

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

ESTUDIO DE UN PROCESO DE CONCENTRACION
PARA UNA SOLUCION DE CLORURO DE SODIO
GLICERINA Y AGUA.

T E S I S

Que para obtener el título de:
INGENIERO QUIMICO
P r e s e n t a :
MA. ELENA ETERNOD PALACIOS



MEXICO, D. F.

1967



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PRESIDENTE Prof: Enrique Rangel T.

VOCAL " : Cutberto Ramírez G.

SECRETARIO " : Julio Cordero G.

1er. SUPLENTE : Edmundo Pérez P.

2do. SUPLENTE : Germán Gleason A.

Sitio donde se desarrolló el tema: Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la U.N.A.M.

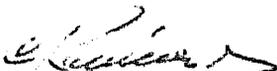
SUSTENTANTE:


Ma. Elena Eternod Palacios

ASESOR:


Ing. Quím. Julio Cordero

SUPERVISOR TECNICO:


Ing. Quím. Cutberto Ramírez

A MIS SERES QUERIDOS.

Introducción

CAPITULO I.- Generalidades

CAPITULO II.- Solución y equipo empleado

CAPITULO III.- Reformas al equipo y normas de trabajo

**CAPITULO IV.- Forma de operar el equipo y control --
analítico**

CAPITULO V.- Resultados obtenidos

CAPITULO VI.- Conclusiones

Bibliografía

INTRODUCCION

INTRODUCCION

La finalidad de esta tesis es el estudio para mejorar el proceso y condiciones de operación de un equipo de evaporación y cristalización instalado en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la U.N.A.M., en el cual se pretende concentrar una mezcla de sal, agua y glicerina.

Esta mezcla es un subproducto en la elaboración de jabón y con ella se puede comprobar la utilidad de la operación de evaporación con cristalización, puesto que se vá a cristalizar la sal y se va a obtener una solución concentrada de glicerina.

Se establecieron normas de trabajo y sistemas de control para poder operar este equipo en forma tal, que coincida el comportamiento esperado teóricamente y el obtenido en la práctica.

Es de suponer que la resolución del problema integralmente presenta el doble aspecto de un caso tecnológico que corresponde a un proceso bien conocido en la industria y que consiste en la preparación de una mezcla como la ya mencionada, que tiene por objeto la recuperación posterior de la glicerina por rectificación.

El segundo aspecto consiste en encontrar procedimientos de laboratorio que permitan un rápido ensayo de las muestras para poder modular la marcha del proceso, ---

pues los métodos comunes para control utilizados actualmente son sumamente lentos e inaplicables a la realización de una práctica didáctica de Ingeniería Química, sujeta a una desventajosa limitación de tiempo.

En resumen, se tiende a encontrar los medios de -- idealizar el procedimiento para realizar la práctica con -- estos evaporadores, dejando para el laboratorio un sistema que facilite definitivamente el desarrollo de las experiencias que se efectúan relativos a esta operación.

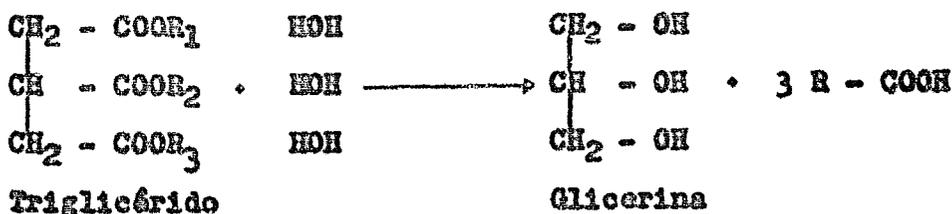
CAPITULO I
GENERALIDADES

GENERALIDADES

La glicerina es un líquido viscoso, higroscópico y con sabor dulce, fué descubierto por Scheele en 1779 como producto de la hidrólisis del aceite de oliva. Químicamente es un compuesto que contiene tres oxhidrilos alcohólicos en su molécula, es el más simple alcohol trihidrico. Bajo la acción de agentes deshidratantes o cuando se le destila a presión atmosférica, se descompone en acroleína.

Se mezcla en todas proporciones con el agua e el alcohol, pero es insoluble en sulfuro de carbono, éter, benceno y cloroformo, su poder absorbente para el agua es muy grande, así, fácilmente se hidrata al estar expuesta a la atmósfera.

La fuente principal para la obtención de glicerina la forman las materias grasas, vegetales y animales, y en general todos los glicéridos de los ácidos orgánicos. La hidrólisis de las grasas da origen a la formación de la glicerina y el ácido graso.



