

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA

E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

**AMPLIACION DE UNA PLANTA DE
HIPOCLORITO DE SODIO**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO INDUSTRIAL
P R E S E N T A**

RODOLFO GONZALEZ BAEZ

2077



SECRETARÍA
DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

TEMA DE TESIS

México, D. F., 3 de junio de 1975

C. RODOLFO GONZALEZ BAEZ.

Pasante de Ingeniero QUIMICO INDUSTRIAL.
Av. de las Flores No 38
Col. Juan Gonzalez Romero.
México, 14 D.F.

El C. Ing. RUBEN LEMUS BARRON.

propone el Tema que deberá usted desarrollar como prueba escrita para Examen Profesional, de acuerdo con el siguiente orden

" AMPLIACION DE UNA PLANTA DE HIPOCLORITO DE SODIO."

RESUMEN.

- I.- INTRODUCCION.
- II.- GENERALIDADES.
- III.- CONDICIONES ACTUALES.
- IV.- CONDICIONES FUTURAS.
- V.- ESTUDIO DE MERCADO
- VI.- CALCULO DEL EQUIPO PARA EL PROCESO
- VII.- CONSIDERACIONES ECONOMICAS.
- VIII.- CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

Se concede plazo de un año a partir de la fecha, para presentarlo desarrollado a revisión por el Jurado de Examen

ING. SALVADOR PUENTE CAMACHO.

El Vocal de Carrera

ING. RUBEN LEMUS BARRON.

El Jefe del Departamento

ING. RUBEN LEMUS BARRON.

El Profesor Orientador

ING. ESTELIO R. BALTAZAR CADENA

El Director de la Escuela

mrg.

A MIS PADRES:

JOSE GONZALEZ HERNANDEZ

Y

M. VIDALA BAEZ DE GONZALEZ

SOLO LECTURA

A MIS:

HERMANOS.

A MI ESPOSA:

CAROLINA LUNA DE GONZALEZ

SOLO LECTURA

A MI HIJO:

RODOLFO GONZALEZ LUNA

AL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.

A LA E.S.I.Q.I.E.

A MIS MAESTROS

Y

COMPAÑEROS.

R E S U M E N

- I. INTRODUCCION
 - II. GENERALIDADES
 - III. CONDICIONES ACTUALES
 - IV. CONDICIONES FUTURAS
 - V. ESTUDIO DE MERCADO
 - VI. CALCULO DEL EQUIPO PARA EL PROCESO
 - VII. CONSIDERACIONES ECONOMICAS
 - VIII. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA

I

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

SOLO LECTURA

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

ANTERIORMENTE EL USO DEL HIPOCLORITO DE SODIO, ERA PRINCIPALMENTE PARA LA INDUSTRIA TEXTIL Y COMO AGENTE DE LIMPIEZA EN RESTAURANTES, HOTELES Y HOSPITALES, POCO SE USABA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS, PERO ACTUALMENTE UN CRECIENTE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA SERVICIOS MUNICIPALES CON EL HIPOCLORITO DE SODIO, HA DADO LUGAR A UN AUMENTO EN EL CONSUMO DE ESTE PRODUCTO Y COMO LA PLANTA YA ESTA TRABAJANDO AL MAXIMO DE SU CAPACIDAD, SE HA CONSIDERADO AUMENTAR LA CAPACIDAD DE LA MISMA, PARA SATISFACER ESTA DEMANDA BUSCANDO TAMBIEN QUE EL LLENADO DE CILINDROS PARA-CLORO LIQUIDO SEA MAS FLUIDO.

EL OBJETIVO DE ESTE TRABAJO ESTA ENCAMINADO A AUMENTAR LA CAPACIDAD DE LA PLANTA QUE ACTUALMENTE ES DE 35 TONELADAS POR DIA Y SE DESEA AUMENTARLA HASTA 50 TONELADAS POR DIA.

" Es maravilla en nuestra ciencia
que al avanzar en ella,
ya sea en niveles sencillos o complejos,
en lugar de agotar el objeto de nuestro estudio,
abramos puertas a cosas lejanas
y a un conocimiento más abundante,
desbordando belleza y utilidad "

MICHAEL FARADAY.

Bosquejo de métodos de fabricación del cloro.

Por más de 50 años el proceso de cloro y sosa cáustica por descomposición electrolítica de solución de salmuera saturada ha sido la base de la importante expansión de la industria electroquímica.

En 1800 un químico llamado CRUIKSHANK observó, la evolución de gas cloro cuando pasando una corriente eléctrica (C.D.) a través de una solución de agua y cloruro de sodio, comúnmente llamada sal de mesa, lo cual dio la pauta para fabricar el cloruro a gran escala.

Actualmente la industria electroquímica elabora cerca de 17,000 Ton/día por este método y la producción está creciendo a un ritmo del 5 % anual.

Antes de hablar sobre los métodos de fabricación, considero importante hablar de los ánodos.

En la electrólisis de salmuera se produce cloro en un ánodo de grafito e hidrógeno junto con hidroxido de sodio o potasio, en el cátodo.

El gas cloro y la producción de cáusticos consumen cerca del 80% en peso del ánodo de grafito en el mercado. El clorato de sodio toma otro 10%, la producción de metales como Sodio, Manganeso y Litio absorben otro 5%, con el 5% remanente, se produce un compendio de productos misceláneos.

El porqué se usa grafito como material para los ánodos.

El ánodo respecto a sus funciones en una celda electrolítica debe tener 7 requerimientos fundamentales:

- 1.- Debe poseer alta conductividad eléctrica.- - El grafito es el único que no está oxidado ni como metal ni como no metal.

Como un conductor de electricidad mantiene una posición de menor conductor como metal y el mejor conductor como no metal. La resistencia específica de los ánodos de grafito nacionales, se aproximan a $0.00009 \text{ ohms/cm}^3$ el cual cubre los requerimientos de alta conductividad eléctrica.

2.- Debe operar a bajo voltaje .- El grafito tiene un bajo voltaje como ánodo comparado con cualquier ánodo práctico cuyo material debe ser considerado para la electrólisis de salmuera.

Este posee una remarcable descarga de cloro a bajo voltaje y relativamente descarga el oxígeno a alto voltaje. El platino muestra estas propiedades en algunos grados y dura mucho más que el grafito, pero este opera a más altos voltajes y es mucho más caro. El platino fué utilizado en las celdas originales, pero con la venida del grafito Acheson, el material de los ánodos se convirtió en grafito.

3.- Este debe ser de muy alta pureza para evitar contaminantes en los productos de las celdas. El grafito puede ser fabricado a cualquier pureza deseada, a menudo excede ---- 99.99 % de carbón puro.

4.- Debe poseer dureza mecánica satisfactoria.- La dureza mecánica de los ánodos de grafito, ha sido encontrada satisfactoria para aplicaciones electrolíticas.

5.- Debe ser fácilmente maquinable y rápidamente ensamblable. También esta propiedad la poseen los ánodos de grafito, ya que son fáciles de maquinar y permite su uso en cualquier tipo de celdas sin importar que tan sofisticado sea su diseño, su comparativo peso ligero lo hacen fácil de ensamblar.

6.- Debe tener bajo costo inicial.- El grafito es un material barato, practicamente cuando se compara con su rival más cercano que es el platino.

7.- Debe poseer alta durabilidad.- Con una vida esperada de 200 - 400 días en las celdas modernas, dependiendo del tipo de la celda, de la seguridad de operación, el grafito

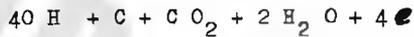
cumple en alto grado estos prácticos y básicos requerimientos ningun otro material excepto el muy caro platino y la fragil magnetita del alto voltaje, pueden aproximarse a la estabilidad del grafito como material para ánodos. La magnetita es -- fragil y pobre conductor eléctrico.

El grafito no es atacado por el cloro, unicamente es atacado por el oxígeno.

La manera de como el grafito cumple estos básicos requerimientos, explica su uso exclusivo en las modernas celdas electrolíticas .

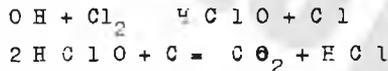
Anteriormente ya vimos que el ánodo tiene una vida determinada y éste período de servicio del ánodo de grafito, depende principalmente de 3 factores:

a) Ataque químico por el oxígeno generado resultante de la oxidación en la superficie del ánodo de algún ión hidroxilo OH^-



4 = electrones

b) Puramente ataque químico, resultante de la -- formación de ácido hipocloroso a través de la reacción química de pequeñas cantidades de productos intermezclados de la -- celda.



c) Pérdidas mecánicas de sustancia causada por -- resquebrajamiento de pequeñas partículas de carbón por debil -- estructura, como un resultado de (a y (b) o simple erosión.

Bajo las condiciones actuales, el alto grado de -- grafito y la sofisticada alta capacidad del diseño de las cel -- das, el ánodo de grafito tiene pérdidas causadas por C_2 y ata -- que ácido usualmente combinados 70-20 respectivamente para ha -- cer un 90% de la pérdida prematura de los ánodos. Cuando solu -- ciones acuosas son electrolizadas es imposible eliminar la li -- beración de oxígeno en el ánodo. La cantidad de oxígeno libe -- rado será mayor cuando la concentración del baño decrece y el -- número de iones oxígeno que está siendo descargado aumenta la -- producción de hipoclorito y clorato, lo que trae como conse --

cuencia consumo de ánodos en dos ó tres veces más para la manufactura del cloro.

Una consecuencia del ataque químico, la cual destruye la estructura del ánodo selectivamente atacando primero el núcleo de grafito después el envolvente y pequeños granos, la desintegración mecánica del ánodo por resquebrajamiento o por desgaste son expuestas por partículas irregulares en la superficie del ánodo da como resultado de la formación del ledo de grafito más el incremento del consumo debido a la gran área del ánodo, causa que los diafragmas se tapen o en el caso de las celdas con cátodo de mercurio tienda a descomponerse la amalgama.

Ha sido posible reducir la cantidad de gasto de los ánodos de grafito, manteniendo cuidadosamente una mezcla de grano específico definido en medida y por impregnación de aceite de linaza y tratado posteriormente con calor para el acabado del ánodo.

La vida de operación del ánodo de grafito depende de un número de variables de operaciones en la celda tales como: Temperatura de la celda, rango de flujo de salmuera, concentración de la salmuera y densidad de corriente impuesta al ánodo. La responsabilidad de este control, descansa solamente en el operador de la celda lo cual es controlado por medio de lecturas tomadas cada hora en cada una de las celdas.

La forma en que las variables afectan la vida del ánodo las tratamos a continuación.

Efectos de la temperatura de la celda.

Un incremento de 10° C en la temperatura de la celda puede aumentar el ataque al grafito hasta un 20%. Hay una práctica consideración que no obstante las pérdidas de grafito sobre todas las condiciones puede imponerse la más ideal de las operaciones a temperaturas cercanas al punto de ebullición de la salmuera. Por ejemplo, el voltaje de la celda disminuye cuando la temperatura aumenta. Mientras el costo de la fuerza varía de área a área, este es muchas veces más -

que el costo de grafito en la aplicación de celdas, por lo tanto en las instalaciones comerciales la indicación óptima de temperatura tiende a ser en el lado más alto.

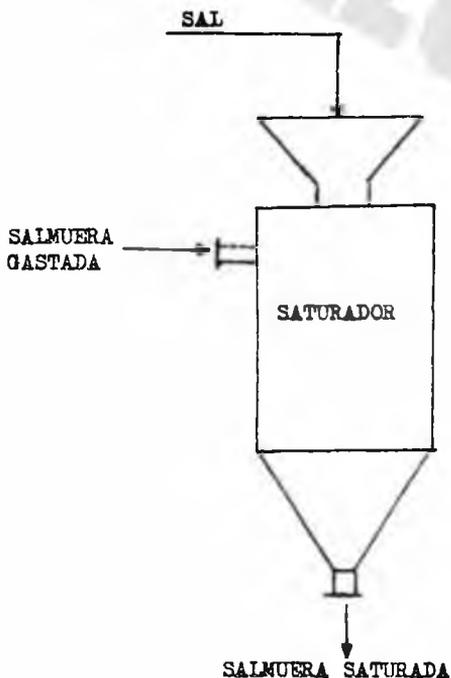
Efectos del rango del flujo de salmuera.

Una disminución en el flujo de salmuera o en el rango de alimentación a la celda puede marcadamente incrementar el consumo de grafito.

Quando el flujo de salmuera se disminuye relativamente se forma más fuerte cáustico que favorece la migración hacia atrás del ión OH dentro del compartimento del ánodo donde sobre la descarga, la liberación de oxígeno generado consume el ánodo de grafito. En las celdas de diafragma, el diafragma mismo puede gobernar el rango de flujo en su permeabilidad la cual, es influenciada por la calidad del asbesto, temperatura de la celda, concentración de corriente, impurezas en la salmuera y lodo de grafito.

Una disminución tan pequeña como en un 10% en el rango del flujo de salmuera puede incrementar el consumo de grafito en el orden del 20% al 30%.

Efectos de la concentración de la salmuera.



La necesidad de emplear la más alta concentración de cloruro de sodio en la alimentación de la salmuera está bien establecida en la Industria. Una disminución en la concentración de cloruro de sodio (NaCl) tan pequeña como 5 gr/Lt. del punto de saturación de 320 gr/Lt., puede incrementar el consumo de grafito tanto como un 10 %. Así como el flujo de salmuera, la disminución en concentración fuerza grandes porcentajes de descomposición de cloruro de sodio, así aumentando la concentración de caustico y subsecuentemente otros gastos. En la Industria, las variaciones de concentración de la salmuera en una sola planta no son poco común, también varia de planta a planta.

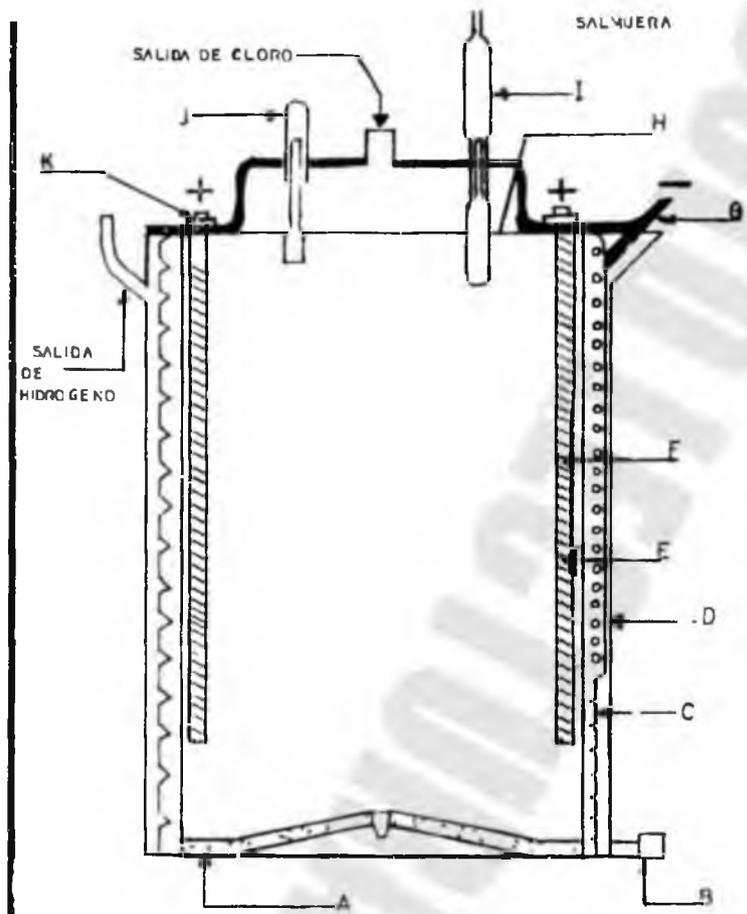
Alto contenido de cloruro de sodio en la salmuera de alimentación da como resultado un bajo voltaje, gran rendimiento de la celda y mejoramiento de la vida del ánodo, pero debe ser comparado con el costo para obtener óptima concentración de alimentación.

Efectos de la densidad de corriente.

Como cualquier otra carga de trabajo el incremento en la densidad de corriente en el ánodo de grafito, resultará en un incremento en el rango de consumo de grafito por unidad de tiempo. Sin embargo un incremento en la densidad de corriente, no necesariamente resulta en una elevación en el consumo de grafito como se expresó en lb/ton. de producto fabricado. Aumentando la corriente en la celda, estando otros factores constantes, una gran cantidad de producto de la celda es formado en cualquier unidad de tiempo dado. La pérdida final del ánodo en término de salida de celda permanece casi constante para todas las densidades de corriente. Esto puede ser explicado considerando que mientras el ataque electrónico procede a un rango proporcionalmente rápido con el incremento con la densidad de corriente el simple tiempo de los elementos de ataque eléctrico y mecánico pueden acortar el tiempo en el cual se contribuye al consumo del ánodo.

Pureza del grafito.

Impurezas metálicas pueden causar problemas en la sección electrolizadora o en las celdas de mercurio causando descomposición prematura de la amalgama, lo cual produce una alta e indeceable proporción de hidrogeno en el cloro obtenido. Esto significa que los ánodos de grafito en esta sección deben estar considerablemente libres de impurezas



- A - TUBO DE ALUMINIO
- B - TUBO DE ALUMINIO
- C - TUBO DE ALUMINIO
- D - TUBO DE ALUMINIO
- E - TUBO DE ALUMINIO
- F - TUBO DE ALUMINIO
- G - TUBO DE ALUMINIO
- H - TUBO DE ALUMINIO
- I - TUBO DE ALUMINIO
- J - TUBO DE ALUMINIO
- K - TUBO DE ALUMINIO

TESIS PROFESIONAL		
[P] NCEL DA DE CLORO TIPO		
ESTOQUE	GIBBS VORCE	
VIII 75	RODOLFO GONZALEZ 3AE	N° 1

s aún que en la celda de diafragma.

coesos especiales de purificación se requieren en la manufactura de ánodos para mantener garantizado libre al máximo de vanadium. Es comúnmente ofrecido de 50, 20 y 2 p.p.m. El vanadio ha sido siempre aislado como natural hasta que este es contaminado con petróleo crudo y puede ser arrastrado fácilmente al grafito a través del lecho de petróleo.

Los contaminantes metálicos tienen una relativa alta descarga de cloro, potencial comparada con la del mercurio, la cual es baja y así favorece la descarga de cloro. Estos metales extraños tienden a formar un cátodo local el cual causa una descomposición del agua liberando hidrógeno, el cual en concentraciones del 4 % al 74 % es espontáneamente explosivo.

Los trozos o placas de grafito en el descomponer (celda secundaria) pueden ser de altas impurezas, ya que el objetivo aquí es la descomposición de la amalgama.

