

EXPEDIENTE
Agregado Nº 72670 - 7 OCT 1981
FECHA

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

26584

FACTIBILIDAD DE INSTALACION DE INDUSTRIAS QUIMICAS

DERIVADAS DEL USO DE LA SAL

PROVINCIA DE LA PAMPA

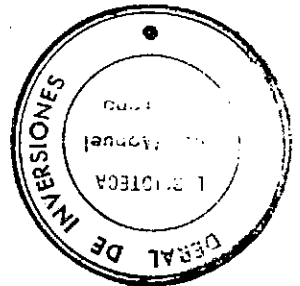
INFORME DE AVANCE N°3 - INFORMACION COMPLEMENTARIA

ING. JORGE A. BRAVO

ING. RENE A. DUBOIS

0
H. 2227
B 29
VIII

06-10-1981.-



3. TECNOLOGIA - INVERSIONES - TAMAÑO DE PLANTAS

3.1. METODOS DE ELABORACION DE SODA CAUSTICA Y CLORO

El Cloro es producido por medio de la electrólisis de sales, fundido de cloruros ó soluciones acuosas de metales alcalinos clorados.

En la electrólisis de la sal, el cloro es producido en el ánodo y el hidrógeno, junto con el hidróxido de sodio o potasio en el cátodo. Los productos del ánodo y el cátodo deben ser cuidadosamente separados, muchas ingenionas celdas han sido desarrolladas y mejoradas.

Todos los diseños tienen una gran variación de diaframas o sino variaciones de intermediarios de electrodos de mercurio.

En el proceso con diafragma, la salmuera es continuamente alimentada y corre en el compartimiento con el ánodo a través del diafragma de amianto depositado en un cátodo de hierro.

Hay un mínimo de retroceso de difusión y migración, la circulación del flujo es tal que solamente una parte de las sales es convertida.

El ion hidrógeno es descargado de la solución en el cátodo de hierro formando gas hidrógeno y liberando el ion hidróxido. La solución catódica, contiene soda caústica y cloruro de sodio, es evaporada para

obtener soda caústica, en el curso de la evaporación el cloruro de sodio precipita, es separado y redisuelto nuevamente a la electrólisis.

En el proceso con cátodo de mercurio, el cation después de descargar forma una aleación o amalgama con el mercurio. Esta amalgama circula ó es bombeada a una cámara de separación en la que produce una reacción eletroquímica, muy a menudo con agua, formando hidrógeno y una fuerte solución de soda caústica, no conteniendo cloruro de sodio.

Históricamente, estos dos procesos fueron desarrollados durante la misma década; no exactamente en paralelo.

En Estados Unidos y en el resto del mundo, las celdas de mercurio se están eliminando, debido al problema de contaminación ambiental con mercurio.

EFICIENCIA DE LA ELECTROLISIS

Los informes siguientes de valores corresponden a celdas industriales.

Eficiencia de la Corriente

Teóricamente, 96.500 amper-segundo produce un gramo-equivalente de cualquier material; entonces 1000 amper/horas podrían idealmente producir 1,31 Kg. de Cloro y 0,039 Kg. de Hidrógeno y 1,48 Kg. de Hidróxido de Sodio

En la práctica no se producen las cantidades indicadas debido a pérdidas inherentes a la operación de las celdas:

- a) pérdida de corriente a través de la aislación.
- b) reacciones secundarias.
- c) pérdidas por vaporización, por formación de productos intermedios.

La relación entre la cantidad producida y la cantidad teórica, es llamada eficiencia de la corriente y se expresa en porcentaje.

Por ser el hidróxido de sodio el producto más importante, la eficiencia de la corriente se determina dividiendo los Kgrs. de hidróxido de sodio producido por 1000 amper-hora por 0.0148 y oscila en 95 a 96%.

EFICIENCIA DE LA ENERGIA

El potencial de descomposición del cloruro de sodio en celdas de diafragma es de 2,3volts y en la celda de mercurio es de 3.17 volts.

La eficiencia de la energía en las celdas se obtiene multiplicando la eficiencia de la corriente, expresada en porcentaje, por 2,3 para celdas de diafragma y 3,17 para celdas de mercurio y dividiendo por la cantidad de voltaje que opera las celdas.

KILOWAT-HORA POR UNIDAD DE PRODUCCION

En E.E.U.U. es común definir el consumo de corriente continua en Kwh por toneladas de cloro que salen de las celdas. En Europa Occidental está referida a Kwh por tonelada métrica de hidróxido de sodio.

En la Tabla N° 1 se indican los consumos para cada diseño de celdas.

TABLA N° 1

<u>CARACTERISTICAS</u>	<u>CELDA DIAFRAGMA</u>		<u>CELDA MERCURIO</u>	
	<u>Diamond D-2</u>	<u>Hooker - S</u>	<u>De Nora 14x3</u>	<u>Uhde 10m2.</u>
Consumos Amp. Normal	20.000	10.000	60.000	50.000
Consumos Amp. Máximo	24.000	13.000	80.000	60.000
Area Cátodo in	30.800	18.700	18.522	15.500
Densidad de corriente amp./in2.				
Normal	0,648	0,535	3,23	3,22
Máximo	0,78	0,697	4,32	3,87
Voltaje de celdas volts				
Normal	3,78	3,75	4,30	4,25
Máximo	3,99	4,05	4,96	4,48
Eficiencia de corriente base Naoh %	96,5	96	96	96
Consumo de energia KW h/ton. cloro				
Normal	2.700	2.680	3.220	3.050
Máximo	2.840	2.900	3.500	3.210
Consumo de mercurio lb/ton. cloro	7,5	6,7	4	4
Vida útil del diafragma	110	170		
Concentración del alcali en el cátodo % Naoh	11 - 11,5	10,9	50 - 55	50 - 63
Producción de cloro tons/celda por día	0,67	0,336	2	1,69
Area de la celda ft2/ton cloro por día.	140	226	190	217

DESCRIPCION DE LAS CELDAS

Existen en el mundo dos tipos de diseño de celdas

- a) Celdas con Diafragma.
- b) Celdas con Cátodo de Mercurio.

Celdas a Diafragma

También hay una división importante, que es en diafragma sumergido y diafragma no sumergido. Hay una gran variedad de celdas, basadas en estas divisiones, en general ambas consisten en una cuba de acero, cilíndrico o rectangular, el que soporta un cátodo de plancha de hierro perforado o malla de hierro en el interior de la celda.

Este cátodo está cubierto por una capa de asbesto en forma de papel, que se deposita en fibra bajo vacío. A una distancia mínima se coloca el ánodo de grafito o de titanio tratado, colocándose unos separadores para mantener la distancia.

La salmuera es mantenida en el compartimiento del ánodo a un nivel sobre la superficie del electrodo activo. Por percolación pasa el diafragma al cátodo, donde con un nivel de distancia se mantiene el cáustico diluído, y el hidrógeno formado en el cátodo sale por una corrección en el tope de la cuba en el espacio entre la cuba y el cátodo.

La función del diafragma es mantener el hidróxido de sodio y evitar un mínimo de difusión por irrigación de hidróxilos en el anolite.

Principales celdas que operan en el mundo:

- . Celdas Dow que son un block de 50 celdas.
- . Celdas Diamond, son rectangulares, con diafragma de asbestos, operan entre 20.000 a 30.000 amper.
- . Celdas Hooker, son rectangulares, cuba de hierro, una malla de hierro soporta al difragma, operan entre 30.000 a 40.000 amper.

Celdas con Cátodo de Mercurio

En estas celdas, la salmuera es descompuesta en un compartimiento entre el ánodo de grafito y el cátodo de grafito, formando gas cloro en el ánodo y amalgama de sodio en el cátodo. Esta amalgama circula a un segundo compartimiento, llamado desamalgador, donde se descompone en hidróxido de sodio, por ingreso de agua pura en contra corriente con la amalgama; aquí se forma el gas hidrógeno. La solución obtenida contiene 30 a 70% de hidróxido de sodio de alta pureza.

La celda está formada en el fondo por una hoja o capa de mercurio que apoya sobre capa de hierro, o concreto o cubierta sintética, donde están los ánodos de grafito, colocados en paralelo con el mercurio.

Los últimos diseños tienen un sistema de regulación de los ánodos y se han desarrollado ánodos de

titonio que reemplazan al grafito.

La eficiencia de la corriente en las celdas de mercurio varía entre 94 a 97%, que es el mismo de las celdas de diafragma.

La energía requerida por unidad de producción es del 15 a 20% más alta que las celdas de diafragma.

Otra ventaja de las celdas de mercurio, es el consumo del mismo en el orden de 0,135 Kg. de mercurio por tonelada de cloro.