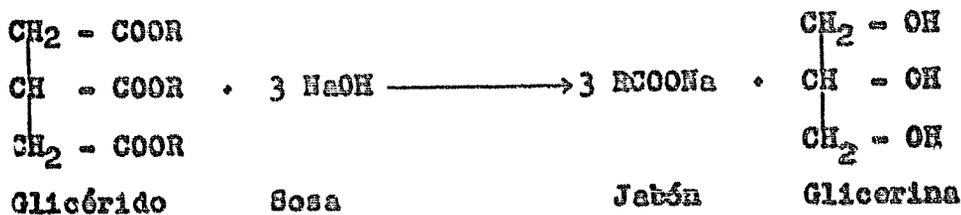
R es resto de cadena hidrocarbonada que puede -

ser saturada o no saturada, dependiendo de la clase de aceite o grasa de que se trate. La hidrólisis de las grasas y aceites se efectúa con agua y catalizador. Dependiendo del catalizador se han originado diferentes procedimientos:

- a).- Hidrólisis ácida
- b).- Hidrólisis por el procedimiento de Twitchell
- c).- Hidrólisis por el procedimiento de la autoclave
- d).- Hidrólisis enzimática
- e).- Hidrólisis alcalina

La mayor parte de la glicerina se produce por la saponificación de las grasas y aceites por medio de la sosa caústica.

El compuesto alcalino además de catalizar la reacción forma la sal de sodio con el ácido graso y deja en libertad a la glicerina, la que junto con las sales y demás impurezas forma las sublejías de jabón.



Las grasas comúnmente usadas en las fábricas de jabón y el porcentaje promedio de glicerina recuperable en cada caso son:

TABLA I

Grasas usadas en las fábricas de jabón y porcentaje promedio de glicerina recuperable. †	
Aceite de coco	12
Aceite de coquito	12
Aceite de olivas	10
Aceite de algodón	10
Aceite de cacahuate	10
Aceite de maiz	10
Sebo	9.5
Aceite de palma	9

† Glycerol - C. Miner

El método de tratar estas grasas es el que se describe a continuación:

Las grasas y aceites se reciben en pailas en una proporción variable, que depende de la clase de jabón que se quiera elaborar. La masa es calentada por medio de vapor vivo, al mismo tiempo que se provoca una fuerte agitación para favorecer un calentamiento uniforme. Una vez fundida la grasa, se agrega suficiente solución de sosa hasta obtener una emulsión, la reacción se continúa mediante mugas porciones de compuesto alcalino hasta que el contenido de la paila va adquiriendo cierta transparencia. Una vez terminada la saponificación se agrega cierta cantidad de -

sal común (operación conocida como sangrado) y se mantiene en ebullición hasta que el jabón por su insolubilidad en la solución salina formada se separa del líquido y por su menor peso se encuentra en la parte superior. La glicerina junto con el agua, sales y demás impurezas queda en la parte inferior de la paila. La lejía es entonces sacada por el fondo, a su vez el jabón es lavado varias veces en la misma paila por medio de soluciones salinas.

Después de eliminar a las sublejías se recibe agua en la misma paila y se hierve junto con el jabón contenido hasta que la mezcla se aclara. Después de esto, se corta la solución con cloruro de sodio, el líquido residual se saca nuevamente y se repite varias veces el lavado

El número de lavados a que se somete el jabón depende de un balance económico entre el valor de la glicerina recuperada y el gasto ocasionado para eliminar en la evaporación una mayor cantidad de agua.

Se ha visto que aproximadamente tienen la siguiente composición las sublejías de los diferentes lavados

TABLA II

Composición de las sublejías %	
Sublejías sacada	% en glicerina
Primer corte	8.47
Segundo corte	4.65
Primer lavado	3.76

Segundo lavado	3.30
Tercer lavado	2.80
Cuarto lavado	2.30
Quinto lavado	2.10
Sexto lavado	1.96

† Glycerol - C. Miner

En general las lejías de pailas, es decir, tal como vienen del departamento de fabricación del jabón tienen la composición siguiente:

Glicerina	8 %
Agua y volátiles	63 %
Impurezas no volátiles	29 %

Entre las impurezas volátiles tenemos principalmente ácidos grasos y aceites esenciales.

Entre las impurezas no volátiles

a).- Sales minerales, como cloruro de sodio, hidróxido de sodio o de potasio, carbonato de calcio, sulfato de sodio, sulfito de sodio, sulfuro de sodio, tiosulfato de sodio, tiocianato de sodio y silicato de sodio.

b).- Jabones alcalinos

c).- Impurezas orgánicas como ácidos grasos, ácidos resínicos, albuminoides y mucilagos.

