

**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**

**Escuela Superior de Ingeniería Química e  
Industrias Extractivas**

**PROCESO PARA LA OBTENCION DE SOSA Y CLORO  
EN CELDAS CON CATODO DE MERCURIO.**



## **Tesis Profesional**

**Que para obtener el Título de  
INGENIERO QUIMICO INDUSTRIAL**

**p r e s e n t a**

**RAMON MARTINEZ PEREZ**

**México, D. F.**

**1 9 8 4**



SECRETARIA  
DE  
EDUCACION PUBLICA

# INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

MEXICO, D F., 5 de marzo de 1984

C. RAMON MARTINEZ PEREZ

Pasante de Ingeniero QUIMICO INDUSTRIAL 1972-1976

Presente

Los suscritos tenemos el agrado de informar a usted que, habiendo procedido a revisar el borrador de la modalidad de titulacion correspondiente, denominado "PROCESO PARA OBTENCION DE SOSA Y CLORO EN CELDAS CON CATODO DE MERCURIO,"

encontramos que el citado trabajo y/o proyecto de tesis, reúne los requisitos para autorizar el Examen Profesional y proceder a su impresion segun el caso, debiendo tomar en consideracion las indicaciones y correcciones que al respecto se le hicieron

Atentamente

JULIADO



C. ING. INOCENCIO CASTILLO TERAN  
(ORIENTADOR)

C. ING. ISIDRO BERRUM NAMBO

C. DR. JOSE GONZALEZ CASTILLO

cmh.

c c p - Expediente

**SOLO LECTURA**



SECRETARÍA  
DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

T.-22

**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS  
DIVISION DE SISTEMAS DE TITULACION

Mexico, D F 7 de febrero de 1984

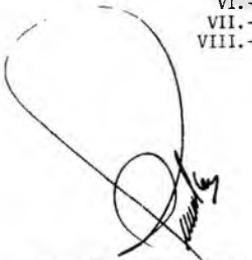
C. RAMON MARTINEZ PEREZ.  
Pasante de Ingeniero QUIMICO INDUSTRIAL. 1972-1976  
Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional en la opcion TESIS TRADICIONAL INDIVIDUAL.

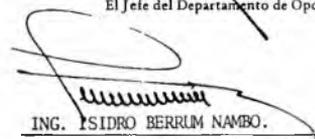
es propuesto por el C ING. INOCENCIO CASTILLO TERAN. quien sera el responsable

de la calidad de trabajo que usted presente, referida al tema " PROCESO PARA OBTENCION DE SOSA Y CLORO EN CELDAS CON CATODO DE MERCURIO." , el cual deberá usted desarrollar de acuerdo con el siguiente orden

- RESUMEN.  
INTRODUCCION.  
I.- GENERALIDADES.  
II.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACION.  
III.- DESCRIPCION DE LAS RESISTENCIAS Y COMO CONTROLARIAS PARA OBTENER MAYOR RENDIMIENTO EN LA DESCOMPOSICION ELECTROLITICA.  
IV.- BALANCE DE MATERIA.  
V.- DISEÑO DEL EQUIPO.  
VI.- DIAGRAMA DE FLUJO.  
VII.- USOS A NIVEL INDUSTRIAL.  
VIII.- CONCLUSIONES.  
BIBLIOGRAFIA.

  
ING. JOSE LLIS MARTINEZ ZENDEJAS.  
El Jefe del Departamento de Opcion

  
ING. INOCENCIO CASTILLO TERAN.  
El Profesor Orientador

  
ING. ISIDRO BERRUM NAMBO.  
El Jefe de la Division de  
Sistemas de Titulacion

  
ING. HILARIO LOPEZ GARACHANA.  
El Director de la Escuela

mrg'

A MIS PADRES:

ELLA FUE LA DAMA MAS  
TIERNA, AMOROSA Y HO-  
NESTA EN MI VIDA.

EL ES UN HOMBRE IN-  
TEGRO, MI RESPETO Y  
AMOR PARA ELLOS.

A MI ESPOSA Y MI HIJO.

ELLA REPRESENTA EL AMOR  
Y LA TERNURA QUE TODO -  
SER HUMANO DESEA.

EL ES LA REALIZACION DE  
NUESTRO AMOR, LA ALEGRIA  
Y ARMONIA DE NUESTRO --  
MATRIMONIO.

A MIS TIOS:

ELLA FUE UNA DAMA COM-  
PRENSIVA Y HONESTA.

EL ES UN HOMBRE INTE-  
GRO. MI RESPETO Y AGRA-  
DECIMIENTO PARA SIEM-  
PRE POR SU AYUDA ILIMI-  
TADA.

A MI TIA NICO:  
QUE SIEMPRE HA SIDO  
COMO UNA MADRE.

A MI HERMANA ELI:  
POR SU AYUDA SIN LIMITE  
DURANTE MI VIDA.

A TODOS MIS HERMANOS.

A MI CUÑADO FILEMON Y  
A SUS HIJOS.

A MIS MAESTROS:  
POR SU GRAN DESEMPEÑO  
EN LAS AULAS, Y ÉTICA  
PROFESIONAL.

A MIS SUEGROS.

## C O N T E N I D O.

	Página.
Resumen .....	4
Introducción .....	6
Capítulo.	
I.- Generalidades .....	8
II.- Descripción del proceso .....	33
III.- Descripción de las resistencias y control de es- tas para obtener un mayor rendimiento en la des- composición electrolítica .....	47
IV.- Diagramas de flujo del proceso .....	55
V.- Balance de materia .....	63
VI.- Diseño de equipo.....	70
VII.- Usos industriales de sosa y cloro .....	97
VII.- Conclusiones y recomendaciones .....	101

PROCESO PARA LA OBTENCION DE SOSA Y CLORO EN CELDAS CON CATODO DE  
MERCURIO.

SOLO LECTURA

R E S U M E N.

SOLO LECTURA

## R E S U M E N.

En la actualidad la sosa y cloro son productos de gran importancia - en la industria, para la elaboración de múltiples sustancias de tipo -- orgánico e inorgánico.

Actualmente uno de los procesos más modernos para la fabricación de estos productos, es por medio de celdas con cátodo de mercurio y ánodos de carbón grafitado.

El capítulo I, describe las características y propiedades de la sosa y cloro; datos históricos de estos productos y su gran desarrollo alcanzado. Introducción de la electrólisis y estructura de las soluciones -- electrolíticas; análisis y determinaciones de la salmuera.

El capítulo II, describe el proceso y tratamiento para el control de la salmuera; funcionamiento de las celdas y las reacciones que se efectúan.

El capítulo III, trata de las resistencias y control de éstas, presentes en las celdas electrolíticas.

El capítulo IV, representa los diagramas de flujo del proceso para la obtención de la sosa y cloro.

El capítulo V, se refiere al balance de materia en el proceso.

El capítulo VI, describe los cálculos necesarios para el diseño del equipo:

En tanques; especificaciones de la capacidad, forma, tipo y materiales de construcción.

En bombas; selección de estas de acuerdo al volumen y naturaleza del fluido.

En celdas electrolíticas; material de construcción y accesorios necesarios.

En cambiadores de calor; diseño térmico.

El capítulo VII, se refiere a usos industriales de la sosa y el cloro.

El capítulo VIII, indica las conclusiones y recomendaciones de este proceso.

INTRODUCCION.

SOLO LECTURA

## I N T R O D U C C I O N.

El propósito de esta tesis, es presentar el criterio a seguir para la obtención de dos productos; sosa y cloro, a partir de una solución de cloruro de sodio que en lo sucesivo se le llamara salmuera. Dichos productos serán obtenidos por electrólisis de la salmuera, usando para ello celdas con cátodo de mercurio y ánodos de carbón grafitado, - con un voltaje de celda de 3.5 volts. y una carga de 75000 Amperes.

Se exponen las consideraciones teóricas de las sustancias para la elaboración de los productos, así como las de los reactivos necesarios para el tratamiento de la salmuera. Se menciona la descripción del -- proceso; pasando posteriormente a la elaboración de los diagramas de flujo. El balance de materia se hizo en función de procesos reales a nivel industrial. El diseño de equipo estara en función de las propiedades de los fluidos a manejar y volúmenes de los mismos.

El proceso para la obtención de estos productos, se realiza con una solución de salmuera a una concentración de 310 g. /l. a la salmuera se le da un tratamiento químico para la eliminación de los iones: Calcio, magnesio, carbonatos, sulfatos e hipocloros, para evitar la formación de hidrógeno en las celdas.

La alimentación de agua a la celda secundaria, debe estar totalmente deprovista de aniones y cationes; por lo que esta agua es tratada en torres de intercambio iónico.

Este tipo de celdas, son construidas y diseñadas por la compañía - Kreps, en Francia. En la actualidad son usadas en diversas partes del mundo, ya que con ellas se obtienen sosa y cloro comerciales, que cumplen con especificaciones estipuladas, para la elaboración de otros - productos de tipo orgánico e inorgánico.

CAPITULO I.  
GENERALIDADES.

SOLO LECTURA

## 1.- GENERALIDADES.

### Características del Cloro.

El cloro esta considerado como un elemento no metálico, cuyo estado natural es gaseoso y diatómico, tiene un número atómico de 17 una y -- peso atómico de 35.453 g ./g .mol. Su nombre proviene del griego chlo-ros que significa verde o amarillo verdoso. Este elemento tiene dos -- isótopos estables , cuyos pesos atómicos son 35.453 y 37, existiendo en una proporción de 75.4 % y 24.6 % respectivamente. Su configuración electrónica es: 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, generalmente trabaja con valencia de -1.

### Propiedades.

Gas amarillo verdoso, aproximadamente 2.5 veces más pesado que el -aire; punto de fusión  $-100.98^{\circ}\text{C}$  ; punto de ebullición  $-34.05^{\circ}\text{C}$ ; --- temperatura crítica  $144^{\circ}\text{C}$ ; densidad 3.214 g ./l . a  $0^{\circ}\text{C}$  y 760 mmHg. límites de explosividad de mezclas de cloro e hidrógeno: máx. 91.9 % de cloro, mín. 14.3 % de cloro; la presión y densidad de vapor lo --- ilustra la figura 1.

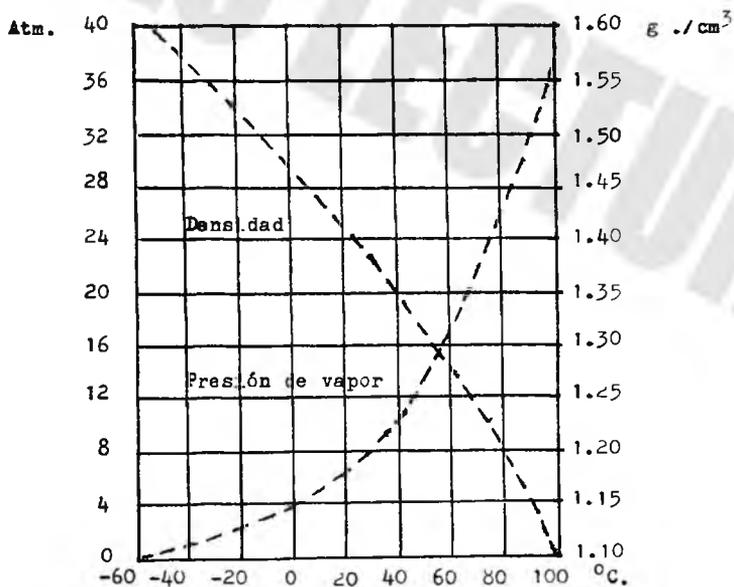


Fig.1 Curvas de presión de vapor y densidad, Cloro liq.

### Características de la Sosa.

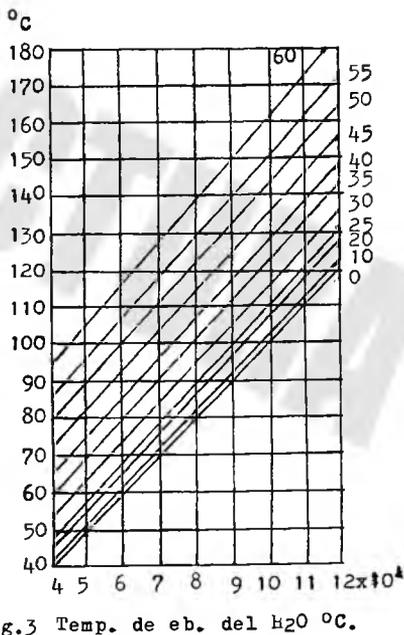
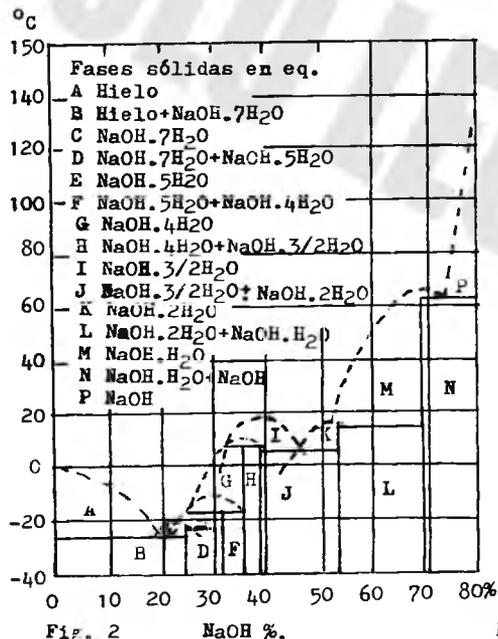
El hidróxido de sodio, comunmente conocido como sosa cáustica, tiene un peso molecular de 40.01 g ./g .mol. es un sólido deliquescente que - al contacto con la piel la quema. Es soluble en el agua y fuertemente - alcalino.

#### Propiedades.

Punto de fusión 314.8 °C; punto de ebullición 1390°C densidad a 20°C 2.130 g ./cm<sup>3</sup>.; la solubilidad de la sosa en el agua, y el punto de ebullición de solución de hidróxido de sodio lo ilustran las siguientes figuras.

La figura 2 . las temperaturas y punto de congelación, en el eje de - las ordenadas y el % de solubilidad de sosa en agua en el eje de las abscisas.

La figura 3, nos indica la temperatura de ebullición de la solución a diferentes concentraciones, en g . de sosa por 100 g . de solución, - la primera en el lado izquierdo y la conc. en el lado superior derecho en el eje de las ordenadas.



### Datos Históricos de la Industria del Cloro.

El cloro es uno de los pocos elementos químicos que tiene gran relevancia en la industria, en su forma elemental.

Fue descubierto en el año de 1774 y patentado en 1799 como agente blanqueador, todavía a mediados del siglo XIX, no tenía mucha importancia en la industria.

En 1850 se utilizaban dos métodos para su fabricación industrial; - uno de ellos fue el proceso weldon, el cual consistía en la oxidación del dióxido de manganeso. El otro fue el proceso de Deacon, efectuando se la oxidación con aire y cloruro cúprico como catalizador.

El gas obtenido en ambos métodos estaba mezclado con gases del aire sirviendo para hacer el hipoclorito cálcico, siendo el medio principal para transportar el cloro. Fue hasta fines del siglo XIX cuando este producto adquirió su máxima importancia a nivel industrial; pues se usó equipo generador de corriente continua, para su obtención por métodos de electrólisis siendo este uno de los métodos más económico. Durante este siglo la producción de cloro ha tenido un auge mayor en la industria en general, como lo muestra la figura 5. En el año de 1945 en los Estados Unidos se embarcaba cloro elemental en vagones de trenes - con capacidades de 16, 30, 55 toneladas. En este tiempo se producían alrededor de 4300 ton./día. por diferentes métodos. Las fig. 1, 2, 3, nos proporcionan más informes acerca de la rapidez con que se desarrolló la industria del cloro.

A mediados de este siglo los principales productores eran Estados Unidos, Alemania y Japón. La producción la obtenían principalmente con celdas de diafragma y celdas con cátodo de mercurio, utilizando salmuera como materia prima para la descomposición electrolítica, obteniendo como coproducto la sosa cáustica, de gran importancia en la industria. Otras sustancias de menor relevancia son la producción del hipoclorito de sodio y el gas hidrógeno no aprovechable.

La sosa cáustica como producto químico en la industria es más antigua que el cloro.

A principios del siglo XX se producía poca cantidad de sosa como coproducto del cloro. Pero a partir de 1940 ya se producía más de la mitad de este producto, por medio del método electrolítico, como coproducto del cloro, razón por la que se dejó de producir sosa por otros métodos, pues resultaba incosteable.

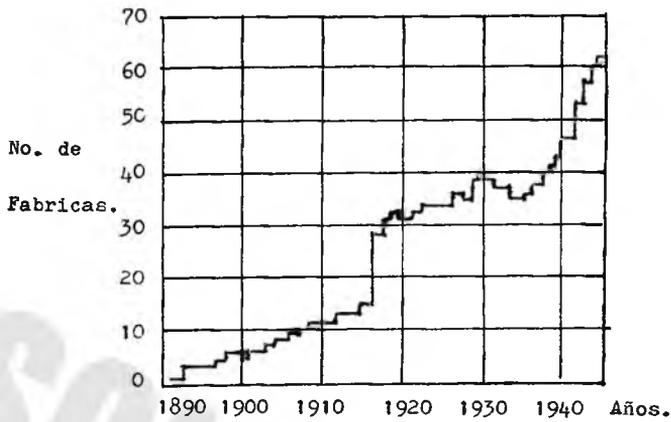
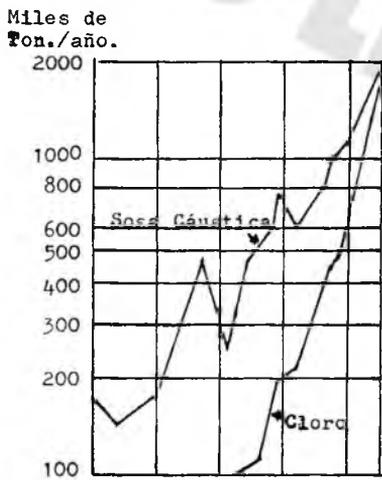
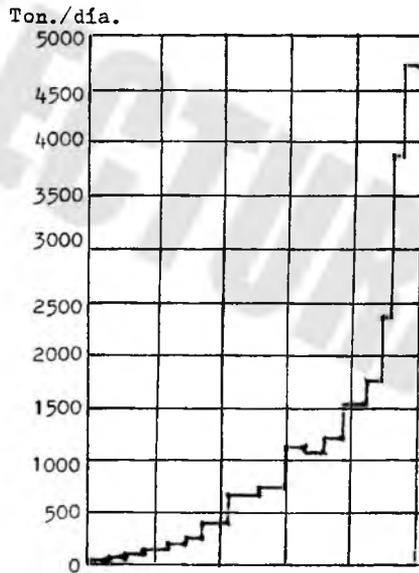


Fig. 4



1900 1910 1920 1930 1940 Años.  
Fig. 5 Producción de E.E.U.U.



1895 1905 1915 1925 1935 1945 Años  
Fig. 6 Cap. plantas E.E.U.U.

### Datos Históricos de la Industria de la Sosa Cáustica.

Este producto tiene mucha importancia en la industria para diferentes usos, aun cuando su crecimiento ha sido más lento que la de su coproducto; cloro, como lo indica la fig. 7. Pero en la actualidad ambos productos son de suma importancia, como materias primas para la elaboración de otros productos. Hasta antes de la primera guerra mundial, año de 1914, la cantidad de sosa que llegaba al mercado como coproducto del cloro era insignificante, comparada con la fabricada con carbonato de sodio y cal; pero al obtenerse por el método electrolítico, hubo un rápido ascenso, y para el año de 1946, ya se producía mayor cantidad de sosa por este proceso, como lo muestra la fig. 5. Quedan obsoleto el proceso de la cal.

La cuantificación del carbonato sódico con cal y la producción electrolítica de sosa con sal común, superan a los demás procesos de la fabricación de hidróxido de sodio.

En un tiempo se intento perfeccionar el proceso Loewing para su fabricación; pero el equipo necesario para ello, requería una inversión muy grande, y aunque bien fundado en principios termodinámicos, comercialmente se considero improductivo.

Según este proceso el carbonato de sodio se aglomera con óxido férrico, por medio de fusión en un horno giratorio y el aglomerado se digiere en agua de la cual se decanta inmediatamente la sosa concentrada, y el lodo residual del óxido férrico se trata nuevamente con carbonato de sodio, pero la sosa salía contaminada con hierro.

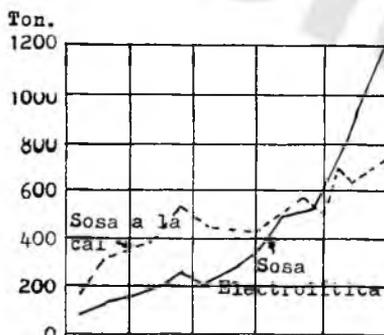
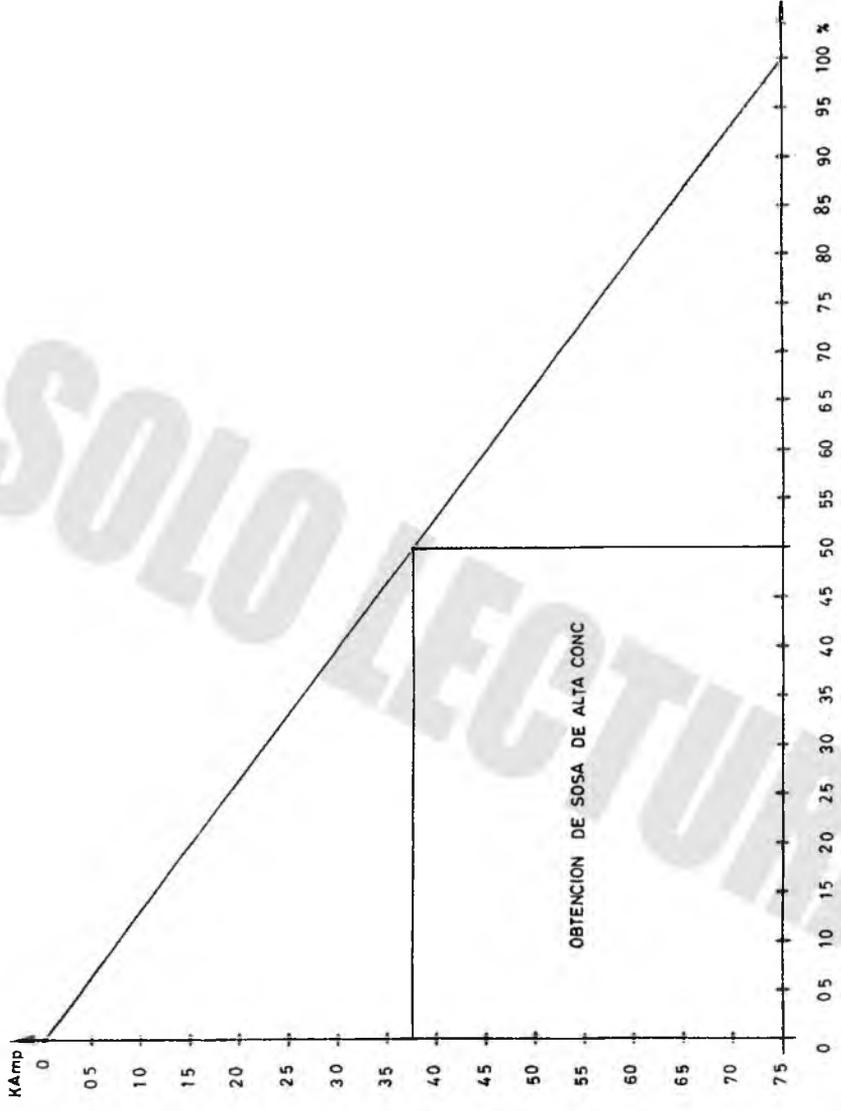


Fig. 7. Producción de sosa en los Estados Unidos de Norteamérica.