Las principales celdas utilizadas son:

- . Celdas BASF, son una sola pieza cubierta con goma sintética, con ánodo que es una grilla de grafito.
- . Celdas Solvay, son construídas en dos tamaños, una de 96.000 amper, y otra de 160.000 amper. La cuba es de fondo de hierro con los costados de hierro cubierto con goma sintética.
- . Celdas Uhde, similar a la anterior y permite un ajuste individual de cada ánodo.
- . Celdas De Nora, operan entre 60.000 amper y 150.000 amper. Los ánodos son de grafito suspendidos.

Comparación entre celdas de mercurio y de diafragma

En E.E.U.U., menos del 20% de las celdas en operación son de cátodos de mercurio, en otros países es diferente; probablemente se debe a la menor existencia de sal sólida en E.E.U.U.

Pero últimamente un factor más importante que el técnico, decide entre el uso de cada diseño y es el de contaminación de mercurio. En el año 1983 no se permitirá el uso de estas celdas en Europa Occidental y Japón.

El factor más importante para utilizar cada diseño, es la disponibilidad de sal sólida y la calidad del hidróxido de sodio requerido por el mercado. Esto se debe a que las celdas a mercurio requieren sal sólida seca y las de diafragma requieren solución saturada de sal. Esta es la causa por que se instalan las de diafragma donde se dispone de agua salada surgente. También se pueden combinar plantas que contienen celdas de mercurio y de diafragma.

Las celdas de mercurio producen hidróxido de sodio de alta pureza, al 50%; y las de diafragma producen a la salida de las celdas hidróxido de sodio al 12%, que debe ser concentrado posteriormente y si se requiere el hidróxido puro, se debe tratar con una extracción amoniacal.

INSTALACIONES AUXILIARES PARA PLANTAS DE CLORO

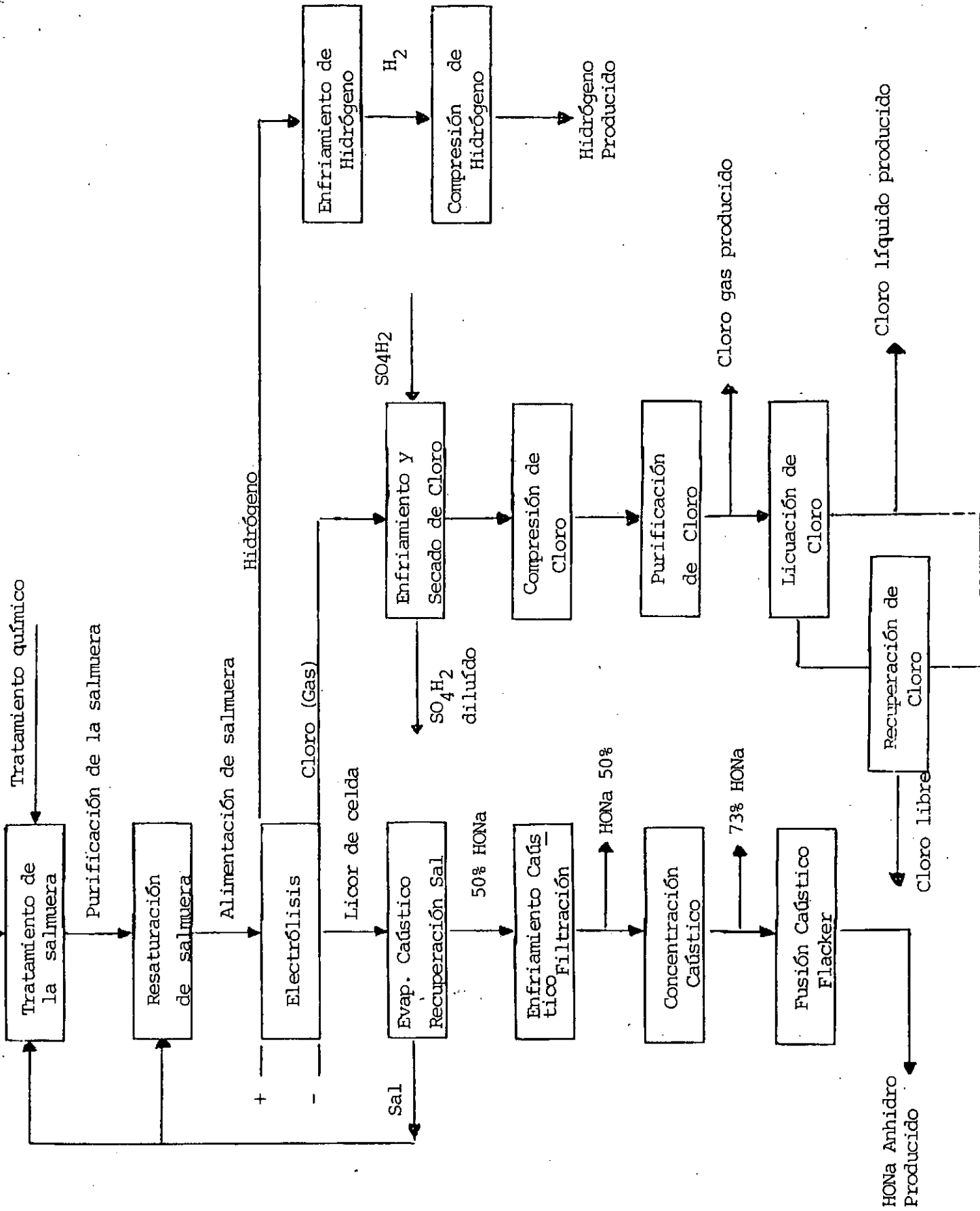
Las instalaciones auxiliares para las plantas con celdas de diafragma consisten en purificación de la salmuera, disponer de corriente continua, enfriador de cloro, secado y licuación de cloro, evaporación cáustico, recuperación de la sal, enfriamiento del

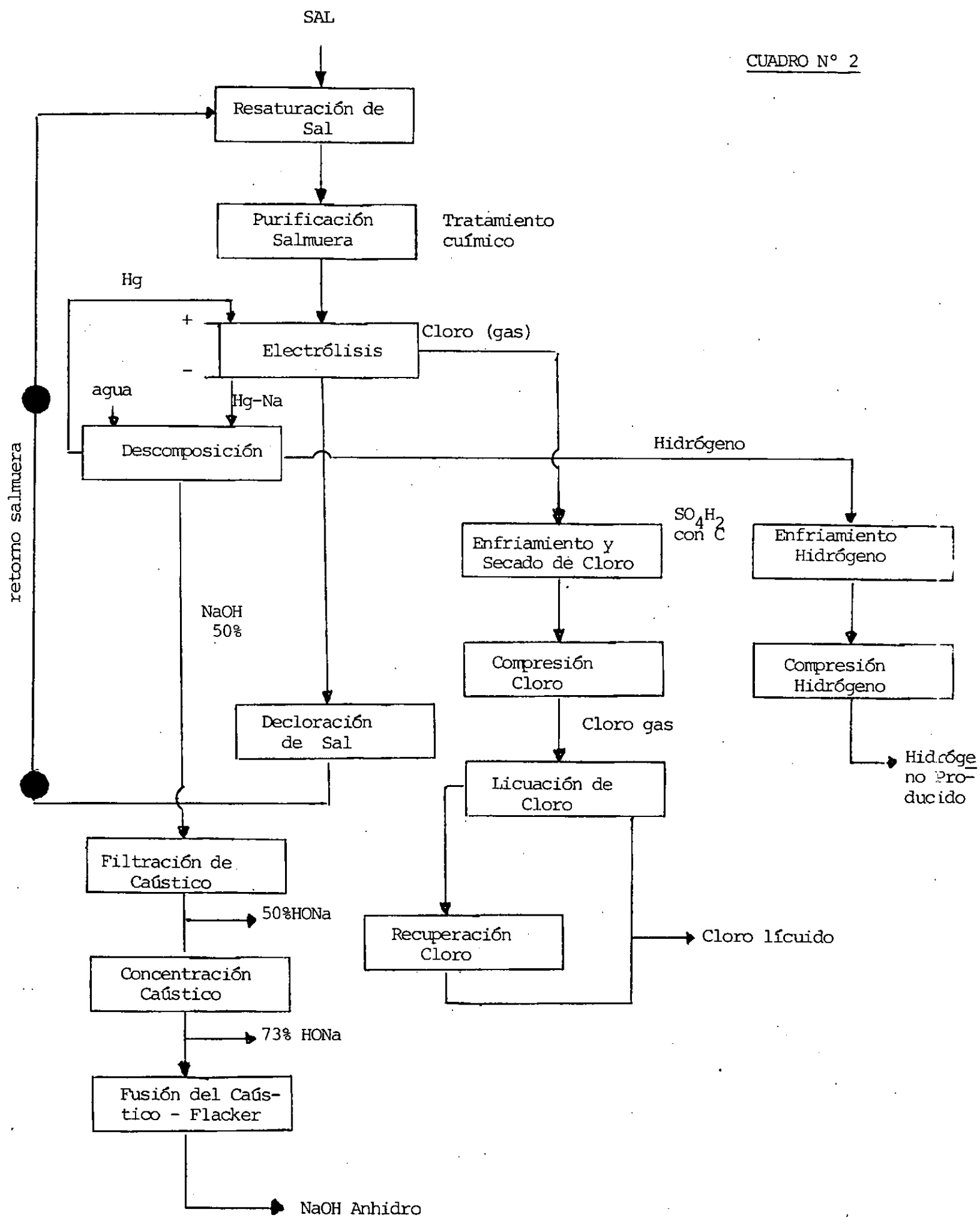
El anolito de salida de la celda de mercurio con tiene cloro que es removido, antes de resaturar con sal. Esta remoción se hace agregando ácido clorhídrico que reduce la solubilidad del cloro, con vacío o con soplado de aire.

