadura artificial en polvo y de polvos antiácidos. La forma de prepararlo es volviendo a disolver el Carbonato final ó partiendo de una solución de Carbonato que se prepara por descomposición del Bicarbonato impuro y luego se precipita esta solución con gas carbónico. El Bicarbonato precipitado se filtra de igual forma que en la operación del Carbonato, se enjuaga por centrifugación y se seca en secadores moderadamente calentados y con corriente de aire.

### 5.5.3. Sosa Cáustica.

El principal coproducto de la industria de Carbonato Sódico es el Hidróxido de Sodio. Este se puede obtener tomando una parte del Cal apagada producida, la cual es combinada con el producto como se muestra en la siguiente reacción:



### 5.6. Balance del Proceso Solvay.

A continuación se presenta un Balance del proceso, tomando como base, la obtención de 1 tonelada de producto (Carbonato de Sodio). En el apéndice III se presenta un programa escrito en Programación Basic, con el fin de obtener diferentes resultados a partir de un mismo esquema. El balance resulta ser muy general pero ilustrativo, pues los cálculos se llevan a cabo tomando en cuenta las reacciones que ocurren alrededor de cada aparato. Esto es porque no fue posible obtener datos por parte de las empresas que utilizan este proceso. El Balance se hará tomando en cuenta lo siguiente:

- Kilogramos de Carbonato de Calcio que entran al Horno de Cal (Piedra Caliza): 1285 Kg
- Kilogramos de Cloruro de Sodio que entran al Absorbedor (Salmuera): 1500 Kg
- Eficiencia del Proceso: 75%

#### 1. Horno de Cal.



##### a) Óxido de Calcio (Cal viva).

$$1285 \text{ Kg CaCO}_3 \times \frac{1 \text{ Kgmol CaCO}_3}{100 \text{ Kg CaCO}_3} \times \frac{1 \text{ Kgmol CaO}}{1 \text{ Kgmol CaCO}_3} = 12.85 \text{ Kgmol CaO}$$

$$12.85 \text{ Kgmol CaO} \times \frac{56 \text{ Kg CaO}}{1 \text{ Kgmol CaO}} = 719.6001 \text{ Kg CaO}$$

##### b) Dióxido de Carbono.

$$12.85 \text{ Kgmol CaO} \times \frac{1 \text{ Kgmol CO}_2}{1 \text{ Kgmol CaO}} = 12.85 \text{ Kgmol CO}_2$$

$$12.85 \text{ Kg mol } \text{CO}_2 \times \frac{44 \text{ Kg } \text{CO}_2}{1 \text{ Kg mol } \text{CO}_2} = 565.4 \text{ Kg } \text{CaO}$$

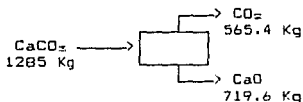
c) Carbonato de Calcio (Materia prima: Piedra Caliza).

$$12.85 \text{ Kg mol } \text{CO}_2 \times \frac{1 \text{ Kg mol } \text{CaCO}_3}{1 \text{ Kg mol } \text{CO}_2} = 12.85 \text{ Kg mol } \text{CaCO}_3$$

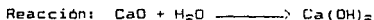
$$12.85 \text{ Kg mol } \text{CaCO}_3 \times \frac{100 \text{ Kg } \text{CaCO}_3}{1 \text{ Kg mol } \text{CaCO}_3} = 1285 \text{ Kg } \text{CaCO}_3$$

d) Balance del Horno de Cal.

$$\begin{aligned} \text{Kg } \text{CaCO}_3 &= \text{Kg } \text{CaO} + \text{Kg } \text{CO}_2 \\ 1285 &= 719.6 + 565.4 \\ 1285 &= 1285 \end{aligned}$$



2. Apagador de Cal.



a) Oxido de Calcio (Lo conocemos del Horno de Cal).

$$12.85 \text{ Kg mol } \text{CaO} = 719.6001 \text{ Kg } \text{CaO}$$

b) Agua.

$$12.85 \text{ Kg mol } \text{CaO} \times \frac{1 \text{ Kg mol } \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ Kg mol } \text{CaO}} = 12.85 \text{ Kg mol } \text{H}_2\text{O}$$

$$12.85 \text{ Kg mol } \text{H}_2\text{O} \times \frac{18 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ Kg mol } \text{H}_2\text{O}} = 231.3 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}$$

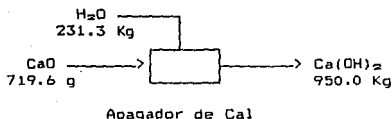
c) Hidróxido de Calcio (Cal apagada).

$$12.85 \text{ Kg mol } \text{H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ Kg mol } \text{Ca(OH)}_2}{1 \text{ Kg mol } \text{H}_2\text{O}} = 12.85 \text{ Kg mol } \text{Ca(OH)}_2$$

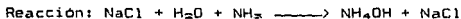
$$12.85 \text{ Kg mol } \text{Ca(OH)}_2 \times \frac{74 \text{ Kg } \text{Ca(OH)}_2}{1 \text{ Kg mol } \text{Ca(OH)}_2} = 950.9 \text{ Kg } \text{Ca(OH)}_2$$

d) Balance del Apagador de Cal.

$$\begin{aligned} \text{Kg CaO} + \text{Kg H}_2\text{O} &= \text{Kg Ca(OH)}_2 \\ 719.6 + 231.3 &= 950.9 \\ 950.9 &= 950.9 \end{aligned}$$



3. Absorbedor.



a) Amoniaco.

$$1500 \text{ Kg NaCl} \times \frac{1 \text{ Kgmol NaCl}}{58.5 \text{ Kg NaCl}} \times \frac{1 \text{ Kgmol NH}_3}{1 \text{ Kgmol NaCl}} = 25.64103 \text{ Kgmol NH}_3$$

$$25.64103 \text{ Kgmol NH}_3 \times \frac{17 \text{ Kg NH}_3}{1 \text{ Kgmol NH}_3} = 435.8975 \text{ Kg NH}_3$$

b) Hidróxido de Amonio.

$$25.64103 \text{ Kgmol NH}_3 \times \frac{1 \text{ Kgmol NH}_4\text{OH}}{1 \text{ Kgmol NH}_3} = 25.64103 \text{ Kgmol NH}_4\text{OH}$$

$$25.64103 \text{ Kgmol NH}_4\text{OH} \times \frac{35 \text{ Kg NH}_4\text{OH}}{1 \text{ Kgmol NH}_4\text{OH}} = 897.4359 \text{ Kg NH}_4\text{OH}$$

c) Agua.

$$25.64103 \text{ Kgmol NH}_3 \times \frac{1 \text{ Kgmol H}_2\text{O}}{1 \text{ Kgmol NH}_3} = 25.64103 \text{ Kgmol H}_2\text{O}$$

$$25.64103 \text{ Kgmol H}_2\text{O} \times \frac{18 \text{ Kg H}_2\text{O}}{1 \text{ Kgmol H}_2\text{O}} = 461.5385 \text{ Kg H}_2\text{O}$$

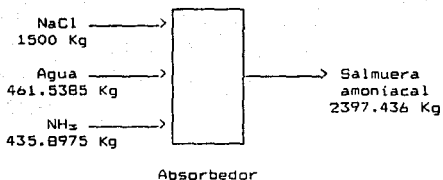
d) Cloruro de Sodio (Materia prima).

$$25.64103 \text{ Kgmol H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ Kgmol NaCl}}{1 \text{ Kgmol H}_2\text{O}} = 25.64103 \text{ Kgmol NaCl}$$

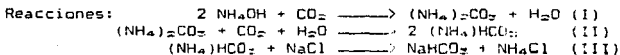
$$25.64103 \text{ Kg mol NaCl} \times \frac{58.5 \text{ Kg NaCl}}{1 \text{ Kg mol NaCl}} = 1500 \text{ Kg NaCl}$$

e) Balance del Absorbedor.

$$\begin{aligned} \text{Kg NaCl} + \text{Kg NH}_3 + \text{Kg H}_2\text{O} &= \text{Kg NH}_4\text{OH} + \text{Kg NaCl} \\ 1500 + 435.8975 + 461.5385 &= 897.4359 + 1500 \\ 2397.436 &= 2397.436 \end{aligned}$$