CELIDAS COMERCIALES PARA PRODUCIR CLORO Y CAUSTICOS.

Los tipos de celdas predominan en esta industria y son celdas de diafragma y celdas con cátodo de mercurio de las cuales hablaremos en seguida.

CELIDAS DE DIAFRAGMA.

En los Estados Unidos, la celda más ampliamente usada para la electrólisis de sal es del tipo de diafragma, comprendiendo algo así como el 65 % del total de las plantas instaladas.

Las celdas del tipo de diafragma se pueden dividir en 3 clases.

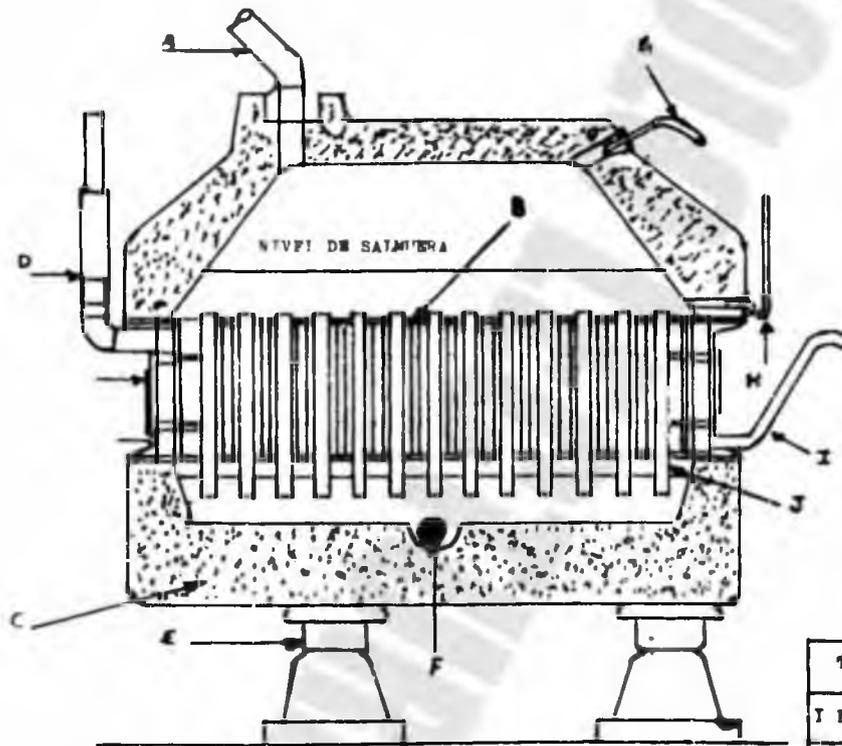
- 1/ Las de diafragma vertical no sumergido.
- 2/ Las de diafragma vertical sumergido.
- 3/ Las de diafragma horizontal no sumergido.

Y variantes que se hayan en los linderos de unas y otras clases, -- y también muchas formas de cada clase. Los dos mayores diseños son: octangulares y Cilíndricos.

El diseño cilíndrico, es viejo, requiere más mano de obra, generalmente opera a baja eficiencia, por lo tanto pasado de moda.

La celda GIBBS o BORCE son ejemplos de este diseño (ver dibujos 1 y 2).

La celda HOOKER' "S", es un ejemplo de un buen diseño rectangular (ver dibujo 3). La temperatura normal del diafragma de esta celda es de 100° F.



- A- SALIDA GAS CLORO
- B- CATODO CON DEDOS PERFORADOS CUBIERTOS POR DIAFRAGMA CONTENIENDO SALIDA DE HIDROGENO CAUSTICO Y CONEXION ELCTRICA.
- C- FONDO DE CONCRETO CONTENIENDO EL ANODO CONDUCTOR Y UNA SAMPLA DE GRAFITO.
- D- SALIDA DE HIDROGENO
- E- AISLADOR
- F- CONDUCTOR DE CORRE A LOS ANODOS
- G- ENTRADA DE SAIMIERA
- H- MIRILLA (NIVEL)
- I- SALIDA DE ROSA
- J- ANODO DE GRAFITO

TESIS PROFESIONAL		
IPN	CELDA TIPO	ESC.
ESIQUE	HOOKER	RTM
✓ 7	EDOLFO GONZALEZ BARR	11

es del orden de 95° c. El ánodo esta hecho de grafito impregnado con aceite de linaza, en tanto que el cátodo esta hecho de fierro corrugado ó lámina de hierro perforada.

El diafragma es un delgado tapete de asbesto colocado entre el ánodo y el cátodo a una distancia mínima.

La función del diafragma es evitar cuanto sea posible la migración — por difusión de los iones hidroxilos hacia el ánodo y, ello no obstante mantener una resistencia eléctrica mínima.

Todos los diafragmas prácticos se topan gradualmente con las impurezas residuales que no se extrajeron de la salmuera y con partículas de grafito procedentes de los ánodos.

Se podrian usar ánodos de magnetita o platino, pero no se han puesto en práctica, principalmente por razon del mayor voltaje necesario con la magnetita y por la mayor inversión que requiere el platino, y — otros detalles que se vieron anteriormente y se complementa con la tabla No. 1.

En una celda de diafragma a la reacción en el cátodo varia a la de la celda de mercurio en que la solución caustica se forma continuamente en la celda. Cuando el ión sodio descargado recibe un electrón se convierte en metal sodio, este reacciona con el agua presente para formar solución caustica de NaOH, con la variante evolución de gas hidrógeno, cada cátodo viene dos salidas una en la parte superior para liberar el hidrógeno, la otra en la parte inferior para descargar el efluente de la celda. Este efluente es solución caustica y salmuera gastada. Estos productos son separados por evaporación para obtener la sosa caustica, el cloruro sódico que se precipita se vuelve a disolver y se devuelve a electrólisis. La concentración caustica es típica de 135 gr/Lt.

El tipo antiguo de celdas cilindricas opera a una carga de fuerza de 2,000 amperes. La celda de diafragma depositados opera a 8,000 amperes (tamaño chico), mientras que 30,000 o 35,000 amperes es común en los diseños más modernos. Celdas mucho más grandes han sido consideradas para soportar cargas de 60,000 amperes de fuerza.

Condiciones de las celdas. La temperatura para las celdas de diafragma es de 95° c. El promedio de voltaje de arranque es de 3.5 volts y el voltaje de corte es de 4.2 V. La elevación del voltaje es básicamente el resultado del ánodo gastado o del taponamiento del diafragma. Este taponamiento requiere cambio de diafragma significando que la celda se corta brevemente mientras es insertado una sección del —

nuevo cátodo. Esta operación se requiere cada 70/120 días.

Cambios fuera. Los promedios de dos o tres por vida de la celda. El control de los ánodos de grafito y el control de la vida de la celda y al menos de 200 a 400 días dependiendo de la severidad de la operación. Cuando los ánodos son tan delgados que necesitan repuesto, la celda entera es reconstruida. El consumo de grafito es del orden 7.5 a 8.0 lb/Ton. cloro producido.

Comparada con las celdas de cátodo de mercurio las ventajas de las celdas de diafragma son:

- mas pequeñas celdas individuales
- mas pequeña planta
- menos espacio requerido
- diseño más simple
- ánodo de menor pureza y de menor costo
- menos pérdida de materiales en los ánodos
- menor voltaje requerido
- reduce los costos de fuerza
- puede tener ventajas para una salmuera más barata.

CELAS CON CATODO DE MERCURIO.

Las celdas con cátodo de mercurio comprenden el 35 % de la producción de cloro en Norte America, pero en Europa es aproximadamente el 65 % del total del mercado.

Esta es esencialmente horizontal, son rectangulares, no usan diafragma, no obstante que son básicamente similares hay muchas variaciones en el diseño. Las más prominentes en uso ahora son:

- 1.- D'NORA
- 2.- OLIN
- 3.- SOLVAY
- 4.- UHDE (Se pronuncia U-D)
- 5.- KREBRS.

La celda Olin es la única de manufactura norte americana las otras son Europeas. (ver dibujo 4 de la celda de cátodo de mercurio).

Estos tipos de celda tienen la sección electrolisadora cerrada, tienen una salida de salmuera, ánodos de grafito y cátodos de mercurio es en esta sección donde el cloro es liberado.

Es una sección larga rectangular horizontal de cerca de 3 ft de ancho y 50 ft de largo (Estas medidas varían considerablemente según la ca

pacidad de la celda), se forma una artesa por paredes de 8" a 10" - de alto y usualmente toda la base es de áoero, no obstante algunos - forros de piedra aún persisten la base está negativamente cargada y es sobre este tipo donde la delgada hoja del cátodo de mercurio fluye. La corriente eléctrica se introduce ya sea directamente através del áoero o a través de botones en contacto entre los blocks de pie-dra pulida formando la base, esto es dependiendo del diseño de la base que se usa.

Más o menos hay una separación de 1/8" entre el cátodo de mercurio y el ánodo que es de grafito que según la capacidad de la celda es la medida del ánodo. Casi todos los ánodos contienen ranuras a los lados y se le hacen agujeros taladrados que atraviesan el ánodo verticalmente, para proveer una salida al cloro producido, que es barrido desde el fondo hasta la parte alta del ánodo, de donde esta es arrastrada a uno de los extremos y hacia afuera del cabezal del tubo, el arrastre rápido del cloro es vital, de lo contrario el gas formará una capa aislante entre el ánodo y el cátodo. Las ranuras toman más o menos del 10 % al 15 % de la superficie expuesta. Hay muy poco acuerdo en las configuraciones sobre los ánodos, aún entre los consumidores de idénticas celdas, por lo tanto el No. de ranuras y agujeros por ranura variará de consumidor, ya que cada uno piensa que su diseño es superior para este propósito.

Cada ánodo de grafito es soportado en la parte superior por un bastago o varilla, usualmente grafito, impregnado de aceite, este bastago sirve para poseer el ánodo y para introducir corriente eléctrica al mismo. El espacio ánodo y cátodo es crítico en operaciones de vajo voltaje, las celdas nuevas están dotadas con dispositivos que les permiten levantar y bajar el ánodo a través de este ajuste del bastago. Los contactos con los vástagos y conexiones están hechas al ánodo en numerosas medidas, pero el más común es un cilindro de grafito el cual se enrosca dentro de un socket en el ánodo, esto es normalmente para un ánodo cuadrado un cilindro y 2 cilindros para uno rectangular. Cada vástago contiene un contacto de cobre, puede ser varilla o solera acoplada con abrazaderas del mismo material, estas conexiones de cobre a parte de conducir la corriente tienen como función soportar al ánodo y a la barra de grafito. Los vástagos se pueden utilizar hasta 3 veces lo que le da una vida más larga que la placa de grafito por ejemplo si los ánodos tienen una duración de 365 días

la barra tendrá una duración más o menos de 1095 días.

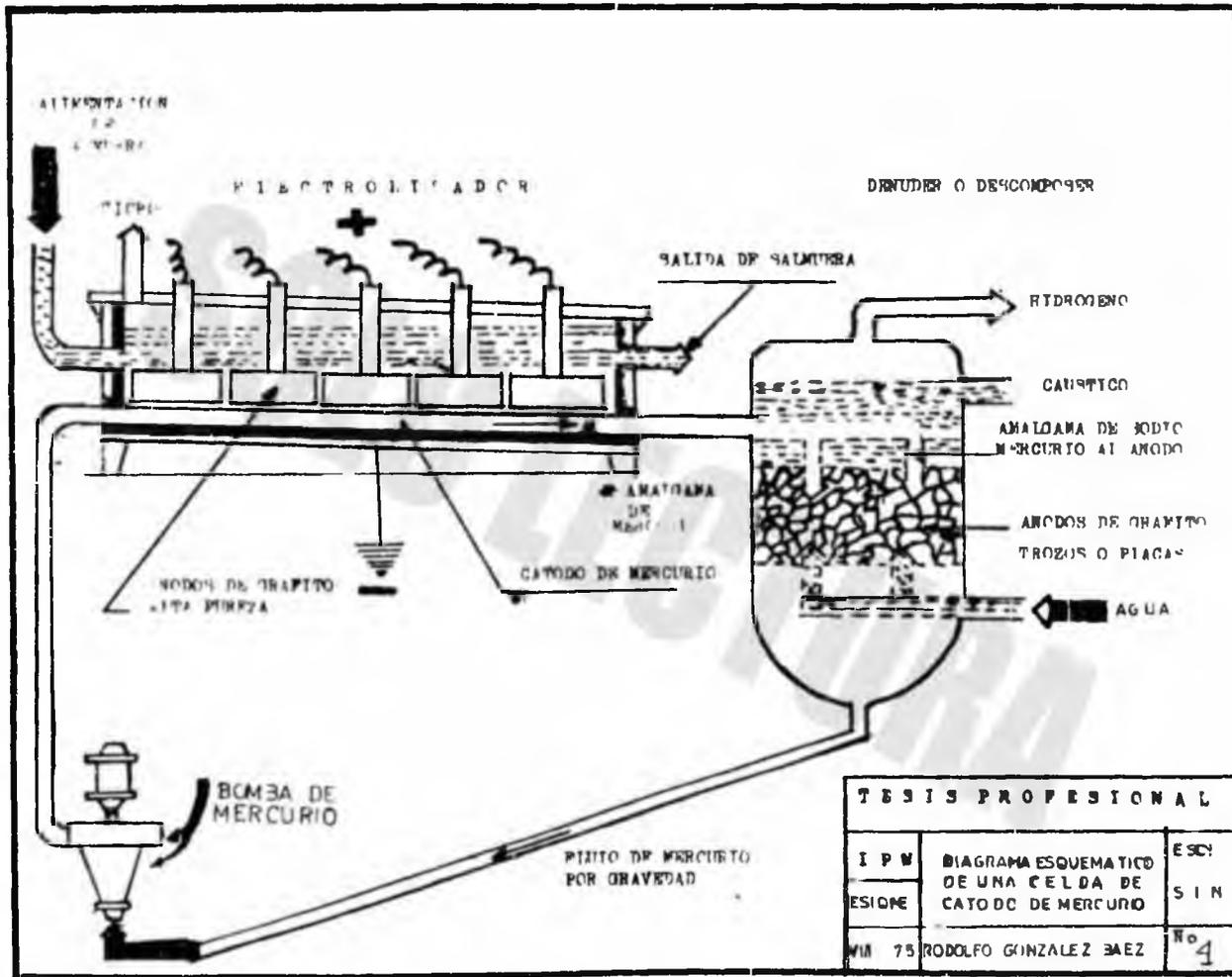
La separación de $1/8''$ entre el ánodo y cátodo es llevada por la salmuera, en esta area es donde la electrólisis tiene lugar. Cámaras - con baffle en los extremos de la celda separar la salmuera del mercurio. Las celdas están recubiertas comúnmente de hule duro, debido a la naturaleza corrosiva de la salmuera así como a lo corrosivo del cloro humedo. La salmuera gastada se vuelve a tratar y continúa circulando entre las celdas.

En el trayecto através de lo largo de las celdas el mercurio siendo negativo atrae la carga positiva del ión sodio, en contraste con las celdas de diafragma en las cuales el sodio reacciona con el agua en la salmuera, el sodio en una celda de mercurio inmediatamente se amalgama con el mercurio y es llevado en la concentración de más o menos 0.20 %. A altas concentraciones (una mayor cantidad de energia consume más sal o un flujo lento de mercurio) la amalgama se hace espesa a lo que se llama mantequilla de mercurio el cual no fluye y puede seriamente interrumpir la operación de la celda. Este es un criterio básico del diseñador de la celda de mercurio.

Después que la amalgama deja la sección electrolisadora es importante separar el sodio del mercurio, de manera que el mercurio pueda ser usado nuevamente, la unidad en la cual tiene lugar esta descomposición se llama " DENUDEAR O DESCOMPOSER " que es lo que nosotros llamamos celda secundaria.

El denuder puede ser uno de los diseños el " CHUNK " diseño particular o plato diseñado. El plato diseñado es una unidad tipo muy similar al electrolisador con placas de grafito flotando sobre la amalgama. Las placas pueden ser o bien sólidas maquinadas con ranuras o agujeros ó fabricadas de secciones delgadas con varillas espaciadoras o separadores. El tipo de placas desnudas son usualmente construidas bajo la unidad electrolisante con la ventaja de que pueden tomar el flujo o gravedad y la parte más alta del DENUDEAR queda en la parte más baja de la celda. El mercurio es bombeado despues de romper la amalgama para empesar un nuevo ciclo através de la celda. (ver dibujo No. 4).

Partículas o trozos de grafito se emplean en el DENUDEAR variando en medida de $1/2''$ a $1''$. La sección de descomposición es cilíndrica con una tapa provista de un resorte para prevenir agitación y desmoronamiento de los trozos, el agua que se introduce a la unidad reaccio-



TESIS PROFESIONAL		
IPM	DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UNA CELDA DE CATHODO DE MERCURIO	ESQ
ESIQM		SIN
MIN 75	RODOLFO GONZALEZ BAEZ	No 4

na con el metal sodio separado del mercurio para formar el cáustico el cual fluye hacia afuera y el gas hidrógeno que se escapa desde el descomponer puede ser tirado a la atmósfera. En cada tipo de DESCOMPOSER el grafito provee el medio para el cambio de electrón.

Las celdas de mercurio operan cerca de 70° c. Las celdas modernas trabajan de 40,000 amp. a 200,000 amp. de carga. Las celdas de 500,000 amp. es diseñada para un voltaje normal de cerca de 4.5 V.

Las ventajas de la operación de las celdas de mercurio són:

- Alta pureza del cáustico
- alta controlada concentración del cáustico
- celdas individuales más grandes con mayor rendimiento
- bajo consumo de grafito por libra de producto
- facilidad de paros.

El cloro se puede fabricar a partir de los cloruros alcalinos fundidos o soluciones acuosas de cloruros de metales alcalinos.

Electrólisis de cloruro de potasio. En cualquiera de las celdas antes descritas, se puede introducir y electrólizar una solución saturada de cloruro potásico. Hay una diferencia desfavorable en el voltaje teórico de descomposición, que no siempre se manifiesta en la práctica. Ciertas clases de asbesto se hinchan menos en soluciones de sales de potasio que en soluciones de sales sódicas y esto con frecuencia compensa con creces la diferencia de voltaje. Por supuesto, los instrumentos de regulación tienen que ser ajustados a la diferente densidad de la solución. Pero en todos los demás aspectos las operaciones son idénticas. La electrólisis de cloruro potásico da una parte relativamente pequeña de la producción total del cloro.