Diagrama de flujo para celdas a diafragma: Cuadro N°1; diagrama de flujo para celdas de cátodo de mercurio: Cuadro N° 2

Sal o Salmuera

CUADRO N° 1





CLORO: ENFRIAMIENTO, SECADO Y COMPRESION

El Cloro gas que sale de celda es colectado en un manifold principal y consumido bajo un controlado vacío. Este gas contiene agua que la satura en fase vapor, finas gotas de sal y parte de hidrógeno.

La mayoría del agua es separada por enfriamiento del gas cloro, en un scrubber, trabajando a 5°C de temperatura. La mayoría de la salmuera es separada en un demister. Este gas cloro que sale es secado con circulación en una torre que recibe ácido sulfúrico concentrado en contracorriente.

El gas cloro seco es comprimido, en un compresor rotativo tipo Nash Hutor, con sello de ácido sulfúrico concentrado. Este gas comprimido es enviado a un equipo de licuación que utiliza freón trabajando a -30°C.

El cloro licuado es enviado a los tanques de almacenamiento, contruídos con chapas de hierro, con una aislación externa.

CONCENTRACION DEL LICOR CAUSTICO DILUIDO. ELABORACION DE SODA CAUSTICA CONCENTRADA.

La solución de soda que sale de las celdas de mercurio es muy concentrada, y produce Soda al 50%, que es como más se usa en el comercio..

En las celdas de diafragma, la concentración de soda es de 10-12% y contiene cloruro de sodio residual y sulfato de sodio y otros residuos.

Para concentrar la soda al 90% se usan unos evaporadores de dos o tres efectos, que existen en la industria.

El esquema de la instalación es el siguiente: durante el proceso de purificación se produce sal fina que es separada en centrífugas de operación continua.

CONCENTRACION ARRIBA DEL 50%

Cada vez se utiliza más la soda concentrada al 70-74% que utiliza tanques aislados.

Pero se avanza para producir caústico anhidrido que es producido comunmente en un flacker de especial diseño y el caústico fundido se emplea en el mercado de exportación.

La concentración al 70-74% es preparada en un evaporador de un efecto, construído en níquel y el producto es enviado, si se quiere para producir caústico anhidro.

CAUSTICO ANHIDRO

Para producirlo se emplea un evaporador tipo flash, usando alta temperatura de calentamiento. Normalmente se utiliza para calentar Dow therm en fase vapor, que condensa el flash evaporador.

Los materiales que son utilizados en el evaporador son el níquel o inconel, se trabaja en un rango de temperatura de 380°C.

3.2. ACCESIBILIDAD Y RESTRICCIONES - HIDROXIDO DE SODIO Y CLORO

En la descripción de los procesos tecnológicos encontramos tres grandes divisiones para la electrólisis del cloruro de sodio:

1. Celdas a Diafragma.
2. Celdas a Cátodo de Mercurio.
3. Celdas a membrana, que no serán tratadas en este trabajo por pertenecer a una moderna tecnología en desarrollo.

Las licencias principales en el mercado son las siguientes según la división tecnológica:

1. Celdas a Diafragma

<u>Proveedor de la Licencia</u>	<u>Restricciones</u>
Celdas Dow de Dow Chemical Co.	No existen
Celdas Diamond, de Diamond Shamrock Co.	No existen
Celdas Hooker, de Hooker Chemical División Occidental Petroleum	No existen

2. Celdas a Cátodo de Mercurio

<u>Proveedor de la Licencia</u>	<u>Restricciones</u>
Celdas BASF, de la Badische Anilin & Soda Fabrik	No existen
Celdas Solvay de Solvay et Cie of Brussels	No existen
Celdas Uhde de F. Uhde & G. Hoechst and L. Bayer	No existen

Celdas De Nora de Oronzio de Nora Impianti Ellettro Chimici de Milán Italia	No existen
Celdas Mathieson de Olin, Mathieson Corporation	No existen

Características sobresalientes de cada proceso

Según la división del punto anterior, podemos usar una comparación para los tipos de celdas utilizadas en los Estados Unidos de Norteamérica en la producción de cloro.

Capacidad de producción de Cloro en
E.E.U.U. en el año 1960

<u>Productores</u>	<u>Tons Cloro/día</u>	<u>% del Total</u>
Celdas A Diafragma		
. Columbia Hooker	1.050	7,9
. Diamond Shamrock	1.215	9,1
. Dow	1.685	12,6
. Hooker	6.411	48,1
. Varios	481	3,6
. SUB-TOTAL	10.842	81,3
Celdas Cátodo de Mercurio		
. De Nora	817	6,2
. Dow	100	0,8
. Imperial Chemical Ind.	224	1,7
. Mathieson	525	3,9
. Solvay	525	3,9
. Hoechst-Uhde	140	1,2
. Varios	137	1,0
. SUB-TOTAL	2.488	18,7

Características más importantes

	Celdas a Diafragma	Celdas Cátodo Mercurio
	Diamond	De Nora
Consumo Amper	30.000	60.000
Máximo Amper	37.000	80.000
Densidad Corriente ₂ en el Cátodo amp/m ²		
operando	0,68	3,23
máximo	0,77	4,32
Voltaje		
operando	3,82	4,30
máximo	4,00	4,96
Consumo de energía kw/h ton. Cloro		
operando	2.720	3.220
máximo	2.840	3.260
vida útil del dia- fragma	110	
Concentración de la Soda Caústica % NaOH	11,11.5	50-55
Producción de Clo- rc/Ton. día	1,01	2,0
de la celda en ft ² /tons.día clo- rc	105	190

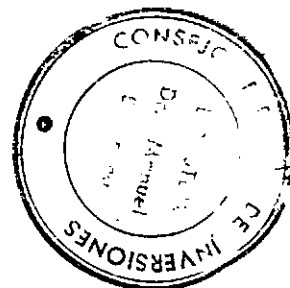
De la tabla anterior sacamos la siguiente conclusión:
Si es de primordial interés la soda caústica se debe utilizar celdas cátodo de mercurio, que permite obtener soda caústica concentrada.

La experiencia ha indicado que para producciones menores de 30.000 tons/año de soda caústica se recomienda el uso de estas celdas.

Las celdas a mercurio admiten una flexibilidad en la capacidad de producción, ésta flexibilidad es que admiten picos de energía eléctrica, donde la energía tiene distintos valores en el día.

Los últimos adelantos técnicos han solucionado los problemas de contaminación con mercurio.

Nuestro trabajo continuará, tomando como base que se trabajará con celdas de cátodo de mercurio.



3.4. CUADRO DE INSUMOS PRINCIPALES

Tomando como base la celda de cátodo de mercurio para una producción de una tonelada de Hidróxido de Sodio al 100% y 0.800 tons de cloro gas.

<u>Insumo</u>	<u>Unidad</u>	<u>Consumo específico</u>
Sal	Ton.	1.6
Mercurio	Kg.	0,2
Cloruro de Bario	Kg.	2
Carbonato de Sodio	Kg.	6,5
Soda caústica	Kg.	17,8
Acido Clorhídrico	Ton.	0.045
Energía Eléctrica	Kwh	3480
Agua	m ³	18
Vapor	Ton.	0,3
Agua tratada	m ³	6.9
Aire comprimido	m ³	14.