4. Torre de Carbonatación.



Reacción I.

a) Hidróxido de Amonio (Lo conocemos del Absorbedor).

$$25.64103 \text{ Kg mol NH}_4\text{OH} = 897.4359 \text{ Kg NH}_4\text{OH}$$

b) Dióxido de Carbono.

$$25.64103 \text{ Kg mol NH}_4\text{OH} \times \frac{1 \text{ kg mol CO}_2}{2 \text{ Kg mol NH}_4\text{OH}} = 12.82051 \text{ Kg mol CO}_2$$

$$12.82051 \text{ Kg mol CO}_2 \times \frac{44 \text{ Kg CO}_2}{1 \text{ kg mol CO}_2} = 564.1026 \text{ Kg CO}_2$$

c) Carbonato de Amonio.

$$12.82051 \text{ Kg mol CO}_2 \times \frac{1 \text{ kg mol } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3}{1 \text{ Kg mol CO}_2} = 12.82051 \text{ Kg mol } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$$

$$12.82051 \text{ Kg mol } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \times \frac{96 \text{ Kg } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3}{1 \text{ Kg mol } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3} = 1230.769 \text{ Kg } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$$

d) Agua.

$$12.82051 \text{ Kg/mol } \text{CO}_2 \times \frac{1 \text{ Kg/mol } \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ Kg/mol } \text{CO}_2} = 12.82051 \text{ Kg/mol } \text{H}_2\text{O}$$

$$12.82051 \text{ Kg/mol } \text{H}_2\text{O} \times \frac{18 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ Kg/mol } \text{H}_2\text{O}} = 230.7692 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}$$

e) Balance de la Reacción I.

$$\begin{aligned} \text{Kg } \text{NH}_4\text{OH} + \text{Kg } \text{CO}_2 &= \text{Kg } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{Kg } \text{H}_2\text{O} \\ 897.4359 + 564.1026 &= 1230.769 + 230.7692 \\ 1461.5385 &\approx 1461.5382 \end{aligned}$$

Reacción II.

a) Carbonato de Amonio (Lo conocemos de la Reacción I).

$$12.82051 \text{ Kg/mol } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 = 1230.769 \text{ Kg } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$$

b) Dióxido de Carbono (Lo conocemos de la Reacción I).

$$12.82051 \text{ Kg/mol } \text{CO}_2 = 564.1026 \text{ Kg } \text{CO}_2$$

c) Agua.

$$12.82051 \text{ Kg/mol } \text{CO}_2 \times \frac{1 \text{ Kg/mol } \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ Kg/mol } \text{CO}_2} = 12.82051 \text{ Kg/mol } \text{H}_2\text{O}$$

$$12.82051 \text{ Kg/mol } \text{H}_2\text{O} \times \frac{18 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ Kg/mol } \text{H}_2\text{O}} = 230.7692 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}$$

d) Bicarbonato de Amonio.

$$12.82051 \text{ Kg/mol } \text{H}_2\text{O} \times \frac{2 \text{ Kg/mol } (\text{NH}_4)\text{HCO}_3}{1 \text{ Kg/mol } \text{H}_2\text{O}} = 25.64103 \text{ Kg/mol } (\text{NH}_4)\text{HCO}_3$$

$$25.64103 \text{ Kg/mol } (\text{NH}_4)\text{HCO}_3 \times \frac{79 \text{ Kg } (\text{NH}_4)\text{HCO}_3}{1 \text{ Kg/mol } (\text{NH}_4)\text{HCO}_3} = 2025.641 \text{ Kg } (\text{NH}_4)\text{HCO}_3$$

e) Balance de la Reacción II.

$$\begin{aligned} \text{Kg } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{Kg } \text{CO}_2 + \text{Kg } \text{H}_2\text{O} &= \text{Kg } (\text{NH}_4)\text{HCO}_3 \\ 1230.769 + 564.1026 + 230.7692 &= 2025.641 \\ 2025.6408 &\approx 2025.641 \end{aligned}$$



Reacción III.

a) Cloruro de Sodio (Materia Prima).

$$25.64103 \text{ Kg/mol NaCl} = 1500 \text{ Kg NaCl}$$

b) Bicarbonato de Amonio (Lo conocemos de la Reacción II).

$$25.64103 \text{ Kg/mol } (\text{NH}_4)\text{HCO}_3 = 2025.641 (\text{NH}_4)\text{HCO}_3$$

c) Cloruro de Amonio.

$$25.64103 \text{ Kg/mol NaCl} \times \frac{1 \text{ Kg/mol NH}_4\text{Cl}}{1 \text{ Kg/mol NaCl}} = 25.64103 \text{ Kg/mol NH}_4\text{Cl}$$

$$25.64103 \text{ kg/mol NH}_4\text{Cl} \times \frac{53.5 \text{ Kg NH}_4\text{Cl}}{1 \text{ Kg/mol NH}_4\text{Cl}} = 1371.795 \text{ Kg NH}_4\text{Cl}$$

d) Bicarbonato de Sodio.

$$25.64103 \text{ Kg/mol NaCl} \times \frac{1 \text{ Kg/mol NaHCO}_3}{1 \text{ Kg/mol NaCl}} = 25.64103 \text{ Kg/mol NaHCO}_3$$

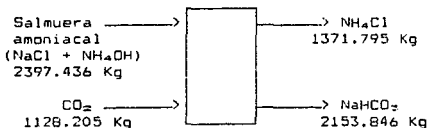
$$25.64103 \text{ Kg/mol NaHCO}_3 \times \frac{84 \text{ Kg NaHCO}_3}{1 \text{ Kg/mol NaHCO}_3} = 2153.846 \text{ Kg NaHCO}_3$$

e) Balance de la Reacción III.

$$\begin{aligned} \text{Kg } (\text{NH}_4)\text{HCO}_3 + \text{Kg NaCl} &= \text{Kg NaHCO}_3 + \text{Kg NH}_4\text{Cl} \\ 2025.641 + 1500 &= 2153.846 + 1371.795 \\ 3525.641 &= 3525.641 \end{aligned}$$

Balance de la Torre de Carbonatación.

$$\begin{aligned} \text{Kg NaCl} + \text{Kg NH}_4\text{OH} + \text{Kg CO}_2 &= \text{Kg NH}_4\text{Cl} + \text{Kg NaHCO}_3 \\ 1500 + 897.4359 + 1128.205 &= 1371.795 + 2153.846 \\ 3525.641 &= 3525.641 \end{aligned}$$



Torre de Carbonatación

5. Mezclador de Cal.



a) Cloruro de Amonio (Lo conocemos de la Reacción III).

$$25.64103 \text{ Kgmol NH}_4\text{Cl} = 1371.795 \text{ Kg NH}_4\text{Cl}$$

b) Hidróxido de Calcio (Lo conocemos del Apagador de Cal).

$$12.85 \text{ Kgmol Ca(OH)}_2 = 950.0 \text{ Kg Ca(OH)}_2$$

c) Hidróxido de Amonio.

$$25.64103 \text{ Kgmol NH}_4\text{Cl} \times \frac{1 \text{ Kgmol NH}_4\text{OH}}{1 \text{ Kgmol NH}_4\text{Cl}} = 25.64103 \text{ Kgmol NH}_4\text{OH}$$

$$25.64103 \text{ Kgmol NH}_4\text{OH} \times \frac{35 \text{ Kg NH}_4\text{OH}}{1 \text{ Kgmol NH}_4\text{OH}} = 897.4359 \text{ Kg NH}_4\text{OH}$$

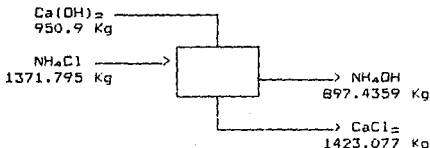
d) Cloruro de Calcio.