GRAFICA DE CARGA vs % DE SODA OBTENIDA

### Electrólisis.

El fenómeno de la electrólisis, es el cambio químico que sufre una sustancia provocado por el paso de la corriente; siendo un fenómeno de óxido-reducción.

En los procesos electrolíticos, generalmente no se genera diferencia de potencial alguna, sino que es necesario aplicar un voltaje igual o mayor al potencial de descomposición de la sustancia para efectuar dicho proceso. El voltaje aplicado debiera provenir de una fuente o generador de corriente continua, con el fin de evitar variaciones en este. Dicho voltaje se aplica a los electrodos que se encuentran en contacto con la solución electrolítica, transportando los electrones entre la solución y el circuito exterior.

Los electrodos son:

**CÁTODO**, que actúa como donador interno de los electrones; efectuando la electro-reducción.

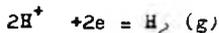
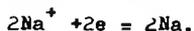
**ÁNODO**, que actúa como receptor de electrones; efectuando la electro-oxidación.

Una sustancia química se oxida cuando cede electrones a una segunda sustancia, que a su vez esta se reduce al adquirir los electrones transferidos por la primera. Es por ello que el material oxidado actúa como agente reductor, porque origina la reducción de la sustancia y de igual forma el material reducido actúa como agente oxidante al efectuar la oxidación de la primera sustancia.

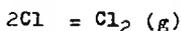
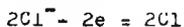
Aun cuando la oxidación y reducción se presentan juntas y al mismo tiempo, el proceso se puede representar literalmente en forma separada como medias reacciones, con sus respectivas ecuaciones.

Tomando como ejemplo la ionización de la salmuera, tenemos:

Proceso en el cátodo.



Proceso en el ánodo.



Lo descrito, podemos apreciarlo esquemáticamente en la figura 1.

En cualquier caso, el voltaje aplicado se inicia tomando como base la diferencia de potencial del sistema, es decir de los potenciales catódicos y anódicos.

$$V = E \text{ cátodo} - E \text{ ánodo.}$$

$E \text{ cátodo}$  = Potencial de reducción de alguno de los cationes en la solución.

$E \text{ ánodo}$  = Potencial de oxidación de alguno de los aniones en la solución.

Cuando existe alguna causa interna en el sistema, que tiende a disminuir el potencial aplicado, entonces disminuirá el potencial catódico y aumentará el potencial anódico en tanto no se incremente el potencial aplicado, con el fin de compensar los potenciales generados en los electrodos.

En consecuencia para que exista una electrólisis, es necesario que:

$$V = E \text{ cat.} - E \text{ an.} > E^{\circ} \text{ cat.} - E^{\circ} \text{ an.}$$

Donde:

$E^{\circ} \text{ cat.}$  y  $E^{\circ} \text{ an.}$  = Potenciales generados por el sistema.

Si  $E \text{ cat.} - E \text{ an.} < E^{\circ} \text{ cat.} - E^{\circ} \text{ an.}$ ; el sistema actúa como una pila voltaica, es decir se efectúa la descomposición de la solución, con desprendimiento de gas en ambos electrodos generándose un sistema químico de óxido-reducción interno, que al descomponerse genera corriente.

Si  $E \text{ cat.} - E \text{ an.} = E^{\circ} \text{ cat.} - E^{\circ} \text{ an.}$  la electrólisis se inhibe.

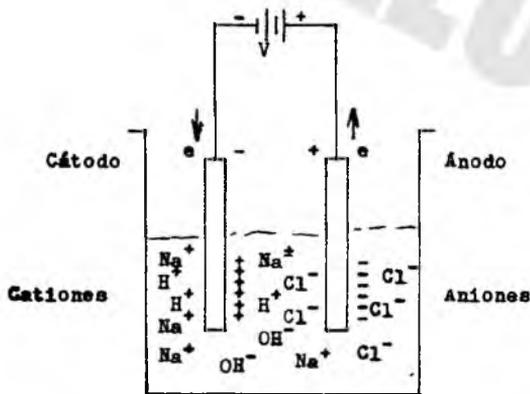


Fig. 8. Electrólisis del NaCl.

Un caso concreto de los fenómenos electrolíticos mencionados, lo constituyen un sistema de electrodos inertes de platino en solución de ácido sulfurico.

Pt / H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> / Pt.

Al aplicarse un voltaje promedio de 1.70 volts. al principio se manifiesta claramente la electrólisis, pero transcurrido un tiempo empieza a disminuir, hasta que la corriente se anula haciéndose cero lo cual significa que se ha igualado E<sup>o</sup> y V. Sin embargo en estas condiciones - al desconectar la fuente externa de voltaje, se puede comprobar que en ese momento el sistema ha dado origen a una fuerza electromotriz, como consecuencia de haberse formado en el cátodo un "electrodo de hidrógeno" desprendido electrolíticamente y absorbido u oculto en el electrodo de platino.

Ecuación de Nernst.

Se usa para calcular los potenciales de los iones presentes en un sistema electrolítico.

El potencial de óxido-reducción E, para cualquier concentración de iones en un proceso electrolítico, puede calcularse si se conocen los potenciales del electrodo normal E<sup>o</sup>, y las respectivas concentraciones de los iones oxidados y reducidos en la electrólisis.

$$E = E^o - \frac{RT}{nF} \ln Q.$$

Donde:

E = Potencial que se requiere determinar.

E<sup>o</sup> = Potencial normal del electrodo.

R = Constante de los gases ideales; 8.314 Joules/mol.<sup>o</sup>K.

T = Temperatura absoluta en <sup>o</sup>K.

n = Número de electrones que toman parte en la reacción.

F = Faradio; 96500 coulombs.

Q = Constante de equilibrio para la reacción.

Por lo tanto la ecuación de Nernst en condiciones ordinarias y a 25<sup>o</sup>C queda como sigue:

$$E = E^o - \frac{0.0591}{n} \log. \frac{(\text{Oxidación})}{(\text{Reducción})}$$

(Oxidación) y (Reducción) = Concentraciones molares.

Haciendo un análisis dimensional tenemos:

$$E = \text{Volts.} + \frac{(\text{Joule/mol.} \cdot \text{K}) (\text{K}) (\text{watt/Joule/seg.}) (\text{Amp. Volt./watt})}{(\text{mol.}) (\text{Coulomb}) (\text{Ampere seg./Coulomb})}$$

$$E = \text{Volts.} + \text{Volts.}$$

#### Leyes de Faraday.

Desde el punto de vista cuantitativo el paso de una corriente directa a través de una solución electrolítica produce cambios que dependen tanto de las características de la corriente, como de las propiedades de la solución. En este aspecto, Michel Faraday dio a conocer en el año de 1833 sus famosas leyes cuyos enunciados son los siguientes:

1a.- La magnitud de la descomposición química producida por una corriente, es proporcional a la cantidad de electricidad que pasa por la solución.

M proporcional q. o M proporcional It.

M = Masa de la sustancia resultante en g .

q = carga de corriente en coulombs.

I = Intensidad de corriente en Amperes.

t = Tiempo que dura el paso de la corriente en seg.

2a.- Las cantidades de sustancias diferentes, liberadas por una misma cantidad de electricidad, son proporcionales a sus equivalentes químicos.

Aunque a veces por la naturaleza de los procesos electroquímicos, estas leyes son difíciles de comprobar. Pero estas leyes son dinámicas y con validez permanente, siendo importantes desde el punto de vista cuantitativo.

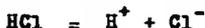
La expresión matemática para ambas leyes es:

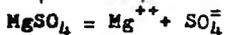
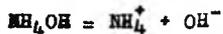
$$M(\text{g.}) = \frac{Eq \cdot (\text{g./eq.})}{96500 \text{ coulomb.}} \quad \text{---} \quad \frac{\text{---}}{\text{---}}$$

$$Y \quad q = It.$$

#### Estructura de las soluciones electrolíticas.

Los electrolitos son sustancias que al disolverse en agua por ejemplo, se ionizan en partículas cargadas eléctricamente denominadas iones. Los electrolitos pueden ser de carácter fuerte o débil, dependiendo de la solución. Existen electrolitos de tipo ácido y básico.





Los que se disocian en iones positivos, llamados cationes y los iones negativos, llamados aniones.

Las soluciones son mezclas, donde una de las sustancias se denomina soluto, el cual se encuentra disuelto en otra llamada disolvente o solvente.

Cuando el soluto es un electrólito y el disolvente una sustancia polar como el agua, la solución se denomina solución electrolítica.

Una sustancia es polar cuando su molécula presenta una zona de densidad de carga positiva, diferente a la otra con densidad de carga negativa.

Algunos electrólitos fuertes como el cloruro de sodio se encuentran ionizados aun antes de disolverse; por lo que generalmente se encuentran como iones en una red cristalina, cuya forma se mantiene debido a las fuerzas electrostáticas de coulomb.

Cuando estos electrólitos se disuelven en agua, las moléculas de estos se introducen entre los iones de la red, separandolos y rodeandolos, a lo cual se le llama solvatación de los iones, lo cual impide su rearrreglo original, en tanto se hallen en solución.

Pero, el hecho que un electrólito se ionice en el solvente, no implica que lo haga totalmente, sino que una parte de las moléculas se ionizan y otra no, lo cual implica un grado de ionización de los electrólitos.

$$\alpha = \frac{\Lambda}{\Lambda_{\infty}} \times 100 = \%$$

$\alpha$  = Grado de ionización.

$\Lambda$  = Conductividad ionica equivalente a ionización finita.

$\Lambda_{\infty}$  = Conductividad ionica equivalente a ionización infinita.

Cuando se trata de soluciones diluidas y electrólitos fuertes, la conductividad ionica equivalente a ionización infinita, es esencialmente igual a la conductividad ionica a ionización finita. Lo cual implica una ionización casi del 100 %.

Por lo tanto en los electrólitos fuertes el grado de ionización es alto, y no se ve afectado sustancialmente por la concentración.

En cambio los electrólitos débiles como el ácido acético poseen gra-

dos de ionización muy bajos, siendo determinante la influencia de la concentración de la solución.

**Atmosfera ionica.**- Tanto los iones positivos  $\text{Na}^+$  como los negativos  $\text{Cl}^-$  son solvatados por el disolvente, aun cuando debido a la geometría de la molécula solvatante, los iones positivos se rodean de mayor número de moléculas de agua, que los iones negativos. Esto es lo que se define como atmosfera ionica.

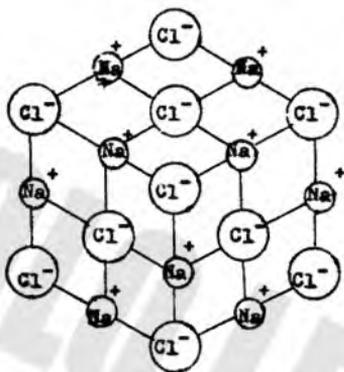


Fig. 9. Red cristalina de NaCl.

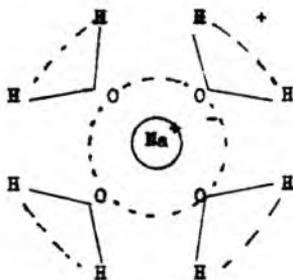


Fig. 10. Atmosfera ionica.

Grado de ionización del electrólito.

Cálculos.

Datos.

Conductividad ionica eq. catión	=	50.11 cm <sup>2</sup> /ohm.eq.
Conductividad ionica eq. anión	=	76.34 cm <sup>2</sup> /ohm.eq.
Densidad a 70°C al 26 %	=	1.1626 g ./cm <sup>3</sup>
P.M. NaCl	=	58.5 g ./eq.
Beta; es constante	=	0.025 /°C.

Conductividad ionica eq. de la solución a disolución infinita.

$$\Lambda_{\infty 25^{\circ}\text{C}} = 100\text{Na}^{+} + 100\text{Cl}^{-}$$
$$= 50.11 \text{ cm}^2/\text{ohm.eq.} + 76.34 \text{ cm}^2/\text{ohm.eq.} = 126.45 \text{ cm}^2/\text{ohm.eq.}$$

$$\Lambda_{\infty 70^{\circ}\text{C}} = \Lambda_{\infty 25^{\circ}\text{C}} (1 + 0.025 \times T - T_0)$$

$$\Lambda_{\infty 70^{\circ}\text{C}} = 126.45 \text{ cm}^2/\text{ohm.eq.} (1 + 0.025/^{\circ}\text{C} \times 70 - 25^{\circ}\text{C}) = 268.7 \text{ cm}^2/\text{ohm.eq.}$$

Conductividad ionica eq. de la solución a disolución finita.

$$\Lambda_{70^{\circ}\text{C}} = C_{\text{sal}} \times V_{\text{eq.}}$$

$$V_{\text{eq. } 70^{\circ}\text{C}} = \text{PM}/\text{eq.} / (\text{densidad})$$
$$= 58.5 \text{ g ./eq.} / (1.1626 \text{ g ./cm}^3) = 50.32 \text{ cm}^3/\text{eq.}$$

$$C_{\text{sal } 70^{\circ}\text{C}} = C_{\text{sol.}} - C_{\text{agua}}$$

$$C_{\text{sol.}} = (268.7 \text{ cm}^2/\text{ohm.eq.}) / (50.32 \text{ cm}^3/\text{eq.}) = 5.34/\text{ohm.cm.}$$

$$C_{\text{agua}} = C_{20^{\circ}\text{C}} (1 + \alpha \times T - T_0)$$

$$C_{\text{agua}} = 5 (1 + 3.8 \times 10^{-4} \times 70 - 20^{\circ}\text{C}) = 5.95/\text{ohm.cm.}$$
$$= 0.0595/\text{ohm.cm.}$$

$$C_{\text{sal } 70^{\circ}\text{C}} = 5.34/\text{ohm.cm.} - 0.0595/\text{ohm.cm.} = 5.2805/\text{ohm.cm.}$$

$$\Lambda_{70^{\circ}\text{C}} = (5.2805/\text{ohm.cm.}) (50.32 \text{ cm}^3/\text{eq.}) = 265.7 \text{ cm}^2/\text{ohm.eq.}$$

Grado de ionización.

$$\alpha = 265.7 \text{ cm}^2/\text{ohm.eq.} / (268.7 \text{ cm}^2/\text{ohm.eq.}) = 0.9888$$

$$\alpha = 0.9888 (100) = 98.88 \%$$

Como se trata de un electrólito fuerte y diluido, la  $\Lambda$  es prácticamente igual a la  $\Lambda_{\infty}$ , lo que implica una ionización excelente de la solución, en la celda electrolítica.

Potencial de descomposición de la solución electrolítica.

Cálculos.

Datos.

$E^{\circ}$ sodio	= -2.744 volts.
$E^{\circ}$ cloro	= 1.360 volts.
$E^{\circ}$ mercurio	= 0.789 volts.
R	= 8.314 Joules/mol. $^{\circ}$ K.
Temperatura	= 70 $^{\circ}$ C.
F	= 96,500 coulombs.

Concentración molar del NaCl.

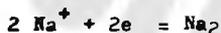
$$(\text{NaCl}) = (\text{Na}^+) = (\text{Cl}^-) = 310 \text{ g. /lt. } / (58.5 \text{ g. /mol.}) = 5.29 \text{ mol/l.}$$

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{(\text{Ox})}{(\text{Red})}$$



$$E = 1.36 \text{ volts} - 8.314 (343) (\ln. 5.299 / (5.299)^2) / 2(96500)$$

$$E = 1.36 \text{ volts} + 0.02464 \text{ volts.} = 1.3846 \text{ volts.}$$



Pero como el sodio se amalgama con el mercurio, obtendremos el potencial equivalente.

$$E^{\circ} = (2.744 + 0.789) / 2 = 1.7665 \text{ volts.}$$

$$E = -1.7665 \text{ volts} - (-0.02464 \text{ volts}) = -1.742 \text{ volts.}$$

El signo negativo del potencial del sodio, indica unicamente que este ión se oxida durante la reacción del electrólito; pero ello no implica que en la realidad haya potenciales negativos.

$$E. \text{ total} = -1.742 \text{ volts.} - 1.385 \text{ volts.} = 3.127 \text{ volts.}$$

$$E. \text{ resistencias} = 0.750 \text{ volts.}$$

$$E. \text{ total} = 3.477 \text{ volts.}$$

Siendo este el voltaje aplicado por celda, o voltaje de celda, para la electrólisis, por lo que el voltaje real será dentro de un rango de 3.5 volts  $\pm$  0.2 .

### Conductancia y Equilibrio Ionico.

La electroquímica es una rama de la físico-química que trata de la interrelación de los fenómenos químicos y eléctricos, así como del estudio de las propiedades eléctricas de los electrolitos, habiendo una relación entre la acción química y eléctrica de tales sistemas.

De acuerdo con la ley de ohm.  $I = E/R$ , la intensidad de corriente es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicado e inversamente a la resistencia por la cual fluye la corriente.

El sistema de unidades absolutos, de la intensidad, potencial y resistencia son el: ampere, volt y ohm, respectivamente.

El coulomb, es una unidad para medir la cantidad de electricidad, -- siendo igual a la intensidad de; 1 ampere x seg. Con lo cual la carga de corriente;  $q = It$ .

El faraday es otra unidad de medición de la electricidad, y es igual a 96500 coulombs.

El trabajo eléctrico del paso de una corriente a través de una resistencia al aplicarsele un potencial, esta dado por la ley de joule.

$$W = V.I.t = V.q. = \text{Volt.} \times \text{Ampere} \times \text{seg.} = \text{Joule.}$$

Siendo esta la unidad de energía eléctrica definida como la cantidad de trabajo, realizado por una corriente, de un ampere, durante un seg. - bajo una diferencia de potencial de 1 volt.

Finalmente la velocidad con la que se realiza un trabajo producido - por la corriente eléctrica es igual al trabajo eléctrico producido por seg. Y a esta relación se le conoce con el nombre de potencia.

$$P = V.I = V.q. / t. = \text{Joule} / \text{seg.} = \text{watt} = \text{vatio.}$$

### Unidades.

$$\begin{aligned} 1 \text{ Joule} &= 1 \times 10^7 \text{ Ergios} \\ &= 0.239 \text{ Cal.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ Kilovatio} &= 1000 \text{ vatios.} \\ &= 1000 \text{ watts.} \end{aligned}$$

### Conducción Electrolítica del Cloruro de Sodio.

El flujo de la electricidad por un conductor sale de un potencial negativo llegando a otro menor. Sin embargo dicho mecanismo, no siempre es igual. Pues en conductores electrónicos, como metales sólidos o fundidos y ciertas sales ( $\text{CuSO}_4$  y  $\text{CdSO}_4$ ), la conducción se efectúa por la emigración directa de electrones a través del conductor, bajo la influencia del voltaje aplicado. Lo cual implica que los átomos o iones que componen al conductor, prácticamente permanecen en su lugar a excepción de las vibraciones producidas. Por otra parte en los conductores electrolíticos, que incluyen sales fuertes y débiles, así como también sales fundidas y sólidas, como el  $\text{NaCl}$  y  $\text{AgNO}_3$ , la transferencia electrónica, tiene lugar por migración iónica, positiva y negativa hacia los electrodos.

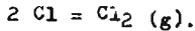
La migración iónica, además de una transferencia de corriente, involucra, el transporte de masa o materia, de una parte a otra del conductor. El flujo de corriente en conductores electrolíticos va acompañado de cambios químicos en los electrodos, siendo muy características y específicas de las sustancias que componen al electrolito. Por otra parte mientras la resistencia de los conductores metálicos se incrementa con la temperatura, la de los electrolitos disminuye al aumentar esta.

El mecanismo por el cual la corriente eléctrica pasa por una solución de cloruro de sodio se considerará a continuación, como caso específico del tema.

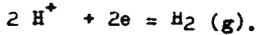
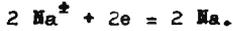
Considerando una celda con electrodos inertes de platino, conectados a una fuente de corriente y sumergidos en solución acuosa de cloruro de sodio, el electrodo A, conectado al lado negativo de la fuente denominado cátodo, y es la entrada de electrones a la fuente electrolítica, precedentes del electrodo B conectado al lado positivo de la fuente electrolítica denominado ánodo, siendo la parte por la que salen los electrones para regresar nuevamente a la fuente de corriente. En la solución electrolítica tenemos iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  ionizados y algunos  $\text{OH}^-$  e  $\text{H}^+$  debido a la ligera ionización del agua.

El proceso que se realiza en dicha celda es: Al cerrar el circuito y pasar la corriente por la solución de  $\text{NaCl}$ , esta se ioniza por migración iónica, y el cloro llega al ánodo en forma gaseosa, realizándose la electro-oxidación y reducción de la molécula de cloro.





El sodio emigra al cátodo, donador de electrones, reduciéndose de esta forma el sodio, con desprendimiento de  $\text{H}_2$  gaseoso, para posteriormente formar la sosa.



Sin embargo aun cuando este fenómeno es casi instantáneo, en realidad presenta una serie de etapas sucesivas que definen el proceso en cuestión.

a).- Los iones en solución solvatados y las moléculas polares se orientan por atracción electrostática como consecuencia de los potenciales adquiridos por los electrodos.

b).- Los iones una vez orientados, se desplazan según sus velocidades de difusión, dirigiéndose hacia los electrodos de acuerdo con las condiciones dadas.

c).- En esta etapa se presentan dos fenómenos:

1.- Los iones rodean al electrodo con el fin de interactuar con el.

2.- Como consecuencia de ello:

Si la velocidad de migración es mayor que la de óxido-reducción en los electrodos, se manifiesta una acumulación de cargas contrarias a la polaridad del electrodo, modificando su potencial, y a este fenómeno se le conoce como polarización. La polarización puede ser también -- por acumulación de  $\text{H}_2$  gaseoso en los electrodos, etc.

Pero en cambio si la velocidad de migración de los iones es del orden de la velocidad con que estos interactúan con el electrodo, tendremos una descomposición de óxido-reducción adecuada.

d).- Por último todas las especies reducidas como las oxidadas tienden a separarse de la interfase, fijándose al electrodo (electrodeposición); desprendiéndose mecánicamente de él; evolucionando como gas, el cloro y el sodio amalgamándose con el electrodo, para posteriormente, - desamalgamarlo con agua desmineralizada y formar la sosa.

En el caso que describimos; la formación de  $\text{NaOH}$  en la porción catódica de la celda se entiende debido a la remoción de los iones  $\text{H}_2$  por iones oxhidrilo. Como los iones  $\text{OH}^-$  no tienen existencia independiente-

de los  $H^+$ , los iones  $Na^+$  emigran al compartimiento catódico en cantidad adecuada dando una solución electricamente neutra, que al evaporarse da el hidróxido de sodio.

La siguiente fig. 11 nos ilustra la descomposición electrolítica de  $NaCl$  en solución, al aplicarse una corriente.

Los electrones llegan al cátodo, y al combinarse con los iones  $H^+$  forman el elemento monoatómico, que al combinarse dos de estos forman la molécula de  $H_2$  desprendiéndose en forma gaseosa. Posteriormente los electrones abandonan la solución en el ánodo, por descarga de los iones cloro y cada uno de estos al producir un electrón se convierte en un átomo de cloro. Los electrones liberados de esta forma fluyen por el circuito, mientras que los átomos de cloro se combinan entre sí para formar la molécula de cloro gaseoso.