Consumo para una tonelada de cloro seco y comprimido

	<u>Unidad</u>	<u>Unidad/tons.</u>
Acido Sulfúrico	Kg.	29
Agua	m ³	93
Energía Eléctrica	Kwh	103

Consumo para una tonelada de cloro licuado

	<u>Unidad</u>	<u>Unidad/tons.</u>
Freón 12	Kg.	0,28
Agua	m ³	48
Energía Eléctrica	kwh	106
Vapor	tons.	0,136
Aire comprimido	m ³	21.9

3.5. TAMAÑOS DE PLANTAS EN VIGENCIA A NIVEL NACIONAL E
INTERNACIONAL

a) Nivel Nacional

El detalle de las Plantas existentes es el siguiente:

Ver Tema: Cloro Planillas N° 1 y N° 2.

b) Nivel Internacional

El último estudio de capacidad mínima económica de planta estiman una producción de 200 tons. por día de soda caústica que corresponde a 66.000 ton/año (330 días)

3.7. DETERMINACIÓN DE UN TAMAÑO PROBABLE DE PLANTA

La base de determinación de una Planta de Cloro Soda la tomamos de las siguientes consideraciones:

- a. Lastas de crecimiento del mercado han sido históricamente las tasas de crecimiento vegetativo.
- b. Las cifras de consumo de cloro han sido estimadas según los proyectos que tienen el país,; ver planilla de Cloro Oferta-Demanda.
Si en el área que abarca la planta se encara un programa de potabilización de agua, será un substancial mercado para el cloro.
- c. Las cifras consumo de hipoclorito de sodio se deben incrementar, debido al crecimiento económico esperado para el país y también que llegará a la zona un producto con una mayor concentración de cloro activo.
- d. No se consideró la posibilidad de exportación.

La capacidad de la planta estimada será de 10.000 ton/año de soda caústica expresada en 100% de concentración.

La producción de cloro será de 8.000 ton/año.

3.8. VOLUMEN APROXIMADO DE LOS INSUMOS

1. Producciones toneladas

	<u>Diaria</u>	<u>Anual</u>
Soda Caústica 100%	30.3	10.000
Cloro gaseoso	24.2	8.000

2. Consumo de materias primas y servicios

Ver cuadro hoja siguiente

2. Consumos de materias primas y servicios

INSUMO	UNIDAD	CONSUMO ESPECIFICO UNIDAD/TONS.	CONSUMO	
			DIARIO	ANUAL (330días)
Sal	ton.	1.6	48.48	16.000
Mercurio	Kg.	0,2	6.06	2.000
Cloruro de Bario	Kg.	2	606	200.000
Carbonato de Sodio	Kg.	6.5	197	65.000
Soda Caústica	Kg.	17.8	534	176.220
Acido Clorhídrico	ton.	0.045	1,35	446
Energía Eléctrica	Kwh	3.480	104.400	34.452.000
Agua	m ³	18	540	178.200
Vapor	ton.	0.3	9.09	3.000
Agua Tratada	m ³	6.9	207.	68.310
Aire comprimido	m ³	14	420	138.600

Consumo específico para la producción de cloro seco y comprimido

<u>INSUMO</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>UNIDAD/TONS.</u>	<u>CONSUMO DIARIO</u>	<u>CONSUMO ANUAL</u>
Acido sulfúrico	Kg.	29	701,8	231.594
Agua	m ³	93	2.250	742.700
Energía Eléctrica	kwh	103	2.513	829.356

Consumo para una tonelada de cloro licuado

<u>INSUMO</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>UNIDAD/TONS.</u>	<u>CONSUMO DIARIO</u>	<u>CONSUMO ANUAL</u>
Freón	Kg.	0,28	6,7	2.237
Agua	m ³	48	1162	383.328
Energía Eléctrica	Kwh	106	2565	846.516
Vapor	tons.	0,136	3,26	1.078
Aire comprimido	m ³	21,9	530	174.893

3.6. MONTO APROXIMADO DE INVERSIONES PARA DISTINTOS TAMAÑOS DE PLANTAS DE CLORO SODA

-Se toma como base la producción de soda cáustica 100%-
Los valores estimados de inversión en E.E.U.U. para el
año 1969 eran los siguientes:

<u>Producción Diaria</u>	<u>Producción Anual</u>	<u>Monto Inversión</u>
100 tons.	33.000 tons.	u\$s 12.000.000
300 tons.	99.000 tons.	u\$s 25.000.000

Para nuestro país, las plantas se pueden estimar, para
battery limits:

<u>Producción Diaria</u>	<u>Producción Anual</u>	<u>Monto Inversión *</u>
39 tons.	13.000 tons.	u\$s 25.000.000
21,2 tons.	7.000	u\$s 13.000.000
30,3 tons.	10.000	u\$s 19.000.000

* Valores al 30.04.81

3. TECNOLOGIA - INVERSIONES - TAMAÑO DE PLANTAS

3.1. PROCESOS TECNOLOGICOS EN VIGENCIA - HIPOCLORITO DE SODIO

Líquido blanqueador, el llamado Licor de Soda; blanqueador en la industria del papel y los textiles, es el más común utilizado de los blanqueadores clorados. Alrededor de 150 toneladas días es usado en E.E.U.U. como uso doméstico y en lavandinas.

Otros usos incluyen procesos químicos (p.e. cloración) blanqueo de textiles, tratamiento de agua y como desinfectante general.

El líquido blanqueador comercial continene 12 a 15 por ciento de cloro activo.

El hipoclorito de uso domiciliario, contiene 3 a 3,5 por ciento de cloro activo.

La estabilidad de la solución de hipoclorito es fuertemente afectada por el calor, la luz, el pH y la presencia de metales pesados.

El envase a utilizar tiene que ser botellas coloreadas, que incrementa la estabilidad del hipoclorito.

La temperatura de almacenaje no debe ser superior a °C, la velocidad de descomposición incrementa con la elevación de la temperatura.

Para la producción industrial del hipoclorito de sodio, las últimas técnicas aconsejan utilizar soda caústica de alta concentración almacenadas en tanques.

El Cloro pasa através de la solución de soda caústica diluída en proceso batch o de operación continua.

La cloración de la solución de soda caústica diluída es acompañada por una elevación de la temperatura, la que debe ser cuidadosamente controlada.

Cuando se utiliza cloro líquido, la elevación de la temperatura es de aproximadamente $0,17^{\circ}\text{C}$ por cada gramo de cloro líquido utilizado; con el uso de cloro gaseoso la elevación de la temperatura es de $^{\circ}\text{C}$ por cada gramo por litro de cloro activo utilizado.

A temperatura arriba de los 38°C , comienza la formación de clorato de sodio, con apreciable pérdida de hipoclorito de sodio. Por lo tanto, deben tomarse seguridades para que la temperatura no se eleve.

El enfriamiento de la solución de soda caústica, es uno de los métodos frecuentemente usado.

El siguiente esquema, se presenta una instalación típica:

El agua agreaga es previamente medida y también la soda caústica, dando la requerida concentración de soda caústica.

El cloro circula o burbujea en el interior de la soda caústica con un tubo perforado, cerca del fondo del reactor, el producto terminado, después de tres a cinco horas en que termina la clorinación.

La agitación se realiza con un burbujeo de aire en la solución.

La selección del material de los equipos es muy importante por la corrosión activa del hipoclorito.

El reactor en el proceso batch o la columna en el proceso continuo debe ser construída en hierro ebonitado o en PVC. Cuando las condiciones lo requieran de enfriar la solución, se utiliza un intercambiador de calor de titanio.

El hipoclorito terminado es almacenado en tanques de hierro ebonitado, y un exceso de soda caústica mantiene la estabilidad de la solución.

3.2. ACCESIBILIDAD Y RESTRICCIONES - HIPOCLORITO DE SODIO

No existen ningún tipo de restricciones para lograr una licencia de tecnología para producir Hipoclorito de Sodio, según se utilice el proceso:

1. Proceso batch
2. Proceso continuo
3. Nuevo proceso con celdas a membrana, solamente para este proceso se considerará el valor de la inversión.

3.3. CARACTERISTICAS SOBRESALIENTES EN CADA PROCESO

El uso del proceso batch o el continuo depende del uso del hipoclorito de sodio.

Para un uso industrial, donde la aplicación es continua durante el año, por ejemplo Planta de Pulpa de Papel se necesita una Planta de Proceso continuo.

También la podemos considerar para un mercado que justifique su instalación.

El hipoclorito no admite un almacenamiento en tanques u otro envase, por un período prolongado por que se descompone, perdiendo su contenido activo.

La estabilidad de la solución de hipoclorito es fuertemente afectada por la luz, el calor, el ph y la presencia de cationes metálicos.