$$12.85 \text{ Kgmol Ca(OH)}_2 \times \frac{1 \text{ Kgmol CaCl}_2}{1 \text{ Kgmol Ca(OH)}_2} = 12.85 \text{ Kgmol CaCl}_2$$

$$12.85 \text{ Kgmol CaCl}_2 \times \frac{111 \text{ Kg CaCl}_2}{1 \text{ Kgmol CaCl}_2} = 1423.077 \text{ Kg CaCl}_2$$

e) Balance del Mezclador de Cal.

$$\begin{aligned} \text{Kg NH}_4\text{Cl} + \text{Kg Ca(OH)}_2 &= \text{Kg CaCl}_2 + \text{Kg NH}_4\text{OH} \\ 1371.795 + 950.9 &= 1423.077 + 897.4359 \\ 2322.695 &= 2320.513 \end{aligned}$$



Mezclador de Cal  
(Encalador)

6. Destilador.



a) Hidróxido de Amonio (Lo conocemos del Mezclador de Cal).

$$25.64103 \text{ Kgmol NH}_4\text{OH} = 897.4359 \text{ Kg NH}_4\text{OH}$$

b) Amoniaco.

$$25.64103 \text{ Kgmol NH}_4\text{OH} \times \frac{1 \text{ Kgmol NH}_3}{1 \text{ Kgmol NH}_4\text{OH}} = 25.64103 \text{ Kgmol NH}_3$$

$$25.64103 \text{ Kgmol NH}_3 \times \frac{17 \text{ Kg NH}_3}{1 \text{ Kgmol NH}_3} = 435.8975 \text{ Kg NH}_3$$

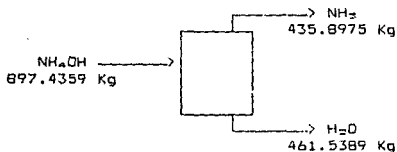
c) Agua.

$$25.64103 \text{ Kgmol NH}_3 \times \frac{1 \text{ Kgmol H}_2\text{O}}{1 \text{ Kgmol NH}_3} = 25.64103 \text{ Kgmol H}_2\text{O}$$

$$25.64103 \text{ Kgmol H}_2\text{O} \times \frac{18 \text{ Kg H}_2\text{O}}{1 \text{ Kgmol H}_2\text{O}} = 461.5385 \text{ Kg H}_2\text{O}$$

d) Balance del Destilador.

$$\begin{aligned} \text{Kg NH}_4\text{OH} &= \text{Kg NH}_3 + \text{Kg H}_2\text{O} \\ 897.4359 &= 435.8975 + 461.5385 \\ 897.4359 &\approx 897.4360 \end{aligned}$$



Destilador

7. Calcinador.



a) Bicarbonato de Sodio (Lo conocemos de la Reacción III).

$$25.64103 \text{ Kgmol NaHCO}_3 = 2153.846 \text{ Kg NaHCO}_3$$

b) Dióxido de Carbono.

$$25.64103 \text{ Kg mol NaHCO}_3 \times \frac{1 \text{ kg mol CO}_2}{1 \text{ Kg mol NaHCO}_3} = 25.64103 \text{ Kg mol CO}_2$$

$$25.64103 \text{ Kg mol CO}_2 \times \frac{44 \text{ Kg CO}_2}{1 \text{ Kg mol CO}_2} = 564.1026 \text{ Kg CO}_2$$

c) Agua.

$$25.64103 \text{ Kg mol CO}_2 \times \frac{1 \text{ Kg mol H}_2\text{O}}{1 \text{ Kg mol CO}_2} = 25.64103 \text{ Kg mol H}_2\text{O}$$

$$25.64103 \text{ Kg mol H}_2\text{O} \times \frac{18 \text{ Kg H}_2\text{O}}{1 \text{ Kg mol H}_2\text{O}} = 230.7692 \text{ Kg H}_2\text{O}$$

d) Carbonato de Sodio.

$$25.64103 \text{ Kg mol NaHCO}_3 \times \frac{1 \text{ Kg mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ Kg mol NaHCO}_3} = 25.64103 \text{ Kg mol Na}_2\text{CO}_3$$

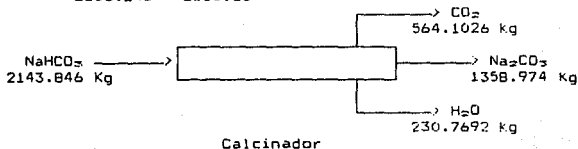
$$25.64103 \text{ Kg mol Na}_2\text{CO}_3 \times \frac{106 \text{ Kg Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ Kg mol Na}_2\text{CO}_3} = 1358.974 \text{ kg Na}_2\text{CO}_3$$

e) Eficiencia del Proceso: 75%

$$1358.974 \times 0.75 = 1019.231 \text{ Kg Na}_2\text{CO}_3$$

f) Balance del Calcinador.

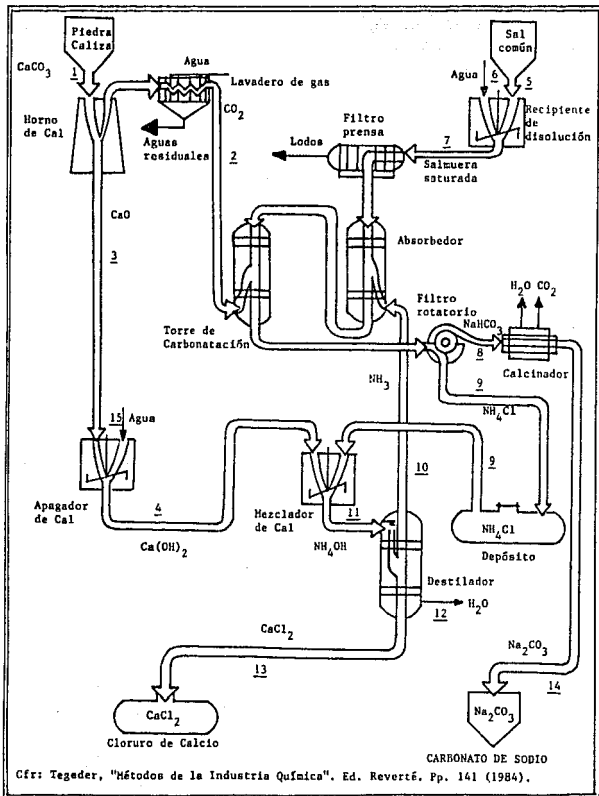
$$\begin{aligned} \text{Kg NaHCO}_3 &= \text{Kg CO}_2 + \text{Kg H}_2\text{O} + \text{Kg Na}_2\text{CO}_3 \\ 2153.846 &= 564.1026 + 230.7692 + 1358.974 \\ 2153.846 &\approx 2153.85 \end{aligned}$$



g. Balance Total Del Proceso solvay.

$$\begin{aligned} \text{Kg CaCO}_3 + \text{Kg NaCl} &= \text{Kg Na}_2\text{CO}_3 + \text{Kg CaCl}_2 \\ 1285 + 1500 &= 1358.974 + 1423.077 \\ 2785 &\approx 2782.051 \end{aligned}$$

5.7. Diagrama de Flujo del Proceso.



Corriente	Kg de cada sustancia para producir una Tonelada con una eficiencia de 75%	
1	Carbonato de Calcio	1285.0000 Kg
2	Dioxido de Carbono	564.1026 Kg
3	Oxido de Calcio	719.6001 Kg
4	Hidróxido de Calcio	950.9000 Kg
5, 7	Cloruro de Sodio	1500.0000 Kg
6, 12	Agua	461.5385 Kg
8	Bicarbonato de Sodio	2153.8460 Kg
9	Cloruro de Amonio	1371.7950 Kg
10	Amoniaco	435.8975 Kg
11	Hidróxido de Amonio	897.4359 Kg
13	Cloruro de Calcio	1423.6770 Kg
14	Carbonato de Sodio	1358.9740 Kg
15	Agua	231.3000 Kg
*	Carbonato de Amonio	1230.7690 Kg
*	Bicarbonato de Amonio	2025.6410 Kg
Eficiencia del Proceso: 75% $1358.9740 \times 0.75 = 1019.2310 \text{ kg Na}_2\text{CO}_3$		
* Forman parte de las reacciones de la Torre de Carbonatación.		
Cuadro 28: Datos del Balance del Proceso Solvay.		