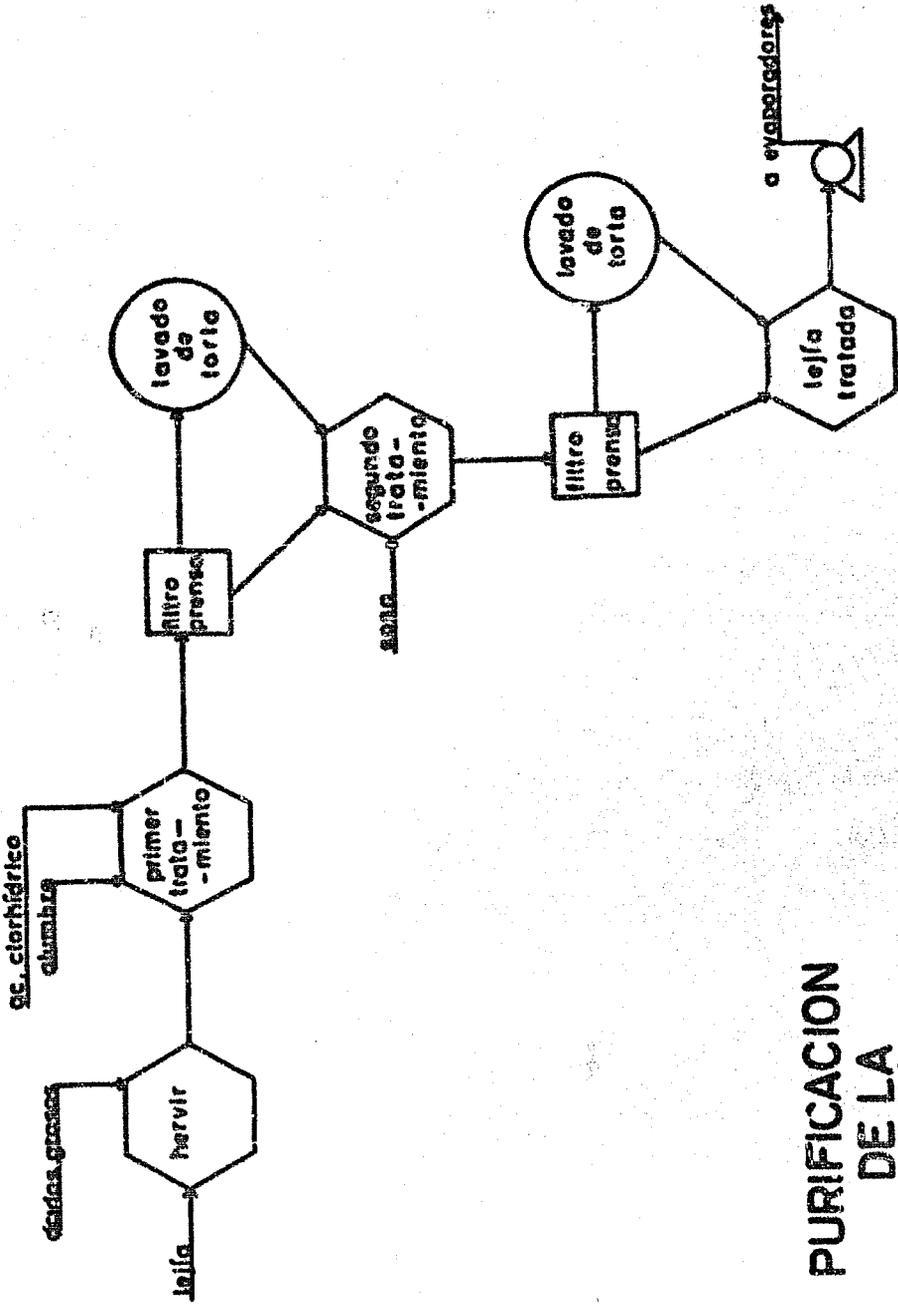
Si esta lejía se concentra directamente, la concentración máxima de glicerina a la que se puede llegar es de 40 %. Para poder llegar a una concentración de un 80 %

de glicerina, que es el contenido medio de glicerina de la llamada cruda, se somete la lejía a un tratamiento químico (Ver figura 1).

El tratamiento consiste en una serie de operaciones destinadas a eliminar las impurezas orgánicas de las lejías. Primero se hierve con ácidos grasos para reducir el contenido de cáustico libre y de ceniza de sosa. Después se le adiciona un ácido y un coagulante y se filtra eliminando impurezas y luego se le adiciona sosa cáustica para precipitar y eliminar el coagulante en solución y para regular el pH del licor a un punto donde la corrosión sea mínima. Para el primer tratamiento se ha visto que es conveniente agregar alumbre ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en cantidad adecuada para una buena coagulación de las impurezas, una cantidad equivalente de alumbre debe añadirse a 100 ml. de muestra y se titula con ácido clorhídrico a un pH entre 5 y 4.5. En esta forma se calcula la cantidad de ácido clorhídrico necesaria para el tratamiento.