3.4. CUADRO DE INSUMOS PRINCIPALES

Los insumos principales para una tonelada de hipoclorito de sodio son los siguientes:

<u>Insumo</u>	<u>Unidad</u>	<u>Consumo específico</u>
Cloro seco y comprido	ton	0.09
Soda cáustica	-	0,1192
Agua	m ³	12
Energía Eléctrica	kwh	8,5
Agua suavizada	m ³	0,915

3.5. TAMAÑOS DE PLANTAS EN VIGENCIA A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

Para ésta línea de producción, no se puede considerar que exista un nivel de planta máximo o mínimo por que depende de las necesidades de cada área, donde es instalada la planta.

Son muchas las firmas, que tienen instaladas plantas cautivas para la producción de hipoclorito de sodio, comprando el cloro licuado y la soda cáustica.

No hay una forma determinada para fijar el tamaño de la planta, últimamente con los problemas de contaminación ambiental las plantas productoras de Cloro-Soda, en la etapa de licuación de cloro, limpian los gases que no se han licuado, haciendo pasar la solución de soda cáustica diluída, produciendo hipoclorito de sodio.

Se puede estimar que en valores menores del 10% del cloro producido se envía a la producción de hipoclorito de sodio.

3.6. MONTO APROXIMADO DE INVERSIONES PARA DISTINTOS TAMAÑOS
DE PLANTAS

Solamente consideraremos la Planta a instalar en nuestro proyecto que tendrá una capacidad de 8.000 tons/año de hipoclorito de sodio (solución acuosa al 10%).

El monto estimado es de u\$s 300.000.-

3.7. DETERMINACION DE UN TAMAÑO PROBABLE DE PLANTA

Tomaremos como base, para el tamaño de la Planta el 10% de la producción de cloro, la que tendrá una capacidad de 8.000 tons./año de hipoclorito de sodio (solución acuosa al 10%).

3.8. VOLUMEN APROXIMADO DE CONSUMOS

Para una producción de 8.000 tons./año de hipoclorito de sodio (solución acuosa al 10%), se necesitará:

<u>Insumo</u>	<u>Unidad</u>	<u>Cantidad/año</u>
Cloro seco y comprado	tons.	720
Soda cáustica	tons.	954
Agua	m ³	96.800
Energía Eléctrica	Kwh	68.000
Agua Suavizada	m ³	7.320

3. TECNOLOGIA - INVERSIONES - TAMAÑO DE PLANTAS

3.1. PROCESO TECNOLÓGICO EN VIGENCIA. CARBONATO DE SODIO

El Carbonato de Sodio, $\text{CO}_3 \text{Na}_2$, PM: 106, es blanco, cristalino y un polvo higroscópico.

En los países de habla inglesa se denomina Sal ash.

El carbonato de sodio es moderadamente soluble en agua fría y su solubilidad es del 30% en peso, en agua caliente y la solución es fuertemente alcalina, por la hidrólisis. Su punto de fusión es de 851°C , capacidad calorífica a 25°C es $26,41 \text{ Cal}/^\circ\text{C}$, mole, calor de fusión 8 Kg. cal/mol ; densidad a 20°C , $2,533 \text{ gr/cm}^3$. La densidad aparente es una medida para la venta en el mercado. Se pueden enumerar las siguientes:

Extra liviano	20 a 24 lb/ft^3
Liviano	32 a 35 "
Medio	50 a 60 "
Denso	62 a 67

En el comercio de la química, el carbonato de sodio es sinónimo del término alcalinidad.

Características:

El carbonato de sodio a producirse es un álcali moderadamente fuerte en pH de una solución en agua al 0,2 por ciento es de 11,1 en tanto que los valores para las soluciones de soda caústica y bicarbonato de sodio al 0,2 por ciento son 12,7 por ciento y 8,4 por ciento respectivamente.

No tiene efecto corrosivo sobre acero templado ni sobre la fundición de hierro, aunque la solución de carbonato de sodio ataca al aluminio y al acero galvanalizado, lentamente en frío o rápidamente en caliente.

La comercialización, como ya se ha expresado, se realiza bajo la forma de carbonato de sodio denso y liviviano. El primero es un polvo de un coeficiente de deslizamiento menor que el denso y se usa especialmente en solución. La densidad del denso es no inferior a 1,0, no tiene una densidad de 0,55.

La siguiente tabla indica la composición promedio para los distintos tipos de carbonato de sodio.

- . Alkali total: superior al 99 por ciento.
- . Cloruro de sodio inferior a 0,45 por ciento.
- . Oxido férrico inferior a 0,005 por ciento.
- . Sustancias insolubles en agua, inferior a 0,005 por ciento.
- . Pérdida por ignición inferior a 1,0 por ciento.
- . Peso específico superior a 1,0 por ciento.

El peso molecular del bicarbonato de sodio es de 84,01 y el peso específico es de 2,20

Métodos de obtención industrial

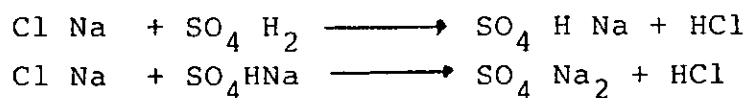
El mercado mundial se ha abastecido del carbonato de sodio por tres orígenes:

1. Origen mineral, no se tratará en este trabajo.
2. Proceso Leblanc
3. Proceso Soda Solvay

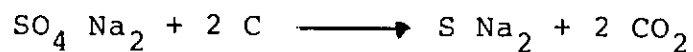
3.1.2. Proceso Leblanc

El primer proceso para fabricar carbonato de sodio de la sal, fue el de Leblanc, el cual fué extremadamente próspero durante los años 1875 a 1885. Este proceso ha sido desplazado en el mundo después de la primera guerra mundial.

La primera planta industrial fué construída en Inglaterra en el año 1823 y operó hasta el año 1885. En este proceso, la sal es tratada con ácido sulfúrico:



El sulfato de sodio es calentado con carbonato de calcio y carbón obteniéndose carbonato de sodio, sulfuro de sodio y varios sub-productos.



El carbonato de sodio se extrae con agua fría y caustificada con sal, varios métodos han sido desarrollados para recuperar el sulfuro del sulfuro de calcio.

El ácido clorhídrico se utiliza para blanquear el polvo. En la mayoría de las plantas Leblanc, se ha incluido una planta de ácido sulfúrico, utilizando piritas de hierro. Este proceso ha sido abandonado por la baja calidad del producto, por ser un proceso batch, problemas laborales y las aguas residuales que originan.

3.1.2. Proceso Soda Solvay

Este proceso denominado soda-amoníaco comenzó en el año 1800. Las primeras plantas no fueron redituables.

Durante el año 1861 Ernest Solvay redescubre independientemente este proceso y en el año 1865 comienzan a instalarse en el mundo, en el año 1865 con una capacidad de 1,5 tons, por día y en 1872 llega a 10 tons/por día.

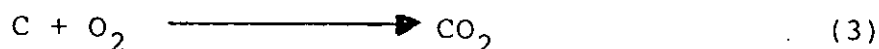
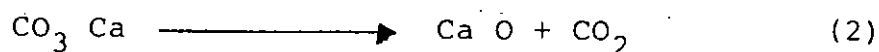
Hoy en el mundo aproximadamente existen 70 plantas.

Las materias primas son la sal común y la caliza. El amoníaco, entra en el proceso pero es recuperado y solo hay una pequeña pérdida que se debe reponer.

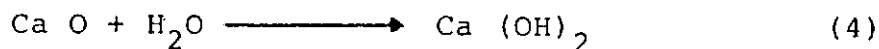
La ecuación general que entra en el proceso se puede escribir:



Esta ecuación no se logra en forma directa, sino que lleva una serie de pasos. El proceso es cíclico, tomamos como primer paso la descomposición de la caliza en un horno, con carbón o gas natural.



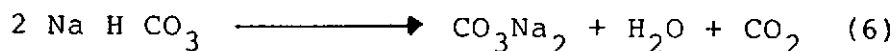
La cal que descarga del horno es apagada con agua, el que nos produce la hechada de cal



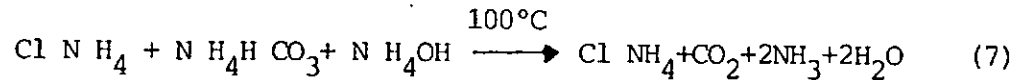
La sal común, está en forma de salmuera saturada, es tratada con amoníaco y anhídrido carbónico para precipitar el bicarbonato de sodio, que es insoluble en presencia del cloruro de amonio. La reacción que se presenta es la siguiente:



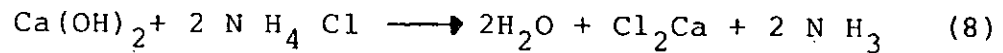
El bicarbonato de sodio se descompone, calentando a 200 °C en



El amoníaco se recupera por calentamiento del cloruro de amonio en presencia de resto de bicarbonato de amonio



La solución caliente que contiene cloruro de amonio es tratada con hechada de cal de la reacción (4)



Esta es conocida como reacción preliminar.