Electrólisis del cloruro magnésico. Dow Chemical / Co., de Michigan, ha sido la primera empresa que ha producido magnesio por electrólisis de cloruro magnésico fundido. Durante la segunda guerra mundial creció notablemente la producción de magnesio en los Estados Unidos por el método de Dow y algunos otros procesos. Gran parte del cloro que se genera en la electrólisis es aprovechado inmediatamente para preparar cloruro magnésico con el hidróxido o para suministrar la necesaria atmósfera de cloruro de hidrógeno a efecto de evitar la hidrólisis durante el secamiento del cloruro de magnesio. En el proceso en que se emplea agua de mar, se utiliza el clo-

ruro de hidrógeno para fabricar el cloruro de magnesio con el hidróxido presipitado y separado del agua de mar por filtración.

En general la fabricación del magnesio contribuye muy poco al mercedo del cloro.

La planta emplea celdas con cátodo de mercurio tipo KREBBS y el método que emplea para la obtención de cloro y sosa a partir de la descomposición de la salmuera de cloruro de sodio, método que se describe a continuación:

El cloro y la sosa que se utilizan como materia prima, para la fabricación del hipoclorito de sodio, se obtienen por medio de la descomposición electrolítica de salmuera previamente tratada para eliminarle impurezas.

Esta descomposición electrolítica se lleva a efecto en unas celdas de mercurio del tipo KREBBS, siendo los productos resultantes sosa cáustica, cloro e hidrógeno.

Las celdas de mercurio están constituidas principalmente de 2 partes. El cuerpo primario de la celda es donde se realiza propiamente la electrólisis de la salmuera, utilizándose para ello un ánodo de grafito y un cátodo de mercurio circulando. El gas cloro se deposita en el ánodo y en la superficie del cátodo de mercurio se deposita el sodio metálico para formar una amalgama líquida.

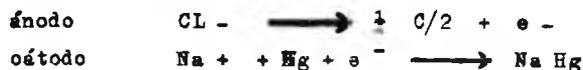
En el cuerpo secundario de la celda la amalgama es descompuesta al hacerla reaccionar con agua para formar hidróxido de sodio y gas hidrógeno.

Los dos cuerpos de la celda están unidos en un extremo por una cámara provista de una bomba vertical, la cual hace circular el mercurio. Al otro extremo un dispositivo llamado cabezal de entrada de amalgama, el cual permite solamente la entrada de la amalgama de sodio al otro cuerpo llamado celda secundaria, en tanto que la salmuera que es el otro líquido que circula por la celda primaria pasa a la planta de recuperación de sal sin pasar por el cuerpo secundario.

Los cuerpos de las celdas tienen una ligera pendiente en direcciones opuestas para asegurar la eficaz circulación del mercurio.

Las reacciones principales que se llevan a cabo son las siguientes:

Celda primaria



Reacción total



Celda secundaria



Reacción total



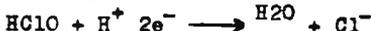
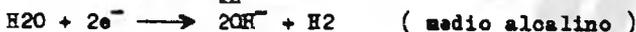
La sosa obtenida tiene una concentración de 30 a 50 % en peso.

Las reacciones anteriores son las principales ya que existen varias reacciones que podrían llevarse a cabo en la celda, como son las siguientes:

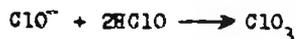
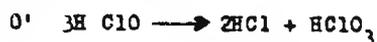
Reacciones del ánodo



Reacciones en el cátodo



Reacciones Químicas (Sin transferencia de electrones en el electrolito).



En el ánodo



-0.61 Volts y el de evolución del hidrógeno -1.9 Volts. En el cátodo se produce la reacción del potencial más positivo de modo -- que se depositará sodio en lugar de hidrógeno puesto que su potencial de descarga es -1.83 Volts.

El sobre voltaje de sodio a densidades de corriente catódica en el rango comercial de 0.10 a 0.50 amp/cm.² es muy pequeño, alrededor de 0.01 a 0.02 volts. La siguiente tabla muestra el potencial de deposición total del ion sodio.

	Entrada	Salida
Temp. °c.	50	75
Nu en Hg $\frac{1}{2}$ peso	0.01	0.15
densidad de la corriente catódica amp/cm. ²	0.40	0.40
NaCl gr/Lt.	305	270
voltaje de descarga	-1.69	-1.78
sobrevoltaje	-0.01	-0.02
Voltaje total	-1.70	-1.80

La evolución simultanea del hidrógeno tiene lugar aunque en muy -- pequeñas cantidades. (Eh)

La fuerza electromotriz es por definición cero: Sin embargo la -- fuerza electromotriz real Eh depende del PH de la solución en la -- interfase del cátodo.

$$E_h = -2.3026 \frac{RT}{F} \log \frac{H^{1/2}}{H^+}$$

como el PH = - log H⁺

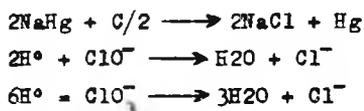
$$E_h = - 1.9843 \times 10^{-4} \times T \times PH$$

El PH en la interfase del mercurio y la salmuera se encuentra que es más alto alrededor de 9, debido al agotamiento de los iones hi drógeno por las muchas reacciones bajo consideración.

Considerando un PH de 9 a una temperatura de 50°C. el valor de Eh sera igual a -0.591 volts.

Desprendimiento de H2 en la celda primaria.

Cuando las condiciones de operación de las celdas son inadecuadas se produce hidrógeno en la celda primaria junto con el cloro formando una mezcla explosiva de gases cuando la concentración del hidrógeno es mayor del 2%, por lo que resulta peligroso el no evi tar la formación de hidrógeno dentro de la celda primaria.



Principio de operación de las celdas de mercurio.

La salmuera se forma disolviendo sal en agua; la desociación de dicha sal libera iones cloro e iones sodio, mientras que el agua corriente iones hidrógeno e iones oxidrilo sometiendo esta solución a la electrólisis entre electrodos insolubles, normalmente se depositaria hidrógeno en el cátodo y no sodio; esto se debe al hecho de que a partir de una solución neutra de NaCl normal con respecto a los iones de sodio, se requiere un potencial de -2.71 Volts para depositar iones sodio pero en cambio solo se necesita un potencial de -0.4 Volts para depositar iones hidrógeno. Considerando la explicación la celda de mercurio resultaria inoperante lo cual es un absurdo, ya que como se dijo antes el cuerpo primario de la celda se deposita sodio en el cátodo con preferencia al hidrógeno, esto se debe a los siguientes factores:

Concentración de la salmuera.

La salmuera utilizada tiene una concentración de cloruro de sodio cercana a su saturación y aunque también es de carácter ácido, la relación ionica del sodio al hidrógeno es muy elevada lo cual origina que la presión asmótica de los iones sodio en la solución sea incrementada dando con esto un carácter más electropositivo al sodio con relación al hidrógeno. Además es conveniente utilizar salmuera concentrada ya que la solubilidad del gas cloro que se desprende de los ánodos de grafito, es menor en este tipo de soluciones, que en los de naturaleza más diluida, evitandose así la formación de otros productos indeceables tales como hipocloritos y clorates.

La naturaleza del cátodo es determinante para la depositación del sodio ya que esta solo se debe a la elevada sobretensión del hidrógeno sobre el mercurio. La diferencia de potenciales entre una solución saturada de NaCl y una amalgama de sodio al 2 % es de -1.83 Volts.

La sobretensión del hidrógeno sobre el mercurio a las densidades de corriente usuales viene a ser de 1.30 Volts.

El potencial de descarga del hidrógeno en equilibrio resultará ser

Quando la celda presenta sistemas de aumento en la producción de hidrógeno, lo indicado es desconectar la celda o buscar el motivo aparente de la mala producción, mientras tanto la celda o celdas deben conectarse al depto. de hipoclorito y hasta que no se halla corregido y eliminado la producción de hidrógeno se pasará la celda o celdas al departamento de secado junto con las demás celdas que trabajan concretamente.

El desprendimiento de hidrógeno puede incrementarse por los siguientes factores:

- 1.- Baja concentración de la salmuera o una inadecuada alimentación de la misma.
- 2.- Elevada concentración de sodio en la amalgama.

Usualmente la amalgama contiene alrededor de 0.15 % de sodio.

Arriba de 0.2 % el porcentaje de hidrógeno en la corriente de cloro puede incrementarse especialmente si otras condiciones desfavorables prevalecen al mismo tiempo. Al aumentar el contenido de sodio en la amalgama va aumentando el valor de su presión de desolución electrolítica y conforme disminuye el carácter electropositivo del metal desciende el valor de su presión de desolución electrolítica; entonces al concentrarse la amalgama se esta logrando el efecto contrario es decir se hace más electropositivo el metal y se incrementa el potencial electronegativo del sodio, creandose una fuerza contraelectromotriz que hara se eleve el voltaje requerido para la disposición del ion sodio.

Los motivos por los cuales la amalgama puede aumentar su concentración son:

Por la mala circulación del mercurio lo cual se debe a fallas mecánicas o por la obstrucción al paso del mercurio por el desprendimiento de algunos de los ánodos; también puede ser que por la cantidad de mercurio que circule atraves de la celda no sea la adecuada de acuerdo con el diseño de la celda y las condiciones de operación.

3.- Impurezas en la salmuera.- El magnesio fierro y otros metales polivalentes producen una baja en la sobretensión del hidrógeno sobre la superficie del mercurio, causando por lo tanto una cantidad exesiva de hidrógeno en la corriente de cloro. En la siguiente tabla se muestra el efecto de las impurezas en orden de creciente de su efecto sobre la evolución del hidrógeno.

Efectos	Metales
Muy perjudiciales	V, Mo, Cr, Ti, Ta, (Mg+ Fe)
Moderadamente perjudiciales	Ni, Co, Fe, W
Ligeramente perjudiciales	Ca, Ba, Cu, Al
Sin ningún efecto	Ag, Pb, Zn, Mn

Efecto de las impurezas no metálicas sobre la evolución del hidrógeno en el cátodo de mercurio.

Ningun efecto	SO ₄ ²⁻ , Br ⁻ , I ⁻ , ClO ₃ ⁻ , F ⁻
Ligeramente benéficos	Boratos tienden a desactivar al vanadio
Benéficos (Silicatos)	Desactivan al vanadio formando complejos.
Estonatos	forman ácido estónico coloidal, el cual desactiva al W.

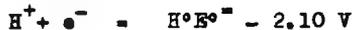
La combinación de 2 o más metales tienen un efecto peor que si estuvieran separados. La concentración máxima permisible de metales en la salmuera de alimentación para 0.3 % de hidrógeno en el gas - cloro, operando a 0.40 amp/cm.² y 80° c es:

Metal	Mg/Lt.
Ca	100.00
Mg	1.0
Fe	0.3
Ti	0.1
Mo	0.001 - 0.010
Cr	0.001 - 0.010
V	0.001 - 0.010

El mecanismo exacto del efecto de las impurezas no ha sido completamente determinado sin embargo, se ha observado que algunos de ellos reducen la tendencia del sodio recién depositado a mezclarse con todo el mercurio causando con esto un incremento en la actividad del sodio en la interfase del mercurio y la salmuera elevando el potencial de deposición del sodio y por lo tanto favoreciendo la del hidrógeno.

La explicación usual para el elevado sobrevoltaje del hidrógeno sobre el mercurio es que la reacción procede en dos pasos. El primero es la deposición de hidrógeno atómico el cual requiere la ener-

gia libre adicional de adición de 48.57 kcal



La reacción de recombinación se cataliza por presencia de impurezas metálicas en la superficie del mercurio.



Evolución de gas cloro.- En la tabla siguiente se indica la fuerza electromotriz de la media celda formado por el ánodo de grafito y la salmuera, referida al electrodo de hidrogeno, para varias concentraciones de NaCl y diferentes temperaturas.

NaCl concentración en gr/Lt.	V o l t s			
	Tem. °o.			
	10	40	60	80
119.2	1.370	1.355	1.349	1.044
150.0	1.350	1.350	1.243	1.338
200.0	---	1.341	1.335	1.327
230.3	---	1.336	1.329	1.321
250.0	---	1.333	1.326	1.317
300.0	---	1.326	1.318	1.309

El sobrevoltaje de cloro sobre los ánodos de grafito esta sujeta a muchas consideraciones entre las cuales 2 son las principales.

- 1.- La naturaleza variable del grafito.
- 2.- La forma en la cual el grafito se usa como ánodo.
 - 1.- Los ánodos fabricados, de grafito difieren en la procedencia del carbón y en los pasos del procedimiento para la formación del ánodo, la grafitación y el maquinado.
 - 2.- El sobrevoltaje de cloro depende principalmente de la densidad de corriente y la temperatura.

El uso de grafito como material anódico incluye varios factores, los cuales afectan el sobrevoltaje de cloro, siendo algunos:

- a) Tiempo en uso del electrolito.
- b) Forma de la placa de grafito.

Los ánodos de grafito estan provistos de perforaciones o canales -- que sirven como respiradera para el escape del gas cloro que se colecta en la superficie interior del ánodo.

c) Distancia entre ánodo y cátodo

Entre más pequeña sea la distancia entre los electrodos el voltaje en la superficie del ánodo es mayor y por lo tanto el porcentaje de gas en el electrolito aumentará, habiendo mayor cantidad de burbujas que provocan la elevación del sobrevoltaje

d) A los ánodos de grafito se les trata con numerosos aditivos los cuales cambian la tensión superficial sobre el grafito en tal forma que el gas cloro es eliminado en forma más fácil, se le impregna con resinas u otros materiales para reducir su porosidad; ya que los ánodos de grafito porosos ocasionan que el electrolito se introduzca en ellos con la consiguiente impurificación del cloro producido. Los ánodos densos, homogéneos y compactos contribuyen a la producción de gas cloro de mayor pureza.

A continuación se da una tabla con sobrevoltajes de cloro con ánodos de grafito los cuales tienen diferentes diseños en su superficie.

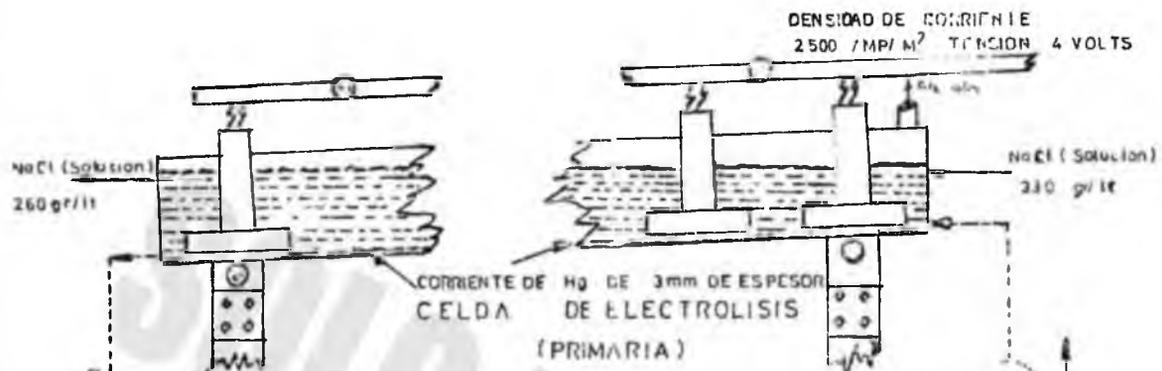
V = Potencial total de descarga

N = Sobrevoltaje en volts

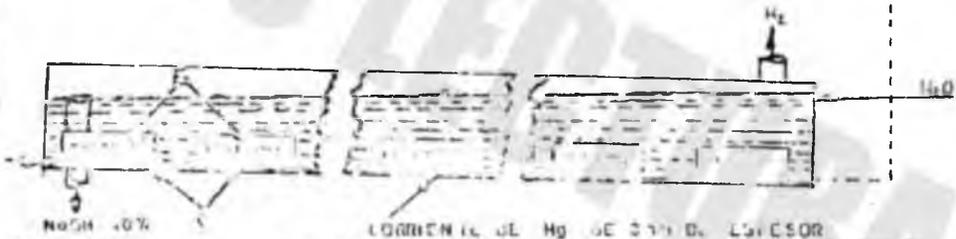
Densidad de corriente amp/cm²

TABLAS DE SOBRE VOLTAJE DE DESPRENDIMIENTO DE CLORO CON DIFERENTES TIPOS DE ANODOS.

DENSIDAD DE CORRIEN TE AMP/cm ²	C		E		G		H	
	SUP. PLANA.		HOYOS $\phi = 7$ mm.		CANALES 10 X 10 mm.		CAVALES Y HOYOS.	
	V.	N	V	N	V	N	V	N
0.000	1.283	-----	1.283	-----	1.313	-----	1.313	-----
0.005	1.300	0.017	1.300	0.010	1.320	0.007	1.320	0.007
0.010	1.330	0.047	1.320	0.037	1.330	0.017	1.325	0.012
0.020	1.365	0.082	1.350	0.067	0.037	0.037	1.340	0.027
0.050	1.430	0.147	1.380	0.097	1.410	0.097	1.385	0.072
0.100	1.510	0.227	1.450	0.167	1.470	0.157	1.440	0.127
0.200	1.750	0.467	1.600	0.317	1.580	0.267	1.510	0.197
0.500	2.810	1.527	2.140	0.857	1.830	0.517	1.680	0.367



AL CALZADA DE SODIO



TESIS PROFESIONAL

IPN	CELDA DE MERCURIO	ESQ
ENOTE	IDEAS	SIN
V.1	D.F.O. CUMPLE 2.1954	

Evolución de oxígeno en el ánodo de grafito.



Cualquiera que sea el mecanismo de la reacción, siempre se formará oxígeno, que se encontrará combinado como CO₂ en el cloro cuando se utilizan ánodos de grafito.

Operando a un pH alrededor de 2.5 a el % de CO₂ en el cloro es generalmente en el rango de 0.3 a 0.6 dependiendo de la concentración de la salmuera, CO₂ en la alimentación, temperatura y calidad del grafito.

La densidad de corriente anódica es usualmente de 5 a 15 % más alta que la densidad catódica cuando se basa en la superficie inferior del ánodo.

Tomando en cuenta la superficie vertical del ánodo lo cual también es activa y contribuye a la conductancia, la densidad de corriente anódica real es sustancialmente la misma que la densidad de corriente catódica.

Caída de voltaje en el electrolito.

Resistividad de la salmuera OHM cm:

Temperatura °c.

NaCl gr/Lt.	25	50	75	100
200	4.83	3.07	2.83	1.67
225	4.57	3.00	2.10	1.57
250	4.37	2.82	2.00	1.47
275	4.29	2.74	1.93	1.42
300	4.11	2.67	1.88	1.35
320	4.07	2.64	1.83	1.22

La resistencia en el electrolito de pende de varios factores, los principales son:

Distancia entre los electrodos

Burbujas de gas dispersas en el mismo

Concentración y temperatura.

La distancia entre los electrodos, se ve continuamente incrementada, conforme se desgastan los ánodos, lo que ocasiona la elevación de la resistencia, al espacio más pequeño prácticamente aprovechable es de 4 mm. realizandose periódicamente un ajuste para restaurar el espacio deseado.