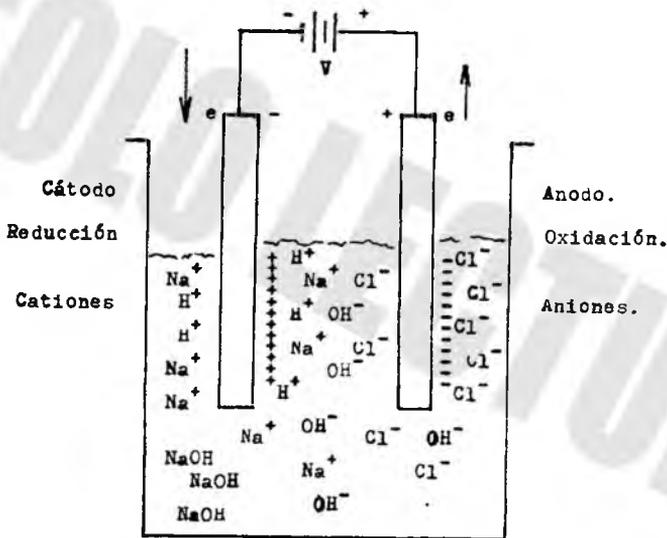


Fig. 11. Electrólisis del  $NaCl$  en una cuba electroquímica con electrodos inertes de platino.

### Análisis de la salmuera.

Determinaciones de la salmuera en diferentes etapas del proceso.

Sal al llegar a la planta.

1.- Humedad.	%
2.- Insolubles.	%
3.- Cloruro de sodio.	% NaCl
4.- Calcio.	% Ca <sup>++</sup>
5.- Magnesio.	% Mg <sup>++</sup>
6.- Carbonatos.	% CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>
7.- Bicarbonatos.	% HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>
8.- Sulfatos.	% SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
9.- Hidróxidos.	% OH <sup>-</sup>
10.- Hierro.	% Fe <sup>+++</sup>

#### Método.

##### Humedad.

Se pesan 5 g , de sal molida en un crisol, previa tara. Calentarlo a temperatura de 300-350°C durante 15 a 20 min. Enfriarlo en el desecador.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P - P^0}{w} \times 100$$

P = Peso del crisol + muestra; después de enfriarlo.

P<sup>0</sup> = Tara del crisol.

w = Peso de muestra inicial.

##### Insolubles.

Se pesan 10 g , de sal en hoja doble de papel filtro de cenizas cono cidas, filtrando la sal con agua caliente, recibiendo el filtrado en un matríz, aforando con agua destilada a 500 ml.

Poner el papel filtro en un vidrio de reloj, pesarlo y posteriormente secarlo en la estufa.

$$\% \text{ Insolubles} = \frac{P - P^0}{w} \times 100$$

P = Peso papel filtro + insolubles (después de secarse)

P<sup>0</sup> = Peso de papel filtro sin muestra.

w = Peso de la muestra inicial .

### Cloruro de Sodio.

En un matr az erlenmeyer, tomar una muestra de 100 ml. de la solución aforada a 500 ml. y agregar:

3 o 4 gotas de cromato de potasio como indicador.

Titular con nitrato de plata 0.1 N hasta vire de la solución a un color rojizo.

$$\text{ppm NaCl} = (V) (N) (\text{Eq. NaCl}) (1000/\text{ml. muestra})$$

Haciendo un análisis dimensional.

$$\begin{aligned} \text{ppm NaCl} &= (\text{ml}) (\text{g./l. Eq.g.}) (\text{Eq.g.}) (1000 \text{ mgr./g.}) (1/\text{ml}) \\ &= \text{mg. /l.} \end{aligned}$$

$$\% \text{ NaCl} = \frac{\text{mg.}}{w} \times 100$$

$$w = \text{mg. de muestra; } (100) (10) / 5000 = 2 \text{ g.} = 2000 \text{ mg.}$$

$$\text{Eq. NaCl.} = 58.5 \text{ eq.g.}$$

### Calcio.

En un matr az erlenmeyer tomar una muestra de 100 ml. de la solución aforada a 500 ml. y agregar:

1 ml. de solución buffer.

3 gotas de negro de eriocromo T.

Titular con versenato cuyo vire de solución sea del rojo tinto al azul claro.

$$\text{ppm Ca}^{++} = (V) (T) (\text{Eq. Ca}^{++} / \text{Eq. CaCO}_3) (1000/\text{ml. muestra})$$

$$\% \text{ Ca}^{++} = \frac{\text{mg.}}{w} \times 100$$

### Magnesio.

En un matr az erlenmeyer tomar una muestra de 100 ml. del aforado de 500 ml. y agregar:

5 ml. de solución buffer.

2 a 3 gotas de negro de eriocromo T.

Titular con versenato hasta que vire al color azul claro.

$$\text{ppm Mg}^{++} = (V) (T) (\text{Eq. Mg}^{++} / \text{Eq. CaCO}_3) (1000/\text{ml. muestra})$$

$$\% \text{ Mg}^{++} = \frac{\text{mg.}}{w} \times 100$$

$$\text{Eq. Mg} = 24.3/2 = 12.1 \text{ eq.g.}$$

### Carbonatos, Bicarbonatos e Hidróxidos.

Estos se determinan tomando una muestra de 100 ml. de la solución - aforada a 500 ml.

En la determinación de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos por titulación de su alcalinidad se pueden presentar varios casos.

1.- Que la titulación  $F = 0$ , en este caso la titulación A.M. dara exclusivamente bicarbonatos.

2.- Que la titulación  $F =$  a titulación total, la solución tendra solamente hidróxidos.

3.- Que la titulación  $F = 1/2$  de la titulación total la solución -- tendra solamente carbonatos.

4.- Que la titulación  $F$  mayor de  $1/2$  de la titulación total la solución tendra carbonatos e hidróxidos.

5.- que la titulación  $F$  menor de  $1/2$  de la titulación total de la solución tendra carbonatos y bicarbonatos.

La titulación se realiza con HCl 0.1 N usando fenolftaleina cuyo -- vire es del rosado al incoloro y anaranjado de metilo del amarillo al - color canela.

F = Fenolftaleina.

A.M. = Anaranjado de metilo.

ppm  $\text{OH}^- = (V) (N) (\text{Eq. } \text{OH}^-) (1000/\text{ml. muestra})$

$\% \text{OH}^- = \frac{\text{mg}}{w} \times 100$

ppm  $\text{CO}_3^{2-} = (V) (N) (\text{Eq. } \text{CO}_3^{2-}) (1000/\text{ml. muestra})$

$\% \text{CO}_3^{2-} = \frac{\text{mg}}{w} \times 100$

ppm  $\text{HCO}_3^- = (V) (N) (\text{Eq. } \text{HCO}_3^-) (1000/\text{ml. muestra})$

$\% \text{HCO}_3^- = \frac{\text{mg}}{w} \times 100$

### Sulfatos.

En un matr az erlenmeyer, tomar 100 ml. de muestra del aforado de 500 ml. y agregar:

5 ml. de HCl Q.P. para acidular la solución.

Calentar la muestra hasta ebullición.

15 ml. de cloruro de bario al 10 % de conc.; cuando aun esta en ebullición.

Filtrar la muestra en papel filtro de cenizas conocidas, lavar el -- papel filtro con agua caliente. Pasar el papel filtro a un crisol para calcinarlo en la mufla, previa tara de eate.

$$g ./1 . SO_4^{=} = (p - P^0) (Eq. SO_4^{=} / Eq. BaSO_4) (1 /1 . muestra.)$$

$$\% SO_4^{=} = \frac{(P - P^0) (Eq. SO_4^{=} / Eq. BaSO_4)}{w} \times 100$$

$$\frac{Eq. SO_4}{Eq. BaSO_4} = \frac{48}{116.67} = 0.411 \text{ g . de } SO_4^{=} \text{ por un g . de } BaSO_4.$$

En un matríz erlenmeyer pesar 10gr. de sal, diluirlos en 90 ml. de - agua destilada, acidulando la solución con HCl Q.P. y agregando:

Unas gotas de amoniaco para neutralizar, con lo cual queda insoluble el fierro como  $Fe(OH)_3$ .

Hervir la solución 3 o 4 min. y filtrarla en caliente.

Disolver el precipitado de hidróxido férrico con HCl 1:1 en caliente.

Lavar 3 veces con agua caliente el papel filtro recogiendo los lavados en el mismo matríz.

Agregar 5 ml. de KI al 10 %.

Titular con tiosulfato de sodio 0.1 N en presencia de almidón como - indicador.

$$ppm Fe^{+++} = (V) (N) (Eq. Fe^{+++}) (1000 / ml. muestra.)$$

$$\% Fe^{+++} = \frac{mg}{w} \times 100$$

$$w = 10 \text{ g .} = 1 \times 10^4 \text{ mg .}$$

## Preparación de Reactivos y Soluciones.

Cromato de potasio al 5 % .

Disolver 5 g . de  $K_2CrO_4$  y aforar a 100 ml. con agua destilada.

Nitrato de plata 0.1 N.

$N = w / Eq. V.$

$w_{AgNO_3} = (.1) (169.87) (1 l .) = 16.987 g .$

16.987 gr. de nitrato de plata se disuelven en un litro de agua destilada para obtener una solución decimo normal.

Solución Buffer o reguladora.

Pesar 6.75 g . de  $NH_4Cl$  y mezclarlos con 75 ml. de  $NH_4OH.$ , aforando a 100 ml. con agua destilada.

Negro de Eriocromo T.

Se disuelven .5 g . de negro de eriocromo T en 100 ml. de alcohol.

Verseno T = 1

Disolver 4 g . de versenato ácido disódico, 0.5 g . de NaOH y 0.1 g . de  $MgCl_2$  en agua destilada y aforar a un litro.

Valoración.

En un matríz se colocan 25 ml. de solución tipo de  $CaCl_2$  y agregar: 5 ml. de solución buffer.

4 gotas de M.N.T. la cual colorea la solución a rojo vino tinto.

Titular con la solución de verseno hasta vire azul claro.

$T. \text{ verseno} = \frac{(T. \text{ cloruro de calcio}) (V. \text{ cloruro de calcio})}{V. \text{ verseno}}$

Cloruro de Bario al 10 %.

Disolver 10 g . de cloruro de bario en agua destilada y aforar a 100 ml.

Fenolftaleina al 0.5 %.

Pesar 0.5 g . de fenolftaleina, disolverla en 50 ml. de alcohol y aforar a 100 ml. con agua destilada.

Amaranjado de metilo. 0.5 %.

Pesar 0.5 g . de A.M. disolver en agua destilada y aforar a 100ml.

Ioduro de Potasio al 10 %.

Pesar 10 g , de KI y aforar a 100 ml. con agua destilada.

Almidón al 0.1 %.

Pesar 0.1 g . de almidón y aforar a 100 ml. con agua destilada en caliente.

Tiosulfato de sodio 0.1 N.

$$N = w / Eq_{Na_2S_2O_3} (1 .)$$

$$w = 0.1 (248) (1 l .) = 24.8 g .$$

El tiosulfato tiene:  $5H_2O$ .

24.8 g . de  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  se disuelven en agua destilada aforando a un litro.

Acido Clorhídrico. 1:1

Se prepara mezclando un volumen de HCL con un volumen de agua destilada, por partes iguales.

Hidróxido de sodio. 0.1 N.

$$w = 0.1 (40) (1 l .) = 4 g .$$

4 g . de NaOH se disuelven en un l . de agua destilada.

CAPITULO II.

DESCRIPCION DEL PROCESO.

SOLO LECTURA

## II.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

El proceso de obtención de sosa y cloro, empieza en el departamento de saturación de la salmuera; contando para ello con tres tanques saturadores de la solución, cuyas codificaciones son: T-010a, T-010b, T-010c, con capacidades de 55,000 lts. cada uno. De estos tres tanques dos de ellos son para estar siempre en servicio; a dichos tanques se les adicionan 16,740 Kg. de sal en grano y 47,260 lts. de agua para obtener una solución saturada de cloruro de sodio al 26.15 % de concentración.

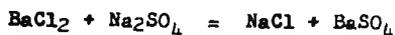
La solución saturada de salmuera pasa al tanque T-011 por gravedad, cuya finalidad es recibir la salmuera libre de macropartículas; además de recibir parte de la salmuera pobre ya tratada, proveniente de las celdas, con el fin de ajustar la conc. de la salmuera para usarse nuevamente en celdas; el resto de la salmuera pobre se manda a los tanques saturadores, regulando los flujos por medio de una válvula de globo. Como el tanque T-011 tiene una capacidad de 12,270, cuenta con un sistema de control automático de nivel, que abre o cierra según las necesidades.

Del tanque T-011 se bombea la solución de salmuera para su tratamiento, disponiendo para ello de dos bombas centrífugas horizontales; una de ellas esta siempre de repuesto y la otra funcionando. La salmuera llega al tanque T-012a, que esta equipado con un agitador para mezclar los reactivos con la salmuera y así homogenizar la solución. Los reactivos agregados para el tratamiento de la salmuera se adicionan mediante dosificadores. Dichos reactivos son los siguientes:

Cloruro de Bario.

Usado para precipitar los sulfatos presentes en la solución. La concentración de este reactivo es del 10 % en solución. Para preparar la solución del  $BaCl_2$ , tenemos el tanque T-014 con capacidad de 6,200 lts. al que se le inyecta aire comprimido, através de espumas para homogenización. Posteriormente se bombea al tanque elevado T-016, encontrándose ambos en recirculación continua; del tanque elevado la solución cae por gravedad a un dosificador y de ahí al T-012a.

La reacción química continua del cloruro de bario en la solución es:

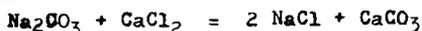


Donde el sulfato de bario forma un precipitado, que se deposita en el fondo del tanque y la sal queda como tal, en la solución de salmuera.

Carbonato de Sodio.

Usado para precipitar los iones calcio presentes en la solución como cloruros de calcio. La concentración de este reactivo es del 13 al 15 % en solución. Para preparar la solución de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , tenemos el tanque T-O 15 con capacidad de 6,280 lts. al que se le inyecta aire comprimido, a través de espumas para homogenizar la solución. Posteriormente se bombea al tanque elevado T-O17, estando la solución en recirculación continua; del tanque elevado la solución cae por gravedad a un dosificador y de ahí pasa al T-O12a.

La reacción química continua del carbonato de sodio en la solución es:

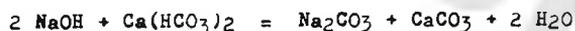


Donde al reaccionar el carbonato de sodio forma el precipitado de carbonato de calcio que se deposita en el fondo del tanque y la sal queda como tal en solución de salmuera.

Hidróxido de sodio.

Usado para precipitar los iones magnesio y bicarbonatos presentes en la solución. La concentración de este reactivo es del 50 %; la sosa se bombea directamente de uno de los tanques de almacenamiento de sosa al tanque elevado T-O18, pasando al dosificador por gravedad y de ahí al tanque T-O12a.

La reacción química continua del hidróxido de sodio en la solución es:



Donde la sosa al reaccionar con el magnesio, forma un precipitado de hidróxido de magnesio, que se deposita en el fondo del tanque; también reacciona con los bicarbonatos, dando un precipitado de carbonato de calcio.

Este es el tratamiento químico que se le da a la salmuera, para desmineralizarla y suavizarla, puesto que el agua con la que se hace la solución, es agua cruda o de servicios generales.

Como los volúmenes de solución de salmuera son demasiado grandes, este es el proceso más adecuado para la eliminación de los aniones y cationes descritos; obteniéndose una agua de buena calidad para el proceso electrolítico.

De esta forma los iones quedan asentados en el fondo del tanque T-012a, por precipitación, al adicionarse los reactivos a la solución de salmuera.

Del tanque T-012a con capacidad de 148,660 lts, pasa la solución de salmuera al tanque T-012b con capacidad de 148,660 lts. La salmuera cae a este tanque por gravedad, la función de este es el de clarificar, la solución además de asentamiento total de algunos precipitados que lleve la solución.

Ello implica que es necesario purgar ambos tanques una vez por turno, para dar salida a los lodos de los precipitados.

Del tanque T-012b la solución llega por gravedad al tanque T-013 con capacidad de 12,270 lts. equipado con sistema automático de nivel este tanque tiene como función recibir la salmuera tratada.

En este departamento de tratamiento de salmuera; la solución es bombeada a los filtros, contando para ello con tres bombas centrífugas horizontales.

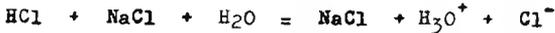
La salmuera proveniente del tanque T-013 es bombeada por una de las bombas con capacidad de 1500 lt./min. a los filtros F-034a, F-034b y F-034c, de 10,300 lts. de capacidad y presión de operación máx. de 3.0 kg./cm<sup>2</sup> cada uno. teniendo como función la separación mecánica de partículas sólidas en suspensión.

La salmuera filtrada llega al tanque T-020 con capacidad de 148,660 lts. cuya función es recibir la salmuera filtrada, para de ahí alimentarla a un tanque elevado.

La salmuera del tanque T-020 es bombeada, por una de las tres bombas centrífugas ya mencionadas, pasando por un intercambiador de calor que tiene por función el incrementar la temperatura de la solución, o disminuirla según se presente el caso. Por lo que se tiene vapor saturado y agua para dichos requerimientos. La temperatura que debe llevar la salmuera después de pasar por el intercambiador debe de ser de 50 a 60 °C para tener una buena descomposición electrolítica. Como ya dijimos la salmuera llega a un tanque elevado T-022; que tiene una línea de circulación con el T-020, previendo derramamientos por algún motivo. La capacidad del T-022 es de 12,270 lts.

En el tanque T-022 se hace ácida la salmuera, dosificandole HCl, por medio de una bomba de pistón con capacidad de 10 lts./min. La finalidad de agregarle HCl es el neutralizar los residuos de sosa por una parte y

por otra dejar ácida la salmuera con el propósito de tener una mejor -- ionización de los iones en la celda electrolítica.



Los filtros antes de ponerse a funcionar o después de algun tiempo de estar en servicio es necesario lavar las lonas filtrantes por lo que se requiere el ponerles una precapa.

La precapa en este caso es de Hyflo o tierras de fuller; para ello se prepara una solución en el tanque T-019 con capacidad de 12,270 lts. La concentración de la solución es de 2.1 % aproximadamente, teniendo la solución preparada, es bombeada con una bomba centrífuga de 800 l./min. entrando por la parte inferior y saliendo por la parte superior -- del filtro, recirculando la solución durante 40 minutos aproximadamente.

Teniendo la solución de salmuera ácida en el tanque T-022 podemos -- considerar que el tratamiento de ésta se ha concluido, por consiguiente la solución esta lista para el proceso electrolítico.

La solución de salmuera llega a las celadas de cátodo de mercurio -- por gravedad, procedente del tanque T-022, con las siguientes especificaciones:

Cloruro de sodio	300-310 g ./l .
Sulfatos	1.6-1.8 g ./l .
Cloratos	0.1-0.5 g ./l .
Acido clorhídrico	0.05-0.1 g ./l .
Calcio	3 ./l.
Magnesio	1 ./l.
Mercurio	1.5 ./l.
Fierro	0.1 ./l.
Temperatura	50-60 °C.

La salmuera de alimentación pierde un promedio de 40 g ./l . de NaCl aumentando su temperatura de salida entre 10 y 20 °C.

La concentración de la salmuera debe checarsse cada hora en el tanque T-011.

A continuación se detalla el proceso electrolítico en celdas con cátodo de mercurio, y ánodos de carbón grafitado. Con voltaje promedio de 3.5 volts. ± 0.2.

Funcionamiento de las celdas con cátodo de mercurio.

Para la fabricación de sosa y cloro se cuenta con 18 celdas electrolíticas, con cátodo movable de mercurio y ánodos de carbón grafitado.

Estas celdas están compuestas esencialmente por; una celda primaria o electrolizador; una caja unión o guarda; una celda secundaria o pila de descomposición de amalgama; una bomba centrífuga para recirculación del mercurio. Conectadas en serie y alimentadas con una carga de corriente de 75000 Amp.

La salmuera saturada y tratada, es alimentada en forma continua e ininterrumpidamente a las celdas con un flujo constante de 75 l./min. controlado por rotámetros. La salmuera entra con una concentración de 300 a 310 g./l. saliendo de la celda con una conc. de 270 g./l., a esta salmuera se le llama salmuera pobre. El tiempo de residencia es aproximadamente 1.0177 min, durante el cual se descomponen un promedio de 40 g. de cloruro de sodio.

La descomposición electrolítica de la salmuera se efectúa en la celda primaria, pasando entre los ánodos de grafito y el cátodo móvil de mercurio. En dicho compartimento al efectuarse la descomposición de los iones, los aniones cloro se forman en el ánodo dando moléculas de cloro gaseoso, que es extraído por medios mecánicos para su tratamiento y licuación; y los cationes sodio se amalgaman con el cátodo de mercurio. De esta forma los iones cloro se oxidan y los iones sodio se reducen.

La amalgama de mercurio pasa a la celda secundaria o pila de descomposición, donde el mercurio actúa como ánodo con respecto a un cátodo de bolas de carbón grafitado, donde se efectúa únicamente un intercambio de los iones sodio, con iones hidróxidos provenientes de la alimentación de agua desmineralizada, en presencia de un electrólito de NaOH, con desprendimiento de hidrógeno; el cual se manda a la atmósfera.

La alimentación del agua desmineralizada se hace a contracorriente con respecto a la amalgama de mercurio, obteniéndose de esta manera el hidróxido de sodio. Una vez desamalgamado el mercurio es bombeado nuevamente a la celda primaria y este proceso es ininterrumpido.

De la celda secundaria o pila, se obtiene una solución de sosa con gran pureza y concentración de 50% o más.

La amalgama al salir de la celda primaria contiene un promedio de 0.2% de sodio y vuelve a ella con un promedio de 0.02%.

El mercurio arrastra partículas de carbón de los ánodos e impurezas

procedentes de la solución, por lo que es necesario quitarlas periódicamente. Esta operación se realiza manualmente en la caja unión o guarda.

En la práctica se obtiene una solución concentrada de NaOH sin cloruro sódico y una amalgama sumamente diluida que vuelve al electrolizador, exponiendo una gran superficie para reducir la densidad de corriente en los ánodos y el cátodo. Es por ello que la celda secundaria o pila, se construye en forma de torre de contacto con relleno de bolas de grafito, por la cual desciende la amalgama en flujo de gotas en contracorriente con el electrólito, que continuamente se esta formando por la alimentación del agua desmineralizada.

Las pérdidas que existen de mercurio son por las siguientes causas:

En los lodos y purgas de purificación de salmuera	0.275 Kg./ton.Cl <sub>2</sub>
En el gas hidrógeno	0.0065 "
En el aire de sala de celdas	0.0005 "
Fugas y causas desconocidas	<u>0.2100</u> "
Total	0.492 Kg/ton.Cl <sub>2</sub>

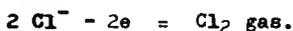
Reacciones en celdas de mercurio.

La reacción química continua, efectuada en la descomposición electro-lítica de la salmuera es:



Esto sucede al aplicarsele la corriente continua para su descomposición y formación de las moléculas.

Proceso anódico:



Proceso catódico:



Celda secundaria o pila ; intercambio de iones.



La amalgama se descompone y el mercurio sigue fluyendo.

Reacciones secundarias en las soluciones.

No es posible evitar que haya reacciones entre aniones y cationes, dentro de las celdas, sobre todo cuando se requiere trabajar con voltajes mínimos, además de que el electrólito que llega al cátodo trae consigo cloro en solución.

Las reacciones cuando existe cloro libre son:



La existencia del cloro libre se debe también a la presión externa, o sea que si la presión interna de la celda es mayor que la presión exterior propicia el cloro libre. Esta presión se regula por medio de --- los turboventiladores.