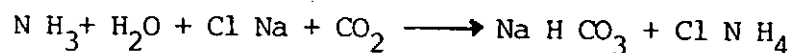
Descripción del proceso industrial

El proceso soda amoníaco que se utilizará en la manufactura de soda ash o carbonato de sodio es continuo y las materias primas son la sal, el amoníaco, la caliza, el combustible y el agua.

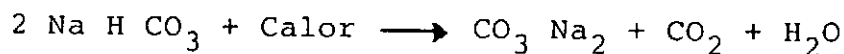
Una solución saturada, que es tratada antes de usarse para quitarle las impurezas de calcio y magnesio, tiene como base la sal. La piedra caliza se calcina con gas natural en un horno especial para producir anhídrido carbónico (CO_2) y Cal (CaO). Una vez calcinada, la caliza es apagada con agua hasta formar lo que se llama "hechada de cal".

En una torre de absorción se satura la salmuera purificada con amoníaco y luego se la carbonata con anhídrido carbónico obtenido en la calcinación de la caliza,

- realizado en torres de carbonatación, dando así bicarbonato de amonio el que en presencia de la sal se convierte en bicarbonato de sodio y cloruro de amonio. La reacción total es la siguiente:



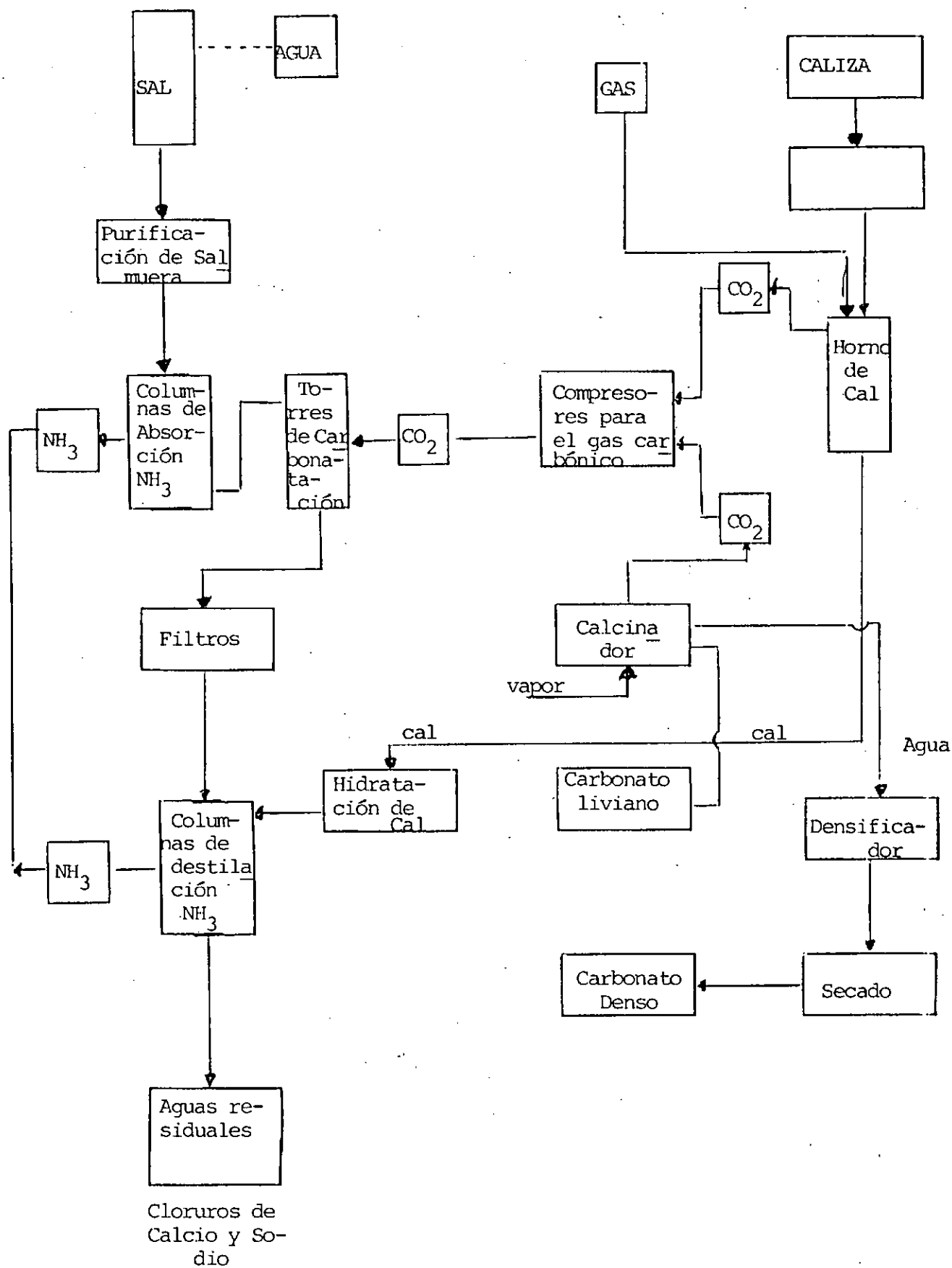
La soda ash liviana, se forma cuando el bicarbonato de sodio es separado del líquido resultante por medio de filtros aspiradores. Esa torta de filtro de bicarbonato de sodio se calcina en hornos rotativos hasta formar la soda ash liviana, la que puede expresarse así:



En este proceso el anhídrido carbónico se recupera parcialmente y luego es utilizable en las torres de carbonatación.

El filtrado de la salmuera carbonatada va hacia un precipitador que donde se agrega, en un medio caliente, la hechada de cal que proviene de la operación de calentamiento de caliza. Se forma gas de amoníaco y la cal. Esto permite observar que el amoníaco actúa como una ayuda para obtener reacciones apropiadas y queda disponible nuevamente para repetir la operación. Asimismo, el cloruro de calcio, que se forma en este paso puede recuperarse por un proceso adicional para luego ser vendido con una variedad de usos.

El carbonato de sodio granulado se consigue al agregar agua al carbonato de sodio liviano para formar un cristal monohidratado y se lo vuelve a secar en un horno rotativo. Es así que se forman partículas más grandes y más densas resultando un producto de mayor adecuación para muchos usos, tales como la manufactura de vidrio



3.2. ACCESIBILIDAD Y RESTRICCIONES - CARBONATO DE SODIO

Los procesos utilizados en el mundo son los siguientes:

1. Proceso Solvay, es actualmente el único utilizado para una producción económica, con las modificaciones que se les han ido introduciendo en cada país.

La Empresa Alcaís de la Patagonia S.A.I.C. que se encuentra en construcción en San Antonio Oeste, Pcia. de Río Negro, utilizará la tecnología de la empresa Pittsburgh Plate Glass Inc. de E.E.U.U.

No existen restricciones para conseguir y utilizar este proceso en el mundo, y no se presentan inconvenientes para lograr una licencia de producción.

2. Carbonatación de la soda cáustica, es una posibilidad de producción existiendo un sobrante de producción de soda cáustica, sobre esta base se presentó un proyecto al Gobierno en el año 1971 denominado INQUIBA para el complejo Bahía Blanca, de la firma Indupa con una capacidad de producción de:

carbonato de sodio	240.000 ton/año
cloro	160.000 tons/año

3.3. CARACTERISTICAS SOBRESALIENTES DE CADA PROCESO

Dado el costo de venta en el mundo del Carbonato de Sodio comparándolo con el de la Soda Caústica, por el momento no resulta económico elaborar Carbonato de Sodio partiendo de la Soda Caústica.

Por lo tanto, el único proceso disponible es el de la Soda Solvay.

Tomando este proceso como base, se realiza este estudio.

3.4. CUADRO DE INSUMOS PRINCIPALES

Para una tonelada de Carbonato de Sodio

. Sal (Cloruro de Sodio	1.650 Kg.
. Caliza (Carbonato de Calcio)	1.650 Kg.
. Gas Natural	800 m ³
. Agua de Proceso	20 m ³
. Agua de enfriamiento	240 m ³
. Energía Eléctrica	300 kwh

3.5. TAMAÑOS DE PLANTAS A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL

a. A nivel nacional

Se encuentra en su etapa de construcción, la Planta Alcalis de la Patagonia S.A.I.C., aprobada según Decreto N° 3179/76.