En el segundo tratamiento la cantidad de hidróxido de sodio se calcula mediante una titulación similar a la anterior, llevando el pH a un valor entre 8.5 y 9. Posteriormente se filtra el licor y la lejía queda lista para ser . aporada hasta obtener la glicerina cruda.

Esta solución que va a ser evaporada es la llamada lejía tratada y su composición media es la siguiente:



PURIFICACION
DE LA
LEJIA

FIGURA Nº 1

Glicerina	7 %
Agua y volátiles	68 %
Impurezas no volátiles	25 %

Y de ésta se va a obtener la glicerina cruda de composición media:

Glicerina	80 %
Agua y volátiles	7 %
Impurezas no volátiles	13 %

Se debe evitar la fermentación de la glicerina que da como resultado el trimetilen glicol. No debe almacenarse mucho tiempo impura la glicerina. La eliminación de las impurezas se debe llevar a cabo rápidamente mediante el tratamiento químico descrito anteriormente para evitar que pueda llegar a fermentarse.

Generalmente se clarifican las lejías mediante una precipitación de los ácidos grasos libres y el jabón soluble con una sal de fierro o de aluminio. Después se sujeta a filtración que puede ser por medio de un filtro prensa.

El proceso que se lleva a cabo para la recuperación de la glicerina consiste de cuatro pasos importantes.

Purificación

Evaporación

Destilación

Decoloración

Aquí nos ocuparemos solo de la evaporación. 0 -

sea, vamos a partir de la lejía tratada y a llegar a la glicerina cruda.

Evaporación de los licores de glicerol.-

Esta se lleva a cabo generalmente en evaporadores de circulación natural sometido al vacío y usando vapor como medio de calentamiento.

El evaporador normal de tubos cortos verticales es generalmente usado para líquidos que contienen sales. El diámetro de los tubos que forman la calandria es de 1.5 a 3 pulgadas y 4 pies de altura. El vapor se condensa en la parte exterior de los tubos una vez que cede su calor latente, causando una circulación natural del licor hacia arriba por el interior de los tubos, el cual regresa a través del "downtake". El "downtake" es un pasaje vertical a través de la calandria y puede estar localizado ya sea en el centro, o bien, excéntrico, en el caso de los evaporadores de calandria consiste de un espacio tubular intercalado entre los tubos.

En el fondo del evaporador se tiene una caja de sal en la cual se precipita el cloruro de sodio cuando se ha concentrado la solución al punto de sobresaturación requerido.

Esta caja se separa del evaporador por medio de una válvula.

El sedimento que se colecta en la caja de sal -

es secado una vez que se requiere, por medio de aire seco y de vapor.

Para extraer el condensado de vapor de la calandria, se usa una válvula reguladora en la descarga junto con una columna de agua indicando la presencia de condensado en la parte baja de la calandria proporcionando un control adecuado en la descarga del mismo. Cuando el espacio vapor está a vacío, como en el segundo efecto de un evaporador a doble efecto, una bomba es necesaria para la descarga del condensado (cuando hay igualación de presiones no se necesita). Los incondensables que se acumulan en el espacio de vapor y retardan la transferencia de calor son descargados a través de pequeñas válvulas de venteo. Si el espacio vapor está bajo vacío, estos gases son pasados directamente en el espacio de vapor del evaporador sujeto a vacío.

Los materiales tipo de construcción de los evaporadores para lejías son de hierro colado (fundido) para el cuerpo y de cobre los tubos y los espejos de la calandria. El hierro colado puede contener una pequeña cantidad de níquel para incrementar su resistencia a la corrosión.

Para minimizar las pérdidas de glicerina que se sufren por los arrastres en el vapor, debe tenerse un suficientemente grande y alto espacio de vapor llevando

baffles adecuados sobre la calandria y un separador efectivo a la salida de las vaporizaciones. En un buen diseño y buena operación las pérdidas pueden ser de 0.5 a 1.0 % de la glicerina total procesada y en una menor eficiencia de operación estas pérdidas son mayores.

En las plantas grandes se acostumbra concentrar glicerina líquida en evaporadores a doble efecto, - debido a los ahorros en vapor y agua condensante. Generalmente puede mostrarse que estos ahorros justifican la instalación del segundo efecto. Cuando los dos evaporadores son operados como un doble efecto, la capacidad total de la admisión es casi la misma pero la cantidad de vapor y agua condensante requerida es reducida notablemente.