Reacciones secundarias en los electrodos.

Además del ión cloruro probablemente se descargan otros iones en el ánodo, tales como el  $\text{OH}^-$  e  $\text{ClO}^-$ . Las siguientes ecuaciones representan algunas de las probabilidades.



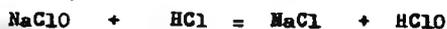
Este tipo de reacciones secundarias son indeseables en las celdas -- electrolíticas, pues reducen la carga productiva y ocasionan daños a la celda. Debido a que el hidrógeno es muy explosivo en altas cantidades.

Es por esto que debe existir un colector general donde se determina la cantidad global de hidrógeno, el cual no debe ser mayor de 4 %.

Si sobrepasa este porcentaje, quiere decir que una o varias celdas -- tienen una elevada concentración de hidrógeno, y es necesario determi-- narlo celda por celda, para evitar explosiones.

La salmuera pobre es la que sale de las celdas, a una temperatura promedio de 70 °C y una concentración aproximada de 270 g ./ l . Dicha salmuera lleva en solución hipocloros, y cloratos de sodio, así como ácido hipocloroso debido a las reacciones secundarias de la solución durante la electrólisis, razón por la que se le adiciona HCl al 32 % .

La salmuera pobre llega al tanque T-023 donde se le adiciona el HCl. proveniente del tanque T-021, el primero con capacidad de 1260 lts. y el segundo con capacidad de 6,280 lts. Las reacciones que se efectúan al agregar el ácido clorhídrico son:



Por lo que el ácido clorhídrico descompone los hipocloros, cloratos y ácido hipocloroso, quedando cloro libre en la solución.

Por gravedad la salmuera pobre pasa al tanque T-024 con capacidad de 20420 lts. de donde es bombeada a un tanque elevado con una bomba centrífuga con capacidad de 1500 lts./min.

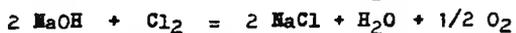
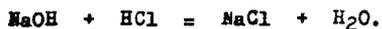
La salmuera pobre llega al T-025 ; donde se le hace un vacío para la extracción del cloro libre. El vacío es producido por una bomba a 650 - mmHg. y capacidad de 24 l ./seg. El cloro libre extraído pasa por un intercambiador de calor para bajar su temperatura; posteriormente pasa por el tanque T-026 considerado como tanque de sello desgasificador de vacío con capacidad de 400 lts. La bomba de vacío manda el cloro libre a un tanque con agua, para tratarla posteriormente.

El tanque T-025 tiene una capacidad de 16,460 lts. y además de receptor de salmuera pobre hace la función de tanque de vacío.

Del tanque T-025 la salmuera cae a un tanque colchón T-027 ,para en seguida pasar al tanque T-028 con capacidad de 4,710 lts. A este tanque se le inyecta aire con un hipocompresor a una presión de 3.5 Kg./cm<sup>2</sup> - con la finalidad de homogenizar la salmuera ácida, haciendo uso de una pierna o tubo en U, para mayor eficiencia. Por diferencia de niveles la solución pasa al tanque T-029 para desgasificación de hidrógeno y una mínima parte de Cl<sub>2</sub> libre, contando para ello con un sistema de venteo a la atmósfera.

A el tanque T-029 se le adiciona sosa dosificada, proveniente del tanque T-018 para neutralizar la acidez de la salmuera.

El tanque T-029 tiene una capacidad de 735 lts; las reacciones que se efectúan aquí son:



Hasta este punto se puede considerar que la salmuera pobre, esta totalmente tratada.

Esta salmuera pasa por gravedad a los tanques saturadores; o bien -- parte de ella se utiliza para regular la concentración del tanque T-011 y parte se manda a los tanques T-010.

Concluyendo de esta forma el proceso para la obtención de sosa y cloro.

SOLO LECTURA

**Salmuera de proceso.**

1.- Densidad.	g / cm <sup>3</sup> .
2.- Calcio.	mg./l.
3.- Magnesio.	mg./l.
4.- Carbonato de sodio.	mg./l.
5.- Cloruro de sodio.	mg./l.
6.- Sulfatos.	mg./l.
7.- Hipocloros.	mg./l.
8.- Cloratos.	mg./l.
9.- Cloro libre.	mg./l.
10.-Acido clorhídrico.	mg./l.
11.-Hidróxido de sodio.	mg./l.
12.-Acidez.	pH.

**Método.**

**Densidad.**

Se determina por medio de un densímetro, graduado en g ./cm<sup>3</sup>

**Cloruro de sodio.**

En un matríz erlenmeyer tomar una muestra de 100 ml. y agregar:  
Unas gotas de cromato de potasio como indicador.  
Titular con nitrato de plata 0.1 N. hasta vire color ladrillo.

$$\text{ppm NaCl} = (V) (N) (\text{Eq. NaCl}) (1000 / \text{ml. muestra.})$$

**Carbonato de sodio.**

Tomar una muestra de 100 ml. en un matríz erlenmeyer y agregar:  
1 ml. de solución buffer.  
3 gotas de indicador de E.N.T.  
Titular con solución de verseno hasta un vire del tinto al azúl claro.

$$\text{Dt.} = \text{ppm CaCO}_3 = (V_1) (T) (1000 / \text{ml. muestra.})$$

Agregar A.M. como indicador y titular con HCl 0.1 N hasta vire color canela.

$$\text{ppm Na}_2\text{CO}_3 = (V_1 - V_2) (\text{Eq. Na}_2\text{CO}_3) (T) (N) (1000/\text{ml. muestra})$$

#### Hipocloros.

En un matr az erlenmeyer tomar una muestra de 100 ml. y agregar:

Unas gotas de ácido acético.

Unas gotas de almidón.

Titular con tiosulfato de sodio 0.1 N hasta desaparición del color - café de la solución.

$$\text{ppm ClO}^- = (V) (N) (\text{Eq. ClO}^-) (1000/\text{ml. muestra.})$$

$$\text{Eq. ClO}^- = 51.5/2 = 25.75 \text{ eq, g.}$$

#### Cloratos.

En un matr az erlenmeyer tomar una muestra de 100 ml. y agregar:

10 ml. de sulfato ferroso.

10 ml. de ácido fosfórico.

50 mg. de molibdato de amonio como catalizador.

En otro matr az poner 100 ml. de agua destilada y agregarle:

10 ml. de sulfato ferroso.

5 ml. de ácido sulfúrico 1:1;

A esta solución se le llama; tipo.

La muestra tipo se calienta a 55 C y se titula con permanganato de - magnesio 0.1 N.

La muestra problema titular sin calentar.

$$\text{ppm ClO}_3^- = (V \text{ tipo} - V \text{ prob.}) (N) (\text{Eq. ClO}_3^-) (1000/\text{ml. muestra.})$$

$$\text{Eq. ClO}_3^- = 83.5 / 6 = 13.916.$$

#### Cloro libre.

En un matr az erlenmeyer poner una muestra de 100 ml. y agregar:

5 ml. de KI al 10 %.

Unas gotas de almidón como indicador.

Titular con tiosulfato de sodio 0.1 N hasta decoloración del color - café.

$$\text{ppm Cl}_2 = (V) (N) (\text{Eq. Cl}_2) (1000 / \text{ml. muestra.})$$

####  cido clorhídrico.

En un matr az erlenmeyer tomar una muestra de 100 ml. y agregar:

fenoftaleina como indicador.

titular con hidróxido de sodio 0.1 N.

$$\text{ppm.HCl} = (V) (N) (\text{Eq. HCl}) (1000 / \text{ml. muestra.})$$

Hidróxido de Sodio.

Tomar una muestra de 100 ml. en un matraz erlenmeyer y agregar:

Unas gotas de fenolftaleina, como indicador.

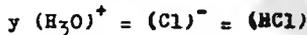
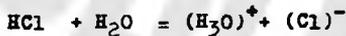
Titular con ácido clorhídrico 0.1 N.

$$\text{ppm.NaOH} = (V) (N) (\text{Eq.NaOH}) (1000 / \text{ml. muestra.})$$

Acidez.

La acidez puede determinarse por diferentes formas:

- 1.- Por medio de papel indicador de pH.
- 2.- Por medio de peachimetros.
- 3.- A partir de las constantes de disociación determinando la concentración de los iones.



Si denotamos las concentraciones de los iones con la letra  $m$ .

$$m + m = K_1$$

$$m = K_1 / 2.$$

Entonces la conc. de los iones  $(\text{H}_3\text{O})^+ = m$

Por lo tanto; el pH de una solución diluida se define como:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{(\text{H}_3\text{O})^+}$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

$$\text{pOH} = \log \frac{1}{(\text{OH})^-}$$

Muestras de salmuera, que deben tomarse para el control del proceso-electrolítico.

1.- En tanque T - 011.

Tomar muestra para determinar, densidad, concentración y temperatura tres veces por turno.

2.- En los tanques T -012a y T - 012b.

Tomar muestra para determinar; calcio, magnesio, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, hidróxidos y fierro. Tres veces por turno.

3.- En el tanque T - 022.

Tomar muestra para determinar; cloro libre. Tres veces por turno.

4.- En el tanque T - 024.

Tomar muestra para determinar; ácido clorhídrico, hipocloros, cloratos y acidez. Tres veces por turno.

5.- En tanque T - 029.

Tomar muestra para determinar; cloro libre e hidróxido de sodio. Tres veces por turno.

CAPITULO III.

DESCRIPCION DE LAS RESISTENCIAS Y  
CONTROL DE ESTAS PARA OBTENER UN  
MAYOR RENDIMIENTO EN LA DESCOMPO-  
SICION ELECTROLITICA.

### III.- DESCRIPCION DE LAS RESISTENCIAS Y CONTROL DE ESTAS.

Teóricamente 96500 coulombs. producen un eq. gr. de cualquier sustancia; por lo tanto 1000 Amp.hr. producirán:

$$(1000 \text{ Amp. hr.})(3600 \text{ seg./hr.}) = 3,600,000 \text{ Amp. seg.}$$

$$\underline{(3,600,000 \text{ coulomb}) (35.5 \text{ g.})} = 1.3244 \text{ Kg. de cloro.}$$

96,500 coulombs.

$$\underline{(3,600,000 \text{ coulomb}) (40 \text{ g.})} = 1.4922 \text{ Kg. de sosa.}$$

96,500 coulombs.

En la práctica nunca se alcanzan dichas cantidades por pérdidas de corriente, en el proceso.

De acuerdo con la ley de ohm la diferencia de potencial es directamente proporcional a la resistencia.

$$E = I R$$

Por lo que la diferencia de potencial disminuira al disminuir la resistencia.

En una celda electrolítica la resistencia eléctrica la forman básicamente tres tipos de resistencias:

- 1.- resistencia de los conductores sólidos.
- 2.- Resistencia de los electrodos.
- 3.- Resistencia del electrólito.

Las resistencias presentadas por los conductores y los electrodos -- son constantes; la resistencia del electrólito varía de acuerdo al desgaste sufrido por los ánodos de carbón grafitado durante la operación normal de las celdas y la temperatura de este.

La resistencia de los conductores sólidos se determina de la ecuación:

$$R = L/A \times \mathcal{L} \\ = (\text{cm}/\text{cm}^2) (\text{ohm cm.}) = \text{ohms.}$$

Donde:

R = Resistencia en ohms.

L = Longitud del conductor en cm.

A = Area de la sección transversal del conductor.

$\mathcal{L}$  = Resistencia específica o resistividad del material en ohm cm.

Pero como generalmente, se cuentan con datos de  $\mathcal{L}$  a temp. de 20 o 25 grados centígrados:

$$\begin{aligned} \epsilon &= \epsilon_0 ( 1 + \alpha x T - T_0 ) \\ &= \text{ohm.cm.} ( 1 + 1/^\circ\text{C} x ^\circ\text{C} ) = \text{ohm.cm.} \end{aligned}$$

Donde:

$\epsilon_0$  = Resistividad del material a  $T_0$ .

$\alpha$  = Coeficiente térmico de resistencia eléctrica.

La resistencia de los electrodos, en este caso del mercurio y del ~~car~~ bón grafitado se determina de la misma forma que para conductores sólidos.

La resistencia del electrolito desde el punto de vista eléctrico puede considerarse de manera semejante a como se hizo con los sistemas sólidos:

$$R = L/A \times \epsilon$$

Como la conductividad o conductancia específica es el inverso de la resistividad:

$$\begin{aligned} C &= 1 / \epsilon \\ &= 1 / \text{ohm.cm.} \end{aligned}$$

Ahora bien, para relacionar  $C$  con las propiedades de una solución electrolítica, consideraremos lo siguiente:

El volumen equivalente,  $V_{eq.}$ , es decir el volumen de solución que -- contiene un equivalente de soluto, medido en  $\text{cm}^3$

La conductancia equivalente o conductividad equivalente,  $\Lambda$ , llamada así comúnmente, se relaciona con  $C$ , de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \Lambda &= C \times V_{eq.} \\ &= (1/\text{ohm.cm}) (\text{cm}^3/\text{eq.}) = \text{cm}^2 / \text{ohm.eq.} \end{aligned}$$

Ya que el volumen equivalente es:

$$V_{eq.} = \frac{\epsilon_s / \text{eq.}}{\text{Densidad}}$$

Por tratarse de un electrolito fuerte, la conductividad equivalente a disolución infinita y finita es esencialmente la misma.

Y la conductividad iónica se define como:

$$\begin{aligned} \Lambda_0 &= \lambda^+ + \lambda^- \\ \Lambda &= \Lambda_{25^\circ\text{C}} ( 1 + \beta \cdot T - T_0 ) \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} C &= \Lambda / V_{eq.} \\ R &= L/A \times 1/C \end{aligned}$$

Donde :

$\lambda_0 = 25^\circ\text{C}$ , conductividad equivalente.

$\lambda_+$  y  $\lambda_-$  = conductividades iónicas equivalentes de aniones y cationes.

$\lambda$  = conductividad equivalente a una temp. determinada.

Como la resistencia presentada por el electrólito, es función de la conductancia, el área y la longitud; el desgaste de los ánodos sería la variable a controlar, por lo que:

El diagrama nos muestra.

1.- La posición relativa del ánodo con respecto al cátodo al empezar a trabajar la celda, a una distancia  $L_1$  la cual debe ser de 1 cm.

2.- Después de un tiempo el ánodo se ha consumido parcialmente y la distancia  $L_2$  es mayor que la distancia  $L_1$ , lo cual implica una resistencia mayor originada por el electrólito, y como la resistencia de un conductor es directamente proporcional a su longitud, se entiende que disminuyendo esta, se disminuye también aquella.

3.- Así pues, el ajuste de los ánodos consiste en volverlos a su posición original. Es decir acercarlos al cátodo hasta alcanzar la distancia original, que sería  $L_3$ .

No todos los ánodos de una celda se desgastan en la misma forma, ya que en la salida de la salmuera de la celda primaria las condiciones -- son más drásticas que en la entrada, pues existe una temperatura mayor de la solución y una conc. menor de la salmuera, originando un desgaste mayor de los ánodos.

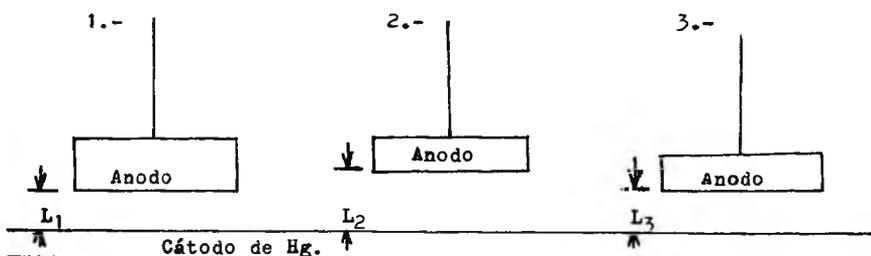
Para ajustar las celdas, lo primero es unificar la carga de corriente. Esto se hace midiendo la intensidad de corriente en cada ánodo, subiendo o bajándolos individualmente.

Cuando la carga queda repartida uniformemente, sabemos que todos los ánodos están a la misma distancia del cátodo, aunque ello no implica -- que estén a la distancia adecuada.

El segundo paso consiste en alcanzar esta distancia; para ello se mide la caída de potencial a través de la celda y se bajan los ánodos en conjunto, hasta obtener el valor deseado; en este caso 3.5 volts.  $\pm$  0.2.

Finalmente se comprueba y corrige una vez más la uniformidad de la carga.

El diagrama siguiente nos ilustra la posición de los ánodos.



L = Distancia entre ánodo y cátodo la cual debe ser de 1 cm. aprox.

#### Método.

Con el amperímetro de gancho se toma la carga de cada ánodo y se anota.

Como cada celda consta de 54 ánodos, podemos decir que por cada ánodo pasa una carga de 1388.89 Amperes, ya que:

Si las celdas están trabajando a 75000 Amp.

$$75000 \text{ Amp.} = 1388.89 \text{ Amp./ánodo.}$$

54 ánodos

Por lo que cada ánodo debe tomar una carga de 1.38889 KAmperes y los ánodos que estén tomando menor carga se bajan hasta alcanzar dicho valor.

Con el voltímetro se mide el voltaje y en caso de no ser el adecuado por medio de los volantes para ajuste general de ánodos, se bajan paulatina y alternadamente; una vuelta del lado de la caja unión o guarda y otra del lado de donde entra la salmuera a la celda, hasta alcanzar el valor deseado de 3.5 volts  $\pm$  0.2.

Cuando el voltaje inicial de una celda es demasiado alto; 5 volts. o más, es conveniente hacer el ajuste en dos o tres días, obteniendo una disminución de 0.3 a 0.5 volts. por día; con el fin de evitar que se quemem las trenzas flexibles de cobre, que conducen la corriente.

Para conseguir un buen funcionamiento de las celdas y reducir el consumo de energía, es necesario considerar lo descrito en este capítulo.

Pues el consumo de energía está dado por la fórmula:

$$W = E.I. \quad \text{o sea} \quad P = V.I.$$

Donde:

W = P = Potencia expresada en watta.

E = V = Diferencia de potencial expresado en volts.

I = Intensidad de corriente o carga expresada en Amp. o Amp.seg. respectivamente.

Como las celdas trabajan a carga constante;  $i = 75000$  Amp. la disminución de consumo de energía se consigue disminuyendo el voltaje en los ánodos y por consiguiente en la celda.

#### Eficiencia de la corriente.

La eficiencia de la corriente se define como la razón entre la cantidad de producto obtenida y la cantidad teórica, expresada generalmente en por ciento. Dicha eficiencia es aplicada a celdas, en función de la sosa obtenida, por su mayor facilidad de medir los parámetros de este producto.

Por lo tanto la eficiencia de corriente esta dada por la ecuación:

$$\% n_I = \frac{\text{Kg. NaOH obtenidos.} \times 100}{\text{Kg. NaOH teóricos.}}$$

Las eficiencias de corriente no son del 100 % debido a que existen - pérdidas de corriente por las siguientes causas: fugas de corriente en aisladores; reacciones secundarias en las soluciones; reacciones secundarias en los electrodos; y la disminución del producto en las operaciones subsiguientes, desde la formación de este en los electrodos hasta su envase final.

#### Eficiencia de energía.

El potencial teórico de descomposición de la solución de cloruro de sodio es de 3.125 volts por ánodo. Pero en la práctica se obtiene la eficiencia de energía de todas las celdas multiplicando por 2.3, la eficiencia de la corriente expresada en % y dividiendo el producto por el voltaje medio de operación de las celdas

$$\% n_E = \frac{2.3 (n_I) (100)}{\bar{V} \text{ celdas.}}$$

Producción por kilowatt-hr.

Desde el punto de vista de la operación práctica en las plantas de sosa y cloro, la producción por kilowatt-hr. es el factor más significativo, pues nos indica el costo de la energía consumida en el proceso.

Cálculo de las resistencias en las celdas electrolíticas.

Resistencia del cátodo de mercurio.

Datos.

$$\epsilon_0 = 1 \times 10^{-6} \text{ ohm.m.}$$

$$\alpha_0 = 1 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C.}$$

$$L = 9.16 \text{ m.}$$

$$A = 14.656 \text{ m}^2$$

$$\epsilon = 1 \times 10^{-6} \text{ ohm.m.} (1 + 1.82 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C} \times 70 - 20 \text{ } ^\circ\text{C}) = 1.0091 \times 10^{-6} \text{ ohm.m.}$$

$$R = 9.16 \text{ m.} / 14.656 \text{ m}^2 (1.0091 \times 10^{-6} \text{ ohm.m.}) = 6.3 \times 10^{-7} \text{ ohms.}$$

Resistencia del ánodo de carbón grafitado.

Datos.

$$\epsilon_0 = 2.756 \times 10^{-6} \text{ ohm.m.}$$

$$\alpha_0 = 1.3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C.}$$

$$L = 9.0 \text{ m.}$$

$$A = 13.5 \text{ m}^2$$

$$\epsilon = 2.756 \times 10^{-6} \text{ ohm.m.} (1 + 1.3 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \times 70 - 20 \text{ } ^\circ\text{C}) = 2.756 \times 10^{-6} \text{ ohm.m.}$$

$$R = 9 \text{ m.} / 13.5 \text{ m}^2 (2.756 \times 10^{-6} \text{ ohm.m.}) = 1.837 \times 10^{-6} \text{ ohms.}$$

Resistencia de los conductores.

Datos.

Varillas de cobre = 54

Long. de varilla = 35 cm.

Long. total = 18.9 m.

Diámetro vástago = 2.5 cm.

Área vástago =  $0.0284 \text{ m}^2$

Área total =  $1.485 \text{ m}^2$

Barras de aluminio = 9

Long. de barra = 0.8 m.

Long. total = 7.2 m.

Área de barra =  $0.08 \text{ m}^2$

Área total =  $0.72 \text{ m}^2$

Trenzas de cobre = 54

Long. trenza = 45 cm.

Long. total = 24.3 m .  
 Diámetro trenza = 2.0 cm.  
 Area de trenza = 0.0289 m <sup>2</sup>  
 Area total = 1.527 m <sup>2</sup>  
 ρ<sub>0</sub> cobre = 1.7 x 10<sup>-8</sup> ohm.m.  
 α cobre = 3.9 x 10<sup>-3</sup> /°C  
 ρ<sub>0</sub> aluminio = 2.8 x 10<sup>-8</sup> ohm.m.  
 α aluminio = 3.9 x 10<sup>-3</sup> /°C.

Resistencia de vastagos.

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} &= 1.7 \times 10^{-8} \text{ ohm.m.} (1 + 3.9 \times 10^{-3} \times 40 - 20) \doteq 1.8326 \times 10^{-8} \text{ ohm.m.} \\
 R &= 18.9 \text{ m} / 1.485 \text{ m}^2 (1.8326 \times 10^{-8} \text{ ohm.m.}) = 2.332 \times 10^{-7} \text{ ohm.}
 \end{aligned}$$

Resistencia de barras de aluminio.

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} &= 2.8 \times 10^{-8} \text{ ohm.m.} (1 + 3.9 \times 10^{-3} \times 40 - 20) = 3.0184 \times 10^{-8} \text{ ohm.m.} \\
 R &= 7.2 \text{ m} / 0.72 \text{ m}^2 (3.0184 \times 10^{-8} \text{ ohm.m.}) = 3.018 \times 10^{-7} \text{ ohm.}
 \end{aligned}$$

Resistencia de las trenzas de cobre.

$$R = 24.3 \text{ m} / 1.527 \text{ m}^2 (1.8326 \times 10^{-8} \text{ ohm.m.}) = 2.916 \times 10^{-7} \text{ ohm.}$$

Resistencia del electrólito.