Las burbujas de gas dispersadas, que en su mayoría son de cloro y

apor de agua incrementan la resistencia en el electrolito.

Perdida de voltaje entre los conductores eléctricos.

La caída óhmica en los en los conductores y contactos entre conductores depende en gran parte en el diseño de la celda. En las celdas típicas, operando a 0.4 amp/cm² la caída óhmica será del orden de 0.25 a 0.30 V.; la caída en los contactos será de 0.10 a 0.15 - V. la caída total será de 0.35 a 0.45 V.

Las celdas van montadas lado a lado, tan cerca como sea posible y los conductores van en líneas paralelas.

Balance de voltaje total.

Los voltajes componentes para una celda son dados en la siguiente tabla:

<u>Densidad de corriente catódica 0.4 amp/cm²</u>	<u>Entrada.</u>	<u>Promedio.</u>	<u>Salida.</u>
fem reversible en el cátodo	1.69	1.74	1.78
fem reversible en el ánodo	1.32	1.32	1.32
fem reversible total	3.01	3.06	3.10
polarización en el - cátodo	0.01	0.01	0.02
polarización en el - ánodo	0.38	0.29	0.23
polarización total	0.36	0.30	0.25
resistencia en el electrolito	0.58	0.59	0.60
resistencia en los - conductores	0.28	0.28	0.28
resistencia en los - contactos	0.12	0.12	0.12
resistencia total	0.98	0.99	0.101
voltaje total de la celda	4.35	4.35	4.35

Voltaje a otras densidades de corriente.

La fuerza electromotriz reversible permanece constante. El sobrevoltaje puede ser tomado sobre un rango moderado, como la suma de una parte constante y una porción variable. Dentro de un rango —

- 50 %.

El voltaje total de la celda es dado aproximadamente por la siguiente formula.

Voltaje promedio = 3.20 + 2.87 Dc.					
Dc = Densidad de corriente Amp/cm. ²					
Dc	Amp/cm. ²	0.20	0.30	0.40	0.50
V	Voltaje	3.78	4.06	4.35	4.63

CELDA SECUNDARIA.

En esta parte de la celda se produce la sosa caustica debido a la reaccion del sodio de la amalgama producida en la celda primaria con agua. La reaccion total es:



Esta reaccion se realiza muy lentamente, si solo se aprovecha la superficie del mercurio para la evolucion del hidrogeno debido a su elevado voltaje sobre la superficie del mercurio en esta parte de la celda la amalgama se convierte en ánodo y así prevee un cátodo de un material que no se amalgame con el mercurio, el cual es grafito. En esta forma completamos el circuito eléctrico, al sodio se depositará en la superficie del mercurio para formar el ion sodio y el gas hidrogeno será depositado en el cátodo dejando iones hidroxilo. Las reacciones en los electrodos son:



BREVE DESCRIPCION DEL PROCESO PARA OBTENCION DE SOSA Y CLO RO.

Una planta de sosa y cloro generalmente se divide en 3 areas: Salmuera, electrólisis y licuefacción.

En la primer área se lleva a cabo la saturación de la salmuera ayotada, el tratamiento químico de la salmuera concentrada, para quitarle compuestos indeceables en el proceso, y la purificación de la materia prima, como de los materiales ya procesados, todo lo cual lleva como fin que la alimentación a la segunda área llegue en condiciones apropiadas de pH, concentración y pureza para la electrólisis.

En electrólisis es donde se lleva acabo por medio de la corriente eléctrica la descomposición del cloruro de sodio en solución acuosa; comprende el grupo de celdas electrolíticas, los aparatos que suministran la energia eléctrica, la transforman, recu-

fican y regulan, los enfriadores de hidrógeno y los almacenes de -
sosa.

La siguiente área es donde el oro se licúa y se envasa en cilindros de 908, 75 y 35 Kg. Esta área está formada por las torres enfriadores y secadores, el equipo de condensación, el equipo de refrigeración, el de compresión y los tanques de almacén.

El flujo puede principiarse con la salmuera agotada que sale de -- las celdas de electrólisis, y comprende los siguientes pasos:

1.- DECOLORACION

Como es suponerse, la salmuera que ha pasado por las - celdas lleva consigo una cantidad de oro que oscila entre 500 y 700 ppm, ya que el oro tiene una solubilidad en salmuera y agua (ver gráfica # 1), esto acarrearía si la salmuera no fuera decolorada, la formación de ácido hipocloroso e hipoclorito de sodio; es to dificultaría el control del fierro, ya que en presencia del hipoclorito de sodio el fierro forma complejo de fórmula $Na_2FeCl_5H_2O$ muy estable, difícil de cuantear. Si el ácido hipocloroso no se elimina, el contenido de cloratos aumenta, lo que trae por consi--- guiente un aumento notable del consumo de los ánodos de grafito y, por último, la saturación de la salmuera agotada en presencia de - oro difícil, complicada y muy tóxica.

Por todos estos inconvenientes, el efluente de la celda es primeramente acidificado con ácido clorhídrico en cantidad sufi--- ciente para reaccionar con el ácido hipocloroso presente. Una gran parte del cloro gaseoso se desprende en este punto por efecto de - ion común; el cloro es llevado por una línea a unirlo al cloro de - las celdas, o bien al depto. de hipoclorito de sodio. El cloro res--- tante alcanza una concentración aproximada de 200 p.p.m., la cual se va a bajar 20 p.p.m. o menos, lo que se logra por medio de un - sistema de vacío. Este cloro, como el anterior, se ventea a la tubería general de cloro de la sala de celdas o hipoclorito de so--- dio. La salmuera descolorada contiene menos de 20 p.p.m. de cloro libre, ésta, ácida, se neutraliza con sosa hasta un pH de 6 a 7 antes de entrar a saturación.

Como se ve en la gráfica conforme aumenta la temperatura, la solubilidad del oro va disminuyendo, lo que se puede aprovechar para eliminar el oro hasta niveles por abajo de los 20 p.p.m.

2.- SATURACION

Es necesario agregar sal para restaurar la salmuera; generalmente esta sal es de la llamada " solar ", obtenida por cristalización del agua del mar. La sal se agrega a la salmuera, desclorada y neutralizada, la que contiene de 260 a 280 g/l de cloruro de sodio está a una temperatura entre 60 y 70 grados C; se pasa a los saturadores que son dos, con el objeto de que mientras uno está en servicio, en el otro se está regenerando; allí fluye a través de un lecho de sal para alcanzar una concentración de 305 a 310 g/l, sale del saturador caliente y saturada, por lo que para prevenir cristalizaciones se diluye con un pequeño recirculador.

Esta salmuera contiene las siguientes impurezas:

Sulfatos	3 g/l
Cloratos	2 g/l
Calcio	200 p.p.m.
Magnesio	1 "
Aluminio	0.1 "
Fierro	0.1 "
Molibdeno, Vanadio y Cromo	0.01 "
Otros metales	0.01 "
Materia orgánica .	0.7 "

Se puede operar hasta los límites máximos siguientes:

Sulfatos	5 g/l
Cloratos	4 g/l
Calcio	400 p.p.m.
Magnesio	10 " (1)
Aluminio	0.2 "
Fierro	1.0 "
Molibdeno, Vanadio y Cromo	0.02 "
Otros metales	0.02 "
Materia orgánica .	1.5 "

(1).- Se puede tolerar hasta 50 p.p.m. si el fierro es menos de 0.1.

El pH alcanza un valor de 3 a 4.5 como mínimo y un máximo de 7. Todos estos límites se establecieron conforme a experiencias obtenidas, pues cuando son superados sucede lo siguiente:

Los sulfatos destruyen los ánodos de grafito para formar anhídrido carbónico, disminuyendo la eficiencia de corriente.

Los cloratos, como ya se dijo, aumentan el desgaste de los ánodos y además actúan como homogenizantes y antifloculantes, reduciendo grandemente la sedimentación de los precipitados; su eliminación del sistema es difícil, y solo puede llevarse a cabo con pérdidas considerables de materiales.

El magnesio produce una baja del sobrevoltaje del hidrógeno en la superficie del mercurio, y produce una excesiva descarga de éste.

El aluminio actúa en igual forma que el anterior junto con todos los metales polivalentes.

El fierro activa la desamalgamación del calcio dentro de la celda con producción de hidrógeno.

El hidrógeno forma una mezcla explosiva con el cloro al comprimirse, por lo que se debe evitar su formación; además cuando es mucho el hidrógeno producido dentro de las celdas, ocasiona la explosión de las mismas.

El vanadio, el cromo y el molibdeno y otros metales pesados muy rara vez se encuentran y nunca pasan del límite establecido; en caso de superarlo ya se explicó anteriormente su comportamiento. La materia orgánica que más frecuentemente se encuentra es el sulfato de hidrazina ($N_2H_4 \cdot H_2SO_4$) o cualquiera otra que contenga nitrógeno, lo que produce el tricloruro de nitrógeno, cuyas consecuencias se vieron en el capítulo anterior.

El pH, si baja de 3, produce un aumento de hidrógeno, y si sube de 7 produce hipoclorito de sodio, quien a su vez produce clorato de sodio por la electrólisis de agua.

3.- TRATAMIENTO QUIMICO

El tratamiento químico tiene por objeto alcanzar las especificaciones óptimas de operación con respecto a la eliminación de las diversas impurezas que trae consigo la sal.

Consiste en agregarle los reactivos necesarios para que precipiten dichas impurezas en forma de lodos, lo que se lleva a cabo en un clarificador.

Este clarificador es un recipiente en el que entra la salmuera en el centro, y a la mitad de la altura tiene un agitador de mamparas y canales para dirigir la salmuera en direcciones pre-determinadas, de modo que los precipitados formados por los reactivos agregados para tal fin tiendan a depositarse en el fondo, el que

está dividido en tres secciones con tubos de drenaje, y al mismo tiempo que la salmuera tiende a subir a través del lecho de lodos formado, pierde gran parte de los sólidos y llega a la superficie lo más libre posible de precipitados. La salmuera purificada se derrama, por agujeros situados cerca de la superficie, a varios canales radiales que se juntan en un colector central que van al tanque alimentador de salmuera clarificada.

El objeto del agitador es activar las reacciones de purificación y dirigir el lodo formado por los precipitados hacia el fondo seccionado del clarificador, que ocupa alrededor de una tercera parte del área de la periferia y donde están colocados los extremos de los tubos de purga.

Los reactivos químicos que se añaden a la salmuera son carbonatos de sodio, carbonato de bario e hidróxido de sodio.

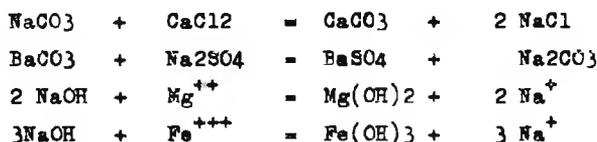
El carbonato de sodio anhidro se usa para quitar las sales de calcio, a las cuales las precipita como carbonato de calcio muy insoluble, y parcialmente precipita las sales de magnesio como carbonatos básicos.

El carbonato de bario se usa para quitar el ion sulfato, precipitándolo como sulfato de bario muy insoluble; es un reactivo ideal para tal fin, pues además de ser económico tiene la ventaja de precipitar también el ion calcio.

La sosa caústica se usa para precipitar la totalidad de las sales de magnesio de hierro de la salmuera; así mismo todos los metales pesados, excepto el aluminio; ya que al pH existente en clarificador el hidróxido formado se solubiliza completamente, todos los demás metales los precipita en forma de hidróxidos metálicos insolubles.

Los reactivos se preparan afuera y se agrega primero la sosa, la cual da un precipitado gelatinoso que engloba los carbonatos y los sulfatos formados, dando así una rápida precipitación de lodos.

Las reacciones más comunes que llevan a cabo son:



4.- FILTRACION

Es la operación unitaria más simple que se utiliza en el proceso, pero no por eso es menos importante, ya que aquí se le quitan a la salmuera los últimos vestigios de sólidos que trae fuera de especificación.

nes, pasa primero por un tanque de salmuera clarificada y después a tres filtros de arena concentrados en paralelo.

Dichos filtros están formados en su interior por capas sucesivas de arena, la cual es muy gruesa en el fondo y muy fina en la parte superior.

La salmuera llega a electrólisis, como ya se dijo, con una concentración de 305 a 310 g/l de cloruro de sodio; concentraciones mayores pueden tolerarse si la temperatura de la celda se controla entre 60 y 65° C; a temperaturas mayores se producirán cristalizaciones o depósitos de sal dentro de una celda, debido a la evaporación del agua dentro de la misma.

Una salmuera de menos concentración que la mencionada dará lugar a la electrólisis del agua hasta un punto considerable, al aumento del desprendimiento de hidrógeno, oxígeno y anhídrido carbónico en el gas cloro de las celdas, acompañados de una excesiva oxidación de los ánodos y una disminución marcada de la eficiencia de corriente.

5.- ELECTROLISIS

Aquí es la parte medular del proceso, donde por medio de la corriente eléctrica se llevan a cabo las transformaciones que darán los productos deseados, por medio de un número determinado de celdas electrólíticas, lo cual se vio con detalles.

6.- ENERGIA ELECTRICA

De todos los aparatos que suministran la energía eléctrica, el más importante es el grupo de rectificadores.

Se sabe ya que para el proceso es necesaria corriente directa; ésta se obtiene a partir de corriente alterna de 20,000 voltios por medio de rectificadores.

El rectificador es un aparato utilizado para el caso pues su característica es dejar pasar corriente en un solo sentido opuesto.

Si se tiene un circuito que conste de una fuente de corriente alterna, una resistencia y un rectificador, teniendo las terminales de dicho circuito conectadas una al ánodo y otra al cátodo del rectificador, y se hace un corto circuito sobre este, la corriente seguiría un camino sinusoidal, con una parte positiva y otra negativa, pero cuando el rectificador está en el circuito elimina por completo la parte negativa y deja pasar solamente la positiva.

Los rectificadores usados son los de selenio, que consisten esencial

8.- SECADO

En este departamento se le eliminan los sólidos que arrastra el cloro y se elimina toda humedad que trae el mismo.

Se tienen dos torres empacadas con silleta intalex conectadas en serie, en las cuales se agrega agua en contracorriente para arrastrar todos los sólidos que trae consigo el cloro el agua también absorbe cloro que se elimina en un desasificador, y el cloro desprendido se manda a la línea de succión de los compresores.

Posteriormente el cloro pasa después por tres secadores que están conectados en serie. Estos tienen ácido sulfúrico de 98 % el cual se cambia cuando baja la concentración hasta 75 %, normalmente se cambia en el primer secador cada tercer día, y en los restantes dura más.

Posteriormente pasa por una torre diferencial en la cual se detecta vestigios de humedad que arrastra el cloro, esta torre está empacada y está cargada de ácido sulfúrico.

9.- LICUEFACCION

El cloro se comprime nominalmente a 1.75 atmósferas y 38°C y es licuado en dos pasos de refrigeración. La refrigeración y condensación es diseñado frecuentemente para recobrar el 98% del cloro que entra como gas, trabajando a una capacidad aproximada de 30 toneladas métricas de cloro por día, cuando en las celdas se tiene la siguiente composición:

Cloro	98 %
Hidrógeno	0.2 %
Inertes	1.8 %

a la presión y temperatura antes dichas.

El equipo de licuefacción está constituido por dos unidades separadas: en la primera se licúa el cloro y en la segunda se recobran las colas, cada una con sus condensadores y equipo de refrigeración apropiado.

Los condensadores de cloro son intercambiadores de tubos que trabajan con freón 22 cuya fórmula es dicloro-difluoro-metano (CCl₂F₂). El freón se evapora en los tubos y el cloro se condensa en la chaqueta; generalmente los equipos de licuefacción se encuentran en partes altas para que el cloro condensado fluya por gravedad a los tanques de almacén.

Resumiendo: la unidad de licuefacción en dos etapas, una de condensación completa, con compresor de cloro, compresor de freón, condensador de freón, receptor de freón líquido, y otra segunda etapa de condensación de colas completas, que tiene compresor e intercambiador de

nte de una capa de selenio intercalada entre dos discos de metal; uno de estos, de ácero, es la placa soporte, que actúa como portador de la capa de selenio y constituye uno de los electrodos del rectificador; la otra placa forma el contraelectrodo, hecho de metal de aluminio y proporciona una capa, llamada barrera, entre el selenio y el contraelectrodo, sirviendo como segundo borne del circuito exterior.

La corriente positiva pasa, con toda facilidad, de la placa soporte a la del contraelectrodo, pero en sentido opuesto puede decirse que no pasa en absoluto. Los rectificadores de selenio, en operaciones normales de placas y refrigeración normal por convección, tiene una eficiencia entre 65 y 85 %, valores que dependen de la disposición del circuito. Esta eficiencia se mantiene para valores del consumo que pueden variar el 20 y el 150 % del correspondiente a plena carga. La mayoría de los aparatos eléctricos alcanzan el máximo de eficiencia tan solo trabajando a plena carga.

7.- ENFRIAMIENTO Y LAVADO

El gas cloro, que viene de la sala de celdas y del sistema de decoloración de la salmuera por el sistema de vacío, se suciona a través del sistema de secado por medio de unos compresores de anillo líquido (sello de sulfúrico) y después por presión pasa a la planta de lixiviación.

Este cloro se encuentra saturado con vapor de agua a una temperatura variable que está en función de la temperatura ambiente y la de la sala de celdas, pero generalmente se encuentra entre 30 y 65° C, se enfria primero y se lava en una torre empacada para eliminar las trazas de cloruro de sodio que puede arrastrar de las celdas. El agua circula en la torre a contracorriente con el gas. Parte del vapor de agua contenido en el gas que viene de las celdas se condensa e incrementa el volumen de la solución circulante. Después y para mantener un nivel constante en el tanque de circulación, parte de la solución se descarga al drenaje continuamente.

La solución circulante tiende a aumentar su calor por el calor sensible del cloro y por el calor de condensación del vapor de agua contenido en el gas, por lo que esta solución se enfria antes de retornar a la torre. El cloro gas, que sale de la torre de lavado y enfriamiento a una temperatura aproximada de 26 a 35° C, se pasa a través de un separador al sistema de secado.

freón.

El freón 22 se condensa a 34.5°C y 13.9 atmósferas y se evapora en la primera etapa de condensación en los tubos a -3°C y 1.7 atmósferas. El freón de la segunda etapa de compresión se evapora en los tubos del condensador de colas a 40°C y 1.07 atmósferas. Este freón es un gas refrigerante, incoloro e inodoro.

Un sello hidráulico lleno de cloro líquido está puesto entre la primera etapa de condensación y el tanque almacén de cloro líquido el cloro gas de los tanques almacén burbujea a través del sello hidráulico y entra en la segunda etapa de condensación para estabilizar e igualar la presión en todo el sistema.