### 5.8. Localización posible de la Planta.

A continuación se presenta una posible ubicación de la Planta de Carbonato de Sodio. Para ello se tomarán en cuenta las siguientes parámetros:

- \* Materias Primas.
- \* Mercado.
- \* Servicios necesarios.
- \* Vías de Comunicación.
- \* Mano de Obra.

#### 5.8.1. Explicación de cada parámetro.

A continuación se explica brevemente cada una de éstos:

##### A) Materias Primas.

Como ya se ha visto, las materias primas que se necesitan son Piedra Caliza (Carbonato de Calcio), Salmuera Saturada (Cloruro de Sodio) y Amoniaco.

##### a) Cloruro de sodio.

Las materias primas, y en particular el Cloruro de Sodio, es uno de los factores principales para la elección del lugar donde se instalará la planta. Esto se debe a que, por regla general, las plantas de Carbonato de Sodio se deben encontrar localizadas cerca de lugares en donde haya Sal común, puesto que ésta es la materia más importante. En el país existen dos clases de Salinas, las costeras y las interiores. Existen Salinas interiores en las penínsulas de Baja California y Yucatán, en los estados de Nuevo León, Zacatecas, Veracruz, México y Colima.

##### b) Carbonato de Calcio.

La Piedra Caliza se encuentra en la mayoría de los estados de la República, a excepción de Tamaulipas, Zacatecas, Colima, Aguascalientes, Tlaxcala, D.F., Quintana Roo, Campeche y Chiapas.

##### c) Amoniaco.

El Amoniaco es producido por Petróleos Mexicanos en los estados de Chihuahua, Veracruz, Guanajuato y México.

Como se menciona anteriormente, el Cloruro de Sodio es la materia prima más importante puesto que es la que influye de una forma más directa en la elaboración de Carbonato de

Sodio. El Amoniaco tiene también una gran influencia en la elaboración del producto, y además tiene la ventaja de que casi todo es recuperado con la ayuda de la Piedra Caliza que es la que hace posible que el proceso sea cíclico.

B) Mercado.

Ya se ha visto que el mercado es la industria vidriera, la química (incluyendo Tripolifosfatos y Silicatos de Sodio), la de detergentes y algunas otras. El mercado está distribuido a lo largo de todo el país.

La mayor parte de las industrias que producen Vidrio se encuentran en los estados de Nuevo León, Veracruz, Jalisco, Querétaro, México y D.F.

Por lo que se refiere a las otras industrias, éstas se encuentran, en su mayor parte, en los estados de Sonora, Chihuahua, Nuevo León, Durango, Veracruz, Jalisco, Puebla, México, Michoacán, D.F., Oaxaca y Yucatán.

C) Servicios necesarios.

La zona en donde esté ubicada la planta debe contar de una u otra forma con los servicios que necesitará la planta como son energía eléctrica, combustibles, agua, etc.

D) Vías de Comunicación.

La planta debe estar bien comunicada con los suministros de materias primas y con los consumidores por medio de carreteras y/o de ferrocarril.

E) Mano de Obra.

El último parámetro que tomamos en cuenta es el de la mano de obra que tiene que ser abundante y suficiente para los fines que se requiere.

### 5.8.2. Selección de la Ubicación de la Planta.

En base a lo anterior, la planta estará ubicada cerca de yacimientos salinos. Como se mencionó anteriormente, los estados que poseen esta clase de yacimientos son Baja California Sur, Yucatán, Nuevo León, Zacatecas, Veracruz, México y Colima. Los yacimientos salinos de Nuevo León y México son explotados por industrias que producen Carbonato de Sodio y otras sales. Por lo que se refiere a las dc



penínsulas, éstas tienen la desventaja de que son las más lejanas del mercado y de las materias primas. De los estados restantes, la mejor opción es el estado de Veracruz puesto que los yacimientos de éste se encuentran cerca del centro industrial alrededor de Coatzacoalcos, Ver.

Específicamente se encuentra en la región del Istmo de Tehuantepec, rodeando un ejido llamado "Tuzandépetl" (25 km al SE de Coatzacoalcos).

Esta zona cubre prácticamente todas las necesidades que se requieren en la construcción de una planta de Carbonato de Sodio.

a) Obtención de Cloruro de Sodio.

En Tuzandépetl existen grandes domos salinos que podrían servir para la elaboración del álcali. De igual manera existe también una compañía que se encuentra en Jáltipan, Ver., que produce Salmuera. La otra fuente posible es directamente del Golfo de México.

b) Obtención de Piedra Caliza.

Existen varias fuentes de obtención de la Piedra Caliza, como es la existencia de una cantera en Paso Real de Sarabia, Oax., y hay dos compañías de donde se puede conseguir el producto, una en Minatitlán, Ver. y la otra en Oaxaca, Oax.

c) Obtención de Amoniaco.

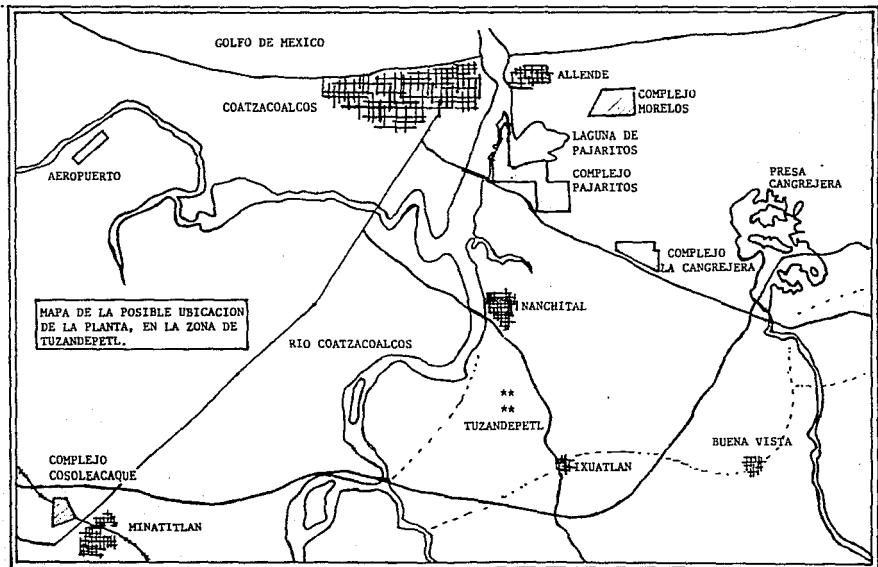
Este puede ser conseguido del Complejo de Cosoleacaque, Ver. ó de la Refinería de Minatitlán.

d) Servicios.

\* Agua: Puede ser obtenida de pozos, del río Coatzacoalcos ó de la laguna de Pajaritos, Ver.

\* Combustibles: Varios combustibles que son necesarios como Gas natural y Combustóleo pueden ser adquiridos de las instalaciones que tiene PEMEX, como las mencionadas anteriormente.

\* Energía eléctrica: La proporciona la Comisión Federal de Electricidad a 60 ciclos y 110 volts.



e) Industrias existentes.

Las industrias que se encuentran ubicadas en esta zona y que tendrían una relación con el álcali son las siguientes:

- Armont Mexicana. Oaxaca, Oax.
- Azufrera Panamericana. A 15 Km al SO de Minatitlán.
- Cloro de Tehuantepec. 7 Km al SO de Coatzacoalcos.
- Compañía Exportadora del Istmo. 35 Km al SO de Minatitlán.
- Petróleos Mexicanos: Cuenta con varias plantas como son los complejos de Pajaritos (7 Km al SE de Coatzacoalcos), La Cangrejera (15 Km al SE de Coatzacoalcos), Morelos (9 Km al Este de Coatzacoalcos y Cosoleacaque (10 Km al Oeste de Minatitlán), además de la refinería de Minatitlán.

Como podemos ver, en este lugar no hay problemas por suministro de materias primas, existen todos los servicios necesarios y es fácil contar con mano de obra. Por otro lado, cuando se haya resuelto el problema de la demanda, esta es una buena zona para poder exportar el producto, debido a la cercanía con la costa, que es un lugar importante debido a la industrias ubicadas.