Datos.

$$C = 5.34 / \text{ohm.cm.}$$

$$\mathcal{L} = 0.1872 \text{ ohm.cm.}$$

$$R = 1 \text{ cm.} / 135,000 \text{ cm}^2 (0.1872 \text{ ohm.cm.}) = 1.386 \times 10^{-6} \text{ ohm.}$$

Resistencia total.

$$R_t = R. \text{ electrodos} + R. \text{ conductores} + R. \text{ electrólito}$$

$$R_t = (0.63 + 1.837 + 0.2332 + 0.3018 + 0.2916 + 1.386) \times 10^{-6} \text{ ohm.}$$

$$R_t = 4.6796 \times 10^{-6} \text{ ohm.}$$

De acuerdo con la ley de ohm.  $V = R \times I$

$$V = (4.6796 \times 10^{-6} \text{ ohm.}) (75000 \text{ Amp.}) = 0.35 \text{ volts.}$$

Ello implica que el voltaje total de celda será igual a el voltaje de descomposición de la solución electrolítica, más el voltaje, ocasionado por las resistencias calculadas.

C A P I T U L O   I V .

D I A G R A M A S   D E   F L U J O   D E L   P R O C E S O .

SOLO LECTURA

#### IV.-D I A G R A M A S D E F L U J O D E L P R O C E S O .

Un diagrama de flujo es la representación gráfica de un proceso de terminado.

En la fabricación de la sosa y cloro, los diagramas de flujo se -- dividiran en 5 etapas.

Cada etapa muestra el equipo, instrumentos de control, accesorios, válvulas y líneas de flujo para dicho proceso.

Primera etapa.

Saturación de la salmuera.

Segunda etapa.

Tratamiento de la salmuera.

Tercera etapa.

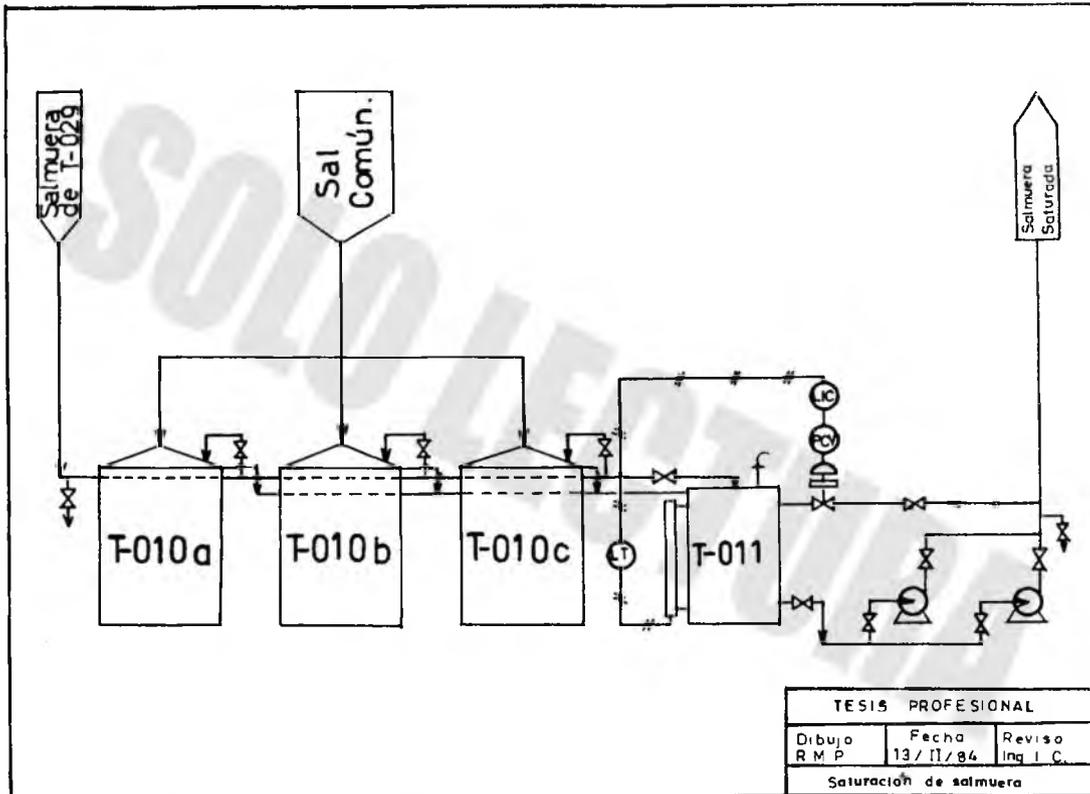
Filtración de la salmuera.

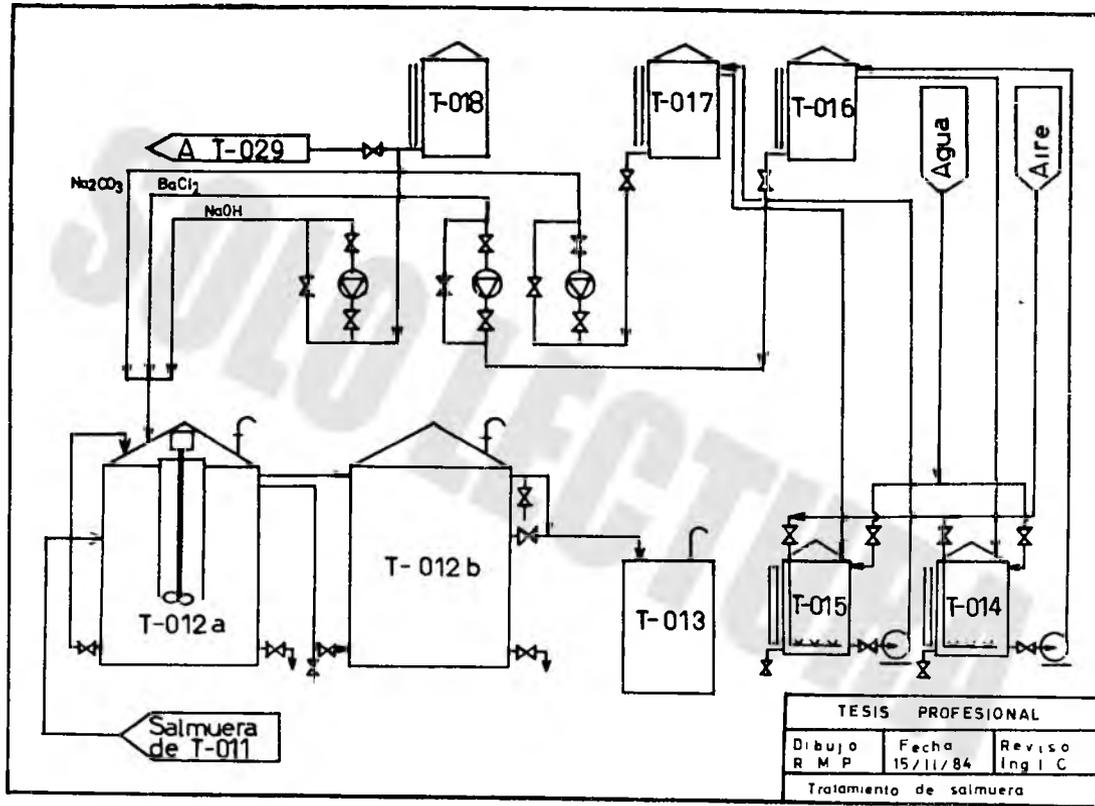
Cuarta etapa.

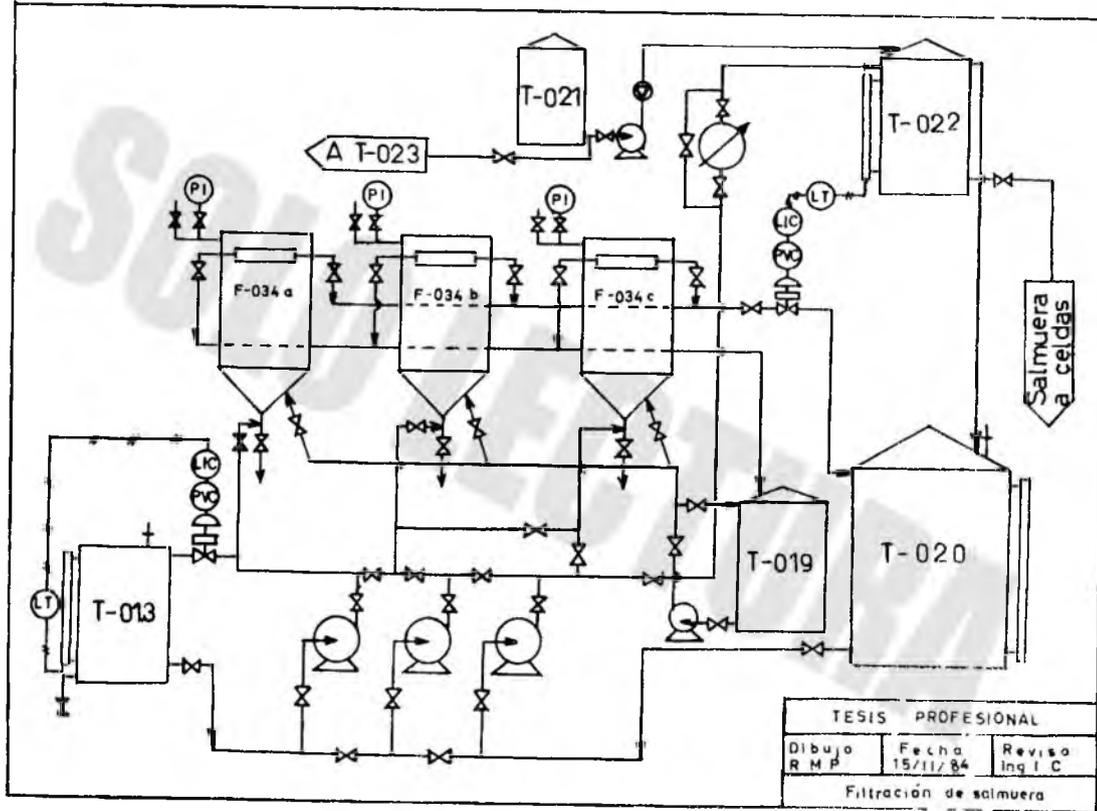
Descomposición electrolítica en las celdas.

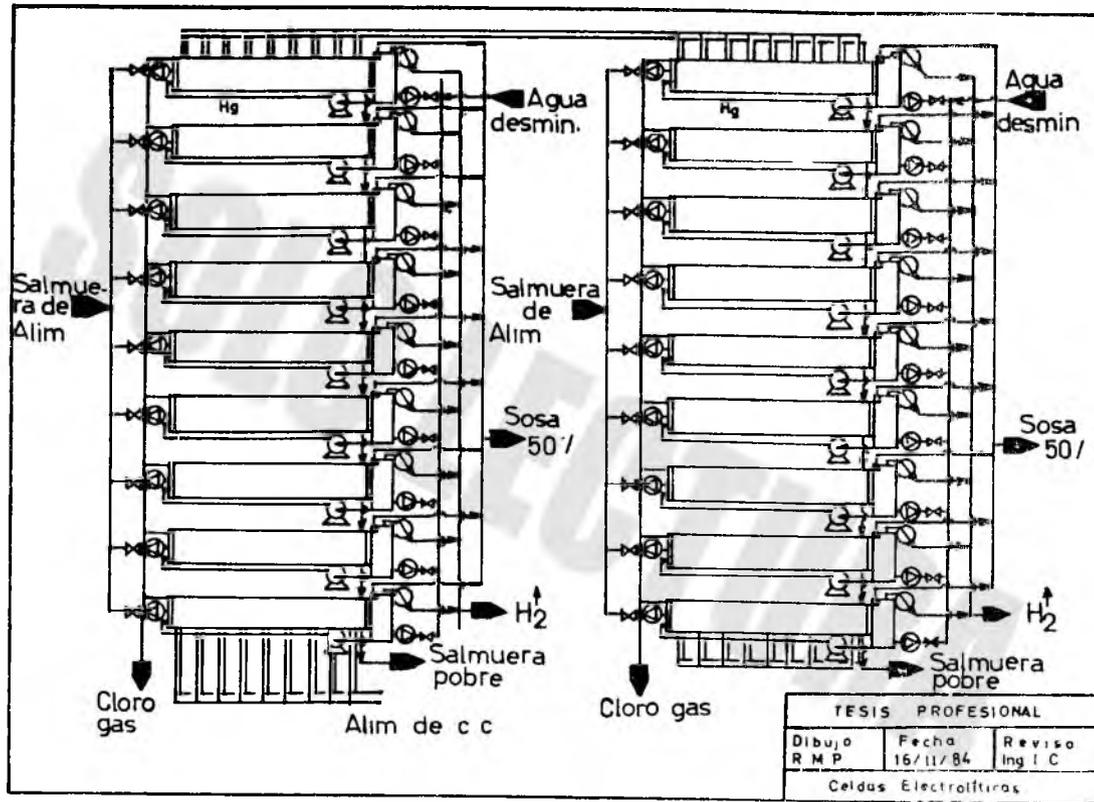
Quinta etapa.

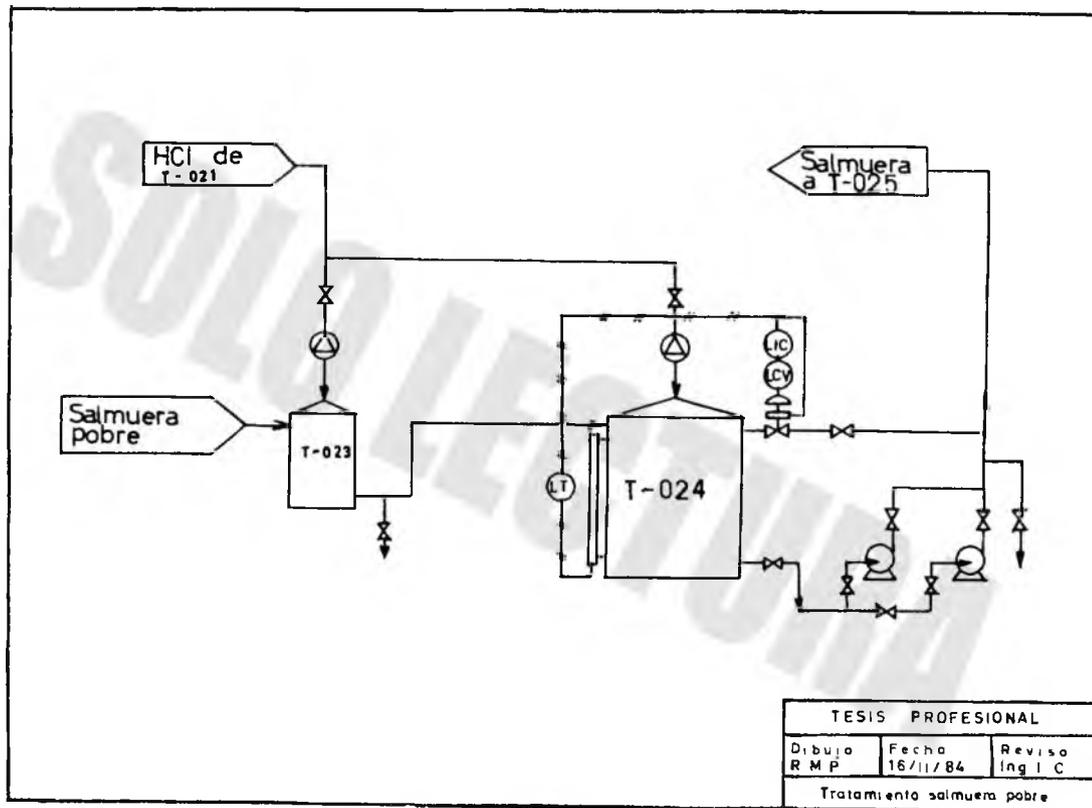
Tratamiento de la salmuera pobre.

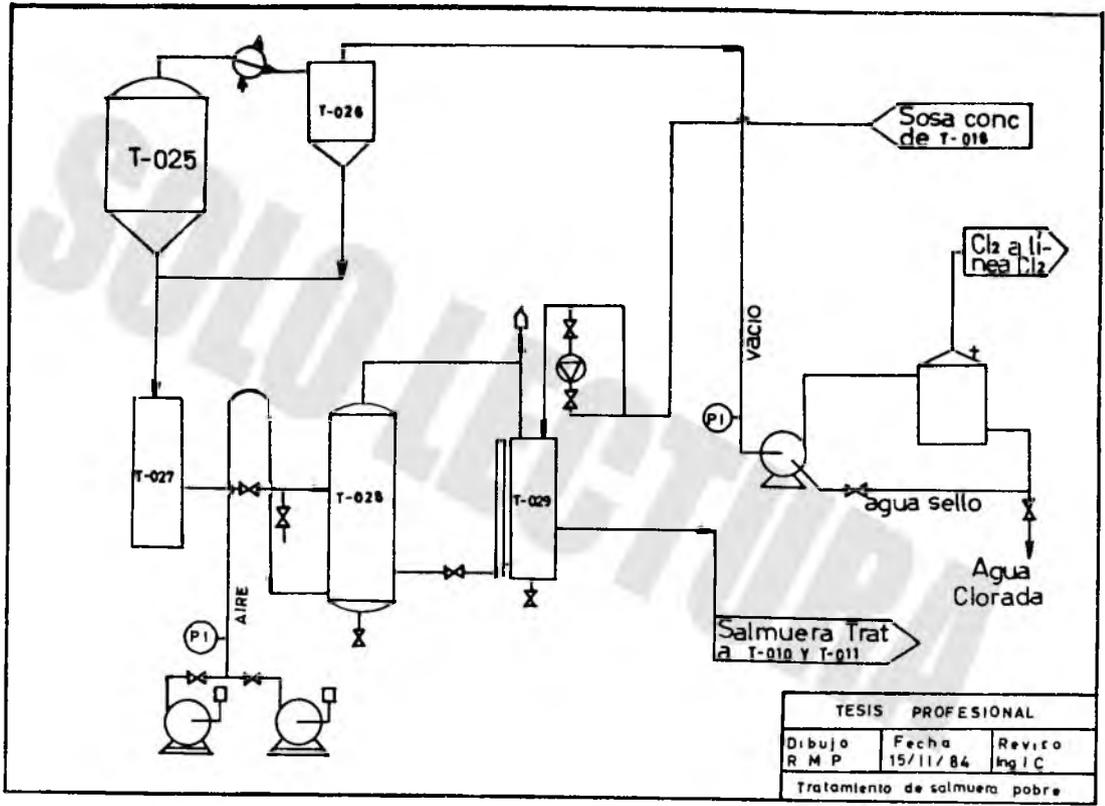












TESIS PROFESIONAL		
Dibujo R M P	Fecha 15/11/ 84	Reviso Ing I C
Tratamiento de salmuera pobre		

CAPITULO V.

BALANCE DE MATERIA.

SOLO LECTURA

## V.- BALANCE DE MATERIA.

El balance de materia para la obtención de sosa y cloro empieza en los tanques saturadores de salmuera.

### Datos.

Capacidad de tanques	= 55000 litros.
Conc. de salmuera	= 310 g ./l .
Densidad a 20°C	= 1.185 g ./cm <sup>3</sup>
Densidad, NaCl puro	= 2.163 g ./cm <sup>3</sup>
Densidad, H <sub>2</sub> O	= 1.000 g ./cm <sup>3</sup>
PM. NaCl	= 58.5 g ./g .mol.
PM. H <sub>2</sub> O	= 18.0 g ./g .mol.
Base de cálculo	= 1000 cm <sup>3</sup>

Partiendo de esta base calculamos el peso total de los salmuera a - 310 g ./l .

$$\text{Peso total} = (\text{densidad}) (\text{volumen}) \\ = (1.185 \text{ g ./cm}^3)(1000 \text{ cm}^3) = 1185 \text{ g . de solución.}$$

$$(1185 - 310) = 875 \text{ g . de agua.}$$

NaCl = 310 g .	26.16	% peso.
H <sub>2</sub> O = <u>875 g .</u>	<u>73.84</u>	% peso.
Total=1185 g .	100.00	%

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 875 \text{ g ./ (1g ./cm}^3) = 875 \text{ cm}^3 \quad 85.93 \text{ \% volumen.}$$

$$V_{\text{NaCl}} = 310 \text{ g ./ (2,163 )} = \frac{143.32}{1018.32 \text{ cm}^3} \quad \frac{14.07}{100.00} \text{ \% volumen.}$$

Volumen de agua en el tanque.

$$V = 55000 \text{ l . ( 85.93) / 100} = 47,261 \text{ litros de agua.}$$

$$= \underline{7,739} \text{ litros de sal en grano.}$$

$$\text{Total} = 55,000 \text{ litros.}$$

$$(7,739 \text{ l .})(2.163 \text{ Kg./l .}) = 16,739.5 \text{ Kg. de NaCl.}$$

$$= 47,261.0 \text{ Kg. de agua.}$$

Por lo tanto se requieren 16,739.5 Kg. de cloruro de sodio para obtener una solución de 310 g ./l . a una concentración de 26.16 % en peso

A continuación haremos el balance de la salmuera de salida en las celdas; siendo esta la que llega nuevamente a los saturadores y al tanque T-011.

Balance de la salmuera a la entrada de celdas y a la salida de estas  
Salmuera de llegada a las celdas:

Datos.

Conc. de la salmuera = 310 g ./l .  
Densidad a 50°C = 1.180 g ./cm<sup>3</sup>  
Base de cálculo = 1000 cm<sup>3</sup>  
peso total = 1180 g .

NaCl = 310 g . 26.27 % peso.  
H<sub>2</sub>O = 870 g . 73.73 % peso.  
1180 g . 100.00 %

Salmuera de salida de las celdas:

Conc. de la salmuera = 270 g . /l .  
Densidad a 80°C = 1.140 gr./cm<sup>3</sup>  
Base de cálculo = 1000 cm<sup>3</sup>  
peso total = 1140 g .

NaCl = 270 g . 23.68 % peso.  
H<sub>2</sub>O = 870 g . 76.32 % peso.  
1140 g . 100.00 %

Como tenemos una alimentación de 75 lts./min. en cada celda y un tiempo de residencia de la solución de salmuera, de 1.0177 minutos:

Salmuera de entrada = (75 l ./min)(1.0177min.)(1.180Kg/l.) = 90.06Kg

Salmuera de salida = (75 l ./min)(1.0177/min.)(1.140Kg/l.) = 87.01Kg  
3.05Kg

Por lo tanto se descomponen 3.05 Kg. de cloruro de sodio en sus iones por celda, durante el tiempo de residencia de la solución.

Balance del cloruro de sodio que se descompone en la celda electrolítica.

Datos.

PM. 2 NaCl = 117 g ./g .mol.  
PM. 2 Na = 46 g ./g .mol.  
PM. 2 Cl = 71 g ./g .mol.

Cloruro de sodio que se descompone = 40 g .

Gasto de la salmuera = 75 lts./min.  
 Vel. del mercurio = 15 cm./seg.  
 Densidad del Hg a 70°C = 13.424 g./cm<sup>3</sup>  
 Longitud de celda = 9.16 m.  
 Ancho de celda = 1.60 m.  
 Espesor de cátodo Hg. = 3.0 mm.  
 PM. NaOH = 40 g./g.mol.

$g, \text{ mol NaCl} = 40 \text{ g.} / 117 \text{ g.} / \text{g. mol} = 0.3419 \text{ g. mol.}$

Tomando como base los g.mol de 2 mol de cloruro de sodio obtenemos los g. de sus iones.