El gas de venteo que está constituido por los gases que no se pudieron condensar incluye una parte de cloro, que es venteadado por una válvula automática para el sistema de hipoclorito, ácido clorhídrico o cualquier otro sistema que se tenga en el proceso requiera cloro para llevarse a cabo.

El hidrógeno y otros gases incondensables que vienen de celdas permanecen con el cloro en todas las etapas de compresión y licuefacción; cuando el cloro se condensa, la concentración de hidrógeno se incrementa en el gas residual, forma mezclas fuertemente explosivas, por lo que cuando el hidrógeno en el gas de venteo es mayor de 5% (pudiéndose tolerar hasta un límite máximo de 10%) se diluye con aire el gas de celdas, antes de entrar al sistema de secado.

10.- ALMACENAMIENTO

Los almacenes son tanques, que al mismo tiempo pasan el cloro líquido y se usan para llenar carros tanques y cilindros. Deben ser diseñados según normas del Instituto de Cloro de los Estados Unidos de Norteamérica, a una presión de 21 a 35 Kg/cm², que esté muy por arriba de la presión máxima del cloro que es de 2.5 atmósferas y solo se deben llenar a un 80% de su capacidad. Así mismo deben estar protegidos con válvulas de seguridad. Las líneas de cloro líquido y los tanques están aislados para reducir la evaporación del cloro.

En la planta sosa-cloro se pueden hacer las siguientes mejoras:

1.- Hacer burbujas aire caliente a la salmuera para hacer una tercera decoloración y llegar a límites del contenido de cloro.

en la salmuera abajo de los 20 p.p.m.

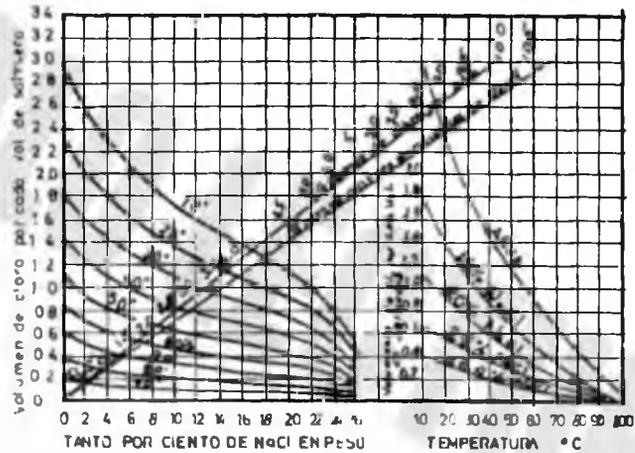
2.- Poner un ventilador de tipo forzado en el depto. de --
electrólisis para mejorar la eficiencia de los compresores de cloro.

3.- Independizar la succión de los compresores de cloro, -
de tal modo que independientemente se conecten al tanque amortiguador.

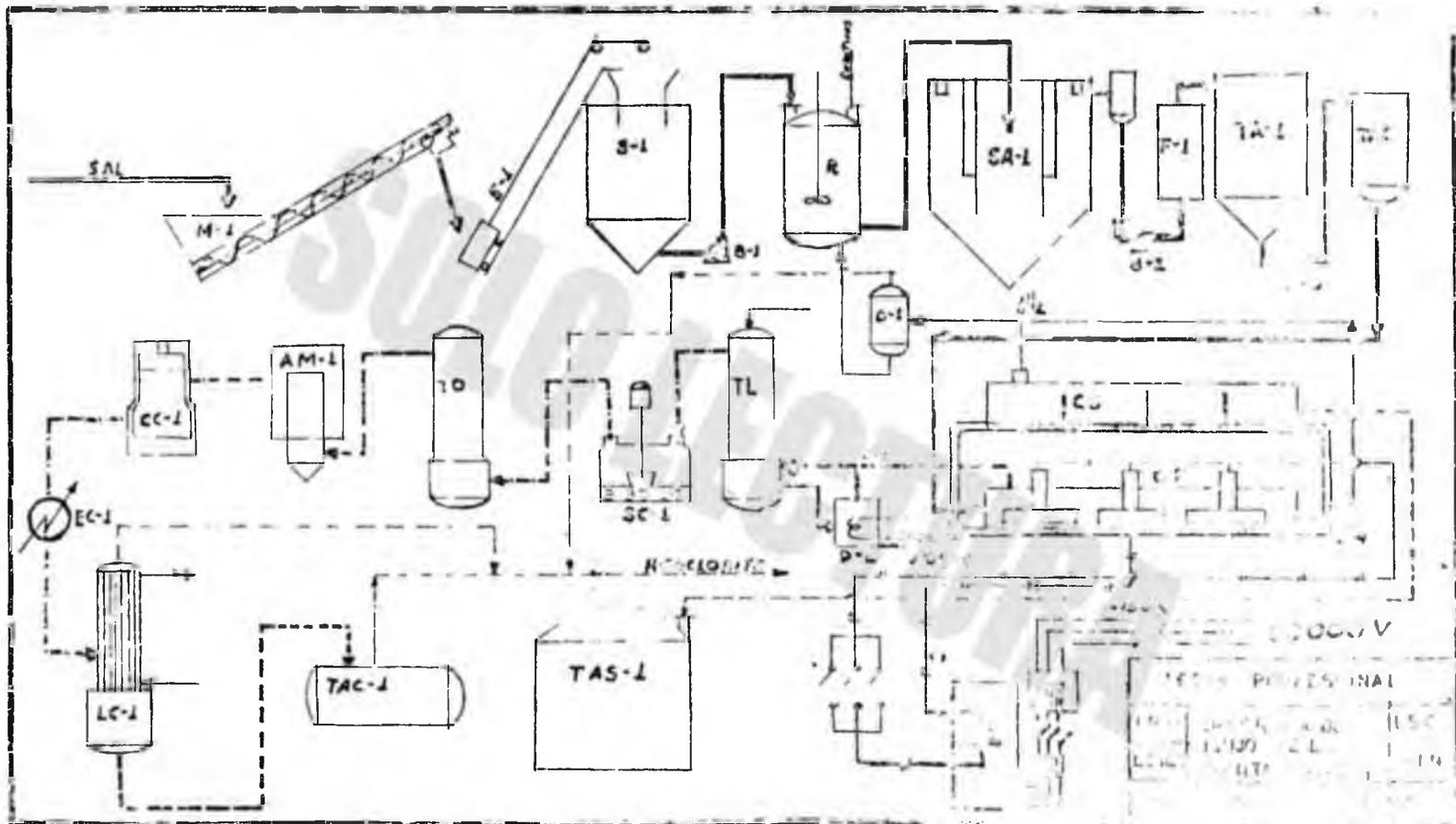
4.- Cambiar la tubería de acero al carbón recubierta interiormente por tubería de plástico reforzada con fibra de vidrio o bien de PVC, ya que se logrará mayor economía en el material y se reducirá el mantenimiento por cambio constante de tuberías.

SOLO LECTURA

Solubilidad del cloro en la salmuera
 Val de cloro absorbidos por volumen
 Gramas de cloro por litro
 Gramas correspondientes de
 NaOH a diversas temperaturas



TESIS PROFESIONAL		
IPN	SOLUBILIDAD DEL CLORO EN LA SALMUE RA Y EN EL AGUA	ESC
ESIQIE		SIN
VIII-75	RODOLFO GONZALEZ BAEZ	N°



CODIFICACION PARA EL DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA SOSA - CLORO.

M-1 .. LAVADORA DE SAL
E-1 .. ELEVADOR DE SAL
S-1 .. SATURADOR DE SAL
B-1 .. BOMBA PARA AZUFRE
R-1 .. REACTOR
SA-1.- TANQUE ASENTADOR
B-2 .. BOMBA PARA SALMUERA
F-1 .. FILTRO
TA-1.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO
B-3 .. BOMBA PARA SALMUERA
TAC .. TANQUE ALIMENTADOR A CELDAS
CS .. CELDA SECUNDARIA
CP .. CELDA PRIMARIA
B-4 .. BOMBA PARA SALMUERA GASTADA
D-1 .. DECLORADOR
D-2 .. DECLORADOR
TL .. TORRE LAVADORA
SG-1.- SECADOR DE CLORO
TD .. TORRE DIFERENCIAL
AM-1.- AMORTIGUADOR
CC-1.- COMPRESOR PARA CLORO
EC-1.- ENFRIADOR DE CLORO
LC-1.- LICUADOR DE CLORO
TAC-1.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA CLORO LIQUIDO
TAS-1.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA SOSA DEL 40%
ER .. EQUIPO DE RECTIFICACION DE CORRIENTE

III

CONDICIONES ACTUALES

SOLO LECTURA

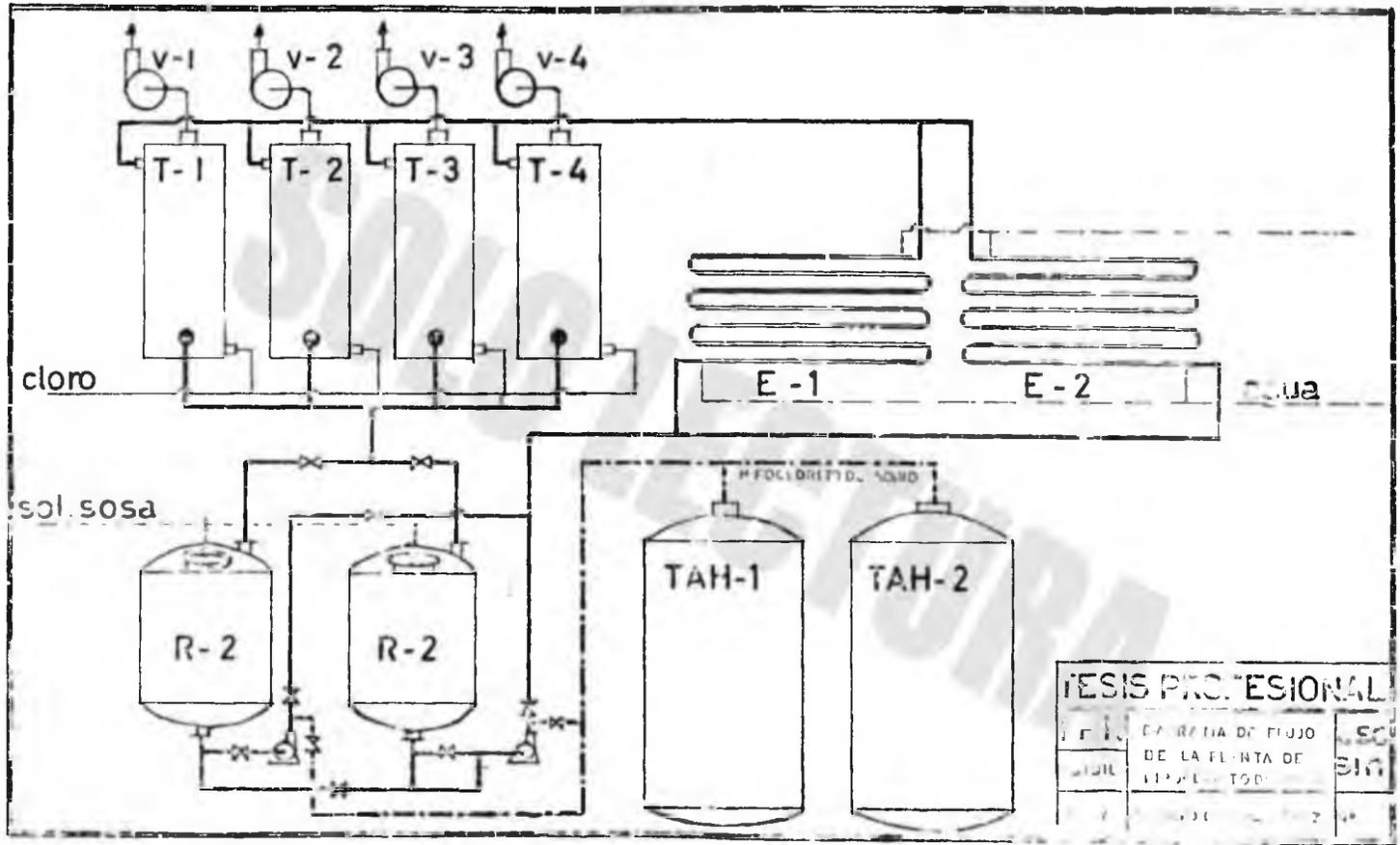
III. CONDICIONES ACTUALES

Actualmente la planta consta de dos reactores con una capacidad de 4 Mts. cada una (Dibujo No. III-1), 4 torres de absorción (Dibujo No. III-2), 2 bombas de recirculación, siendo la reacción exotermica es necesario controlar la temperatura, que no deberá rebasar los 27°C, para el objeto se cuenta con 4 cambiadores de calor tipo orquilla (enfriadores) por los que se hace circular agua entre la envolvente y el flux, yendo la solución de hipoclorito en el interior del flux que es de titanio, solamente 2 cambiadores se utilizan para el proceso, ya que existe el problema que el sistema de refrigeración del agua no es suficiente para utilizar los 4 cambiadores de calor, este sistema se piensa eliminar agregando un serpentín de enfriamiento por el que se hará circular petróleo que tiene una temperatura de - 10°C.

Este petróleo se utiliza para la licuación de cloro, estando sobrado de refrigeración esta planta no existe ningún inconveniente para su aprovechamiento y así mejorar la absorción de gas cloro en la solución de sosa.

La tubería que se utiliza para el transporte del fluido es de " PVC " (Cloruro de polivinilo), ya que por sus características anticorrosivas que la hacen resistente a la mayoría de los ataques químicos ha dado mejor resultado que la tubería ahulada internamente.

El cloro se succiona desde las celdas por 4 ventiladores que son fabricados de PVC y que se encuentran instalados uno por cada torre, estas torres están empacadas con silleta intalox.



III .1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA PLANTA DE HIPOCLORITO DE SODIO

El proceso para la fabricación del hipoclorito es muy sencillo. Primeramente se agregan a los reactores 1,500 lbs. de sosa del 40% a cada uno y posteriormente se agrega agua hasta completar 4,000 lbs. de solución de aproximadamente 17% de sosa, como en la dilución hay desprendimiento de calor, se eleva la temperatura hasta 50°C, por tal motivo se hace circular la solución por los enfriadores, hasta bajar la temperatura a 15 o 20°C. Cuando se tiene ésta temperatura, se arrancan los ventiladores que succionan el cloro, ya sea de las celdas, de los decoloradores de salmuera, del desgasificador de llenado de cilindros y de las purgas de los licuadores y tanques de almacenamiento de cloro.

El cloro entra por la parte inferior de la torre de absorción y la solución de sosa entra por la parte superior de la torre como se ve en el dibujo. Como la reacción es exotérmica, es necesario mantener una temperatura entre 20 y 25°C, es necesario enfriar la solución haciéndola pasar por los enfriadores, llenando la solución por el interior del flux y el agua de enfriamiento por el exterior del flux, el material de los tubos flux son de titanio.

El agua que se utiliza para el enfriamiento de la solución, es enfriado por un sistema de refrigeración a base de amoníaco, y se circula por una bomba que da 9 Mts.³/h. y una tubería de 2" ϕ nominal.

La solución se hace circular hasta que la concentración de cloro alcanzan 125 gr/Lt. y después se bombea hacia los tanques de almacenamiento para su venta.

CODIFICACION PARA EL DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PLANTA HIPOCLORITO.

T-1 a T-4 TORRES DE ABSORCION

V-1 a V-4 VENTILADORES DE TIRO INDUCIDO

E-1 y E-2 ENFRIADORES

R-1 y R-2 REACTORES

B-1 y B-2 BOMBAS PARA HIPOCLORITO

TAE-1 y TAE-2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO PARA HIPOCLORITO

IV

ESTUDIO DE MERCADO

SOLO LECTURA

V. 1 PRODUCCION ANUAL DE HIPOCLORITO DE SODIO.

Los siguientes datos fueron tomados del Depto. de Estadística de la Superintendencia de Producción.

Se consideraron desde el año de 1962 hasta 1974.

<u>A Ñ O .</u>	<u>PRODUCCION</u> <u>(TON)</u>
1962	5,699
1963	6,337
1964	7,018
1965	7,996
1966	9,000
1967	10,827
1968	11,121
1969	10,431
1970	11,105
1971	11,862
1972	12,435
1973	12,400
1974	12,435

Tomando la máxima producción que es 12,435 Ton/Año, nos da — una producción de 1,036.2 Ton/Mes, lo que da una producción - de 34.5 Ton/Día = 35 Ton/Día.