Si fuera necesario considerar otra posibilidad de ubicación, ésta sería en el estado de Colima por contar, como ya habíamos dicho, con yacimientos salinos. La Caliza estaría asegurada por la fuente que existe en Huescalapa, Jal. y el Amoniaco podría obtenerse de la refinería de Salamanca, Gto.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones a las que se ha llegado y se mencionan algunas recomendaciones al respecto:

- Es necesario aumentar la capacidad de producción de Carbonato de Sodio a nivel nacional a fin de satisfacer la demanda. Esto puede lograrse ampliando las plantas ya existentes, siendo ésta una posibilidad que los productores nacionales han contemplado, ó bien, como se propone este trabajo, construyendo otra a fin de disminuir la importación de éste producto.

Esto traería consigo innumerables beneficios en todo el sector productivo involucrado en primera, mediana y última instancia. Esto es, beneficios para los que surten a las compañías de materias primas, los productores de Carbonato de Sodio, y los consumidores que son vidrio e industria química, en su mayor parte.

- Ante la posibilidad de abrir una nueva planta:

Se incrementarían las fuentes de trabajo, y por otro lado, al satisfacer la demanda de Carbonato de Sodio a corto ó largo plazo, México se convertiría en un sector económicamente más competitivo dentro del marco de América Latina, recordando que se encuentra en segundo lugar en todo el continente, detrás de Estados Unidos que ocupa el primer lugar en todo el mundo.

- Por lo que respecta a la demanda, esta se mantiene en un buen nivel y según lo esperado así seguirá, por lo que no hay problema alguno de que los usos de Carbonato se vayan acabando y termine solo como reactivo químico en la industria. Un ejemplo de posible presión que pudiera tener el Alcali es en la industria vidriera con los envases, que está siendo sustituidos por otro tipo de materiales, viendo que existen envases irrompibles ó en lata, pero la ventaja es que, aún con esta presión, el mercado en que participa el alcali va más allá de los envases, se usa también para otros productos de vidrio como mesas, vasos e infinidad de artículos que ayudan a la estabilización de dicha demanda.

- Las tecnologías que se usan para producir Carbonato de Sodio son, en su mayoría, por vías naturales, y para poder utilizar una de éstas se debe cumplir con la obvia necesidad de contar con yacimientos que cumplan con las características anteriormente señaladas. En México no se han encontrado yacimientos que puedan ser utilizados con este propósito, a excepción del ya citado en el estado de México, en donde la

compañía Sosa Texcoco tiene la concesión del yacimiento por los próximos 50 años, por lo que sería una buena idea buscar yacimientos como los de Trona, porque al encontrarse éstos se puede obtener de una forma más barata el Carbonato de Sodio.

- Como se menciona anteriormente, se determinó que el mejor método para producir el álcali es el Solvay, puesto que no tiene problemas de materias primas, que son muy abundantes en el país.

- Debido a que la demanda que existe de Carbonato es bastante significativa y sigue aumentando, se recomienda que la nueva planta tenga una producción mayor a las que ya existen, es decir, de 300,000 toneladas anuales.

- Por último, el problema de la contaminación en las plantas Solvay, como en cualquier parte, es algo que tiene una gran prioridad, y debido a que el Solvay presenta varios problemas de este tipo se tiene que buscar soluciones para cada uno de ellos.

Uno de los problemas que había era la obtención de Cloruro de Calcio como subproducto. Este solía ser desechado pero ahora ese problema se ha disminuido grandemente, como ya ha sido comentado.

Por otro lado, todos los desperdicios salinos deben ser desechados y las compañías tienen que cubrir dichos gastos para obtener procedimientos según con lo que cuenten. Sin embargo, este problema se reduce bastante para plantas localizadas cerca del mar, y esto sería otro punto favorable para la zona en donde se propuso ubicar la planta.

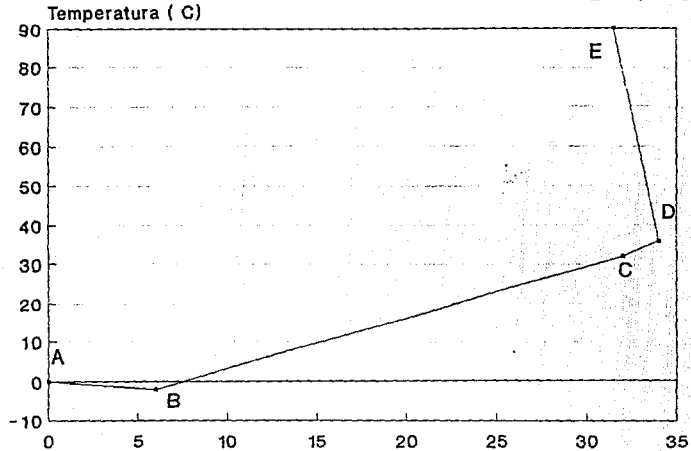
- Así queda, pues, la posibilidad de mejorar la situación del producto, por medio de las ideas anteriormente expuestas, para lograr que éste, al igual que muchos otros productos logren mejorar su situación en el país y posteriormente en el mercado transnacional para hacer posible que esta pequeña parte del acontecer nacional, contribuya al progreso y grandeza de nuestro querido México.

APENDICE I

ALGUNAS GRAFICAS Y TABLAS DEL CAPITULO I.

# SOLUBILIDAD DE CARBONATO DE SODIO EN AGUA

## Punto de Congelación y Solubilidad del Sistema $\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$



GRAFICA 1

Por ciento de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

Fuente: Kirk, E.C.T. (1991)

## SOLUBILIDAD DE CARBONATO DE SODIO EN AGUA

Punto de Congelación y Solubilidad del Sistema  $\text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{H}_2\text{O}$

Fases sólidas en equilibrio:

AB: HIELO

BC:  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

CD:  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

DE:  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 1\text{H}_2\text{O}$

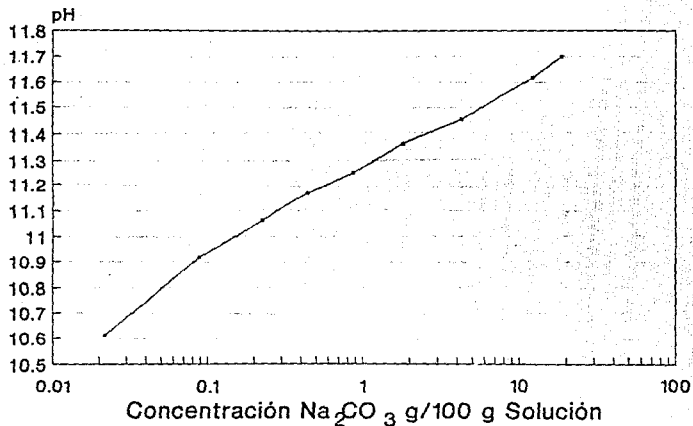
Fuente: Kirk, E.C.T. (1991)

TABLA 1



# CARBONATO DE SODIO

## pH de Soluciones Acuosas a 25 °C



GRAFICA 2

Fuente: SODASOLVAY, "Soda Ash". Bélgica (1992)

# CARBONATO DE SODIO

## pH de Soluciones acuosas a 25 °C

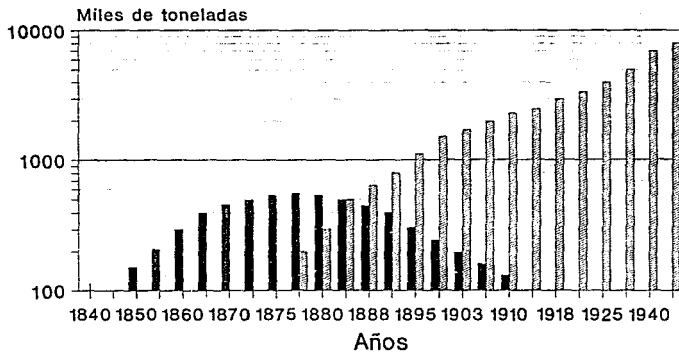
Concentración de Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> gr/100 gr de Solución	pH a 25 °C
0.0217	10.612
0.0884	10.919
0.2246	11.063
0.4376	11.171
0.8609	11.254
1.8060	11.357
4.2410	11.453
12.0340	11.617
18.5555	11.699