$2 \text{ Na} = (0.3419 \text{ g. mol.}) (46 \text{ g.} / \text{g. mol}) = 15.73 \text{ g.}$   
 $2 \text{ Cl} = (0.3419 \text{ g. mol.}) (71 \text{ g.} / \text{g. mol}) = \underline{24.27 \text{ g.}}$   
 Total = 40.00 g.

Tiempo de residencia amalgama denotado por t.

$t = (916 \text{ cm.}) (1 \text{ min.}) / (900 \text{ cm.}) = 1.0177 \text{ min.}$

Peso del mercurio dentro de la celda.

$w_{\text{Hg.}} = (\text{densidad}) (\text{volumen})$

$V_{\text{Hg.}} = (9.16 \text{ m.}) (1.6 \text{ m.}) (0.003 \text{ m.}) = 0.043968 \text{ m}^3$

$w_{\text{Hg.}} = (13.424 \text{ Kg./l.}) (0.043968 \text{ l.}) = 590.22 \text{ Kg.}$

$\text{Hg.} = 590.22 \text{ Kg.} \quad 99.80 \text{ \% peso.}$

$2 \text{ Na} = \underline{1.20 \text{ Kg.}} \quad \underline{0.20 \text{ \% peso.}}$

$591.42 \text{ Kg.} \quad 100.00 \text{ \%}$

Esto implica que se tiene una amalgama de 0.20 % de sodio-mercurio, - que se deshace en la celda secundaria. Regresando a la celda primaria - con una conc. menor de .02 %.

$2 \text{ Na} = (75 \text{ l.} / \text{min.}) (15.73 \text{ g.} / \text{l.}) (1.0177 \text{ min.}) = 1200 \text{ g.}$

$2 \text{ Cl} = (75 \text{ l.} / \text{min.}) (24.27 \text{ g.} / \text{l.}) (1.0177 \text{ min.}) = 1852 \text{ g.}$

Siendo esta la cantidad de gramos que se producen de iones sodio y - iones cloro, durante el tiempo de residencia de la solución de salmuera en cada celda.

Balance de la producción de la sosa y cloro.

Datos.

Cloro gaseoso por celda = 1852 g ./min.

Número de celdas = 18.

Turnos por día = 3.

Por celda tendremos:

$\text{Cl}_2(\text{gas}) = (1852 \text{ g ./min})(60 \text{ min.})(8 \text{ hr.}) = 889 \text{ Kg/turno.}$

$= 2667 \text{ Kg./día.}$

Cloro gaseoso = 2667 Kg./día(18) = 48006 Kg./día.

Producción diaria de cloro gaseoso = 48 ton.

Datos.

Sodio por celda = 1200 g ./min.

PM. 2 Na. = 46 g ./g .mol.

PM. 2 NaOH. = 80 g ./g .mol.

PM. 2 H<sub>2</sub>O. = 36 g ./g .mol.

Densidad de sosa 50 % = 1.490 g ./cm<sup>3</sup> a 70°C

Amalgama = 0.20 %.

La reacción que se efectua en la celda de descomposición de la amalgama es:



Por otra parte se sabe que la amalgama regresa a celdas con una concentración del 0.025% máx. por lo tanto:

2 Na = (1200 g ./min.)(60 min./hr.) = 72 Kg./hr.

2 Na retorna = 72 Kg/hr(.025) / .20 = 9 Kg./hr.

2 Na para obtener sosa. = 63 Kg./hr.

Haciendo el balance de acuerdo a la reacción:

Kg. H<sub>2</sub>O = 63 Kg./hr.(36 g ./g .mol.)/46 g ./g .mol. = 49.30 Kg./hr.

Kg. NaOH = 63 Kg./hr.(80 g ./g .mol.)/46 g ./g .mol. = 109.56 Kg./hr.

Por lo que la alimentación del agua para obtener sosa del 50 % es de 49.3 l ./hr.



**Características de una celda de mercurio.**

Voltaje a través de la celda	3.5 ± 0.2 volts.
Intensidad de corriente	75,000 Amperes.
Densidad de corriente en c/ánodo	55.555 Amp./dm <sup>2</sup>
Eficiencia de corriente	97.89 %.
Eficiencia de energía	64.32 %.
Kg. NaOH./ Kwatt-hr. (c.c)	0.395
Duración de los ánodos	300-500 días.
Consumo de grafito	2 Kg./ton. NaOH.
Consumo de mercurio	0.48 Kg./ton. NaOH.
Período medio de operación celda	6-20 meses.

**Cálculos:**

$$\begin{aligned} \text{Area ánodo} &= (0.5)(0.5) = 0.25 \text{ m}^2 \\ &= (25 \text{ dm}^2)(54 \text{ ánodos}) = 1350 \text{ dm}^2 \end{aligned}$$

Densidad de corriente,  $J = I/A$

$$J = 75,000 \text{ Amp.} / 1350 \text{ dm}^2 = 55.55 \text{ Amp./dm}^2$$

Eficiencia de corriente,  $n_I = \text{Kg. NaOHr. (100)} / \text{Kg. NaOst.}$

$$n_I = \frac{109.56 \text{ Kg. (100)}}{75000 \text{ A.hr. (3600 seg/hr)(40 g.)/(96500 coulomb.)}} = 97.89 \%$$

Eficiencia de energía,  $n_E = 2.3 (n_I) / \text{Volt. operación.}$

$$n_E = \frac{2.3 (97.89)}{3.5} = 64.32 \%$$

Potencia,  $P = I.v.$

$$P = 75,000 \text{ Amperes (3.7 volt.)} = 277.5 \text{ Kwatts.}$$

Kg. NaOH / Kwatt-hr. (c.c) = x

$$x = 109.56 \text{ Kg./} 277.5 \text{ Kwatt-hr.} = 0.395$$

CAPITULO VI.

DISEÑO DE EQUIPO.

SULO LECTURA

## VI.- DISEÑO DEL EQUIPO.

### Tanques.

En lo que respecta a tanques, se determinara la forma, capacidades y material de construcción.

Para ello se usaran las especificaciones del código A.S.M.E. La forma más económica para la fabricación de tanques, es la cilíndrica vertical con fondo plano al nivel del terreno.

Para el manejo de la salmuera y sosa usaremos, tanques construidos con placa de acero al carbón, de baja aleación SA-516, grado 70, esfuerzo máximo permisible trabajo de 1232 Kg./cm<sup>2</sup>. Para manejar el HCl se usaran el mismo tipo de placa.

El criterio, para tomar dichas especificaciones fue en base a las propiedades corrosivas de las sustancias y a la resistencia del material, de acuerdo a las condiciones de la solución durante el proceso.

Para calcular el espesor de las paredes, se considerara un factor de eficiencia de 0.80 y una constante por tolerancia de corrosión de 0.065-pulg.

Todos los tanques estarán provistos con los aditamentos necesarios para cumplir con su funcionamiento y reglamentos de seguridad; las conexiones necesarias son principalmente:

Boquilla de salida del fluido.

Boquilla de entrada del fluido.

Boquilla para drenaje o limpieza.

Boquilla para sobreflujo.

Boquilla para venteo.

Boquilla para interconexión con otros tanques

Switchs para indicadores y alarmas.

Registros hombre.

Escalera interna con protección y plataforma.

Escalera externa con protección.

Varillas y conexiones de tierra.

El espesor de los tanques, es decir de la placa de construcción se calcula de acuerdo con la sig. ecuación.

$$e = \frac{P D}{2 \times 0.8 \times S} + c \quad 0 \quad e = \frac{P R}{0.8S - 0.6P} + c$$

Ambas formulas son válidas, para el cálculo de los espesores.

Donde.

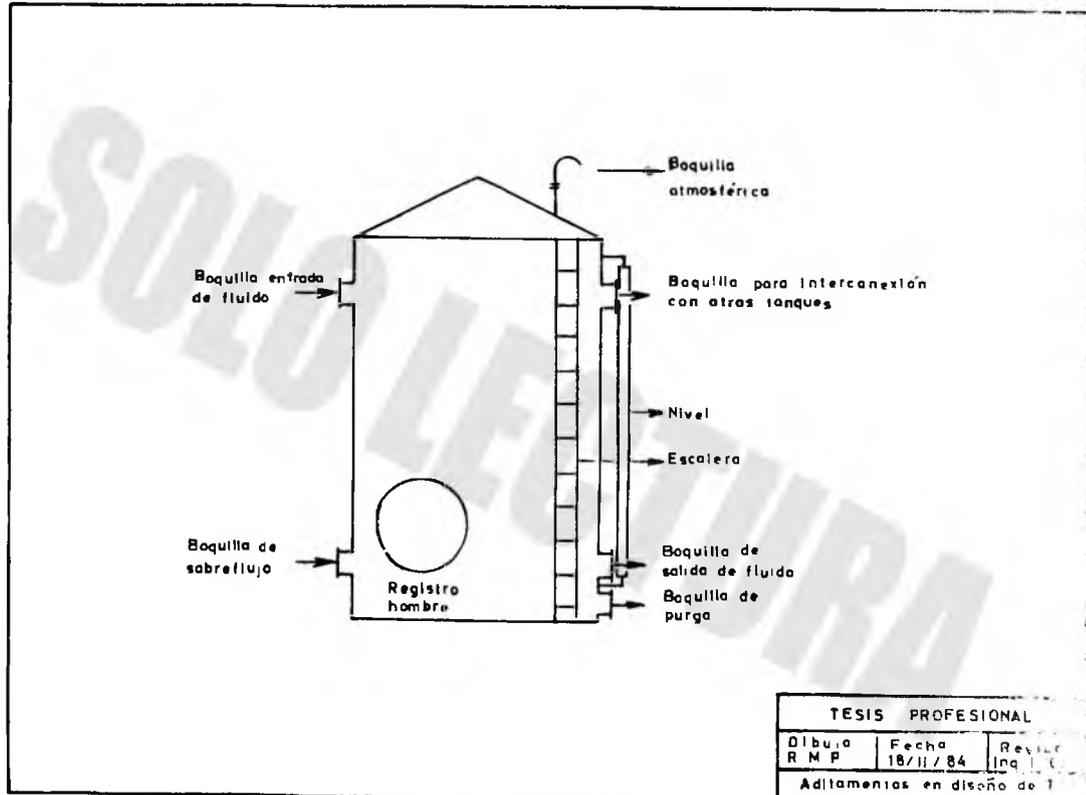
- P = presión ejercida por la solución.
- D = Diámetro del recipiente.
- R = Radio del recipiente.
- S = Esfuerzo máximo permisible de trabajo.
- c = Constante por tolerancia de corrosión.

La presión ejercida sobre la pared se calcula considerando la densidad de la solución y la altura del tanque.

P = Densidad x altura.

La capacidad de los tanques se obtiene en función del gasto utilizado en el proceso, agregando un 10 % de fondo muerto.

SOLO LECTURA



**Tanques saturadores de salmuera.**

Cantidad	= 3
Codificación	= 010a; 010b; 010c.
Material de construcción	= Acero al carbón.
Recubrimiento	= Ebonitado.
Forma	= Cilíndrica.
Tipo	= Atmosférico
Diámetro	= 3.80 m .
Altura	= 4.85 m .
Esfuerzo máx. trabajo	= 1232 Kg./cm <sup>2</sup>
Densidad de salmuera 26.16%	= 1.185 g /cm <sup>3</sup>
Constante por corrosión	= 0.065 pulg.

**Cálculos.**

$$\text{Capacidad} = (3.1416)(r^2)(h) = m^3$$

$$\text{Capacidad} = (3.1416)(1.9 m .)^2(4.85 m .) = 55,000 l .$$

$$\text{Espesor} = PD / 1.6xS + c = \text{pulg.}$$

$$P = (\text{densidad})(\text{altura}). + P. \text{Atm.}$$

$$P = (0.001185 \text{ Kg./cm}^3)(485 \text{ cm.}) + 1.034 \text{ Kg./cm}^2 = 1.609 \text{ Kg./cm}^2$$

$$e \text{ m.} = \frac{1.509 \text{ Kg./cm}^2(380 \text{ cm.})}{1.6 (1232 \text{ Kg/cm}^2)} / 2.54 + 0.065 \text{ pulg.} = 0.1861 \text{ pulg.}$$

$$e \text{ comercial.} = 3/16 \text{ pulg.}$$

**Tanque receptor de salmuera concentrada.**

Cantidad	= 1
Codificación	= 011
Material de construcción	= Acero al carbón.
Recubrimiento	= Ebonitado.
Forma	= Cilíndrica.
Tipo	= Atmosférico.
Diámetro	= 2.50 m .
Altura	= 2.50 m .
Esfuerzo máx. trabajo	= 1232 Kg./cm <sup>2</sup>
Densidad de salmuera 30°C	= 1.184 g ./cm <sup>3</sup>
Constante por corrosión	= 0.065 pulg.

**Cálculos.**

$$\begin{aligned} \text{Capacidad} &= (3.1416)(1.25 \text{ m.})^2(2.5 \text{ m.}) &= 12,270 \text{ l.} \\ P &= 0.001184 \text{ Kg./cm}^3 (250 \text{ cm.}) + 1.034 \text{ Kg./cm}^2 &= 1.330 \text{ Kg./cm}^2 \\ e \text{ mín.} &= \frac{1.330 \text{ Kg./cm}^2 (250 \text{ cm.})}{1.6 (1232 \text{ Kg./cm}^2)} / 2.54 + 0.065 &= 0.1314 \text{ pulg.} \\ e \text{ comercial.} & &= 9/64 \text{ pulg.} \end{aligned}$$

**Tanques de tratamiento de salmuera.**

Cantidad	= 2
Codificación	= 012a y 012b.
Material de construcción	= Acero al carbón.
Recubrimiento	= Ebonitado.
Forma	= Cilíndrica.
Tipo	= Atmosférico.
Diámetro	= 5.2 m .
Altura	= 7.0 m .
Esfuerzo máx. trabajo	= 1232 Kg./cm <sup>2</sup>
Densidad de salmuera	= 1.184 g ./cm <sup>3</sup>
Constante por corrosión.	= 0.065 pulg.

**Cálculos.**

$$\begin{aligned} \text{Capacidad} &= (3.1416)(2.6 \text{ m.})^2(7 \text{ m.}) &= 148,660 \text{ l.} \\ P &= (0.001184 \text{ Kg./cm}^3)(700 \text{ cm.}) + 1.034 \text{ Kg./cm}^2 &= 1.863 \text{ Kg./cm}^2 \\ e \text{ mín.} &= \frac{1.863 \text{ Kg./cm}^2 (520 \text{ cm.})}{1.6 (1232 \text{ Kg./cm}^2)} / 2.54 + 0.065 &= 0.2585 \text{ pulg.} \\ e \text{ comercial.} & &= 17/64 \text{ pulg.} \end{aligned}$$

**Tanque receptor de salmuera tratada.**

Cantidad	= 1
Codificación	= 013
Material de construcción	= Acero al carbón.
Recubrimiento	= Ebonitado.
Forma	= Cilíndrica
Tipo	= Atmosférico.
Diámetro	= 2.50 m .
Altura	= 2.50 m .
Esfuerzo máx. trabajo.	= 1232 Kg./cm <sup>2</sup>
e comercial	= 9/64 pulg.

Tanques de mezclado de cloruro de bario y carbonato de sodio.

Cantidad	= 2
Codificación	= 014 y 015 respectivamente.
Material de construcción	= Acero al carbón.
Recubrimiento	= Ninguno.
Forma	= Cilíndrica.
Tipo	= Atmosférico
Diámetro	= 2.0 m .
Altura	= 2.0 m .
esfuerzo máx. trabajo	= 1232 Kg./cm <sup>2</sup>
Densidad del cloruro de Bario	= 1.1128 g /cm <sup>3</sup>
Densidad del Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 20°C.	= 1.1463 g /cm <sup>3</sup>
Constante de corrosión	= 0.065 pulg.

Cálculos.

Capacidad = (3.1416)(1 m ) <sup>2</sup> (2m .)	= 6,280 l .
P = (0.0011128 Kg./cm <sup>2</sup> )(200 cm.) + 1.034 Kg./cm <sup>2</sup>	= 1.256 Kg./cm <sup>2</sup>
e mín. = $\frac{1.256 \text{ Kg./cm}^2 (200 \text{ cm.})}{1.6 (1232 \text{ Kg./cm}^2)} / 2.54 + 0.065$	= 0.1152 pulg.
e comercial. para el T-014	= 1/8 pulg.
P = (0.0011463 Kg./cm <sup>2</sup> )(200 cm.) + 1.034 Kg./cm <sup>2</sup>	= 1.263 Kg./cm <sup>2</sup>
e mín. = $\frac{1.263 \text{ Kg./cm}^2 (200 \text{ cm.})}{1.6 (1232 \text{ Kg./cm}^2)} / 2.54 + 0.065$	= 0.1154 pulg.
e comercial para el T-015	= 1/8 pulg.

Tanques elevados receptores de cloruro de bario y carbonato de sodio. Codificación; 016 y 017 respectivamente, e iguales a los anteriores -- es decir, tienen las mismas especificaciones que los tanques T-014 y -- T-015.

Tanque para sosa al 50 %.

Cantidad	= 1
Codificación	= 018
Material de construcción	= Acero al carbón.
Recubrimiento	= Bonitado.
Forma	= Cilíndrica.
Tipo	= Atmosférico.

Diámetro = 2.0 m .  
 Altura = 2.0 m .  
 Esfuerzo máx. trabajo = 1232 Kg./cm<sup>2</sup>  
 Densidad de sosa 20°C = 1.5253 Kg/l .  
 Constante por corrosión = 0.065 pulg.

**Cálculos.**

Capacidad = 6,280 l .  
 $P = (0.0015253 \text{ Kg./cm}^3)(200 \text{ cm.}) + 1.054 \text{ Kg/cm}^2 = 1.339 \text{ Kg./cm}^2$   
 $e \text{ mín.} = \frac{1.339 \text{ Kg./cm}^2 (200 \text{ cm.})}{1.6 (1232 \text{ Kg/cm}^2)} / 2.54 + 0.065 = 0.1185 \text{ pulg.}$   
 e comercial = 1/8 pulg.

**Tanque para preparar la solución de precapa en filtros.**

Cantidad = 1  
 Codificación = 019  
 Material de construcción = Acero al carbón.  
 Recubrimiento = Ebonitado.  
 Forma = Cilíndrica.  
 Tipo = Atmosférico.  
 Diámetro = 2.50 m .  
 Altura = 2.50 m .  
 Esfuerzo máx. trabajo. = 1232 Kg./cm<sup>2</sup>

**Cálculos.**

Capacidad = 12,270 l .  
 e comercial = 9/64 pulg.

**Tanque de almacenamiento de salmuera filtrada.**

Cantidad = 1  
 Codificación. = 020  
 Material de construcción = Acero al carbón.  
 Recubrimiento = Ebonitado.  
 Forma = Cilíndrica.  
 Tipo = Atmosférico.  
 Diámetro = 5.2 m .  
 Altura = 7.0 m .  
 Esfuerzo máx. trabajo = 1232 Kg/cm<sup>2</sup>

Cálculos.  
Capacidad = 148,660 l .  
e comercial = 17/64 pulg.

Tanque de almacenamiento de HCL al 32 %

Cantidad = 1  
Codificación = 021.  
Material de construcción = Acero al carbón.  
Recubrimiento = Ebonitado.  
Forma = Cilíndrica.  
Tipo = Atmosférico.  
Diámetro = 2.0 m .  
Altura = 2.0 m .  
Esfuerzo máx. trabajo. = 1232 kg./cm<sup>2</sup>  
Densidad a 20°C = 1.1593 g /cm<sup>3</sup>  
Constante por corrosión = 0.065 pulg.

Cálculos.  
Capacidad = 6,280 l .  
e comercial = 1/8 pulg.

Tanque elevado receptor de salmuera, para cloración.

Cantidad = 1  
Codificación = 022  
Material de construcción = Acero al carbón.  
Recubrimiento = Ebonitado.  
Forma = Cilíndrica.  
Tipo = Atmosférico.  
Diámetro = 2.5 m .  
Altura = 2.5 m .  
Esfuerzo máx. trabajo = 1232 kg./cm<sup>2</sup>

Cálculos.  
Capacidad = 12,270 l .  
e comercial = 9/64 pulg.

Tanque de acidificación de salmuera pobre a la salida de celdas.

Cantidad = 1  
Codificación = 023.  
Material de construcción = Acero al carbón.  
Recubrimiento = Ebonitado.  
Forma = Cilíndrica.  
Tipo = Atmosférico.  
Diámetro = 0.8 m .  
Altura = 2.5 m .  
Esfuerzo máx. trabajo = 1232 Kg./cm<sup>2</sup>  
Densidad de solución = 1.140 g /cm<sup>3</sup>  
Constante por corrosión = 0.065 pulg.

Cálculos.

Capacidad =  $(3.1416)(0.4 \text{ m.})^2(2.5 \text{ m.})$  = 1,260 l .  
 $P = (0.00114 \text{ kg./cm.}^3)(250 \text{ cm.}) + 1.034 \text{ kg./cm.}^2$  = 1.319 kg./cm<sup>2</sup>  
 $e \text{ mín.} = \frac{1.319 \text{ kg./cm.}^2 (80 \text{ cm.})}{1.6 (1232 \text{ Kg./cm.}^2)} / 2.54 + 0.065$  = 0.086 pulg.  
 $e \text{ comercial}$  = 3/32 pulg.

Tanque de alimentación de salmuera pobre acidificada.

Cantidad = 1  
Codificación = 024  
Material de construcción = Acero al carbón.  
Recubrimiento = Ebonitado.  
Forma = Cilíndrica,  
Tipo = Atmosférico.  
Diámetro = 2.0 m .  
Altura = 6.5 m .  
Esfuerzo máx. trabajo = 1232 kg./cm<sup>2</sup>

Cálculos.

Capacidad =  $(3.1416)(1 \text{ m.})^2(6.5 \text{ m.})$  = 20,420 l .  
 $e \text{ mín.} = \frac{1.319 \text{ Kg./cm.}^2 (200 \text{ cm.})}{1.6 (1232 \text{ Kg/cm.}^2)} / 2.54 + 0.065$  = 0.1177 pulg.  
 $e \text{ comercial}$  = 1/8 pulg.

Tanque de vacío receptor de salmuera acidificada.

Cantidad	= 1
Codificación	= 025
Material de construcción	= Acero al carbón.
Recubrimiento	= Ebonitado.
Forma	= Cilíndrica.
Tipo	= Cerrado.
Diámetro	= 2.6 m .
Altura	= 3 m .
Esfuerzo máx. trabajo	= 1232 Kg./cm <sup>2</sup>
Constante por corrosión	= 0.065 pulg.

Cálculos.

Area de la parte recta del cilindro.

$$A = (3.1416)(1.3 \text{ m .})^2 = 5.31 \text{ m}^2$$

Area de la parte conica.

$$A = (3.1416)(1.3 \text{ m .})^2 (45^\circ) / 360^\circ = 0.66 \text{ m}^2$$

$$\text{Capacidad} = (5.31 \text{ m}^2)(3 \text{ m .}) + (.66 \text{ m}^2)(0.8 \text{ m .}) = 16,460 \text{ l .}$$

$$P = 0.342 \text{ Kg./cm}^2 + 0.15 \text{ Kg./cm}^2 + 1.034 \text{ Kg./cm}^2 = 1.526 \text{ Kg./cm}^2$$

$$e \text{ mín.} = \frac{1.526 \text{ Kg./cm}^2 (130 \text{ cm.})}{2(0.8)(1232 \text{ Kg./cm}^2) - 0.2(1.526)} / 2.54 + c = 0.1046 \text{ pulg.}$$

$$e \text{ comercial} = 7/64 \text{ pulg.}$$

Tanque de sello degasificador de vacío.