La capacidad de la planta será de 200 mil toneladas año de dos tipos de carbonato:

132.000 ton/año para formar soda densa

68.000 ton/año para soda liviana

Además producirá:

10.000 ton/año de bicarbonato de sodio

7.000 ton/año e cuicarbonato de sodio.

b. Nivel internacional

Por ser un producto de bajo precio de venta, es un factor principal tener planta de alta capacidad de producción, usando técnicas eficientes y una mano de obra eficiente, logrando siempre trabajar a su máxima capacidad de producción.

La instalación de plantas en el mundo es donde se consiguen una combinación favorable de los siguientes factores que componen las materias primas y los servicios.

Aproximadamente se necesitan 8 ton. de sal, caliza y combustibles para una tonelada de soda ash.

Los requerimientos para una Planta son: combustibles, mano de obra, caliza, sal agua amoníaco y una serie de servicios.

Para una planta eficiente se necesita disponer de un mercado consumidor asegurado, en E.E.U.U., las plantas producen menos de 500 ton/días no pudiendo competir en el mercado.

Los tamaños de las plantas son desde 550 ton/día a 2.600 ton. por día.

Su principal mercado consumidor es el vidrio y segundo el mercado de los jabones.

3.6. MONTO APROXIMADO DE INVERSIONES PARA DISTINTOS TAMA-
ÑOS DE PLANTAS

En E.E.U.U. para el año 1969 se estimaba un índice de u\$s 35.000.- por cada 1.000 ton por día para las plantas, es decir que una planta con una capacidad de producción de 330.000 Ton/año resultaba una inversión en battery limits de 35 millones de dólares.

El proyecto Alcalis de la Patagonia tiene un presupuesto de inversión de 91.500.000 dólares, teniendo en cuenta las grandes infraestructras que se deben realizar, como ser: canal de agua, red ferroviaria, gasoductos, caminos, etc.

En este trabajo, estimamos una Planta de 200.000 ton/año, con una inversión completa, incluyendo Battery Limits y Servicios complementarios de u\$s 100.000.000

3.7. DETERMINACION DE UN TAMAÑO DE PLANTA PROBABLE

De acuerdo a las recomendaciones y experiencia a nivel internacional el menor volumen rentable de producción de la planta debe ser de 200.000 tons/año. Valor éste que adoptamos para este trabajo, que para 330 días /año será una producción de 606 tons/días.

3.8. VOLUMEN APROXIMADO DE SUS INSUMOS

Para una producción de 606 tons/días se necesitan los siguientes insumos:

<u>INSUMO</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CONSUMO</u> <u>DIARIO</u>	<u>CONSUMO</u> <u>AÑO-330d.</u>
Sal	tons.	1.000	330.000
Caliza	tons.	1.000	330.000
Gas natural	m ³	484.800	159.984.000
Agua de Proceso	m ³	12.120	3.999.600
Agua de enfriamiento	m ³	145.440	47.995.200
Energía Eléctrica	kwh	181.800	59.994.000

caústico y filtración; y cuando se necesita hidrógeno, enfriamiento y compresión.

Similares son para las celdas de mercurio, con un tratamiento diferente de la salmuera y no se necesita concentrar el caústico y tampoco recuperar la sal.

PURIFICACION DE LA SAL

La sal comunmente, está contaminada con calcio, magnesio y otros indeseables elementos, y debe ser purificada antes de entrar a las celdas.

La instalación de celdas de mercurio requieren re-saturación del anolito con sal sólida.

Otras plantas disuelven sal sólida en agua o obtienen salmuera de minas de sal bajo tierra.

En celdas a difragma, la salmuera obtenida es tratada con carbonato de sodio y con hidróxido de sodio, para precipitar el calcio y el magnesio respectivamente. En la mayoría de las instalaciones el precipitado es removido como

A veces se usa el Cloruro de Bario o el Carbonato de Bario para reducir la concentración de sulfato en la salmuera. A veces no se utiliza este producto, y el sulfato se retira por purga de la salmuera del sulfato de sodio decahidratado.

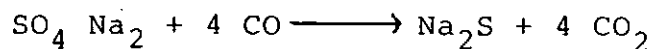
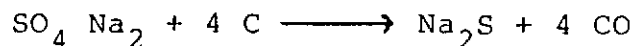
3. TECNOLOGIA - INVERSIONES - TAMAÑO DE PLANTAS

3.1. PROCESO TECNOLÓGICO EN VIGENCIA - SULFURO DE SODIO

El sulfuro de sodio tiene un uso industrial igual al correspondiente al hidrosulfito de sodio NaHS y varios polisulfuros $\text{Na}_2 \text{S}_2$.

El más antiguo método industrial de producción del sulfuro de sodio es por reducción del sulfato de sodio con carbón en polvo y otra materia orgánica a 900-1000°C.

La reacción siguiente es:



Es el primer paso del proceso Lebalnc para producir carbonato de sodio.

Para nuestro trabajo es importante, primero la obtención de sulfato de sodio puro, el método industrial en E.E.U.U. es el siguiente:

Dependiendo de la pureza de la salmuera sulfatada, su composición y el lugar de ubicación.

La salmuera sulfatada contiene 7 a 11 por ciento de sulfato de sodio, más cloruro de sodio y restos. La base del proceso está en la baja solubilidad del sulfato

to en la salmuera.

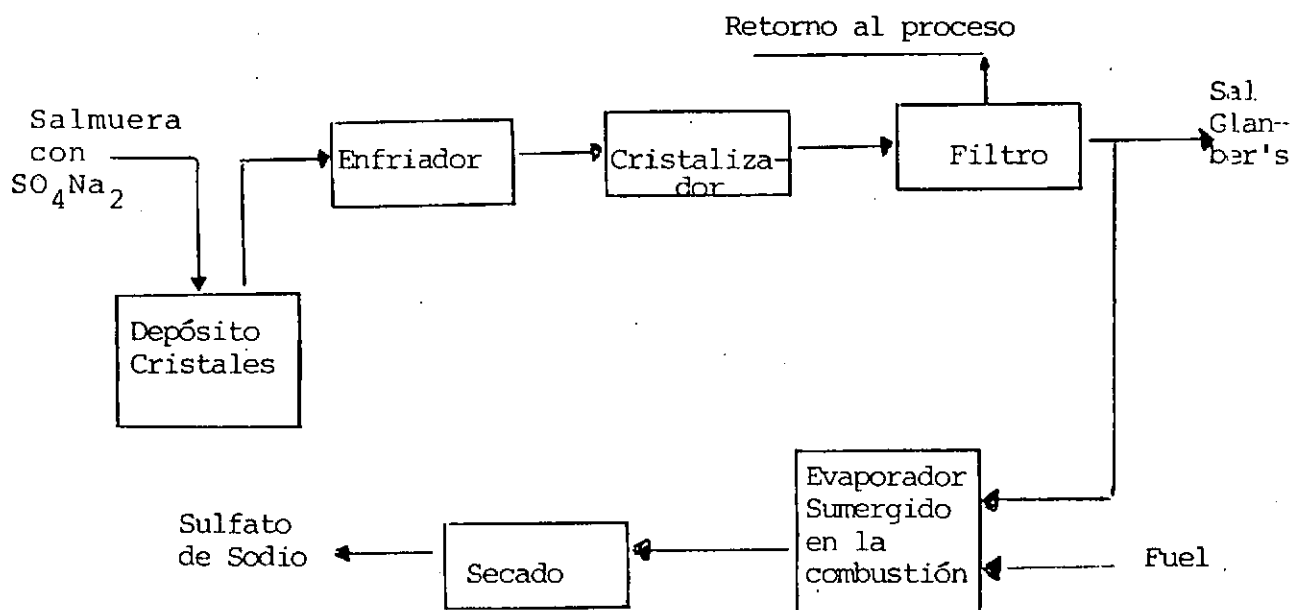
Se enriquece la solución, haciendo pasar por un depósito de cristales y se envía a un enfriador bajando la temperatura a -6°C con enfriamiento de amoníaco en serpentinas.

La sal de Glanber's que precipita es enviada a unos filtros donde se separa del licor madre.

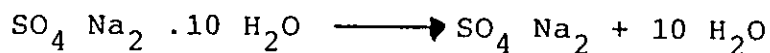
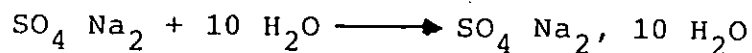
El licor madre retorna al proceso.

Los cristales de sal de Glauber's a un evaporador, que trabaja con gases de combustión, aquí funde y el agua es separada por evaporación.

El producto húmedo es secado en un horno rotativo



Reacciones:



Este sulfato de sodio se trata en un horno con carbón separándose, posteriormente con agua, obteniéndose una solución con una concentración de 30% que se comercializa en el mercado local.