Fuente: SODASOLVAY, "Soda Ash". Bélgica, (1992)

TABLA 2

# CARBONATO DE SODIO SINTETICO

## Relación de Producción Mundial



■ Proceso Le Blanc    ▨ Proceso Solvay

Fuente: Dick, "A hundred years of Alkali", I.C.I. Inglaterra (1973)

GRAFICA 3

## CARBONATO DE SODIO SINTETICO

### Relación de Producción Mundial

Año	Proceso Leblanc	Proceso Solvay
1840	0	0
1842	100	0
1850	150	0
1852	210	0
1860	300	0
1865	400	0
1870	460	0
1873	500	0
1875	540	100
1878	560	200
1880	540	300
1885	500	500
1888	450	650
1890	400	800

Fuente: Dick, "A hundred years of Alkali", I.C.I.  
Inglaterra (1973)

TABLA 3

## CARBONATO DE SODIO SINTETICO

### Relación de Producción Mundial

Año	Proceso Le Blanc	Proceso Solvay
1895	310	1100
1900	250	1500
1903	200	1700
1908	160	2000
1910	130	2300
1912	100	2500
1918	0	3000
1920	0	3400
1925	0	4000
1930	0	5000
1940	0	7000
1945	0	8000

Fuente: Dick, " A hundred years of  
Alkali", I.C.I. Inglaterra (1973)

TABLA 3 (CONTINUACION)

A P E N D I C E I I

ESTIMACION DE LA DEMANDA FUTURA PARA CADA SECTOR.

Estimación de la Demanda futura para cada sector.

La estimación de la demanda futura se calculó también por medio de la expresión con la que se obtuvo un mayor coeficiente de correlación para cada uno de los usos involucrados, obteniéndose lo siguiente:

Sector	Expresión
Vidrio	$Y = 97.8 - 0.02143 X$
Industria Química	$Y = 187.6 - 0.08928 X$
TPPS	$Y = 1206.3 - 0.6 X$
Jalones/detergentes	$Y = 238.6 - 0.1178 X$
Silicatos	$Y = - 594.9 + 0.3035 X$
Otros	$Y = - 1035.4 + 0.525 X$

En donde Y es el Por ciento de cada sector y X es el año respectivo. Con estas expresiones se obtuvieron los resultados que aparecen en el Cuadro 23.