Cantidad	= 1
Codificación	= 026
Material de construcción	= Acero al carbón.
Recubrimiento	= Ebonitado.
Forma	= Cilíndrica.
Tipo	= Cerrado.
Diámetro	= 0.6 m .
Altura	= 1.30 m .
Esfuerzo máx. trabajo	= 1232 Kg./cm <sup>2</sup>
Densidad del cloro gas	= 3.22 g . / l .
Constante por corrosión	= 0.065 pulg.

Cálculos.

Capacidad =  $3.1416(0.3 \text{ m.})^2(1.3 \text{ m.}) + 3.1416(0.3 \text{ m.})^2(450/360^\circ)(.2\text{m})$   
 Capacidad = 400 l .  
 e mín. =  $\frac{1.526 \text{ Kg./cm}^2 (30 \text{ cm.})}{1.6(1232 \text{ Kg./cm}^2) - 0.2(1.526)}$  / 2.54 + c = 0.0742 pulg.  
 e comercial = 5/64 pulg.

**Tanque colchón de salmuera clorada.**

Cantidad	= 1
Codificación	= 027
Material de construcción	= Acero al carbón.
Recubrimiento	= Ebonitado.
Forma	= Cilíndrica.
Tipo	= Atmosferico.
Diámetro	= 1 m .
Altura	= 3.5 m .
Esfuerzo máx. de trabajo	= 1232 Kg./cm <sup>2</sup>
Densidad de solución	= 1.184 gr/cm <sup>3</sup>
Constante por corrosión	= 0.065 pulg.

**Cálculos.**

Capacidad =  $(3.1416)(0.5 \text{ m.})^2(3.5 \text{ m.})$  = 2,750 l .  
 e mín. =  $\frac{1.45 \text{ Kg./cm}^2(100 \text{ cm.})}{1.6 (1232 \text{ Kg./cm}^2)}$  / 2.54 + 0.065 = 0.0939 pulg.  
 e comercial = 7/64 pulg.

**Tanque de desgasificación con aire.**

Cantidad	= 1
Codificación	= 028.
Material de construcción	= Acero al carbón.
Recubrimiento	= Ebonitado.
Forma	= Cilíndrica.
Tipo	= Cerrado.
Diámetro	= 1 m .
Altura	= 6 m .
Esfuerzo máx. trabajo	= 1232 Kg./cm <sup>2</sup>
Constante por corrosión	= 0.065 pulg.

**Cálculos.**

$$\begin{aligned} \text{Capacidad} &= (3.1416)(0.5 \text{ m.})^2(6 \text{ m.}) &&= 4.710 \text{ l.} \\ P &= (0.001184 \text{ Kg./cm}^3)(600 \text{ cm.}) + 3.5 \text{ Kg./cm}^2 &&= 4.210 \text{ Kg./cm}^2 \\ e \text{ mín.} &= \frac{4.210 \text{ Kg./cm}^2(50 \text{ cm.})}{1.6(1232 \text{ Kg./cm}^2) - 0.2(4.210)} / 2.54 + 0.065 &&= 0.1070 \text{ pulg.} \\ e \text{ comercial} &&&= 7/64 \text{ pulg.} \end{aligned}$$

**Tanque de neutralización de salmuera clorada.**

Cantidad	= 1
Codificación	= 029.
Material de construcción	= Acero al carbón.
Recubrimiento	= Ebonitado.
Forma	= Cilíndrica
Tipo	= Atmosférico.
Diámetro	= 0.60 m .
Altura	= 2.60 m .
Esfuerzo máx. trabajo	= 1232 Kg./cm <sup>2</sup>
Constante por corrosión	= 0.065 pulg.

**Cálculos**

$$\begin{aligned} \text{Capacidad} &= (3.1416)(0.3 \text{ m.})^2(2.6 \text{ m.}) &&= 735 \text{ l.} \\ P &= (0.001184 \text{ Kg./cm}^3)(260 \text{ cm.}) + 1.034 \text{ Kg./cm}^2 &&= 1.342 \text{ Kg./cm}^2 \\ e \text{ mín.} &= \frac{1.342 \text{ Kg./cm}^2(60 \text{ cm.})}{1.6(1232 \text{ Kg./cm}^2)} / 2.54 + 0.065 &&= 0.0810 \text{ pulg.} \\ e \text{ comercial} &&&= 3/32 \text{ pulg.} \end{aligned}$$

El espesor de los tanques cerrados se determina por medio de la fórmula siguiente:

$$e \text{ mín} = \frac{P R}{2SE - 0.2P} + c$$

### Bombas.

El bombeo puede definirse como la adición de energía a un fluido - para moverse de un punto a otro.

Porque la energía es capacidad para hacer trabajo, transmitida al fluido que se quiere mover.

Una bomba centrífuga es una máquina que consiste de un impulsor dentro de una cubierta o carcasa; siendo el impulsor el que transmite la fuerza centrífuga al fluido.

Los datos necesarios para la selección de una bomba son:

Naturaleza de los líquidos que se van a bombear

Presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.

Densidad o peso específico.

Condiciones de viscosidad.

Sólidos disueltos en la solución.

Análisis químicos.

Capacidad requerida de bombeo.

Condiciones de succión.

Condiciones de descarga.

Tipo de servicio; continuo o intermitente.

Instalación de la bomba.

Las pérdidas por fricción, se calcularán a partir de la ecuación de Darcy.

$$h_{fs} = f (L/D)(V^2/2g)$$

Donde.

$h_{fs}$  = Pérdidas por fricción en la tubería.

L = Longitud de la tubería.

D = Diámetro de la tubería.

V = Velocidad del fluido

g = constante de gravedad.

f = factor de fricción de Fanning.

El factor de fricción depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa, para determinarlo graficamente.

$$N_{Re} = \frac{D(V)(densidad)}{Viscosidad}$$

Viscosidad

Para obtener las pérdidas totales se determinan las longitudes equivalentes de válvulas y accesorios.

La velocidad se determina por la ecuación:

$$V = G/A$$

Donde:

G = gasto

A = Area, de tubería.

$$A = 3.1416 (r)^2$$

La carga total Ht, se determina con la siguiente ecuación:

$$H_t = h_d - h_s$$

La carga de descarga se determina con la siguiente ecuación:

$$h_d = D + h_{fs} + h_f$$

La carga de succión se determina con la siguiente ecuación:

$$h_s = S - h_{fs} - h_f.$$

Donde.

h<sub>f</sub> = Perdidas por fricción en los accesorios.

El NPSH, conocido como carga neta de succión positiva se determina

$$NPSH = S + (P_s - P_v) - (h_{fs} + h_f)$$

Donde.

P<sub>s</sub> = Presión de succión

P<sub>v</sub> = Presión de vapor del líquido.

El NPSH disponible es característico del sistema en el que trabaja una bomba centrífuga; y el requerido es una función del diseño de la bomba; por lo que, la carga de succión neta positiva disponible debe ser mayor que la requerida, para que la bomba funcione.

Para determinar la eficiencia de la bomba, es necesario determinar la velocidad específica; que es un número índice sin dimensiones que es numericamente, igual a la velocidad giratoria a la que un modelo exacto teórico de una bomba centrífuga tendría que operar con el objeto de descargar una unidad de capacidad contra una unidad de carga total. Dicho concepto eslabona, los tres factores principales, de las características de funcionamiento del fluido en la bomba, que son carga, gasto y velocidad rotatoria.

$$N_s = n \sqrt{G} / H^{3/4} \quad \text{Adimensional.}$$

Las velocidades rotatorias de las bombas normalmente son de 1200-1750 y 3500 rpm. dependiendo de el volumen a manejar.

La potencia de la bomba estará determinada por :

$$H_p = G H \rho / \eta$$

**Bombas centrífugas del T-011.**

Cantidad	= 2
Codificación	= P-011a y P-011b.
Tipo	= Centrífuga horizontal.
Sello	= Trenza de teflón y amianto.
Tipo de impulsor	= Abierto
Cuerpo e impulsor	= Titanio.
Cubierta	= Acero al carbón.
Diámetro de succión	= 5 pulg.
Diámetro de descarga	= 4 pulg.
rpm	= 1750
Líquido	= Salmuera al 26.2 % conc.
Densidad 20°C	= 1.185 g ./cm <sup>3</sup>
Viscosidad	= 1.7 cp.
Gasto	= 1500 l /min.

**Cálculos.**

Diámetro de tubería = 6 pulg. = 15.24 cm.

$$A = (3.1416)(0.0762 \text{ m.})^2 = 0.0183 \text{ m}^2$$

$$V = (1.5 \text{ mt}^3/\text{min.}) / (0.0183 \text{ m}^2) = 1.37 \text{ m.}/\text{seg.}$$

$$Re = \frac{(15.24 \text{ cm.})(137 \text{ cm.}/\text{seg.})(1.185 \text{ gr.}/\text{cm}^3)}{0.017 \text{ gr}/\text{cm.}\text{seg.}} = 1.455 \times 10^5$$

Ecuación de Drew, Koo y McAdams para calcular el factor de fricción

$$f = 0.0014 + 0.125 / (Re)^{0.32} \quad \text{Adimensional.}$$

$$f = 0.0014 + 0.125 / 0.32 \log 145500 = 0.0042.$$

Perdidas por fricción, en la succión.

**Accesorios.**

Long. eq. de 3 vál. comp. 6" = 3 m .

Long. eq. de 3 codoa de 6" = 13.8 m .

Long. eq. succión bomba 6" a 5" = 1.4 m .

Long. eq. succión tanque = 2.7 m .

Long. total = Long. tubería + long. eq. = 25.9 m .

$$h_{fs} = 0.0042 \left( \frac{25.9 \text{ m.}}{1524 \text{ m.}} \right) \left( \frac{1.88 \text{ m}^2/\text{seg}^2}{19.62 \text{ m}^2/\text{seg}^2} \right) = 0.0684 \text{ m.}$$

Perdidas por fricción en la descarga.

**Accesorios.**

Long. eq. de 3 vál. comp. 6" = 3 m .

$$\begin{aligned}
 \text{Long. eq. 2 val comp. 4"} &= 1.5 \text{ m.} \\
 \text{Long. eq. de 2 tee de 6"} &= 20 \text{ m.} \\
 \text{Long. eq. de 6 codos de 6"} &= 27.6 \text{ m.} \\
 \text{Long. eq. descarga bomba 4"} &= 1.5 \text{ m.} \\
 \text{Long. eq. descarga tanque} &= 4.2 \text{ m.} \\
 \text{Long. total} &= \text{Long. tubería} + \text{Long. eq.} &= 107.8 \text{ m.} \\
 \text{hfd} &= 0.0042 \left( \frac{107.8 \text{ m.}}{0.1524 \text{ m.}} \right) \left( \frac{1.88 \text{ m}^2/\text{seg}^2}{19.62 \text{ m}/\text{seg.}} \right) &= 0.285 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

$$\text{hd} = 12 \text{ mt.} + 0.285 \text{ mt.} = 12.285 \text{ m.}$$

$$\text{hs} = 2 \text{ mt.} - 0.0684 \text{ mt.} = 1.9316 \text{ m.}$$

$$\text{Ht} = 12.285 - 1.9316 \text{ mt.} = 10.3534 \text{ m.}$$

Como el tanque es atmosférico, la presión de vapor y la de succión de la solución se igualan por lo que  $P_s - P_v = 0$ .

$$\text{NPSH} = 2 \text{ m.} - 0.0684 \text{ m.} = 1.9316 \text{ m.}$$

$$\text{Ns} = 1750 \text{ rpm} \sqrt{\frac{1.5 \text{ m.} \cdot 3/\text{min}}{(10.3534 \text{ m.})^{3/4}}} = 372.23$$

$$\eta = 73 \%$$

$$\text{Hp} = \frac{(1500 \text{ l.}/\text{min.})(10.3534 \text{ m.})(1.185 \text{ Kg./l.})}{0.73 (45\%)} = 5.75 \text{ Hp.}$$

**Bombas centrífugas de filtros y tanque T-020.**

Cantidad	= 3
Codificación	= A, B y C.
Tipo	= Centrífuga horizontal.
Sello	= Trenza de teflón y amianto.
Tipo de impulsor	= Abierto.
Cuerpo e impulsor	= Titanio.
Cubierta	= Acero al carbón.
Lubricación	= Grasa.
Diámetro de succión	= 6 pulg.
Diámetro de descarga	= 5 pulg.
rpm	= 1750
Líquido salmuera	= salmuera al 26.2 % conc.
Gasto	= 1500 l ./min.

**Cálculos.**

$$\begin{aligned}
 Re &= (15.24)(137)(1.185) / 0.017 &= 1.455 \times 10^5 \\
 f &= 0.0014 + 0.125 / (Re)^{0.32} &= 0.0042. \\
 hfs &= 0.0042 \left( \frac{78 \text{ m.}}{0.1524} \right) \left( \frac{1.88}{19.62} \right) &= 0.206 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

**Para la descarga.**

$$\begin{aligned}
 \text{Diámetro de tubería} &= 5 \text{ pulg.} = 12.7 \text{ cm.} \\
 Re &= (12.7)(197.5)(1.185) / 0.017 &= 1.748 \times 10^5. \\
 f &= 0.0014 + 0.125 / (1.748 \times 10^5)^{0.32} &= 0.004 \\
 hfd &= 0.004 \left( \frac{237 \text{ m.}}{0.127} \right) \left( \frac{3.99}{19.62} \right) &= 1.484 \text{ m.} \\
 Pd &= (1.5 \text{ Kg./cm}^2) / (0.001185 \text{ Kg./cm}^2) &= 12.66 \text{ m.} \\
 hd &= 14 \text{ m.} + 12.66 \text{ m.} + 1.484 \text{ m.} &= 28.144 \text{ m.} \\
 hs &= 2 \text{ m.} - 0.206 \text{ m.} &= 1.794 \text{ m.} \\
 Ht &= 28.144 - 1.794 &= 26.35 \text{ m.} \\
 MPSE &= 2 \text{ m.} - 0.206 \text{ m.} &= 1.794 \text{ m.} \\
 Ns &= 1750 \sqrt{\frac{1.5}{(26.35)^{3/4}}} &= 184.6 \\
 \eta &= &= 82 \% \\
 Hp &= \frac{(1500 \text{ l. /min.})(26.35 \text{ m.})(1.185 \text{ Kg./l.})}{0.82 (4570)} &= 12.5 \text{ Hp.}
 \end{aligned}$$

#### Celdas electrolíticas.

Estas celdas se construirán en placa de acero al carbón de acuerdo a especificaciones A.S.M.E. Dicho material será SA-516 grado 70; esfuerzo máximo de trabajo de 1232 Kg./cm<sup>2</sup> espesor de 1/4 pulg.

El diseño de la celda comprende lo siguiente:

1.- Un fondo desnudo de acero al carbón maquinado y pulido, apoyado libremente sobre una armazón soporte que permite dilataciones sin esfuerzo, evitando las deformaciones.

2.- Un armazón soporte de perfiles de acero soldados, sobre el que descansa el fondo de la celda, con sistema de regulación de pendiente.

3.- Dos costados fabricados en placa de acero al carbón ebonitado, unidos al fondo con pernos de fijación y juntas especiales.

4.- Una tapa de placa de acero al carbón ebonitado, que asegure el cierre de la celda sin esfuerzos mecánicos,

5.- Un marco de soporte de ánodos, en perfiles de acero con dispositivos de elevación simultánea, y regulación individual de ánodos.

6.- Una caja de unión para entrada de salmuera y salida de cloro gaseoso, con sello hidráulico del mercurio.

7.- 54 ánodos de carbón grafitado para la descomposición de la solución.

8.- Una caja unión entre las celdas primaria y secundaria con compartimiento de limpieza y lavado de la amalgama y salida de salmuera.

9.- Una celda secundaria vertical de sección rectangular, construida en acero al carbón, con todos sus accesorios internos:

Soporte

Distribuidor de mercurio

Dispositivo de contención del relleno de grafito.

10.- Un enfriador, para bajar la temperatura del hidrógeno.

11.- Una bomba para la recirculación del mercurio. Tipo centrífuga encapsulada, provista con indicador de nivel operando a 110 volts y 60 Hz.

12.- Tubería de recirculación de mercurio, de acero al carbón provista de válvula reguladora de caudal.

13.- Finalmente la caja unión ya mencionada; de entrada con guarda hidráulica para la distribución del mercurio. La caja esta provista de boquillas de entrada para salmuera fresca y de salida de cloro construida de acero ebonitado.

14.- Seccionador multibarras de corto-circuito para soportar una carga permanente de 75,000 amp. con mando neumático.

15.- Un gabinete de mando para señalización y seguridad, constituido por:

Estación de botones para el motor de la bomba.

Estación de botones para el seccionador multibarras.

Toma de tensión para bornes de celda.

Lampara de señalización para paro accidental de la bomba.

16.- Accesorios tales como:

Boquillas de entrada y salida de los diferentes fluidos con válvulas y rotámetros.

Juegos de distribución de corriente a los ánodos.

1.- 54 vástagos de cobre de conducción de corriente al ánodo con vaina de protección de grafito.

2.- 54 trenzas flexibles para conexión de las barras de aluminio con los vástagos anódicos.

3.- 9 barras de aluminio para conducción de la corriente a los ánodos.

Sistema de regulación de celdas.

Transmisor de presión con membrana de tántalo y cámara de PVC escala de -100 a +100 mmHg. accionado por corriente alterna.

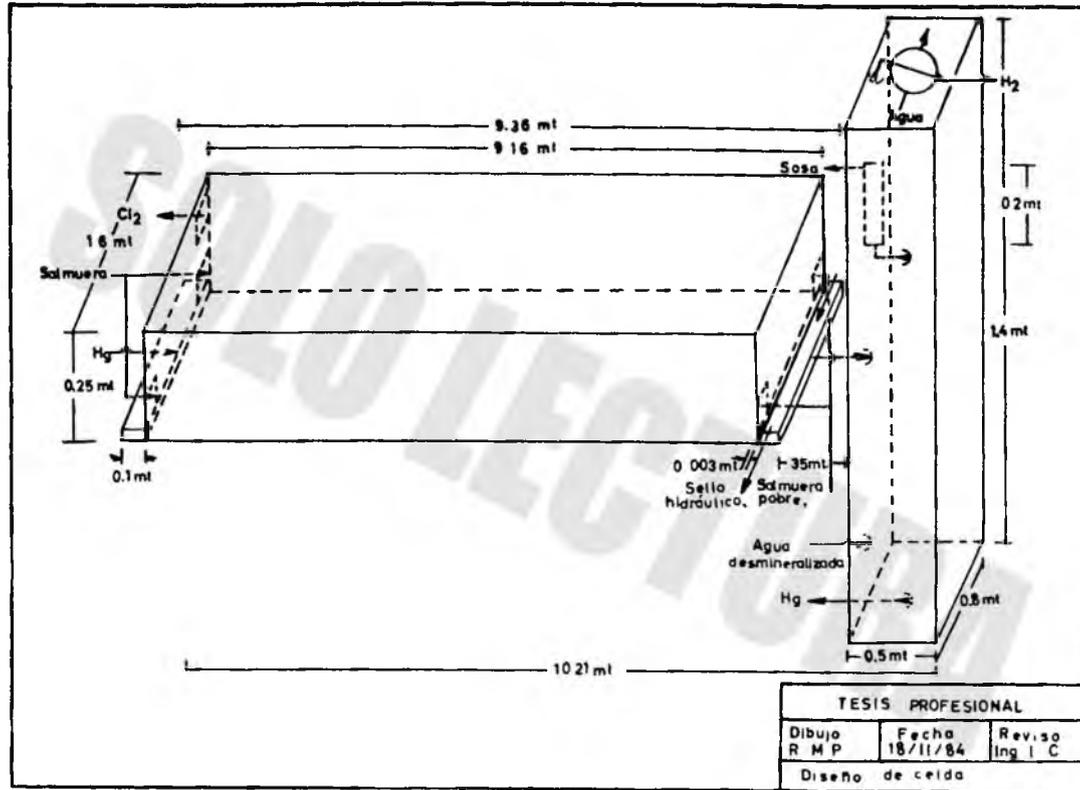
Una válvula de regulación montada en by-pass, sobre los ventiladores de cloro, tipo mariposa construida en acero al carbón eboutado.

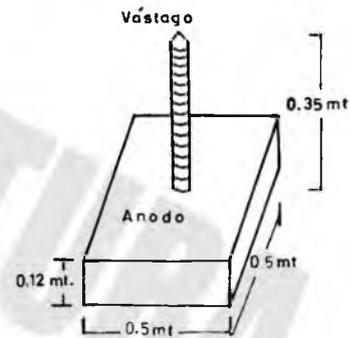
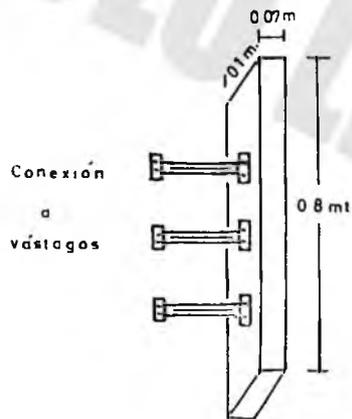
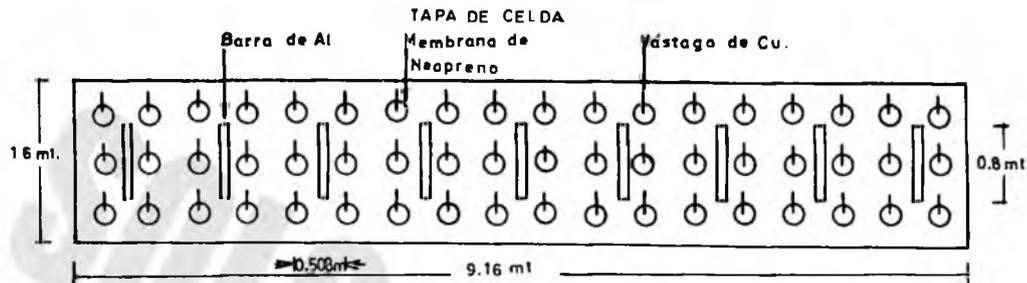
Dicho sistema de regulación es para evitar la fuga de cloro en las celdas. Con ello tendremos una presión menor en el interior de la celda que en el exterior.

**Especificaciones de construcción de celdas.**

**Celda primaria.**

Cantidad	= 18
Codificación	= 001 a la 018.
Distribución	= 2 columnas; pares e impares.
Conectadas	= En serie.
Material de construcción	= Acero al carbón.
Recubrimiento	= Ebonitado.
Forma	= Rectangular
Tipo	= Cerrada.
Longitud	= 9.16 m .
Ancho	= 1.60 m .
Altura	= 0.25 m .
Número de ánodos	= 54
Dimensiones	= 0.5 m . x 0.50 m . x 0.12 m .
Separación entre ánodos	= 7 a 8 mm.
Peso total de mercurio	= 950 Kg. $\pm$ 5 %.
Peso mercurio en celda	= 590.22 Kg.
Espesor de película de Hg.	= 0.003 m .
Vel. del mercurio	= 15 cm./seg.
Alimentación	= corriente continua.
Intensidad de corriente	= 75000 Amp.
Diferencia de potencial	= 110 volts.
Dimensiones barras aluminio	= 0.80 m . x 0.10 m . x 0.07 m .
Dimensiones de trenzas Cu.	= 0.45 m . x 0.02 m .
Dimensiones de vástagos Cu.	= 0.35 m . x 0.025 m .
<b>Celda secundaria</b>	
Material de construcción	= Acero al carbón
Recubrimiento	= Ebonitado.
Forma	= Rectangular vertical.
Tipo	= Cerrada.
Longitud	= 0.80 m .
Ancho	= 0.50 m .
Altura	= 1.40 m .
Granulometría de grafito	= 13 a 16 mm.
Volumen ocupado por grafito	= 0.18 m <sup>3</sup> .
Peso de Hg. amalgamado	= 359.78 Kg.