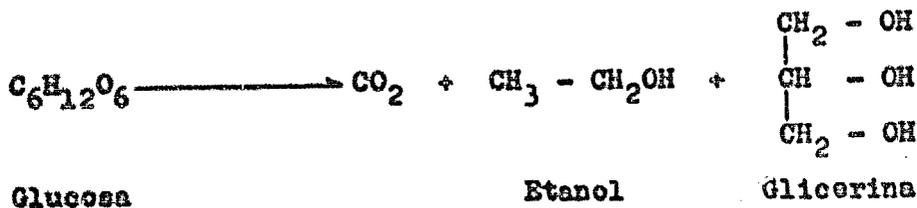
La tubería del vapor y el equipo auxiliar pueden estar instalados en forma tal que el doble efecto pueda operar como simple efecto.

La glicerina comercial proviene principalmente de las fábricas de ácido esteárico y de las fábricas de jabón (por el método descrito anteriormente) en donde se desdoblan las grasas obteniéndose glicerina y ácido esteárico o glicerina y jabón.

Otros métodos de obtención son:

a).- Por fermentación de la glucosa en presencia de sulfito de sodio neutro. Si éste se encuentra en

suficiente cantidad, que iguale el peso de la glucosa, en lugar de producirse la fermentación alcohólica, se forman glicerina y etanol según la ecuación química siguiente:

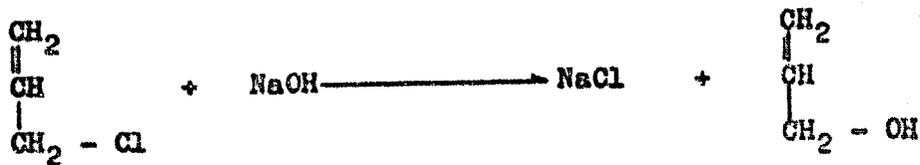


b).- A partir del propeno que es el método de fabricación sintética de glicerina ideado por los americanos en el año de 1940.

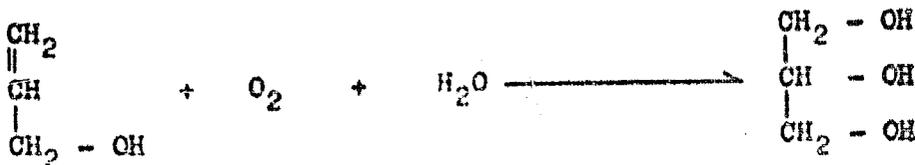
El propeno se trata con cloro gaseoso en presencia de catalizadores que formen un derivado clorado con el carbono saturado del hidrocarburo.



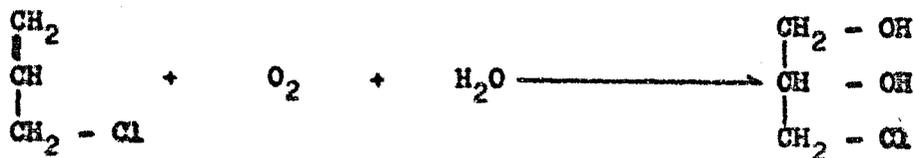
El cual tratado con sosa cáustica produce alcohol alílico.



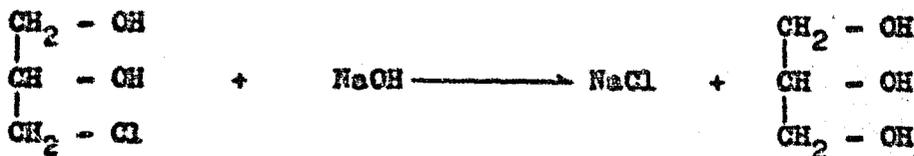
Que por la acción del oxígeno en presencia de agua se convierte en glicerina.



o bien el derivado clorado se trata primero con oxígeno - dando la monoclorhidrina de la glicerina.



La cual al tratarla con sosa nos produce la - glicerina.



Los principales usos de la glicerina son como intermediario en la producción de resinas alquídicas, - gomas, éster, mordentes al cromo y fierro, plásticos, - explosivos, estampado de textiles, etc.

En México producen glicerina: Colgate Palmolive S.A., fábrica de jabón La Corona S.A. (industrial y Q. P.), Glicerina S.A., Glicerina S. de R.L., Industrias - 1-2-3 S.A. y Organo Química Mexicana S.A. La Compañía Universal iba a iniciar su producción cruda y destilada en - el año de 1966.

La producción total de glicerina en 1965 fué - de 4 500 Toneladas.

La importación de glicerina grado dinamita fué en:

1963 - 80 Ton. con valor de \$ 465 M.

1964 - 38 Ton. con valor de \$ 215 M.

La importación de glicerina grado farmacopea -
fue en:

1963 - 42 Ton. con valor de \$ 188 M.

1964 - 3 Ton. con valor de \$ 39 M.