A P E N D I C E III

BALANCE DEL PROCESO SOLVAY EN PROGRAMACION BASICA.



```
10 COLOR 15,9,8
20 CLS
30 PRINT "ROBERTO CEBREROS QUERRERO"
40 PRINT "TESIS: PROGRAMA.-BALANCE DEL PROCESO SOLVAY"
50 REM VALORES DE LOS PESOS MOLECULARES
60 BIC=84; ASH=106; COD=44; AGUA=18; HIDA=35; CARA=96; BICA=79; SAL=58.5; CLOA=3
3.5; AMO=17; APA=74; DES=111; CAL=56; PIE=100
70 PRINT "POR FAVOR, DAME EL VALOR BASE DE CARBONATO DE CALCIO (kg)"
80 INPUT BASE
90 PRINT "POR FAVOR, DAME EL VALOR BASE DE CLORURO DE SODIO (kg)"
100 INPUT BASEC
110 PRINT
120 PRINT "***** HORNO DE CAL *****"
*****
130 PRINT
140 PRINT "REACCION:          CaCO3 ----> CaO +CO2"
150 PRINT
160 PRINT "A)CAL VIVA"
170 A=BASE/PIE
180 PRINT "MOLES DE CAL VIVA ";A
190 B=A*CAL
200 PRINT "KILOGRAMOS DE CAL VIVA ";B
210 PRINT
220 PRINT "B)DIOXIDO DE CARBONO"
230 C=A
240 PRINT "MOLES DE DIOXIDO DE CARBONO ";C
250 D=C*COD
260 PRINT "KILOGRAMOS DE DIOXIDO DE CARBONO ";D
270 PRINT
280 PRINT "C) COMPROBACION DE CARBONATO DE CALCIO (PIEDRA CALIZA)"
290 E=A
300 PRINT "MOLES DE PIEDRA CALIZA ";E
310 F=E*PIE
320 PRINT "KILOGRAMOS DE PIEDRA CALIZA ";F
330 PRINT
340 PRINT "BALANCE DEL HORNO DE CAL"
350 BD=B+D
360 PRINT ",F;";B;"+";D
370 PRINT ",F;";";BD
380 PRINT
390 PRINT "***** APAGADOR DE LA CAL *****"
*****
400 PRINT
410 PRINT "REACCION:          CaO + H2O ----> Ca(OH)2"
420 PRINT
430 PRINT "A)CAL APAGADA"
440 G=A
450 PRINT "MOLES DE CAL APAGADA ";G
460 H=G*APA
470 PRINT "KILOGRAMOS DE CAL APAGADA ";H
480 PRINT
```

```
490 PRINT "B)AGUA"
500 I=G
510 PRINT "MOLES DE AGUA ";I
520 J=I*AGUA
530 PRINT "KILOGRAMOS DE AGUA ";J
540 PRINT
550 PRINT "C)OXIDO DE CALCIO (CAL VIVA) (CONOCIDO DEL HURNO DE CAL)"
560 PRINT "MOLES DE CAL VIVA ";A
570 PRINT "KILOGRAMOS DE CAL VIVA ";B
580 PRINT
590 PRINT "BALANCE DEL APAGADOR DE CAL"
600 BJ=B+J
610 PRINT ,D;"+";J;"=";"H
620 PRINT ,BJ;"=";"H
630 PRINT
640 PRINT "***** ABSORBEDOR *****"
*****
650 PRINT
660 PRINT "REACCION:          HCl + NH3 + H2O ----> NH4OH + NaCl"
670 PRINT
680 PRINT "A)AMONIACO"
690 K=BASEC/SAL
700 PRINT "MOLES DE AMONIACO ";K
710 L=K*AM0
720 PRINT "KILOGRAMOS DE AMONIACO ";L
730 PRINT
740 PRINT "B)HIDROXIDO DE AMONIO"
750 M=K
760 PRINT "MOLES DE HIDROXIDO DE AMONIO ";M
770 N=M*HIDA
780 PRINT "KILOGRAMOS DE HIDROXIDO DE AMONIO ";N
790 PRINT
800 PRINT "C)AGUA"
810 II=M
820 PRINT "MOLES DE AGUA ";II
830 JJ=II*AGUA
840 PRINT "KILOGRAMOS DE AGUA ";JJ
850 PRINT
860 PRINT "D)COMPROBACION DE CLORURO DE SODIO"
870 P=II
880 PRINT "MOLES DE CLORURO DE SODIO ";P
890 Q=P*SAL
900 PRINT "KILOGRAMOS DE CLORURO DE SODIO ";Q
910 PRINT
920 PRINT "BALANCE DEL ABSORBEDOR"
930 DLJ=Q+L+JJ
940 NO=N+D
950 PRINT ,Q;"+";L;"+";JJ;"=";"N;"+";D
960 PRINT ,DLJ;"=";"N0
970 PRINT
```

```
980 PRINT "***** TORRE DE CARBONATACION *****"
*****"
990 PRINT
1000 PRINT "REACCIONES:      2 NH4OH + CO2 ----> (NH4)2CO3 +H2O      (I)"
1010 PRINT "      (NH4)2CO3 + CO2 + H2O ----> 2(NH4)HCO3      (II)"
1020 PRINT "      (NH4)HCO3 + NaCl ----> NaHCO3 + NH4Cl      (III)"
1030 PRINT
1040 PRINT "USANDO LA REACCION (I)"
1050 PRINT
1060 PRINT "A)HIDROXIDO DE AMONIO (LO CONOCEMOS DEL ABSORBEDOR)"
1070 PRINT "MOLES DE HIDROXIDO DE AMONIO ";M
1080 PRINT "KILOGRAMOS DE HIDROXIDO DE AMONIO ";N
1090 PRINT
1100 PRINT "B)DIOXIDO DE CARBONO"
1110 CC=M/2
1120 PRINT "MOLES DE DIOXIDO DE CARBONO ";CC
1130 DD=CC*COD
1140 PRINT "KILOGRAMOS DE DIOXIDO DE CARBONO ";DD
1150 PRINT
1160 PRINT "C)CARBONATO DE AMONIO"
1170 R=M/2
1180 PRINT "MOLES DE CARBONATO DE AMONIO ";R
1190 S=R*CARA
1200 PRINT "KILOGRAMOS DE CARBONATO DE AMONIO ";S
1210 PRINT
1220 PRINT "D)AGUA"
1230 III=M/2
1240 PRINT "MOLES DE AGUA ";III
1250 JJJ=III*AGUA
1260 PRINT "KILOGRAMOS DE AGUA ";JJJ
1270 PRINT
1280 PRINT "USANDO LA REACCION (II)"
1290 PRINT
1300 PRINT "A)CARBONATO DE AMONIO (LO CONOCEMOS DE LA REACCION I)"
1310 PRINT "MOLES DE CARBONATO DE AMONIO ";R
1320 PRINT "KILOGRAMOS DE CARBONATO DE AMONIO ";S
1330 PRINT
1340 PRINT "B)DIOXIDO DE CARBONO (LO CONOCEMOS DE LA REACCION I)"
1350 PRINT "MOLES DE DIOXIDO DE CARBONO ";CC
1360 PRINT "KILOGRAMOS DE DIOXIDO DE CARBONO ";DD
1370 PRINT
1380 PRINT "C)AGUA"
1390 IES=CC*PRINT "MOLES DE AGUA ";IES
1400 JJJJ=IES*AGUA:PRINT "KILOGRAMOS DE AGUA ";JJJJ
1410 PRINT
1420 PRINT "D)BICARBONATO DE AMONIO"
1430 T=R*2
1440 PRINT "MOLES DE BICARBONATO DE AMONIO ";T
1450 U=T*BICA
1460 PRINT "KILOGRAMOS DE BICARBONATO DE AMONIO ";U
1470 PRINT
```

```
1480 PRINT "USANDO LA REACCION (III)"
1490 PRINT
1500 PRINT "A) CLORURO DE SODIO (LO CONOCEMOS DEL ABSORBEDOR)"
1510 PRINT "MOLES DE CLORURO DE SODIO ";P
1520 PRINT "KILOGRAMOS DE CLORURO DE SODIO ";Q
1530 PRINT
1540 PRINT "B) BICARBONATO DE AMONIO (LO CONOCEMOS DE LA REACCION 2)"
1550 PRINT "MOLES DE BICARBONATO DE AMONIO ";I
1560 PRINT "KILOGRAMOS DE BICARBONATO DE AMONIO ";U
1570 PRINT
1580 PRINT "C) CLORURO DE AMONIO"
1590 V=P
1600 PRINT "MOLES DE CLORURO DE AMONIO ";V
1610 W=U*CLCO
1620 PRINT "KILOGRAMOS DE CLORURO DE AMONIO ";W
1630 PRINT
1640 PRINT "D) BICARBONATO DE SODIO"
1650 X=V
1660 PRINT "MOLES DE BICARBONATO DE SODIO ";X
1670 Y=X*SBIC
1680 PRINT "KILOGRAMOS DE BICARBONATO DE SODIO ";Y
1690 PRINT
1700 PRINT "BALANCE DE LA TORRE DE CARBONATACION"
1710 REM DEBIDO A QUE HAY TRES REACCIONES SE PRESENTAN COMO SUMATORIAS, TOMANDO
COMO CERO EN LAS REACCIONES EN QUE NO ESTEN INVOLUCRADAS
1720 SSAL=0+0+0
1730 SHIDA=N+0+0
1740 SCOD=DD+DD+0
1750 SCLDA=0+0+W
1760 SBIC=0+0+Y
1770 SAGUA=JJJ-JJJ
1780 REM AGUA SE ELIMINA POR ENTRAR Y SALIR (E=S)
1790 NNC=SSAL+SHIDA+SCOD
1800 CLCO=SCLDA+SBIC
1810 PRINT SSAL;"+";SHIDA;"+";SCOD;"=";SCLDA;"+";SBIC
1820 PRINT NNC;"=";CLCO
1830 PRINT
1840 PRINT "***** MEZCLADOR DE CAL *****"
*****"
1850 PRINT
1860 PRINT "REACCION:      2 NH4Cl + Ca(OH)2 ----> CaCl2 + 2 NH4OH"
1870 PRINT
1880 PRINT "A)CLORURO DE AMONIO (LO CONOCEMOS DE LA REACCION III)"
1890 PRINT "MOLES DE CLORURO DE AMONIO ";V
1900 PRINT "KILOGRAMOS DE CLORURO DE AMONIO ";W
1910 PRINT
1920 PRINT "B)HIDROXIDO DE CALCIO (CAL APAGADA) (LO CONOCEMOS DEL APAGADOR DE CA
L)"
1930 PRINT "MOLES DE CAL APAGADA ";G
1940 PRINT "KILOGRAMOS DE CAL APAGADA ";H
1950 PRINT
```

```
1960 PRINT "C)HIDROXIDO DE AMONIO"  
1970 Z=V  
1980 PRINT "MOLES DE HIDROXIDO DE AMONIO ";Z  
1990 ZZ=Z*HIDA  
2000 PRINT "KILOGRAMOS DE HIDROXIDO DE AMONIO ";ZZ  
2010 PRINT  
2020 PRINT "D)CLORURO DE CALCIO"  
2030 MCL=V/2  
2040 PRINT "MOLES DE CLORURO DE CALCIO ";MCL  
2050 TCL=MCL*DES  
2060 PRINT "KILOGRAMOS DE CLORURO DE CALCIO ";TCL  
2070 PRINT  
2080 PRINT "BALANCE DEL MEZCLADOR DE CAL"  
2090 WH=W+H  
2100 DI=TCL+ZZ  
2110 PRINT ",W;"+";H;"+";TCL;"+";ZZ  
2120 PRINT ",WH;"+";DI  
2130 PRINT  
2140 PRINT "***** DESTILADOR *****"  
*****"  
2150 PRINT  
2160 PRINT "REACCION:          NH4OH ----> NH3 + H2O"  
2170 PRINT  
2180 PRINT "A)HIDROXIDO DE AMONIO (LO CONOCEMOS DEL MEZCLADOR DE CAL)"  
2190 PRINT "MOLES DE HIDROXIDO DE AMONIO ";Z  
2200 PRINT "KILOGRAMOS DE HIDROXIDO DE AMONIO ";ZZ  
2210 PRINT  
2220 PRINT "B)AMONIACO"  
2230 RNH=Z  
2240 PRINT "MOLES DE AMONIACO ";RNH  
2250 TNH=RNH*AMO  
2260 PRINT "KILOGRAMOS DE AMONIACO ";TNH  
2270 PRINT  
2280 PRINT "C)AGUA"  
2290 MAG=RNH  
2300 PRINT "MOLES DE AGUA ";MAG  
2310 TAG=MAG*AGUA  
2320 PRINT "KILOGRAMOS DE AGUA ";TAG  
2330 PRINT  
2340 PRINT "BALANCE DEL DESTILADOR"  
2350 PRO=TNH+TAG  
2360 PRINT ",Z;"+";TNH;"+";TAG  
2370 PRINT ",Z;"+";PRO  
2380 PRINT  
2390 PRINT "***** CALCINADOR *****"  
*****"  
2400 PRINT  
2410 PRINT "REACCION:          2 NaHCO3 ----> Na2CO3 + CO2 + H2O"  
2420 PRINT  
2430 PRINT "A)BICARBONATO DE SODIO (LO CONOCEMOS DE LA REACCION III)"  
2440 PRINT "MOLES DE BICARBONATO DE SODIO ";X  
2450 PRINT "KILOGRAMOS DE BICARBONATO DE SODIO ";Y  
2460 PRINT
```

```
2470 PRINT "B)DIOXIDO DE CARBONO"
2480 MDC=X/2
2490 PRINT "MOLES DE DIOXIDO DE CARBONO ";MDC
2500 TDC=MDC*COD
2510 PRINT "KILOGRAMOS DE DIOXIDO DE CARBONO ";TDC
2520 PRINT
2530 PRINT "C)AGUA"
2540 MAGUA=X/2
2550 PRINT "MOLES DE AGUA ";MAGUA
2560 TAGUA=MAGUA*AGUA
2570 PRINT "KILOGRAMOS DE AGUA ";TAGUA
2580 PRINT
2590 PRINT "D)CARBONATO DE SODIO"
2600 MSA=X/2
2610 PRINT "MOLES DE CARBONATO DE SODIO ";MSA
2620 KASH=MSA*ASH
2630 PRINT "KILOGRAMOS DE CARBONATO DE SODIO ";KASH
2640 PRINT
2650 PRINT "BALANCE DEL CALCINADOR"
2660 BIS=KASH+TDC+TAGUA
2670 PRINT "Y:"="";KASH;"+";TDC;"+";TAGUA
2680 PRINT "Y:"="";BIS
2690 FOR A=1 TO 1000:NEXT :CLS
2700 LOCATE 1,1:PRINT "***** BALANCE TOTAL DEL PROCESO SOLVAY
*****"
2710 LOCATE 3,2:PRINT "REACCION GENERAL:      CaCO3 + 2NaCl ----> Na2CO3 + CaCl2
"
2720 ENTRADAS=F*G
2730 SALIDAS=KASH+TCL
2740 LOCATE 5,1:PRINT "*****
*****"
2750 LOCATE 7,20:PRINT "ENTRADAS":LOCATE 7,30:PRINT "(Kg)":LOCATE 7,50:PRINT "SA
LIDAS":LOCATE 7,59:PRINT "(Kg)"
2760 LOCATE 9,20:PRINT "CaCO3":LOCATE 9,30:PRINT F:LOCATE 9,50:PRINT "Na2CO3":LO
CATE 9,59:PRINT KASH
2770 LOCATE 10,20:PRINT "NaCl":LOCATE 10,30:PRINT G:LOCATE 10,50:PRINT "CaCl2":L
OCATE 10,59:PRINT TCL
2780 LOCATE 11,26:PRINT " _____":LOCATE 11,57:PRINT " _____"
2790 LOCATE 13,30:PRINT ENTRADAS:LOCATE 13,59:PRINT SALIDAS
2800 LOCATE 15,15:PRINT "NH3 ENTRANTE":LOCATE 15,30:PRINT L:LOCATE 15,44:PRINT "
NH3 SALIENTE":LOCATE 15,59:PRINT TMI
2810 LOCATE 17,25:PRINT "PRODUCCION REAL (75%):"="";KASH*.75
2820 PRINT
2830 PRINT "*****
*****"
```