V. 2 Estudio de la tendencia del consumo de hipoclorito basado en la Ley de los cuadrados mínimos.

<u>AÑO</u>	<u>X</u>	<u>X²</u>	<u>PRODUCCION</u> <u>(TON/AÑO) Y</u>	<u>log Y</u>	<u>X log Y</u>
1962	- 6	36	5,699	3.755	- 22.530
1963	- 5	25	6,337	3.801	- 19.005
1964	- 4	16	7,018	3.846	- 15.384
1965	- 3	9	7,996	3.902	- 11.706
1966	- 2	4	9,000	3.954	- 7.908
1967	- 1	1	10,827	4.034	- 4.034
1968	- 0	0	11,121	4.046	0.000
1969	1	1	10,431	4.018	4.018
1970	2	4	11,105	4.045	8.090
1971	3	9	11,862	4.074	12.222
1972	4	16	12,435	4.094	16.376
1973	5	25	12,400	4.093	20.465
1974	6	36	12,435	4.094	24.564

$$X^2 = 182 \quad \log Y = 51.756 \quad X \log Y = 5.168$$

$$\log y = a + bx$$

$$a = \frac{\log y}{N}$$

Siendo N = No. Años tomados para el cálculo = 13

$$b = \frac{x \log Y}{X^2}$$

Sustituyendo datos en las fórmulas

Cálculo para a

$$a = \frac{51.756}{13} = 3.981$$

$$a = 3.981$$

Cálculo para el valor de b

$$b = \frac{5.168}{182} = 0.02839 = 0.0284$$

b = 0.0284 // tenemos la formula de

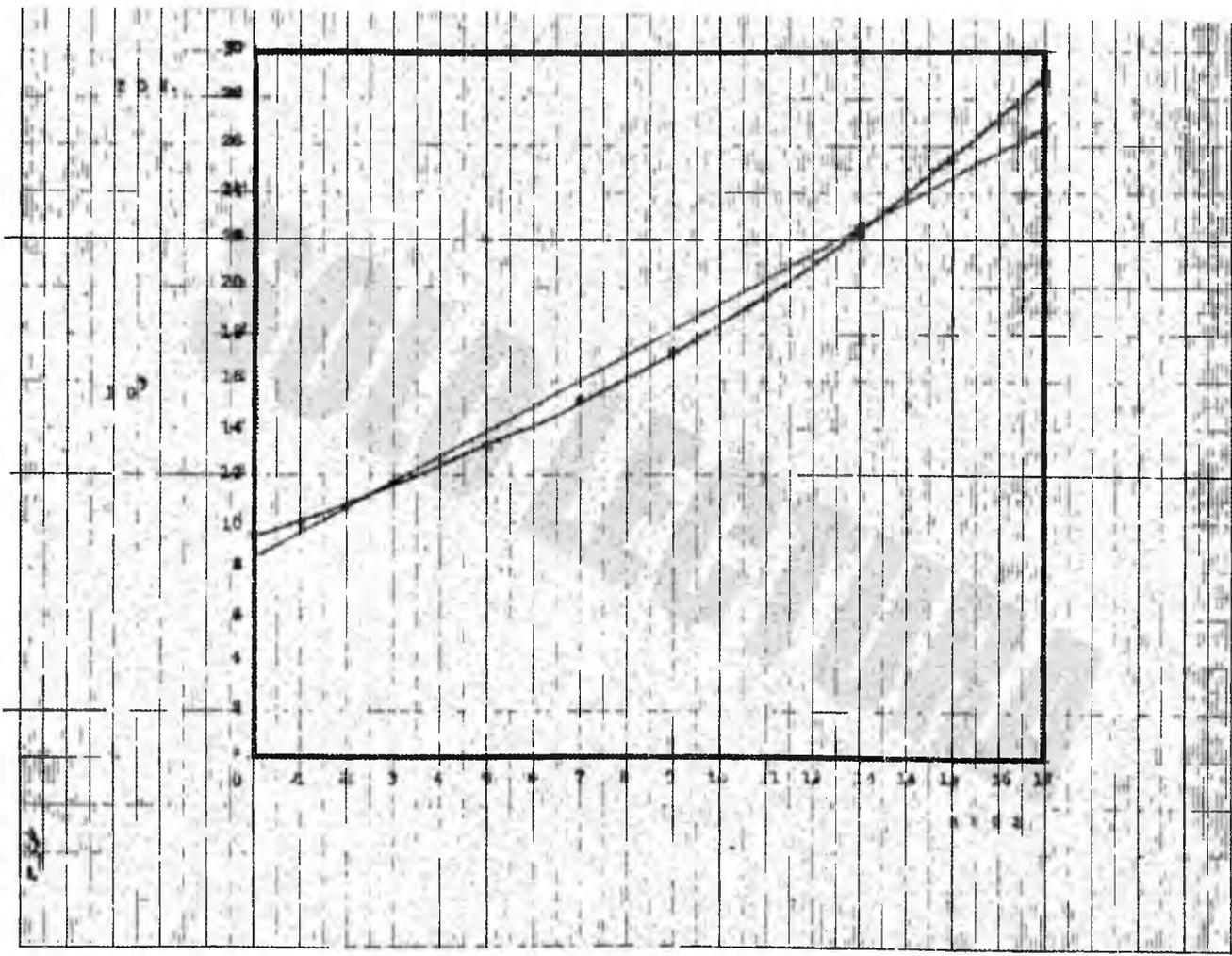
$\log Y = a + bx$ sustituyendo datos

$$\log y = 3.981 + 0.0284 X$$

Para calcular el valor de Y en la ecuación anterior se dan valores diferentes y los valores encontrados se grafican en papel semilogaritmico obteniendose la proyección de la demanda para los años futuros.

Para	X	Log Y	Y
	0	3.981	9,572
	1	4.0094	10,000
	3	4.0662	11,650
	5	4.123	13,270
	7	4.1798	15,130
	9	4.2366	17,240
	11	4.2934	19,650
	13	4.3502	22,400
	15	4.4070	25,530
	17	4.4638	29,090

(Ver gráfica)



COMO SE VE EN LA GRAFICA, EL CONSUMO DEL HIPOCLORITO DE SODIO -
VA EN AUMENTO, LO QUE ES LOGICO SI PENSAMOS QUE SE UTILIZA, CO-
MO BLANQUEADOR INDUSTRIAL, BLANQUEADOR DOMESTICO Y SU PRINCIPAL
USO TRATAMIENTO DE AGUAS, YA QUE AÑO CON AÑO VA AUMENTANDO LA -
POBLACION NACIONAL, Y COMO CONSECUENCIA HAY MAYOR CONSUMO EN TO
DOS LOS ASPECTOS.

PARA DAR SATISFACCION, A ESA DEMANDA SE AUMENTARA LA PRODUCCION
DEL HIPOCLORITO DE SODIO.

V

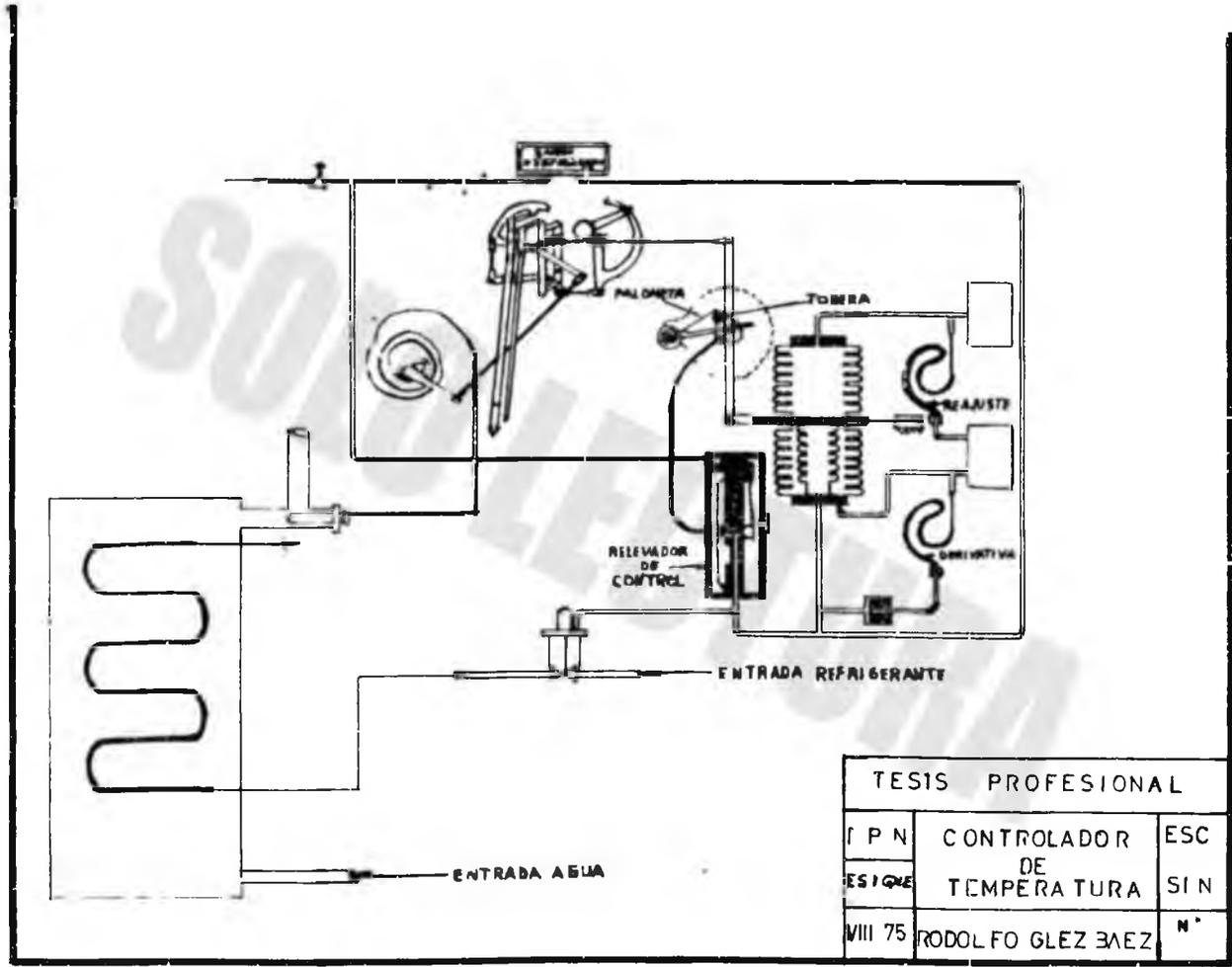
CONDICIONES FUTURAS

SOLO LECTURA

CONDICIONES FUTURAS

La planta constará.

- 1.- De un tanque para preparar la solución de sosa, con lo -
 oal se logrará:
 - a) Tener solución preparada a la temperatura de 20° C, -
 para las cargas de los reactores.
 - b) Disminuir el tiempo de concentración a 125 gr/Lt. de_
 cloro en la solución de hipoclorito de sodio, con lo_
 oal se harán más cargas.
 - c) Con el agua de lavado de las torres de hipoclorito se
 prepararán las cargas de sosa, ya que esta agua con-
 tiene alrededor de 20 gr/Lt. de cloro y se va al dre-
 naje
- 2.0 Se tendran 5 torres de absorción con su ventilador, para
 succionar los gases que mandan de las distintas seccio-
 nes de la planta sosa - cloro.
- 2.1 Se hará burbujear aire caliente a la salmuera de retorno
 con lo oal se logrará disminuir el cloro coluido en la_
 salmuera, y este cloro que se desprende se mandará a la_
 planta de hipoclorito de sodio.
- 2.2 Se utilizará para la fabricación de hipoclorito de sodio
 sosa de baja calidad, ya que la que se está utilizando -
 es calidad Rayon que tiene un costo de \$ 2,450.00 la to-
 nelada, en tanto que la sosa que produce la Compañía So-
 sa Texcoco es de \$ 1,500.00 la tonelada.
- 3.0 El sistema de enfriamiento estará integrado por.
 - 3.1 Dos enfriadores de horquilla con agua previamente --
 enfiada por.
 - 3.1.1 Un serpentín que trabajará con el sistema de amo-
 niaco.
 - 3.1.2 Un serpentín que trabajará con petróleo a -10° C, -
 regulandose la temperatura con una válvula sesiau-
 tomática accionado mediante un bulbo que contiene_
 eter, la oal controlará la temperatura del agua -
 entre 4 y 7° C (Ver dibujo).
 (Estos enfriadores trabajarán independientes en -
 un mismo recipiente)



TESIS PROFESIONAL		
IPN	CONTROLADOR DE TEMPERATURA	ESC
ESIQUE		SIN
VIII 75	RODOLFO GLEZ BAEZ	N°

OPERACION DEL CONTROL DE TEMPERATURA.

Este control opera con una señal de salida neumática de 3 - 15 Lb/pulg². Para dar esta salida el instrumento es suministrado con una señal constante a través de un regulador, esta señal es de 17 Lb/pulg². La presión de suministro es indicada en una planilla inferior del indicador dual que se encuentra en la parte superior del instrumento, el elemento de medición es a través del bulbo que se encuentra en la salida del enfriador. El medio a medir es agua que entra con un incremento de temperatura pasando por el serpentín de enfriamiento, sufriendo un cambio de temperatura este cambio es reflejado en el bulbo de medición, el cual está lleno con un líquido que modifica su volumen con cambios leves de temperatura.

La presión que ejerce esta expansión del líquido es transmitida por un capítor a la espiral del instrumento, el cual va a tener un movimiento, este movimiento es transferido por medio de palancas al sistema tobera palometa.

El instrumento tiene un rango de 0 a 50°C por medio del puntero.

Cuando el puntero se posiciona en un rango determinado de la gráfica, la planilla del sistema de medición tenderá a seguirlo hasta igualarse con él, y para que tenga un movimiento esta plumilla es necesario que tenga un cambio el medio a controlar. Cuando hay un cambio en la variable a controlar es detectado por el elemento de medición, transmitido al sistema mecánico haciendo ejercer mayor o menor presión de la palometa sobre la tobera, y de aquí pasando a un relevador para dar la salida al elemento final de control (válvula de control). Esta a su vez dejará pasar mayor o menor cantidad de petróleo refrigerante hasta volver a su punto de control.

...

- 4.0 La línea que lleva el agua de enfriamiento al departamento de hipoclorito de sodio aislado térmicamente, para evitar las pérdidas que se tienen actualmente en toda la longitud de la tubería.
- 5.0 Tres bombas harán circular al hipoclorito de sodio a través de los enfriadores y torres de absorción, estando conectadas estas en paralelo para usarlas indistintamente.
- 6.0 Se tendrán tres reactores de una capacidad de 4 Mts.³ cada uno.

IV.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

En esta sección se describen severamente los equipos y accesorios que integran la planta.

1.1 Tanque de preparación de la solución de sosa.

Material de construcción: placa de acero al carbón y recubierta con hule duro.

1.2 Enfriadores de la solución de sosa.

Intercambiador de calor para la solución de sosa, tipo tubo y coraza.

Material de construcción:

coraza — acero al carbón
tubo — titanio

1.3 Tanque de reacción.

Reactor para la producción de hipoclorito de sodio.

Material de construcción:

Placa de acero al carbón y recubierto con hule duro capacidad 4,000 Lts.

1.4 Torre empacada.

Torre con coraza de asbesto cemento, empaque de cerámica menturas berl.

1.5 Enfriadores para hipoclorito de sodio.

Intercambiador de calor para hipoclorito de sodio tipo tubo y coraza.

Material de construcción:

coraza — acero al carbón
tubos — titanio

...

- 1.6 Tanque de almacenamiento de hipoclorito de sodio.
Tanque cilíndrico vertical con capacidad de 45 Mts.³
Material de construcción:
Placa de acero al carbón y recubrimiento de tabique anti-ácido .
- 1.7 Bombas.
Bombas centrífugas con recubrimiento de Kynar.
- 1.8 Tubería.
Todas las tuberías son de PVC.
- 1.9 El voltaje que se tiene en la planta es de 220/440 volts, 3 fases, actualmente se tienen 50 ciclos, pero próximamente serán cambiados a 60 ciclos.
También se tiene 110 volts para servicio de alumbrado.
La planta para la producción del hipoclorito de sodio - se efectúa en un área descubierta.

IV.2 Para el montaje de la ampliación de la planta no es necesario comprar equipo costoso, ya que se tiene un tanque sin uso en otra parte de la milla con una capacidad de 4.8 Mts.³ al cual puede aprovecharse como reactor haciéndole unos arreglos.

Con respecto a las torres de absorción siempre se tiene en el almacén en existencia torres y refacciones, ya que la vida de estas son de aproximadamente 4 meses, por lo tanto es necesario solamente armar una torre para tener las cinco que se requieren y acondicionar los soportes y tuberías que se requieren para la instalación.

Para los ventiladores, también se cuenta con refacciones en el almacén, por lo que solamente es necesario armar y colocarlo para operación, ya que el motor se adaptaría uno.

La bomba se utilizaría la que se tiene de refacción y se acondicionaría una recubierta de hule para tenerla como refacción de cualquiera de las tres.

VI

CALCULO DEL EQUIPO PARA EL PROCESO

SOLO LECTURA

ALCULO DE LAS CANTIDADES ESTEQUIOMETRICAS DE SOSA PARA PRODUCIR UNA TONELADA DE HIPOCLORITO.

PA		PM	
O	= 16	NaOCl	= 74.5
Na	= 23	NaOH	= 40
Cl	= 35.5	Na ₂ CO ₃	= 106
C	= 12	NaClO ₃	= 106.5

DE LA REACCION



$$80 = 74.5$$

$$X = 1073.8 \text{ Kg. de sosa}$$

$$X = 1000$$

O BIEN

$$80 = 74.5$$

$$X = 931.2 \text{ Kg. de hipoclorito}$$

$$1000 = X$$

Lo que quiere decir que se requieren 1000 Kg de sosa al 18% para producir 931.2 Kg. de hipoclorito.

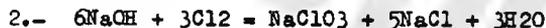
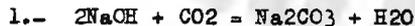
Como se requieren 126 gr/Lt. de sosa.

$$1 = 0.931$$

$$X = 135.3 \text{ gr/Lt.}$$

$$X = 0.126$$

En la práctica se producen algunas reacciones secundarias:



3.- NaOH Libre para estabilizar

Las concentraciones respectivas són:

1.- Carbonatos \pm 18 gr/Lt.

$$\frac{80}{106} \times 18 = 13.5 \text{ gr/Lt de sosa}$$

2.- Cloratos \pm 2 gr/Lt.

$$\frac{240}{106} \times 2 = 4.52$$

3.- Sosa libre 20gr/Lt.

Sumando.

$$135.3 + 13.5 + 4.52 + 20 = 173.32$$

.....

Siendo la densidad del hipoclorito = $1.217 \frac{\text{gr}}{\text{Lt.}}$
 $1.217 = 173.38$ $X = 142.46 \text{ gr/Lt.}$
 $1.0 \quad \quad \quad X$

Lo que quiere decir que utilizando 150 Kg de sosa más da 1 tonelada de hipoclorito.

Para conseguir lo anterior es necesario:

- 1.- Preparar las cargas en el resotor de tal manera que su concentración sea de 180 gr/Lt. de sosa.
- 2.- La temperatura de reacción no debe pasar nunca de 30°C (27°C es lo ideal), para esto es necesario preparar las cargas de sosa y agua con anticipación, para que el calor de reacción sosa-agua no se sume al de sosa-cloro.
- 3.- Evitar que el cloro entre muy rapido o líquido pues una entrada en exceso de cloro autocatalizada la destrucción del hipoclorito. Para ello el operador deberá coordinarse con los 3 departamentos que le mandan cloro. Electrólisis, Licuación y llenado o desgasificado de cilindros. Actualmente cada departamento son independientes, sin coordinación.
- 4.- Vigilar que la sosa libre sea superior a 20 gr/Lt. evitando así una sobre clorinación, que propicie la formación de HOCl que se descompone en oxígeno y HCl que reacciona con la sosa en forma violenta, aumentando la temperatura y formando cloratos.
- 5.- Evitar toda entrada de aire, que nos carbonatan la sosa.
- 6.- Evitar que el producto quede mucho tiempo expuesto al sol.

Todas estas observaciones estan basadas en el equipo actual.

CALCULO DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA PARA EL AGUA DE ENFRIAMIENTO.

Para poder usar todos los enfriadores con agua que viene del departamento de refrigeración es necesario operar la bomba que se tiene de repuesto.