La importación de glicerina cruda fue en:

1963 - 1094 Ton. con valor de 4.3 M.M.

1964 - 31 Kg. con valor de 3 M.

O sea que los datos de importación en forma -
global fueron:

TABLA III

Importación de glicerina *	
1962 - 1415 Ton. con valor de	\$ 5.8 M.M.
1963 - 1216 Ton. con valor de	\$ 4.953 M.M.
1964 - 41.031 Ton. con valor de	\$ 0.257 M.M.

* Producción Química Mexicana.- 1965 -
Tercera Edición.

El cloruro de sodio llamado también sal común,
se conoce desde la más remota antigüedad y es uno de los
compuestos más difundidos en la naturaleza atribuyéndose
generalmente su origen geológico a la descomposición de -
los silicatos alcalinos en presencia de los cloruros de -
calcio y magnesio, así como a la reacción entre el carbo-
nato de sodio y el ácido clorhídrico, pues la desecación
natural de las mareas no hubiera proporcionado la potencia
de ciertos yacimientos que como los de Stassfurt hubieran

exigido profundidades de mar de unos 45,000 metros. Como mineral constituye la sal gema, que se encuentra cristalizada en cubos u octaedros y presenta frecuentemente inclusiones gaseosas, en estado puro es incolora, pero suele tener diversas coloraciones debido a impurezas.

Existe además la sal común en los manantiales y lagos salados y en el agua de mar que contiene disueltas grandes cantidades de cloruro de sodio en la proporción media de 3.5 %.

Los procedimientos para obtener la sal común varían según se trate de obtener esta substancia del agua del mar, de los manantiales salados o de las minas de sal gema.

Extracción de la sal del agua del mar.- La evaporación al aire libre por el calor solar o la concentración por calentamiento.

Extracción de la sal de los manantiales salados.- Se concentra y luego se le agrega lechada de cal con lo que precipita el sulfato de magnesio según la reacción:



y además arrastra las materias orgánicas que contiene el agua y el exceso de cal posiblemente añadido se precipita por si solo en estado de carbonato gracias a la acción del monóxido de carbono del aire. La disolución que

resulta de estas operaciones se evapora en calderas de gran superficie y poco fondo provistas de rastrillos para ir removiendo la masa a medida que se precipita la sal. Primero se deposita sulfato de calcio y sulfato doble de calcio y sodio que se recogen aparte y el líquido restante sometido nuevamente a evaporación deposita el cloruro de sodio.

Extracción de sal de las minas.- La extracción de la sal común de las minas varía según el estado de pureza en que se encuentra, generalmente se hace abriendo galerías y extrayendo la sal a trozos cuando es pura o si está mezclada con tierras se construyen pozos en los que se vierte agua y mediante bombas se extrae la dilución saturada de la sal que se concentra como antes se ha dicho.

El cloruro de sodio en estado puro forma cristales cúbicos u octaédricos de color blanco y con una densidad de 2.2, funde a 792°C y su temperatura de ebullición es de 1750°C . La sal cristalizada de soluciones acuosas incluye gotículas líquidas y al ser calentada de crepita. Es muy soluble en agua pero la cantidad de sal disuelta aumenta muy poco con la temperatura pues a 0°C . se disuelven 35.63 partes de sal en 100 partes de agua, mientras que a 100°C se disuelven 39.12 partes. La disolución de cloruro de sodio en agua tiene caracter endo-

térmico, mezclada con el 33 por 100 de su peso de hielo hace descender la temperatura a $- 21^{\circ}\text{C}$.

Usos.- Aproximadamente dos tercios de la sal común actualmente producida se emplean como condimento - en la alimentación siendo necesaria para el organismo humano. El resto se consume en su mayor parte en la industria química para la obtención de sulfato de sodio y ácido clorhídrico, sodio, cloro, sosa cáustica y carbonato de sodio. Además se emplea para el tratamiento de materias colorantes en la fabricación de colores de alquitrán, para barnizar cerámica, en algunos procesos metalúrgicos, para purificar grasas y aceites, para la separación del jabón, para salar las pieles en tenería, para deshelar la nieve, para mezclar con pastos para el ganado, etc.

La extracción natural de sal en México es un procedimiento precortesiano, efectuándose hasta nuestra época por evaporación solar de salmueras de mar.

La alta pureza de la sal mexicana (más del 97 %) ha logrado exportaciones que van en continuo aumento, Japón adquirió el año pasado 800 M. Toneladas.

Nuestra producción es de 2.2 M.M. Toneladas, con posibilidades de alcanzar los tres millones. El consumo interno es de 3 M.M. Toneladas anuales.

TABLA IV

Exportación de sal común en México *	
1962	- 1 064 002 Ton. con valor de \$ 245.5 M.M.
1963	- 1 004 459 Ton. con valor de \$ 225.3 M.M.
1964	- 1 451 201 Ton. con valor de \$ 332.3 M.M.