TESIS PROFESIONAL		
Dibujo R M P	Fecha 18 / II / 84	Reviso Ing I C
Diseño de celda		

Transferencia de calor.

La transferencia del calor es una transición cuantitativa de la -- energía. Lo que origina un intercambio de calor entre sustancias ca-- lientes y frías, llamadas fuente y receptor.

En este proceso se utilizan intercambiadores de placas, para la -- transferencia del calor.

Se hará el diseño térmico de acuerdo a las consideraciones teóricas basadas en la literatura existente para ello. Se determina el material de construcción en base al fluido que se esta manejando. Para el cálculo de este tipo de cambiadores se usarán las siguientes ecuaciones.

1.- Balance de calor.

$$Q = w C_p (T_2 - T_1) = \frac{BTU}{hr.}$$

$$Q = w \lambda = \frac{BTU}{hr.}$$

2.- Gradiente de temperatura.

$$\Delta T = MDLT = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{(\ln \Delta T_1 / \Delta T_2)} = \text{°F.}$$

3.- Area de la sección transversal.

$$A = (a) (b) = \text{pie}^2$$

4.- Gasto masa por área.

$$G = w / A = \frac{\text{lb.}}{\text{pie}^2 \text{hr.}}$$

5.- Número de Reynolds.

$$Re = D_e (G) / \mu = \text{Adimensional.}$$

6.- Diámetro equivalente.

$$D_e = 4 A / 2(a + b) = \text{pie.}$$

7.- Número de Prandtl.

$$Pr = C_p / k = \text{Adimensional.}$$

8.- Coeficientes individuales de transferencia de calor.

$$h = (0.023 \times \frac{k}{D_e} \times Re^{0.8} \times Pr^{0.33}) (1 + D_e/L^{0.7}) = \frac{BTU}{\text{pie}^2 \text{hr. °F.}}$$

9.- Condensación del vapor.

$$T_w = \bar{T}_a + \frac{h_b}{h_b + h_a} (T_b - \bar{T}_a) = \text{°F.}$$

10.- Coeficiente del lado de salmuera corregido a  $T_w$ .

$$h_a = h \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} = \frac{BTU}{\text{pie}^2 \text{hr. °F.}}$$

11.- Coeficiente global de transmisión de calor.

$$U_c = h_a \times h_b / h_a + h_b = \frac{BTU}{\text{pie}^2 \text{hr. °F}}$$

12.- Area de transmisión de calor.

$$A_t = A'' (L) (\text{No. ductos})$$

$$= \text{pie}^2$$

$$A'' = 2(a + b) c + 2 (a) (b).$$

$$= \frac{\text{pie}^2}{\text{pie lineal.}}$$

13.- Coeficiente de diseño.

$$U_d = Q / (A_t) (\Delta \bar{T}_L)$$

$$= \frac{\text{BTU.}}{\text{pie}^2 \text{hr. } ^\circ\text{F.}}$$

14.- Factor de obstrucción.

$$R_d = U_c - U_d / (U_c) (U_d)$$

$$= \frac{\text{pie}^2 \text{ hr. } ^\circ\text{F.}}{\text{BTU.}}$$

15.- Caída de presión.

$$\Delta P = \frac{1}{2} \left( \frac{f Q^2 L n}{5.22 \times 10^{10} D_e s \left( \frac{L}{D_e} \right)^{0.14}} \right)$$

$$= \frac{\text{lb.}}{\text{pulg.}^2}$$

Nomenclatura para el capítulo.

Q Flujo de calor.

$$= \text{BTU./hr.}$$

Cp Calor específico del fluido.

$$= \text{BTU./lb. } ^\circ\text{F.}$$

w Peso del flujo de fluido.

$$= \text{lb./hr.}$$

MDLT Gradiente de temperatura.

$$= ^\circ\text{F}$$

De Diámetro equivalente.

$$= \text{pie.}$$

k Conductividad térmica.

$$= \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2 \text{hr. } (^\circ\text{F/pie})}$$

L Longitud de ductos.

$$= \text{pie.}$$

f factor de fricción .

$$= \text{pie}^2 / \text{pulg.}^2$$

n Número de pasos .

s Gravedad específica.

El material de las placas será de titanio.

Cálculo del cambiador de calor para salmuera saturada de 26.16 % de concentración con una gravedad específica de 1.185. La solución debe calentarse de 86 °F a 122 °F, usando para ello vapor de 5 lb./pulg<sup>2</sup> - de presión.

Se dispone para este servicio de un intercambiador de 12 placas y-2-2 pasos. 6 placas para el flujo de la salmuera con las siguientes - dimensiones cada una: (4 x .16655 x 1.6393) pies. Por las otras 6 flu ye el vapor a contracorriente y las dimensiones son: (4 x .0859 x --- 1.6393) pies.

**Datos.**

**a).- Propiedades de la salmuera.**

T. entrada	= 86 °F.
T. salida	= 122 °F.
T. media	= 104 °F.
Densidad	= 73.99 lb./pie <sup>3</sup>
Calor específico	= 0.817 btu/lb.°F.
Viscosidad	= 3.872 lb./hr.pie.
Conductividad térmica	= 0.33 BTU./hr.pie <sup>2</sup> (°F/pie.)

**b).- Propiedades del vapor.**

Temperatura	= 228 °F.
Calor latente de vaporización	= 930 BTU./lb.
Densidad	= 0.036 lb./pie <sup>3</sup>
Viscosidad	= 0.05096 lb./pie.hr.
Conductividad térmica	= 0.395 BTU./hr.pie <sup>2</sup> (°F/pie.)

Nota; Para las determinaciones se usará la letra a para la salmuera y la letra b para el vapor.

**Cálculos.**

Qa = 234702(0.817)(122-86)	= 6903055 BTU./hr.
Qa = -Qb por lo que Qp = 0	
wb = 6903055 / 930	= 7422.64 lb./hr.
MDLT = 106 -142 / (ln 106/142)	= 123.12 °F
Aa = (0.16655)(4)	= 0.6662 pie <sup>2</sup>
Ab = (0.0859)(4)	= 0.3436 pie <sup>2</sup>
Ga = 234702 / 0.6662	= 352299.61 lb./hr.pie <sup>2</sup>
Gb = 7422.64 / 0.3436	= 21602.56 lb./hr.pie <sup>2</sup>
De = 4(0.6662) / 2(4.16655)	= 0.3198 pie.

$$\begin{aligned}
 Re_a &= (0.3198)(352299.61) / 3.872 &= 29097.47 \\
 \mu_e &= 4(0.3456) / 2(4.0859) &= 0.1682 \text{ pie.} \\
 Re_b &= (0.1682)(21602.56) / 0.03096 &= 117362.75 \\
 h_a &= (0.024)(3725)(2.106)(1.705) &= 321 \text{ BTU./hr.pie}^{2\circ\text{F.}} \\
 h_b &= (0.0403)(11370)(0.9634)(1.794) &= 791.94 \frac{\text{BTU.}}{\text{hr. pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}} \\
 T_w &= 104 + (321/321+791.94)(228-104) &= 139.76 \text{ } ^\circ\text{F.} \\
 \text{Viscosidad a } T_w &= 1.21 \text{ lb./hr.pie.} \\
 &= \left(\frac{3.872}{1.21}\right)^{0.14} &= 1.177 \\
 h_b \text{ corregido} &= 321(1.177) &= 377.82 \frac{\text{BTU.}}{\text{hr.pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}} \\
 U_c &= 377.82 (791.94) / (377.82+791.94) &= 255.8 \frac{\text{BTU.}}{\text{hr.pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}} \\
 A'' &= 2(4.0859)(1.6393) + 2(4)(0.0859) &= 14.0832 \frac{\text{pie}^2}{\text{pie lineal.}} \\
 A_t &= (14.0832)(4)(6) &= 377.9968 \text{ pie}^2 \\
 u_d &= 6903055 / (377.9968)(123.12) &= 165.88 \frac{\text{BTU.}}{\text{hr.pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F.}} \\
 R_d &= 255.8 - 165.88 / 255.8 (165.88) &= 0.00212 \frac{\text{pie}^2 \text{ hr. } ^\circ\text{F.}}{\text{BTU.}} \\
 R_d \text{ requerido.} & &= 0.002 \frac{\text{pie}^2 \text{ hr. } ^\circ\text{F.}}{\text{BTU.}} \\
 \Delta P_a &= \frac{1}{2} \left( \frac{0.00014 \times 21602.56^2 \times 4 \times 2}{5.22 \times 10^{10} \times 0.1682 \times 0.0008 \times 1} \right) &= 0.0372 \text{ lb./pulg}^2 \\
 \Delta P_b &= \frac{1}{2} \left( \frac{0.00021 \times 234702^2 \times 4 \times 2}{5.22 \times 10^{10} \times 0.3198 \times 1.185 \times 1.177} \right) &= 0.004 \text{ lb./pulg}^2 \\
 \text{Nota: el volumen especifico del vapor es igual a } &20 \text{ pie}^3/\text{lb.}
 \end{aligned}$$

CAPITULO VII.

USOS INDUSTRIALES DE SOSA Y CLORO.

SOLO LECTURA

## VII.- USOS INDUSTRIALES DE SODA Y CLORO.

El cloro y algunos de sus compuestos como los hipocloros son agentes de blanqueo de uso universal. En el blanqueo de la pulpa de madera especialmente para el papel kraft, se emplean muchas toneladas de cloro. En el tratamiento de materiales fibrosos como el bambú y la paja donde la acción del cloro no es solo de blanqueo, produce una pulpa de alta calidad, sin embargo por su acción destructora no se puede aplicar a la lana, la seda, las plumas y materias de origen animal.

Pero la aplicación más importante en la actualidad es en la preparación de los compuestos orgánicos e inorgánicos que contienen cloro, de los que se fabrican gran cantidad, para multitud de usos diferentes, a continuación se mencionan algunos de estos.

### Compuestos Inorgánicos:

Acido clorhídrico; cloruros metálicos, de fierro, estaño, de aluminio de magnesio etc.; cloruros no metálicos, como el monocloruro y dicloruro de azufre, tricloruro y pentacloruro de fósforo. Compuestos oxidantes como; polvos de blanqueo, hipoclorito cálcico sólido y disuelto, hipoclorito de sodio, cloritos y cloratos sódicos, dióxido de cloro, etc.

### Compuestos orgánicos:

Disolventes clorados de los hidrocarburos; como el tricloroetileno que es un disolvente de grasas, aceites y resinas, el contenido de halógeno en un compuesto orgánico disminuye su inflamabilidad es por esto que el tetracloruro de carbono se utiliza en algunos extintores sencillos, sin embargo su empleo con este fin puede ser peligroso, ya que con las llamas puede convertirse en un gas letal llamado fosgeno. El cloroformo es otro disolvente excelente además de anestésico; clorobenceno y clorotoluenos. En la fabricación de caucho sintético, como los neoprenos; plásticos sintéticos cloruro de polivinilo, usados en tuberías, ropa, vestimientos, fibras etc; para la obtención de refrigerantes, como el diclorodifluorometano que es estable y no corrosivo; naftalenos clorados; para la fabricación de insecticidas, como el hexacloruro de benceno, el 1,1,1-tricloro-2,2-bis-(p-clorofenil)etano conocido como DDT.etc.

Por lo que el cloro es sumamente usado en los compuestos orgánicos debido a que casi cualquier hidrógeno de un hidrocarburo, puede sustituirse por un átomo de halógeno dando un compuesto estable.

### Reacciones.

El cloro reacciona lentamente con el hidrógeno en la obscuridad, pero con violencia explosiva a la luz solar o a temperatura de 250 °C -- formando HCl. Se combina fácilmente con todos los metales en circunstancias adecuadas, como en presencia de humedad. Por ello el cloro seco es almacenado en tanques de acero con recubrimientos anticorrosivos y aislantes, para poder conservarlo. Los cloruros metálicos en general son solubles en el agua, aunque los de plata, mercurio, cuproso, plumboso, platinoso y los oxiclорuros de antimonio y bismuto lo son muy -- poco.

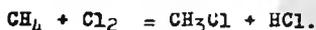
El cloro reacciona directamente con el azufre formando el monocloruro  $S_2Cl_2$ , dicloruro  $SCL_2$  y tetracloruro  $SCL_4$ ; con el fósforo forma el tricloruro  $PCl_3$  y pentacloruro  $PCl_5$ ; con el yodo forma monocloruro  $ICl$  y tricloruro  $ICl_3$ . El cloro no reacciona con el nitrógeno, pero sí con las sales de amonio en solución ácida produciendo el tricloruro de nitrógeno líquido, que es sumamente explosivo.



En soluciones equimolares diluidas de amoníaco e hipoclorito se forma la cloramina igualmente inestable.

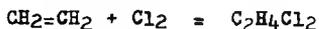


El cloro reacciona con gran cantidad de hidrocarburos reemplazando a un hidrógeno y formando HCl.



Y por sustituciones sucesivas se obtiene el cloruro de metileno ---  $CH_2Cl_2$ ; cloroformo  $CHCl_3$ ; tetracloruro de carbono  $CCl_4$ .

Con los hidrocarburos no saturados el cloro reacciona por adición, -- así por ejemplo con el etileno se forma el dicloruro de etileno.



Con los sulfuros de carbono forma los tetracloruros de carbono por sustitución del azufre.



El cloro gaseoso desaloja al bromo y yodo de los bromuros y yoduros. Con los cianuros reacciona formando cloruros de cianógeno.



El cloro al disolverse en el agua forma una mezcla en equilibrio -- que contiene ácido hipocloroso.



En los casos de ácido hipocloroso e hipocloritos el cloro actúa con valencia +1; en la formación de los cloritos  $\text{NaClO}_2$  actúa con valencia +3; en la formación de cloratos  $\text{NaClO}_3$  con valencia +5 y en los --percloratos con valencia +7.

Potenciales de oxidación-reducción del cloro en estos estados de valencia, en soluciones ácidas y básicas.

Edo. Ox.	Reacción.	Volts. 25 °C.
-1	$\text{Cl}^- = 1/2 \text{Cl}_2 + e$	-1.358
+1 ácido	$1/2 \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{HClO} + e$	-1.630
+3 ácido	$1/2 \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 3\text{H}^+ + \text{HClO} + 3e$	-1.630
+5 ácido	$1/2 \text{Cl}_2 + 3\text{H}_2\text{O} = 6\text{H}^+ + \text{ClO}_3^- + 5e$	-1.470
+7 ácido	$1/2 \text{Cl}_2 + 4\text{H}_2\text{O} = 8\text{H}^+ + \text{ClO}_4^- + 7e$	-1.340
+1 básico	$\text{Cl}^- + 2 \text{OH}^- = \text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e$	-0.940
+3 básico	$\text{Cl}^- + 4 \text{OH}^- = \text{ClO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4e$	-0.760
+5 básico	$\text{Cl}^- + 6 \text{OH}^- = \text{ClO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6e$	-0.620
+7 básico	$\text{Cl}^- + 8 \text{OH}^- = \text{ClO}_4^- + 4\text{H}_2\text{O} + 8e$	-0.510

El cloro no reacciona directamente con el oxígeno, aunque se conocen los siguientes óxidos: monóxido de cloro  $\text{Cl}_2\text{O}$ ; dióxido de cloro  $\text{ClO}_2$ ; trióxido de cloro  $\text{Cl}_2\text{O}_3$  y anhídrido perclórico  $\text{Cl}_2\text{O}_7$ .

La sosa se usa para la fabricación de jabones; de productos químicos; refinación del petróleo; en la fabricación del rayón; en la fabricación de limpiadores y desincrustantes; en la industria textil; en la regeneración del caucho; en aceites vegetales; en el papel y varios usos más.

En el proceso de la viscosa para la producción del rayón se utilizan grandes cantidades de sosa; en la industria textil se usa para desgrasar teñir y blanquear; en la fabricación de línea blanca se usa como limpiador y desincrustante; y como reactivo químico tiene múltiples aplicaciones.

CAPITULO VIII.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

SOLO LECTURA

### VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al iniciarse el proceso de la obtención de cloro y sosa, se debe verificar que:

La concentración en el tanque T - 011 sea la indicada.

En el tanque T - 012a la precipitación de los iones,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{CO}_3^{--}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , y  $\text{SO}_4^{--}$  sea la especificada, agregando la cantidad necesaria de reactivos para ello, de acuerdo a los análisis practicados, a las muestras tomadas para este fin.

En el tanque T - 022 acidificar adecuadamente la salmuera con un pH aproximado de 2.75 para tener una buena descomposición electrolítica, ya que a pH mayores de 4 produce la formación de ácido hipocloroso y con pH menores de 2.5 favorece la formación del hidrógeno que es muy explosivo; por lo que trabajando en el rango del pH estipulado se tendrá formación de cierta cantidad de hipocloros y cloratos de sodio.

Al tanque T - 023 agregar HCl para descomponer los cloratos e hipocloros de sodio existentes y si es necesario acidificar la solución - aun más, ello se hace agregando HCl al T - 024.

Finalmente la solución es neutralizada con NaOH en el tanque T - 029 y mandada a los tanques saturadores para su utilización.

Otro factor importante es la temperatura de llegada a celdas, ya que si esta es menor de  $50^\circ\text{C}$  en la salmuera; tendremos problemas de descomposición dando origen a formación de reacciones secundarias y consecuentemente a la formación excesiva de hidrógeno.

Por otra parte al disminuir el pH el potencial de descomposición del cloro aumenta y viceversa con el del sodio. Por ello el pH adecuado es el ya mencionado, con el cual se tiene una buena descomposición electrolítica.

La eficiencia de corriente no puede ser del 100 % debido a las reacciones secundarias producidas por el electrólito y los electrodos.

Los factores que favorecen la producción de hidrógeno en la celda primaria son:

Cuando la temperatura en celda es mayor o menor de la especificada.

Cuando la concentración de la amalgama es muy elevada.

Cuando la concentración de la salmuera no es la adecuada.

La presencia de partículas conductoras o no conductoras que rompan la película alcalina de la amalgama, depositándose en el cátodo.

Dichas partículas pueden ser:

El vanadio procedente de los ánodos de carbón grafitado, por lo que el contenido máx. de este elemento será de 20 ppm.

El fierro que puede proceder de la misma celda dando origen a la formación del  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Lo que implica el tener siempre bien ebonitadas las celdas.

Impurezas comunes como el calcio, bario y magnesio, procedentes de la solución; siendo el más sensible de estos, el ión magnesio.

Por la caída de uno o varios ánodos.

En la celda secundaria la mala descomposición de la amalgama puede ser por las siguientes causas.

Porque el mercurio este sucio, debido a impurezas de los ánodos o a las ya mencionadas; propiciando que el retorno a la celda primaria sea con una concentración mayor de amalgama.

La temperatura de la solución también es determinante aquí, puesto que para obtener una sosa de 50 % conc. ésta debe de salir a una temperatura de 70 °C. Esto implica que la velocidad de descomposición es función de la temperatura y conc. de la lejía.

Además las impurezas metálicas en el mercurio en presencia de oxígeno producen óxido mercúrico y al reaccionar con el cloro dan el monóxido de cloro mercúrico de naturaleza explosiva.

Otra causa puede ser la pérdida de mercurio, lo que implica disminución del volumen, y como consecuencia menor área.

Flujo deficiente de agua desmineralizada para la descomposición de la amalgama y formación del electrólito a la vez.

Lo manifestado en la celda secundaria y primaria origina que el potencial aplicado se incremente más de lo necesario para la descomposición electrolítica.

El potencial de descomposición aumenta también debido a el desgaste de los ánodos y distancia inadecuada de estos con respecto a el cátodo de mercurio.

Concluyendo.

Para prever problemas en el proceso de descomposición electrolítica de la salmuera, se debe de hacer lo siguiente durante cada turno.

Verificar el contenido de hidrógeno en cada celda, un método rápi-

do y sencillo para saber cuales celdas tienen mayor cantidad de hidrógeno es determinando el índice de hipocloros, para ello: A un tubo de ensayo agregar una muestra de 5 ml. de solución tomada en la guarda o caja unión de la celda primaria y secundaria; 1 ml. de yoduro de potasio al 10 %; 1 ml. de HCl 0.1 N; 5 ml. de solución buffer.

Hecho esto, si la solución permanece clara indica que la celda en cuanto a contenido de hidrógeno esta bien; si por el contrario se observase formando un precipitado, implica la presencia de mucho hidrógeno. Ello requiere de determinar dicha cantidad con el orsat; si el contenido es mayor de 8 % debe desconectarse la celda para lavarla, cortando el suministro de salmuera; evitando problemas en el proceso y el equipo, pues como ya se dijo el hidrógeno gaseoso es sumamente explosivo.

Cada hora mínimo, se debe determinar el contenido global de hidrógeno y cloro en el colector general por medio del orsat.

Si al determinar el contenido de hidrógeno, este es mayor del 4 % de inmediato se debe proceder a cortar el suministro de corriente para evitar que haya explosiones en las celdas; pues este contenido global de hidrógeno implica que varias celdas tienen una cantidad considerable de este gas.

Normalmente este tipo de celdas trabaja con un rango global de hidrógeno de 1.0 a 2.5 %

La densidad y temperatura de la sosa debe chequearse cada hora, al salir de la celda secundaria para determinar su concentración.

Para obtener la conc. deseada es necesario el estar controlando el suministro del agua desmineralizada.

BIBLIOGRAFIA.

SOLO LECTURA

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

- 1.- Manual del ingeniero químico.  
Robert H. Perry / Cecil H. Chilton.  
Lito ediciones olimpia S.A. julio de 1982.
- 2.- Criterios de diseño de plantas termoeléctricas.  
Martiniano Aguilar R.  
Editorial Limusa S.A. 1981.
- 3.- Fundamentos de fisicoquímica.  
Maron y Prutton.  
Editorial Limusa, S.A. 1974.
- 4.- Procesos de transferencia de calor.  
Donal Q. Kern.  
Editorial Continental S.A. 1982.
- 5.- Principios de transferencia de calor.  
Frank Kreit.  
Herrereros Hermanos S.A.
- 6.- Purificación, tratamiento y remoción de aguas.  
Fair-Geyer y Okun.  
Editorial Limusa S.A. 1981.
- 7.- Bombas centrífugas.  
Igor J. Karassik y Roy Carter.  
Editorial continental S.A. 1975.
- 8.- Electroquímica.  
Enrique Villarreal y Silvia Bello.  
Editorial Edicol, S.A. 1975.
- 9.- Análisis cuantitativo.  
Ray U. Brumblay  
Editorial continental S.A. 1982.
- 10.- Enciclopedia técnica, tomos 1 y 4.  
Kirk-Othmer.
- 11.- Basic. electrical engineering.  
John Wiley & Sone. N.Y. 1949.
- 12.- Electricidad y magnetismo.  
Luis L. Cantu.  
Editorial Limusa S.A. 1975.

- 13.-Electroanalytical Chemistry.  
J. Lingane.  
Publicaciones N.Y. 1958.
- 14.-The conductivity of solutions.  
John Wiley & Sons N.Y. 1930.
- 15.-Celdas Krebs.  
Krebs en Francia.
- 16.-Principios de los procesos químicos.  
Hougen watson Ragatz  
Editorial Reverté S.A. 1980.

SOLO LECTURA