BIBLIOGRAFIA.

- (1) Kirk, Othmer; "Encyclopaedia of Chemical Technology". Ed. John Wiley & Sons. 4th. edition. Vol. I. (1991). Pp. 1025-1039.
- (2) The Merck Index & Co., Inc. 10<sup>a</sup> ed. Rahway, N. U.S.A. (1983). Pp 8425.
- (3) Tegeer, Mayer; "Métodos de la Industria Química". Ed. Reverte. 4a. reimpresión. (1984). Pp. 138-144.
- (4) Dick W., "A hundred years of Alkali in Cheshire". Imperial Chemical Industries Limited. England. (1973) Pp 1-12.
- (5) "Soda Ash: Invisible but essential". SODASOLVAY. SOLVAY, S.A., Brussels, Belgium (1992), Pp. 49.
- (6) Austin, George T. "Manual de procesos químicos en la industria". Ed. McGrawHill. 1a. edición en español. Tomo I. (1989). Pp. 267-273.
- (7) Summerlin, Chopin; "Química". Publicaciones Cultural. 4a. reimpresión. (1984). Pp. 480-510.
- (8) Anuario Estadístico. Asociación Nacional de la Industria Química. México 1992.
- (9) "Wyomig Soda Ash". General Chemical Corporation. Wyoming, U.S.A. (1990).
- (10) Pre foro ANIQ. Sección de fabricantes de Alcalis y Cloro. México (1991).
- (11) Norma Oficial de Calidad para Carbonato de sodio. DGN-K-36-1972.
- (12) Norma Oficial de Método de Prueba para la Determinación de la Pureza (alcalinidad total) del Carbonato de Sodio. DGN-K-253-1972.
- (13) Norma Oficial de Método de Prueba para la Determinación de la Densidad Aparente de Materiales Pulverulentos o Granulados. DGN-K-13-1968.
- (14) Norma Oficial de Método de Prueba para la Determinación de la Granulometría en Materiales Pulverulentos o Granulados. DGN-K-369-1972.
- (15) "Precauciones para el manejo y uso seguro del material" Industria del Alkali, S.A. de C.V. (1989).

- (16) Adhia, J.D. "Soda Ash Industry- A World View". Chemical Age of India, Vol. 37, No. 3, March 1990.
- (17) Directory of Chemical producers S.R.I. 1990
- (18) Faith, et al. "Industrial Chemicals". John Wiley & Sons New York. (1975). Pp 706-715.
- (19) Microfichas/SECOFI 1991.
- (20) Cuaderno de Postgrado. Perfiles quimico-tecnológicos. 3a. edición. 1985. Pp. 56,65.
- (21) "Industridata. Empresas grandes". Mercamétrica ediciones SA. 13a. edición. (1990). Pp. 240,270.
- (22) Directorio de empresas, productos, servicio y distribución de la Industria Química Mexicana (1991).
- (23) Sistema de Cuentas Nacionales de México. INEGI. 1989. Pp 23-28.
- (24) Mannion L.E. "Industrial Minerals and Rocks". 4th. edition. U.S.A. (1975).
- (25) Fuente directa.
- (26) Manual de Procesos. Sosa Texcoco. 1987.
- (27) U.S. Pat 3,119,655 (Jan. 28, 1964) W.R. Frint & A. McCue
- (28) U.S. Pat 2,962,348 (Nov. 29, 1969) L Seglin & H Winnicki  
U.S. Pat 3,236,590 (Feb. 22, 1966) P. Sopchack & E. Port  
U.S. Pat 3,314,748 (Apr. 18, 1967) C.J. Howard, P. Sopchack & E. Port.
- (29) Hightower J.V. "The Trona Process and its unique Features". Chemical Engineering 58 (8) 104 (1951).
- (30) "Trona to Soda Ash". What's happening? Section Chemical Engineering 60 (5) 118 (1953).
- (31) "Natural Soda Ash". Westvaco, Wyo. Chemical Engineering 61 (3) 342 (1954).
- (32) Sommers. H.A., "Soda Ash from Trona". Chemical Engineering Progress 56 (2) 76 (1960).
- (33) "Products from Wyoming's Trona Basin". FMC Green River Wyoming Corporation (1992).
- (34) "Green River Soda Ash Facility". General Chemical Corporation (1989).



- (35) Hightower J.V. "New Carbonation Technique for More Natural Soda Ash". Chemical Engineering 58 (5) 162 (1951).
- (36) Parkinson G., "Soda Ash Plant Exploits Mineral-Laden Brine". Chemical Engineering 84 (24) 62 (1977).
- (37) "Searles Lake". Kerr McGee Chemical Soda Products Division (1989).
- (38) Badger, Walter. "Inorganic Chemical Technology". Ed. McGrawHill. 2nd. Edition. (1941). Pp. 137.
- (39) Excelsior. Viernes 10 de Julio de 1992. Tercera parte de la Sección A. Pp 46.
- (40) Gianville J., "Soda Ash Manufacture - An Example of What?". Journal of Chemical Education 50 (1) 64 (1973).
- (41) Riegel, E. "Industrial Chemistry: Sodium Products". Reinhold Publishing Corporation. 6th. edition. (1980) Pp 125-132.
- (42) Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. XIII Censo Industrial. 1989.
- (43) Espíndola, C. "Evaluación de proyectos a valor presente". Ediciones contables y administrativas, S.A. 2a. reimpression (1983). Pp 11-35.