* Producción Química Mexicana.- 1965

Tercera Edición.

Para evitar competencia ruinoso la Secretaría de Industria y Comercio fija anualmente el monto de la operación nacional y señala a los productores sus áreas de concurrencia, la acción reguladora se orienta, en gran medida a proteger a las sociedades cooperativas y a los pequeños productores.

Las principales salinas, además de las localizadas en los litorales de nuestro país se encuentran en el interior en Jaco y Palomas (Chih) Laguna del Rey (Coah) Salina (S.L.P.) y el Lago de Texcoco.

La empresa Sosa Texcoco S.A. obtuvo 11 198 toneladas de sal para uso industrial en 1964 de su planta de elaboración de sosa cáustica. En 1965 obtuvo 18 000 toneladas.

El sodio que se puede obtener a partir del cloruro de sodio se ha estado importando. En 1963 se importó una tonelada con valor de \$ 20 M. y en 1964 se importaron 437 toneladas con valor de \$2.06 M.M..Actualmen

te Petróleos Mexicanos proyecta obtener por electrólisis de sal fundida 3 600 Toneladas de sodio elemental como - materia prima para la fabricación de tetraetilo de plomo. El cloro va a ser utilizado en la elaboración de cloruro de etilo y dicloruro de etileno.

CAPITULO II
SOLUCION Y EQUIPO EMPLEADO

SOLUCION Y EQUIPO EMPLEADO.-

Debido a las dificultades que representa el conseguir este subproducto de las fábricas de jabón (teníamos un donativo, el cual, al someterlo a análisis, se encontró que tenía 0.5 % de glicerina) se preparó la mezcla en el laboratorio y partimos de una solución con 4 % de glicerina y 10 % de cloruro de sodio, puesto que el objetivo principal era obtener el máximo de cristales de cloruro de sodio en la caja de sal, a la vez que optimizar la operación de manera de tener la mayor capacidad y eficiencia.

En esta forma trabajamos con un mínimo de impurezas, puesto que usamos sal de grano que venía empacada en sacos de 50 Kg., glicerina pura que venía en latas de 25 Kg. y agua.

El equipo empleado es el sistema de evaporación a doble efecto de fierro fundido, instalado en el Laboratorio de Ingeniería Química. Este sistema consta de los siguientes accesorios:

a).- Los evaporadores, que son dos vasos de fierro fundido con calandrias que tienen 28 fluxos de 1.5 pulgadas de diámetro externo y 21 pulgadas de longitud. La descarga de los vapores tiene 4 pulgadas de diámetro. Los evaporadores cuentan con tubos de cristal para ver los niveles del condensado de la calandria y para

el licor a través de todo el vaso.

b).- La caja de sal que va acoplada al segundo efecto es de fierro fundido también, de 15 pulgadas de altura y 25 pulgadas de diámetro, está comunicada al vaso por una válvula de compuerta de 4 pulgadas de diámetro, tiene una línea a través de la cual se le puede cargar vapor directo o bien inyectársele aire comprimido, - la descarga del líquido la hace a través de una línea de una pulgada de diámetro y está provista de una placa perforada en el fondo.

c).- Los tanques de licor diluido y concentrado que son de fierro con una capacidad de 200 litros. El tanque de licor diluido tiene un agitador accionado con un motor eléctrico de 1 H.P. de potencia y 1400 R.P.M. - con flecha vertical. Los dos tanques están conectados a la bomba 1 que es la de licor diluido. Al tanque de licor diluido llega una serie de tuberías de forma tal que se le puede regresar el licor concentrado y los condensados del segundo efecto, así como los líquidos que provienen del secado de la sal. Al tanque de licor concentrado le llega una línea de licor concentrado y una de agua.

d).- El condensador de vaporizaciones que trabaja comúnmente a vacío y logra la condensación circulando agua cruda que le sirve como medio de enfriamiento. - Sus condensaciones se colectan en un tanque situado inme

diatamente abajo y con el cual se encuentra comunicado - con una línea de dos pulgadas de diámetro. La conexión - con los vasos es una línea de 4 pulgadas de diámetro, -- cuenta con 139 tubos de cobre de 5/8 de pulgada de diáme tro exterior y 30 pulgadas de longitud.

e).- El acumulador de condensaciones del con densador tubular, que es un tanque cilíndrico con extre mos de casquete esférico, las dimensiones de la parte ci líndrica son 25 pulgadas de diámetro por 48 pulgadas de longitud. Conexión de 2 pulgadas de diámetro a la bomba 4 que es la que desaloja estas condensaciones, conexión de 1.25 pulgadas de diámetro al sistema de vacío, tubo - de cristal indicador de nivel y una línea de 2 pulgadas de diámetro por donde recibe las condensaciones del con densador tubular. En este tanque se hace el vacío que -- gradualmente se extiende al resto del equipo.