Bomba (1)

Bomba (2)

$$Q = 9,000 \text{ Lt/hr. (39.6 GPM)}$$

$$Q = 9,000 \text{ Lt/hr. (39.6 GPM)}$$

$$\phi \text{ descarga} = 2'' \phi$$

$$\phi \text{ descarga} = 2'' \phi$$

$$P \text{ descarga} = 2.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P \text{ descarga} = 2.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$V = 3.82 \text{ ft/seg.}$$

$$V = 3.82 \text{ ft/seg.}$$

Como queremos trabajar los enfriadores en paralelo se requiere de más volumen de agua, por lo que se necesitan — trabajar las bombas en paralelo; lo que da un gasto de:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 = 9,000 + 9000 \text{ Lt/hr.} = 18,000 \text{ Lts/hr.}$$

$$Q_t = 18 \frac{\text{m}^3}{\text{hr.}}$$

Cálculo del diámetro de la tubería necesaria.

$$V = 13,990 \frac{\text{cm}^3}{\text{min.}}$$

$$d^4 \cdot C = 1 \frac{\text{ft}^3}{\text{seg.}}$$

Partiendo de la ecuación.

$$V = \frac{0.408Q}{d^2} \text{ en donde}$$

$$Q = \text{GPM}$$

$$V = \text{ft/seg.}$$

$$d = \text{pulg.}$$

Despejando d y sustituyendo datos

$$d = \sqrt{\frac{0.408Q}{V}}$$

$$d = \sqrt{\frac{0.408 \times 79.2}{3.82}}$$

d = 2.90 pulg ϕ lo que da un diámetro comercial de 3"

$$d = 3 \text{ pulg. } \phi \text{ nominal}$$

Esta tubería deberá ser aislado termicamente para evitar las ganancias de calor en el trayecto de la planta de refrigeración a la planta de hipoclorito.

...

Aislamiento de baja temperatura.

La principal diferencia en la instalación de aislamiento de baja temperatura, es que debe idearse algún medio de prevenir que el vapor de agua penetre al aislamiento.

Puesto que la superficie interior del aislamiento está a una temperatura más baja que la superficie exterior, la presión del vapor del agua en la superficie interna es menor que en la externa y el flujo de vapor del agua es hacia el interior, en donde se congela, para reducir al mínimo este movimiento de vapor, debe instalarse una barrera al vapor que puede ser un compuesto sellante de asfalto fibrado.

Para el aislamiento de la tubería se requieren, medias-ouñas de vitro-form que es aislamiento preformado para tuberías, y es a base de fibra de vidrio aglutinada con resina fenólica de fraguado termico, moldeada para ajustarse a la superficie de las tuberías de medidas comerciales.

Características físicas.

Conductividad termica $0.0278 \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ a 24°C de temperatura promedio.

Calor específico $0.20 \text{ BTU/Lb/}^\circ\text{F}$

Densidad 88.1 Kg/m^3

Corrosión de acero y aluminio no se provoca o acelera.

El espesor del aislamiento recomendado en tablas para trabajos de 2°C a 9°C .

$$E.R. = 2''$$

CALCULO DE LA GANANCIA DE CALOR.

$$\phi \text{ Ext. tubo} = 89 \text{ mm. } \therefore r_2 = 44.5 \text{ mm.} = 0.0445 \text{ Mts.}$$

$$\phi \text{ Int. tubo} = 189 \text{ mm. } \therefore r_1 = 94.5 \text{ mm.} = 0.0945 \text{ Mts.}$$

$$K_m = 0.0278 \frac{\text{Kcal/m}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$$

$$t \text{ ext. } 2 = 24^\circ\text{C}$$

$$t \text{ int. } 1 = 5^\circ\text{C}$$

....

Partiendo de la ecuación

$$q = - K_m \frac{dt}{dr} (2.11rN)$$

N = Longitud de la tubería

$$\frac{dr}{r} = - \frac{2.11NK_m}{q} dt$$

Integrado

$$\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{2.11N}{q} \int_{t_1}^{t_2} K dt$$

$$\ln r_2 - \ln r_1 = \frac{2.11NK_m}{q} (t_1 - t_2)$$

$$q = \frac{K_m (2.11N) (t_1 - t_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$q = \frac{K_m A_m (t_1 - t_2)}{L}$$

$$A_m = \frac{2.11N (r_2 - r_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$r_m = \frac{(r_2 - r_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad \text{Sustituyendo datos}$$

$$r_m = \frac{(0.0445 - 0.0945)}{\ln \frac{0.0445}{0.0945}} = \frac{-0.050}{\ln 0.47} = \frac{-0.050}{-0.753} = 0.0664$$

$$r_m = 0.0664$$

$$R_1 = \frac{-0.050}{(0.0278)(2.11)(0.0664)} = \frac{-0.050}{0.01159} = -4.31$$

$$q = \frac{-5 - 24}{-4.31} = 4.408 \frac{\text{Kcal}}{\text{h m de tubería}}$$

$$q = 4.41 \frac{\text{Kcal}}{\text{h m de tubería}}$$

Será la varianza de calor que se tenga por metro de tubería.

CANTIDAD MAXIMA DE CLORO QUE PUEDE SER MANDADA AL DEPTO. DE HIPOCLORITO.

Teóricamente la cantidad máxima es cuando se inicia a operar - el departamento de electrólisis trabajando con las 32 celdas a 6,000 amperes con el paso 1 en estrella, como:

$$1 \text{ Faraday} = 96,500 \text{ couloms} = 26.8 \text{ amp-hora}$$

Se sabe que un faraday libera o deposita un equivalente de cloro.

(la. Ley de Faraday. La masa de un ión depositada o formada - en un electrodo es proporcional a la cantidad de electricidad que pasa por el electrólito)

Si suponemos la eficiencia de la corriente eléctrica de 94%, - se ve que la corriente real que circula por el circuito es de:

$$6000 \times 0.94 = 5640 \text{ amperes - hora}$$

$$\text{No. Equivalentes de cloro} = \frac{5640}{26.8} = 210.4$$

$$\text{Kg. de cloro producido} = 210.4 \times 0.035 = 7.36 \text{ Kg/celda en una hora.}$$

$$\text{Producción total} = 7.36 \times 32 = 235.5 \frac{\text{Kg de cloro}}{\text{nora}}$$

Según el instructivo de la planta, dice que fué diseñada para 10 Toneladas de cloro por día trabajando a un amperaje de ---- 10,500 $\frac{\text{AMPERES}}{\text{hora}}$ y operando con 32 celdas.

$$\frac{10,000 \text{ Kg de cloro}}{10,500 \text{ amperes-hora}} \frac{1}{24 \text{ horas}} = 0.0396 \frac{\text{Kg de cloro}}{\text{Amper-hora}}$$

$$0.0396 \times 6000 \text{ amperes} = 237.6 \frac{\text{Kg de cloro}}{\text{nora}}$$

Comparando valores se ve que son casi iguales, por lo que el - cálculo es correcto.

Ahora bien cuando circula la solución en las torres en contra corriente, se hace circular cloro trabajando el departamento - de electrólisis con 6,000 amperes. Prácticamente este departamento no trabaja con las 32 celdas, por ese motivo el cálculo - se efectuará con un promedio de 25 oeldas.

Tomando los datos de los análisis que se efectúan, para ver la concentración del cloro en la solución se ve que la cantidad - de cloro que circula es de:

<u>hora.</u>	<u>Conc. de cloro.</u>	<u>Temperatura.</u>	<u>Vol. de Sol.</u>
10:00	81.25 gr/Lt.	31° C	4000 Its/hora.
11:00	125.00 gr/Lt.		

.....

$$125.00 - 81.25 = 43.75 \text{ gr/Lt.}$$

$$43.75 \times 4,000 = 175,000 \text{ gr/hora} = 175 \text{ Kg/hora}$$

El análisis volumétrico de la mezcla da 81% de cloro considerando 19% de aire, esta determinación se llevó a cabo el - ORSAT.

Para determinar la relación en peso de los componentes de la mezcla gaseosa, se efectuarán los siguientes cálculos:

Si una mol en T.P.N. ocupa 22.4 litros, a 31°C y 585 mm Hg que son las condiciones del Valle de México.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \dots$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{P_2 T_1} \quad \text{O sea} \quad V_2 = V_1 \frac{P_1}{P_2} \frac{T_2}{T_1}$$

Sustituyendo valores

$$V_2 = 22.4 \times \frac{760}{585} \times \frac{304}{273} \quad T = 273 + 31 = 304^\circ \text{ K}$$

$$V_2 = 32.4 \frac{\text{litros}}{\text{gr-mol}} \text{ de mezcla gaseosa}$$

$$32.4 \times 0.81 = 26.2 \text{ litros de cloro/mol de mezcla}$$

$$32.4 \times 0.19 = 6.2 \text{ litros de aire/mol de mezcla}$$

Por lo tanto el peso molecular de la mezcla es de:

$$\text{P.M. Cloro} = 71$$

$$\text{P.M. Aire} = 29$$

$$71 \times 0.81 + 29 \times 0.19 = 63.02$$

$$32.4 \text{ Litros de mezcla pesan } 63.02 \text{ por lo que}$$

$$26.2 \text{ Litros de cloro pesan } 51.04$$

$$6.2 \text{ Litros de aire pesan } 11.98$$

Por lo tanto

51.04 gr. de cloro están mezclados con 11.56 gr. de aire

175 Kg. de cloro estarán mezclados con 41.00 Kg. de aire.

La relación en peso de los componentes será de 175 Kg. de cloro y 41.00 Kg. de aire.

Determinación del calor específico de la solución en el cambiador de calor se cumple la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{agua}} = Q_{\text{solución}}$$

$$Q_{\text{agua}} = W_1 C_p \Delta T \quad (1)$$

$$Q_{\text{agua}} = 9,000 \times 1 \times 15 = 135,000 \text{ Kcal/hora}$$

$$W_1 = 9,000 \text{ kg/hr. } \Delta T = 25 - 10 = 15^\circ \text{C} \quad C_p = 1 \text{ Kcal/Kg}^\circ \text{C}$$

....

Esto es trabajando los 2 cambiadores solamente, pero como se pretende poner a funcionar los tres existentes, el gasto volumétrico es de:

$$Q_v = \frac{18,000}{3} = 6,000 \frac{\text{Lts}}{\text{hr}}$$

$$Q_{\text{agua}} = 6,000 \frac{\text{Lts}}{\text{hr}} \times 1 \times 15 = 90,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

Que es la cantidad de calor que va a absorber cada cambiador en las condiciones que se muestra.

Como trabajarán los tres entonces

$$Q_{\text{agua}} = 90,000 \times 3 = 270,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

$$Q_{\text{solución}} = W_2 C_p \Delta T \text{ ——— (2)}$$

Densidad de la solución 1.217 gr/co a la concentración de — 125 gr/Lt.

$$\text{Gasto de la solución } 12,000 \frac{\text{Lts}}{\text{hr}}$$

$$W_2 = V \times d = 12,000 \times 1.217 = 14,604 \text{ Kg/hr}$$

$$Q_{\text{solución}} = 14,604 \times C_p \times 8 = 116,832$$

$$Q_{\text{solución}} = 116,832 C_p$$

Por la ecuación (1)

$$90,000 = 116,832 C_p \quad \therefore \quad C_p = \frac{90,000}{116,832} = 0.77$$

$$C_p = 0.77 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

Cálculo del calor de reacción.

La entalpia de reacción se calcula a partir de los calores de formación de las sustancias.

$$H_{\text{reacción}} = \sum H_{\text{prod.}} - \sum H_{\text{reactantes}}$$

De la ecuación



Calores de formación a 18° C

.....

Compuesto	Calor de formación <u>Kcal/gr-mol</u>	Calor de dilución <u>Kcal/gr-mol</u>	Calor Total <u>Kcal/gr-mol</u>
NaOH	- 101.91	10.3	112.21
NaOCl	- 83.39		
NaCl	- 98.30	- 1.28	97.02
H ₂ O	- 68.31		

$$\Sigma H \text{ prod.} = (83.39 + 97.02 + 68.31) = 248.72 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr-mol}}$$

$$\Sigma H \text{ react.} = 2 \times 112.21 = 224.42 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr-mol}}$$

$$H \text{ Reacción} = -248.72 + 224.42 = -24.30$$

Por lo que se tendrán que eliminar 24,300 $\frac{\text{cal}}{\text{gr-mol}}$ de cloro que circulan por la torre de absorción.

Calor que se debe eliminar cuando circulan 237.6 $\frac{\text{Kg de cloro}}{\text{hora}}$

$$\frac{237.600}{71} = 3346.47 \text{ gr-mol de cloro/hora}$$

$$3346 \times 24.30 = 81,319.43 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora}}$$

$$Q = 81,319.43 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr.}}$$

Como para producir 50 toneladas de hipoclorito se requieren.

$$6,250 \text{ Kg de cloro, lo que da } 260.41 \frac{\text{Kg de cloro}}{\text{hora}}$$

y el calor que se debe eliminar es:

$$\frac{260,410}{71} = 3,667.74 \frac{\text{gr-mol}}{\text{hora}} \text{ de cloro}$$

$$Q_T = 3,667.74 \times 24.30 = 89,126.23$$

$$Q_T = 89,126.23 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora.}}$$

Balance de calor para el enfriador de sosa.

Prácticamente se ve que cuando se prepara la solución de sosa, hay un desprendimiento de calor lo que ocasiona que se eleve la temperatura entre 37 - 40° C.

El calor que será necesario absorber para enfriar la solución de sosa de 38°C a 25°C se calcula por:

$$Q = W C_p \Delta T$$

Donde

$$Q = \text{calor cedido en el enfriador}$$

.....

t_1 = Temperatura inicial solución sosa

t_2 = Temperatura final solución sosa

$$\text{sosa } 17\% = 1.197 \text{ Kg/Lt. } \therefore W = 4788 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

$$V = 4000 \frac{\text{Lts.}}{\text{hora}} \quad T = 38-25 = 13^\circ \text{ C}$$

$$C_p = 0.9 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ \text{C}} \quad Q = 4788 \times 0.9 \times 13$$

$$Q = 56,019.60 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora}}$$

Siendo $Q = 56,019.60 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora}}$ el calor que se debe eliminar a la solución de sosa.

Se ha visto que cuando se trabaja con una torre, la producción máxima que se obtiene es de $11 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$, por lo que trabajando las cuatro torres existentes se obtendría una producción de $44 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$. Pero normalmente se encuentra una en reparación, por lo que es conveniente que se monte una quinta torre, con lo que se garantizaría la continuidad de la producción y se obtendría la producción de $50 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$ que es lo que se pretende.

Determinación de la temperatura de la solución a la entrada de la torre.

Por la capacidad de las bombas, se hacen circular $12 \text{ M}^3/\text{hr}$ de solución, como constantemente durante la operación se están tomando las densidades, se ve que con 105 gr/Lt. de cloro es de 1.014 gr/cc y con 125 gr/cc es de 1.217 gr/cc por lo que tomando la densidad media.

$$\rho_{\text{media}} = \frac{1.014 + 1.217}{2} = 1.115$$

$$\text{Si circulan } 12,000 \frac{\text{Litros}}{\text{hora}} \times 1.115 = 13,380 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Como la solución de hipoclorito está absorbiendo todo el calor que desprende de la reacción, por lo que se eleva su temperatura.

Si la temperatura se fija en 35°C , se puede calcular la temperatura de entrada cuando circulan 260.4 Kg/hora de cloro y $13,380 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$ de solución.

$$Q_r = 89,126.23 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora}}$$

$$Q_r = W \text{ sol. } C_p \Delta T$$

$$89,126.23 = 13,380 \times 0.77 \Delta T$$

$$T = \frac{89,126.23}{13,380 \times 0.77} = 8.65^{\circ}\text{C}$$

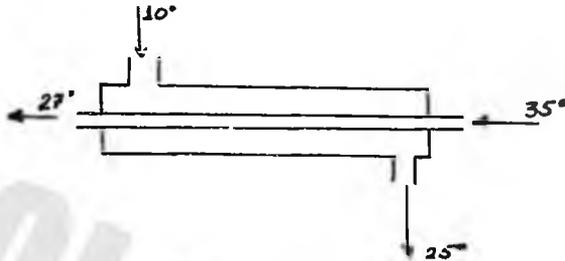
Como

$$T = T_2 - T_1 \quad \text{Si} \quad T_2 = 35^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 = 35 - 8.6 = 26.4^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 = 26.4^{\circ}\text{C}$$

En la planta la temperatura que registra la salida del enfriador es de 27°C



Determinación del coeficiente de transmisión en el cambiador de calor.

Como se pondrán 3 cambiadores de calor en paralelo, cada uno eliminara una tercera parte del calor total.

$$Q_1 = U A \Delta T \quad \therefore \quad Q_1 = \frac{135,000}{3} = 45,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora}}$$

Area de cada uno de los cambiadores = 3.06 m^2

$$\Delta T \text{ Log.} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{2.3 \log \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

$$T_2 = 35 - 25 = 10$$

$$T_1 = 27 - 10 = 17$$

$$T_m = \frac{10 - 17}{2.3 \log \frac{10}{17}}$$

$$T_m = 13.2^{\circ}\text{C}$$

Sustituyendo en la ecuación

$$Q_T = U A \Delta T \quad \therefore \quad U = \frac{Q_T}{A \Delta T}$$

$$U = \frac{45,000}{3.06 \times 13.2} = 1114 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}} \text{ con tres cambiadores de calor.}$$

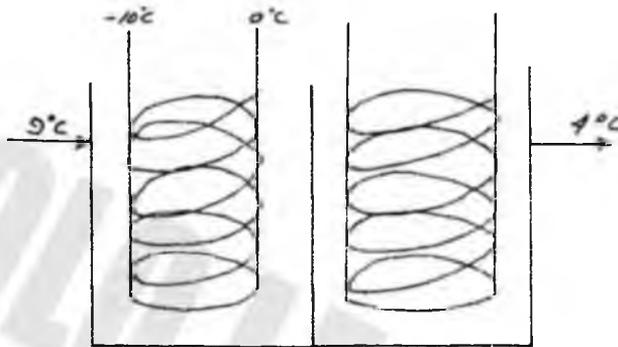
.....

$$U = \frac{67,500}{3.06 \times 13.2} = 1671 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \text{ con 2 cambiadores}$$

lo que da una diferencia de $557 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$

CALCULO DE LA CANTIDAD DE PETROLEO PARA ENFRIAR EL AGUA QUE VA A HIPOCLORITO.