El paso siguiente sería concentrar esta solución en un concentrador construido en acero inoxidable hasta el 70% .

Arriba del 70%, cristaliza de la solución en ebullición.

Hay dos formas de comercializarlo en el mercado, una flakes en 60 a 62% de SNa_2 con 39-37% de agua; hay productos de color amarillo, rosado o rojo dependiendo del grado de pureza.

Una alternativa de producción industrial del sulfuro de sodio es reducir el sulfato de sodio con hidrógeno.

Esta reacción se realiza a 600°C en un horno rotativo recubierto interiormente con ladrillo, el catalizador es óxido de hierro finamente dividido.

Es un proceso desarrollado por Leverkusen, Alemania. La ventaja de éste proceso con el anterior es:

- a) Proceso continuo.
- b) Baja temperatura.

- c) Condiciones menos corrosivas.
- d) El producto obtenido tiene una concentración del 95%.

El color amarillo se debe a polisulfuros y el color rojo a la presencia del hierro.

El cristal sólido de 30-34% S Na_2 con 69-65% de agua se vende solamente para la industria de la pintura.

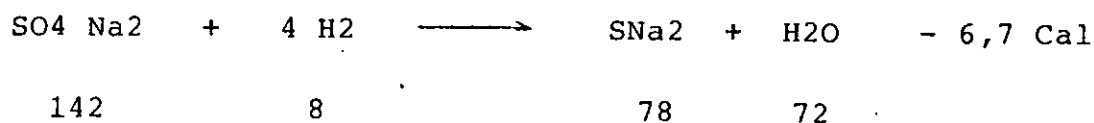
El Sulfato de Sodio concentrato 60-62% de SNa_2 se obtiene por evaporación del licor a 160°C o por r del SNaH en solución concentrada con NaHO de sólido.

c - Condiciones menos corrosivas

d - El producto obtiene una concentración del 95%

Es el método de producir sulfuro de sodio en una sola etapa, se utiliza un medio gaseoso de reducción.

La reducción de esta clase transcurre de acuerdo con la siguiente ecuación:



Analizando el comportamiento térmico del sistema sulfato de sodio/sulfuro de sodio, con ajuste a la mezcla del sulfato técnico y sulfuro de sodio anhidro formado del mismo, se ven los valores siguientes: el punto de fusión del sulfato técnico es alrededor de 840°C y el punto de fusión del sulfuro de sodio formado es al 95% de cerca de 1200°C.

Introduciendo el 10% de SNa₂ se baja el punto del sulfato a 675°C, el punto de fusión mínimo que posee una mezcla del 80% de sulfato y 20% de sulfuro de sodio es igual a 620°C. Al seguir añadiendo sulfuro de sodio sube nuevamente el punto de fusión: primero lentamente hasta 780°C que corresponde a 70% de sulfuro de sodio y luego más rápidamente hasta aprox. 1200°C en el caso del sulfuro de sodio anhidro.

Para llevar a cabo industrialmente la reducción del sulfuro de sodio con hidrógeno, el proceso se regula de tal manera que se evita la fusión de sulfato de sodio en el transcurso entero de la operación. En el caso contrario la masa fundida atacaría la mampostería y el producto acabado contendría tanta cantidad de sustancia insoluble que será posible arreglarse sin recurrir a la extracción.

La reducción empieza a 600°C y la temperatura aumenta a medida que crece el punto de fusión con el progreso del proceso. A 850°C se puede finalizar la reducción pues su transcurso a esta temperatura es de alta velocidad.

La incorporación adicional de catalizadores es innecesaria pues las cantidades pequeñas de hierro que siempre están contenidas en el sulfato técnico son suficientes para realizar la reacción. En todos los casos el sulfato deberá introducirse en forma premoldeada: como biguetas, trozos cónicos o granulos porosos.

La realización técnica del proceso puede ser periódica o continua.

En el primer caso se trabaja con cámaras parecidas a las del proceso de Hargreaves, estas cámaras son llenadas con sulfato de sodio preformado en moldes donde se introduce el hidrógeno precalentado al principio a 600°C , elevándose esta temperatura a 850°C durante la reducción.

3.2 - Accesibilidad y restricciones - Producto Sulfuro de Sodio

No existen inconvenientes en lograr la licencia tecnológica de los dos procesos.

Son procesos de relativo desarrollo en el mundo, por ser de utilidad limitada y en mercados específicos.

Tal vez esta es la causa de su poco adelanto en el avance que normalmente se produce en cada producto.

3.3 - Características sobresalientes de cada proceso

Por el método de reducción con hidrógeno se obtiene un producto de alta calidad comercial en una sola etapa, cuyo contenido en SNa_2 asciende hasta el 95%.

Con la reducción con carbón se obtiene una masa calcinada que contiene 70% de SNa_2 y 7% de sales ajenas.

Estas últimas contienen soda, sulfito de sodio, tiosulfato de sodio y sulfato de sodio sin reducir. De esta masa se extrae una legía con un 30%. De aquí, por cristalización, se obtienen cristales al 30-32% después de concentrar la legía por evaporación.

3.4 - Cuadro de insumos especiales

Para 1 ton. de sulfuro de sodio (95%) los insumos principales son:

<u>Insumo</u>	<u>Toneladas</u>
Sulfato de sodio (Sol 10%)	18,2
Hidrógeno	0,12
Carbón	0,346
Vapor de agua	4
Energía eléctrica Kwh	200

3.5 - Tamaño de planta en vigencia a nivel nacional e internacional

Por las características y usos del sulfuro de sodio, no existe un parámetro para determinar el tamaño de la planta.

En este trabajo se fijará un tamaño de la planta en función de la disponibilidad de hidrógeno.

3.6 - Monto aproximado de inversiones para distintos tamaños de planta

El monto de la inversión de la planta en el Battery-Limits, sólo se estima para la capacidad de la planta a instalar.

La capacidad de la planta será de 1.800 ton/año de sulfuro de sodio al 95% y la inversión necesaria, partiendo de solución o cristales impuros de sulfato de sodio, será de u\$s 3.000.000.-, determinación efectuada en base a una estimación de los valores de las instalaciones, por no existir antecedentes.

3.7 - Determinación de un tamaño probable de planta

El tamaño de la planta según lo indicado anteriormente será de 1.800 ton/año de sulfuro de sodio al 95%.

3.8 - Volumen aproximado de sus insumos

El cuadro de los insumos aproximados es el siguiente:

Capacidad de la planta: 1.800 ton/año o 5,45 ton/día
Período de trabajo : 330 días/año

<u>Insumos</u>	<u>Ton/día</u>	<u>Ton/año</u>
Sulfato de sodio	99,19	32.732
Hidrógeno	0,654	216
Carbón	1,88	622
Vapor de agua	21,8	7.194
Energía eléctrica Kwh	1.090,-	379.700

CONTROL DE PRODUCCION

El control de producción químico y físico en el caso del proceso de hidrógeno se reduce ante todo a la regulación de temperatura y caudal de hidrógeno que circula.

La temperatura se mide en la entrada y la salida del horno.

El caudal horario se mide en la entrada de cowper o de la retorta eléctrica, siempre antes del calentamiento. El suministro de hidrógeno fresco se mide con ayuda de un medidor instalado en la cañería de entrada. Esta última medición proporciona verdadero consumo de hidrógeno y deberá concordarse con los datos obtenidos a base de rendimiento de sulfuro de sodio. El sulfuro de sodio producido se pesa y se analiza dentro de intervalos de tiempo establecidos.

Dentro del sistema rige sobrepresión que para cada instalación es característica y constante. La reducción de esta presión para los puntos de densidad reducida significa peligro de obturaciones. Para poder controlar bien el transcurso de la reacción y las reacciones secundarias, el hidrógeno de escape cada tanto se somete al análisis de gas. Se determinan: la humedad, polvo volátil, sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre y nitrógeno.

COSTOS DE PRODUCCION

Los gastos referentes a la producción de sulfuro de sodio se determinan mayormente por el costo de generación de hidrógeno.

Otros gastos, especialmente los de reparaciones y la mano de obra, serán inferiores en comparación con los hornos de operación manual. En los lugares donde hidrógeno, gas combustible o energía eléctrica, son de precios favorables, el procedimiento a hidrógeno será más barato que el ordinario proceso a carbón. Además del rendimiento casi teórico, se obtiene producto muy puro, uniforme y de cómodo manejo. Al producir sulfuro de sodio al 95% también se consigue una economía significativa con referencia a los gastos de empaque y transporte.

Otra ventaja reside en posibilidad de suministrar producto anhidro directamente utilizable por otras industrias. Mediante obtención de polisulfuro anhidro y su empleo subsiguiente en la fabricación del negro al azufre se consigue una economía considerable.