Primero fijemos las temperaturas de operación, las cuales se muestran en el dibujo:



Tenemos que la cantidad de calor que se debe eliminar al agua para bajar su temperatura de 9 a 4°C es como sigue:

$$Q_{\text{agua}} = W C_p \Delta T$$

$$W = 9,000 \frac{\text{Kg}}{\text{hora}}$$

$$C_p = 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

$$T = 4 - 9 = -5^\circ\text{C}$$

$$Q = 9,000 \text{ l l } \times (-5)$$

$$Q = -45,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora}}$$

Como este calor eliminado será absorbido por el petróleo podemos calcular el gasto necesario (Suponiendo que todo el calor cedido pase al petróleo).

$$Q_1 = W C_p T$$

$$Q = 45,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora}}$$

$$C_p = 0.5 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

$$T = 0 - (-10) = 10^\circ\text{C}$$

$$W = 11,250 \frac{\text{Lts}}{\text{hora}}$$

.....

$$W = \frac{Q}{C_p \Delta T}$$

$$W = \frac{45,000}{0.5 \times 10} = 9,000 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

$$W = 9,000 \frac{\text{Kg}}{\text{hr.}} \text{ de petr6leo}$$

SOLO LECTURA

CALCULO DEL AREA DE TRANSMISION DE CALOR

DATOS

AGUA.

PARA LA SOLUCION SOSA.

$$t_1 = 10^\circ \text{ C}$$

$$T_1 = 35^\circ \text{ C}$$

$$t_2 = 25^\circ \text{ C}$$

$$T_2 = 27^\circ \text{ C}$$

$$\mu = 0.9142 \text{ Cp}$$

$$\mu = 1.3 \text{ Cp}$$

$$C_p = 0.58 \frac{\text{Kcal m}}{\text{h } ^\circ\text{C m}^2}$$

$$C_p = 1.47 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

$$e = 1 \frac{\text{Kg}}{\text{Lt.}}$$

$$k = 0.957 \frac{\text{Kcal m}}{\text{h } ^\circ\text{C m}^2}$$

$$D \text{ int.} = 3.5 \text{ cm} = 0.035 \text{ m}$$

$$e = 1.13 \text{ Kg/Lt.}$$

$$D \text{ ext.} = 4.2 \text{ cm} = 0.042 \text{ m}$$

$$D \text{ int} = 6.8 \text{ cm} = 0.068 \text{ m}$$

BALANCE DE CALOR

$$Q = 6,000 \times 1 (25-10) = 90,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

$$Q = 90,000 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}}$$

$$W = \frac{90,000}{1.47 (35-27)} = 7,653 \text{ Kg/hora gasto masa}$$

Fluido Caliente

Fluido Frio

Dif

37	ALTA TEM	25	12	T ₁
----	----------	----	----	----------------

27	BAJA TEM	10	17	T ₂
----	----------	----	----	----------------

			5	T ₁ - T ₂
--	--	--	---	---------------------------------

$$\Delta T_m = \text{MLTD} = \frac{T_2 - T_1}{2.3 \log \frac{T_2}{T_1}} = \frac{5}{2.5 \log \frac{12}{17}} = 14.7^\circ \text{ C}$$

Para la sol.

$$G = v \dots v = \dots$$

$$W = 8,000 \frac{\text{Lts}}{\text{hora}} \times 1.13 \frac{\text{Kg}}{\text{Lt}} = 9,040 \text{ Kg/hora}$$

$$V = \frac{9040}{0.785(3.5)^2} = 230.80 \text{ cm/seg}$$

$$A_p = \text{Area de flujo} = \frac{\pi}{4} D^2 = 0.785 \times 12.25 = 9.62 \text{ m}^2$$

$$A_p = 0.000962 \text{ m}^2$$

$$a = \text{Vel. masa} = \frac{W}{A_p} = \frac{9040}{0.000962}$$

$$\mu = 1.3 \text{ Cp} \times 2.42 = 3.14 \frac{\text{Lb}}{\text{ft hr}}$$

$$\mu = 4.7 \frac{\text{Kg}}{\text{m hr}}$$

Cálculo del No. Re

$$\text{Re} = \frac{D \text{ Ga}}{\mu} = \frac{9,397,000 \times 0.035}{4.7}$$

$$\text{Re} = 69,977 \quad \therefore \quad (\text{Re})^{0.8} = 7515.6$$

$$\text{Pr} = \left(\frac{\text{Cp}}{k} \right)^{0.4} = \frac{1.47 \times 4.7}{0.957} \frac{\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times \frac{\text{Kg}}{\text{mhr}}}{\frac{\text{Kcal}}{\text{hr}^\circ\text{C m}^2}}$$

$$(\text{Pr})^{0.4} = 2.2$$

$$h_i = 0.023 (\text{Re})^{0.8} (\text{Pr})^{0.4} \frac{k}{D}$$

Sustituyendo valores

$$h_i = 0.023 \times 27.3 \times 7515.6 \times 2.2 = 10,381.8 \frac{\text{Kcal}}{\text{hr}^\circ\text{C m}^2}$$

$$\frac{1}{h_i} \frac{D}{D_2} = 0.0000963 = \underline{9.6 \times 10^{-5}}$$

Para el agua

$$\text{Area de flujo} = \text{Ga} = 0.785 (D_2^2 - D_1^2) = 0.785 (6.8^2 - 4.2^2)$$

$$\text{Aa} = 22.45 \text{ cm}^2 = 0.00224 \text{ m}^2$$

$$D \text{ equivalente} = D_e = \left(\frac{46.24 - 17.64}{4.2} \right) = 6.80 \text{ cm} = 0.068 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad masa} = \text{Ga} = \frac{W}{\text{Aa}} = \frac{6000}{0.00224}$$

$$\text{Ga} = 2,678,571.4 \text{ Kg/hr-m}^2$$

$$= 0.91 \times 2.42 = 2.21 \frac{\text{Lb}}{\text{hr ft}}$$

$$= 3.30 \frac{\text{Kg}}{\text{h-m}}$$

Cálculo del No. Re

$$\text{Re} = \frac{D_e \text{ Ga}}{\mu} = \frac{0.068 \times 2,678,571.4}{3.30} = 55,194.8$$

$$(\text{Re}) = 6216.08$$

$$\text{Pr} = \left(\frac{\text{Cp}}{k} \right) = \frac{1 \times 3.3}{0.58} = 5.68 \frac{\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \frac{\text{Kg}}{\text{h-m}}}{\frac{\text{Kcal}}{\text{hr}^\circ\text{C m}^2}}$$

$$(\text{Pr})^{0.4} = 2$$

$$h_o = 0.023 (\text{Re})^{0.8} (\text{Pr})^{0.4} \frac{k}{D} = \frac{k}{D} = \frac{0.58}{0.068} = 8.53$$

Sustituyendo valores

$$h_o = 0.023 \times 8.53 \times 2 \times 6216 = 2439 \frac{\text{kcal}}{\text{h } ^\circ\text{C m}^2}$$

$$\frac{1}{h_o} \frac{D}{D_2} = \frac{1}{2439} \frac{3.5}{4.2} = 0.000341 = 34.1 \times 10^{-5}$$

$$\frac{e}{k} \frac{D}{D_m} = \frac{0.0035}{39.6} \times \frac{3.5}{5.5} = 0.0000561 = 5.61 \times 10^{-5}$$

Se sustituyen los valores calculados en la ecuación para el coeficiente global de transmisión de calor.

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{h_1} \frac{D}{D_2} + \frac{e}{k} \frac{D}{D_m} + \frac{1}{h_o} \frac{D}{D_2}}$$

$$U_D = \frac{1}{(9.6 + 5.61 + 34.1) \times 10^{-5}} = \frac{1}{49.31} \times 10^{-5}$$

$$U_D = 2027.9 \frac{\text{kcal}}{\text{h } ^\circ\text{C m}^2}$$

Cálculo de la superficie requerida de la ecuación

$$Q = U_D A \Delta T$$

$$A = \frac{Q}{U_D \Delta T} \quad \text{Sustituyendo valores}$$

$$A = \frac{90,000}{2027.9 \times 14.7} = 3.02 \text{ m}^2$$

A = 3.02 m² será el área requerida para el enfriamiento.

VII

CONSIDERACIONES ECONOMICAS

SOLO LECTURA

CONSIDERACIONES ECONOMICAS.

La inversión que se tendrá que hacer para aumentar la capacidad de la planta es como sigue:

Como se tendrá que cambiar la tubería de 2" \emptyset que conduce el agua de enfriamiento a 3" \emptyset cedula 40 a \$ 60.30 y - la longitud total de la tubería es de 170 metros da un costo de .. \$ 10,251.00

Se requeriran 2 válvulas de compuerta de 3" 150 Lb/pulg.² bridada de fierro gris con un costo unitario de \$ 1,576.00 cada inversión de .. 3,156.00

4 Bridas con cuello para soldar acero al carbón de 3" \emptyset 150 Lb/pulg.² con un costo de \$ 313.00 cada una .. 1,252.00

7 Codos negros 90° radio largo 3" \emptyset - 150 Lb/pulg.² con un costo de \$ 100.00.. 700.00

Toda esta tubería será aislada termicamente con un aislamiento de 2" de espesor, cuyo costo por metro lineal ya instalado es de \$ 60.00, dando un costo de .. 10,200.00

El costo total de la tubería ya instalada y aislada sin incluir mano de obra es de.. \$ 25,559.00

En el sistema de absorción, como se tendrá que aumentar una torre de absorción, completa con el sistema de aspiración - que es un extractor de PVC el costo será des:

Costo de la base	\$ 1,888.00
Costo de la torre	7,500.00
Costo de un disco superior	260.00
Costo de un disco inferior	378.00
Costo niple 6" \emptyset	156.00
Costo niple 2" \emptyset	20.00
Costo niple 2½" \emptyset	42.00

....

Costo niple 4" ϕ	131.00
Costo disco perforado	1,411.00
Costo total de la torre	\$ 11,786.00

Costo del extractor.

Caja de PVC	\$ 5,475.00
Impulsor de PVC	5,994.00
Costo	\$ 11,469.00

Motor para el extractor.

Es de 1 HP. y tiene un costo en libras de	\$ 400.00
---	-----------

Costo del empaque.

Como la parte cilindrica de la torre tiene un diametro de 0.45 Mts. y una altura de 1.95 Mts. entonces su volumen es: $V = 0.785 D^2 h$

sustituyendo valores

$$V = 0.785 (0.45)^2 \times 1.95 = 0.310 \text{ m}^3$$

$$0.310 \times 35.31 = 10.9 \text{ ft}^3$$

Como se sabe se ocupa 10.9 da un volumen ocupado por el empaque de 8.72 ft³, el costo por ft³ de empaque de 1" es de \$ 203.85 lo que da un total de ..\$ 1,778.00

El costo de la tuberfa de PVC de 6" ϕ para la conexi3n de la torre al sistema de gas cloro es de \$ 223.50 el metro como se requieren 6 Mts. da.. \$ 1,341.00

Costo de la tuberfa de PVC por donde se hara circular la soluci3n es de \$ 101.47 el metro de tubo de 3" ϕ , como se requieren 12 metros da .. 1,218.00

2 V3lvulas tipo grinell de 3" ϕ recubiertas de hule a \$ 4,047.50 pieza, 4 codos 90° radio largo PVC, 3" ϕ a \$ 116.30 pieza y 1 tee da un costo de.. \$ 8,710.00

SUB TOTAL. \$ 13,047.00

Costo del montaje del reactor y la bomba.

Como ya se dijo se va a montar un tanque

que tiene las medidas de 1.80 Mts. de ϕ y 1.55 Mts. de altura teniendo un volumen de 4.8 Mts. con los casquetes.

$$V = 0.785 D^2 h \quad \text{Sustituyendo valores}$$

$$V = 0.785 \times (1.8)^2 \times 1.55 = 3.94 \text{ M}^3$$

$$V = 1/3 \pi r^2 h (3r - h)$$

Sustituyendo valores

$$V = 1.04 \times (0.4)^2 (3 \times 1 - 0.4)$$

$$V = 1.04 \times 0.16 \times 2.6 = 0.43 \text{ M}^3$$

$$2 \text{ Tapas} = 0.86 \text{ M}^3$$

$$\text{Volumen total} = 4.8 \text{ M}^3$$

Este tanque tiene un costo en libras de \$	8,000.00
Como tiene que mandarse recubrir, la --	
Compañía que recubre cotiza en ..	11,000.00
Lo que da un total para el tanque.	\$ <u>19,000.00</u>

Se usará una bomba para la recirculación de la solución, esta bomba tiene un costo de \$ 8,000.00 en libras, y el motor que se usará tiene un costo en libras de \$ 5,000.00 y es de 7.5 HP. \$ 13,000.00
(Costo de motor bomba)

Para el sistema de refrigeración la construcción es como sigue:

3.5 Mts. de tubo negro 6"
 ϕ cedula 40 a \$ 109.60 el metro.. \$ 383.60

Se requieren 61 tramos de tubo de 1 1/4" cedula 40 de 1.5 Mts. de longitud a \$ 31.90 el metro. 2,918.80

Tubo de 2" ϕ cedula para la conexión del serpentín al sistema de enfriamiento de petróleo se requieren 36 Mts. a \$ 73.00 el metro.. 2,628.00

2 Válvulas roscadas a \$ 922.50 pieza. 1,845.00

6 Codos de 2" cedula 40 X 90° radio largo.. 564.00

....

2 Bidas para soldar de 2 ^a cedula 40 a_	
\$ 152.00 pieza.	304.00
T O T A L	\$ 8,643.40

El gran total de la inversión sin incluir la mano de obra directa ni indirecta es de \$ 102,904.40

La mano de obra se considera como sigue:

1 Soldador de plasticos salario diario \$ 112.03 (tiempo dos - semanas).	\$ 1,568.42
1 Oficial clase "G" con salario \$ 85.08 tiempo dos semanas.	1,191.12
1 Tubero oficial mecánico "E" - con salario de \$ 102.99 una - semana.	720.93
1 Oficial clase "G" con salario de 85.08 una semana.	595.56
1 Soldador oficial clase "E" -- con salario de \$ 102.99 tres_ semanas.	2,162.79
1 Supervisión.	<u>4,000.00</u>
Sub - total	10,238.82
GRAN TOTAL	\$ 113,143.22

Esta inversión se puede amortizar en poco tiempo, ya que como la producción se va a incrementar, las ventas por consiguiente serán mayores y las utilidades se incrementan.

VII.2 CALCULO DEL COSTO DE 1 TONELADA DE HIPOCLORITO.

El hipoclorito de sodio se vende por tonelada.

Como se producirán 50 toneladas = 50,000 Kg. y siendo 1.217 K/Lt. densidad del hipoclorito tendremos un volumen de 41,084.60 Lts. producidos de hipoclorito de sodio.

El hipoclorito fabricado tiene un porcentaje de 10.27 % en cloro libre.

50,000 X 0.1027 = 5,135 Kg. de cloro se requerirán para la producción de 50 Ton/día.

Por consiguiente para fabricar una tonelada de hipoclorito de sodio se requerirán 102.7 Kg de Cl₂.

Como la tonelada de Cl₂ ouesta \$ 3,300.00

102.7 Kg. sale en \$ 338.91

Como la tonelada de sosa ouesta \$ 2,450.00 Base 100% y se requieren 150 Kg. para una tonelada de hipoclorito se tiene un costo de \$ 367.50.

El sueldo de un operador es de \$ 92.96/turno

Son 3 operadores (se trabaja en tres turnos) da \$ 278.88

Se tiene un costo de 55.77 \$/Ton.

Subtotal de mano de obra y materias primas \$ 762.18

Se consideran \$ 100.00 por tonelada producida para depreciación, mantenimiento y otros gastos.

\$ 100.00

Gran Total/ Tonelada

\$ 862.18

Como la tonelada de hipoclorito se vende a \$ 950.00

Se tiene una utilidad de 87.82 \$/Tonelada

Como se van a producir 50 toneladas se tendrán

una utilidad de \$ 4,391.00

Lo que da una utilidad por año de \$ 1,602,715.00

.....

VIII

C O N C L U S I O N E S

SOLO LECTURA

C O N C L U S I O N E S

Para aumentar la capacidad de la Planta de Hipoclorito de Sodio objeto de éste trabajo, se realizó un análisis de cada una de las operaciones que se efectúan para obtener el producto final. Como por ejemplo los enfriadores están operando a una temperatura de 14 - 17° C. dependiendo de la temperatura ambiente, ya que la tubería que conduce al agua de enfriamiento no se encuentra aislada, con lo que se tiene una ganancia de calor muy elevada, lo que trae como consecuencia que se tenga que tener en circulación mayor tiempo una carga para su enfriamiento. Si se tiene una temperatura entre 5 y 7° C. disminuye el tiempo de enfriamiento, y con ese tiempo ganado se obtiene como producción al finalizar el turno.

Ahora bien en ocasiones el factor limitante puede ser la materia prima, como en éste caso la materia prima limitante es el cloro, se obta por tratar de desgasificar al máximo la salmuera, con lo que se obtiene más cloro y se beneficia la operación en el departamento de electrólisis. Dependiendo de la demanda de hipoclorito se puede hacer uso de más celdas a éste departamento para la fabricación del mismo.

Con respecto a los equipos después de haber analizado las operaciones, se vió que no es suficiente para obtener la capacidad deseada, lo cual se hizo uso de los equipos ensamblables que se tienen de refacción, ya que esto no aeroga un gasto fuerte en mandar hacer nuevos equipos, con otras especificaciones.

Todo esto es con dar un mejor servicio al departamento del distrito federal, que se encarga de la potabilización del agua y todos los comites de los municipios que utilizan este producto con el mismo fin y por último a las empresas que lo utilizan como materia prima para la fabricación de blanqueadores que són muy usados en la actualidad.

Por lo anterior se ve que para aumentar la capacidad de una planta muchas veces no quiere decir, que se tenga que erogar

....

gastos muy elevados en la adquisición de equipos, o cambiar los que están en operación por otros de mayor capacidad.

SOLO LECTURA

SOLO LECTURA

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

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

OLETIN INFORMATIVO	UNION CARBIDE	1969
INTRODUCCION A LA INGENIERIA QUIMICA.	BADGER Y BANCHERO	Mo. GRAW - HILL BOOK COMPANY 1964.
INGENIERIA DE PROYECTOS PARA PLANTAS DE PROCESO.	RASE Y BARROW	COMPAÑIA INDUSTRIAL CONTINENTAL S.A. — 1973 1a. EDICION.
ENCICLOPEDIA DE LA TECNOLOGIA QUIMICA.	KIRK OTHMER	THE INTERSCIENCE ENCYCLOPEDIA INC. NEW YORK.
ELECTROQUIMICA	DR. VICTOR GAERTNER	MANUAL MARTIN EDITOR, BARCELONA 1958.
APUNTES 3er. AÑO OPERACIONES UNITARIAS.	ING. LEMUS BARRON	1967
APUNTES 4°. AÑO ECONOMIA INDUSTRIAL.	ING. MARILES	1968
INDUSTRIAL ELECTROCHEMISTRY.	MANTELL	Mo. GRAW - HILL BOOK COMPANY 3a. EDICION.
MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO.	JOHN H. PERRY	UTEHA 3a. EDICION.
MANUAL DE OPERACION.	KREBS	PLANTA.

...