f).- Los acumuladores de condensaciones del vapor de calentamiento.- Se tienen seis tanques acumula dores, dos para cada vaso y dos para el precalentador de licor diluido. Los cuatro primeros están dotados de una línea de igualación de presiones y una línea de recolec ción de condensados, los otros dos solamente cuentan con una línea de recolección de condensados. Las dimensiones de estos tanques son: 30 pulgadas de altura y 14 de diá metro. Los seis tanques están comunicados a la bomba 5 -

que envía los condensados al tanque de alimentación de la caldera, cada uno está provisto de un tubo de cristal, indicador de nivel y de una válvula de venteo.

g).- El sistema de calentamiento de carga y enfriamiento del producto, que consta de tres cambiadores de calor con las siguientes características: dos cambiadores con coraza de dos pulgadas de diámetro exterior y 36 pulgadas de longitud, dos pasos por los tubos y un paso por la coraza; un precalentador de 3 pulgadas de diámetro exterior en la coraza y 36 de longitud, con 12 tubos de cobre de 0.5 pulgadas de diámetro externo y 36 de longitud; dos pasos por los tubos y un paso en la coraza y entrada y salida de vapor y condensado de 0.5 pulgadas. La solución va por el interior de los tubos. De los dos primeros, uno se utiliza como cambiador y en el intercambian calor la solución concentrada caliente y la solución diluída fría. Ambas salen a temperaturas medias la solución diluída termina de precalentarse en el precalentador con vapor y la solución concentrada se enfría totalmente con agua, que es el fin al que se destina el otro cambiador; el precalentador eleva la temperatura de carga de licor diluído a base de vapor directo de la caldera cuyo flujo es controlado por medio de un controlador neumático y una válvula de diafragma.

h).- Las bombas que son: la bomba 1 de licor

diluido que es de turbina de 1 x 1 pulgadas acoplada a un motor eléctrico de 0.25 H.P., 220 volts, trifásico, de 1425 R.P.M., con una línea de descarga para llevar la solución del tanque de licor diluido al primer efecto del sistema de evaporación. Una bomba 2 de paso con las mismas características que la anterior y transporta la solución semiconcentrada al segundo efecto. La bomba 3 de licor concentrado, que es una centrífuga de impulsor semiabierto, motor de 1.5 H.P. y 2850 R.P.M., la cual descarga la solución concentrada al tanque de licor concentrado. La bomba 4 de condensados del vapor del segundo efecto, es una motobomba de triple impulsor abierto de 1.5 H.P., 2850 R.P.M., 50 ciclos trifásica, mueve los condensados de las vaporizaciones. Y la bomba 5 de condensados, igual a las dos primeras y que mueve los condensados del vapor de calentamiento enviándolos al tanque de alimentación de la caldera.

i).- La caldera, que es de tubos de humo, con potencia de 50 C.V., presión máxima de 135 psi, a manejarse con 220 volts, tres fases, 50 ciclos y 7500 pies de altitud.

j).- La compresora con una presión máxima de 200 psi, accionada con un motor eléctrico de 715 R.P.M., 2.7 H.P.

k).- La bomba de vacío que es una bomba reci-

procante, con una presión absoluta mínima de 3 pulgadas - de mercurio, movida por un motor de 2.7 H.P. y 715 R.P.M.

1.- Los instrumentos de medición y de control.

El equipo está provisto de tres rotámetros, todos ellos - con las mismas características, con capacidad máxima para determinar un flujo de 10 litros por minuto. Uno para licor diluido, otro para licor concentrado y uno más para - el condensado de las vaporizaciones del segundo efecto. - Seis manómetros, tres centralizados en el tablero de control y combinables de manera de obtener la información - cuando se trabaja a doble efecto, un manómetro en la caja de sal, un manómetro en el espacio vapor del segundo efecto y otro en la línea de vapor del precalentador.

También cuenta el equipo con 24 termopares distribuidos convenientemente y que envían señales de temperatura a un multipotenciómetro "Honeywell".

El control de la temperatura de carga del licor diluido se hace por medio de un controlador de temperatura marca "Honeywell", con una gama de medición de 0°C a 100°C. Sus plumillas registran e indican, una la temperatura del espacio vapor del primer efecto y la otra la temperatura del licor diluido al entrar al primer efecto. Solamente una de estas temperaturas (la segunda) es controlada neumáticamente por el instrumento, el cual recibe aire seco, filtrado y a una presión aproximada de 20 libras/pulg²

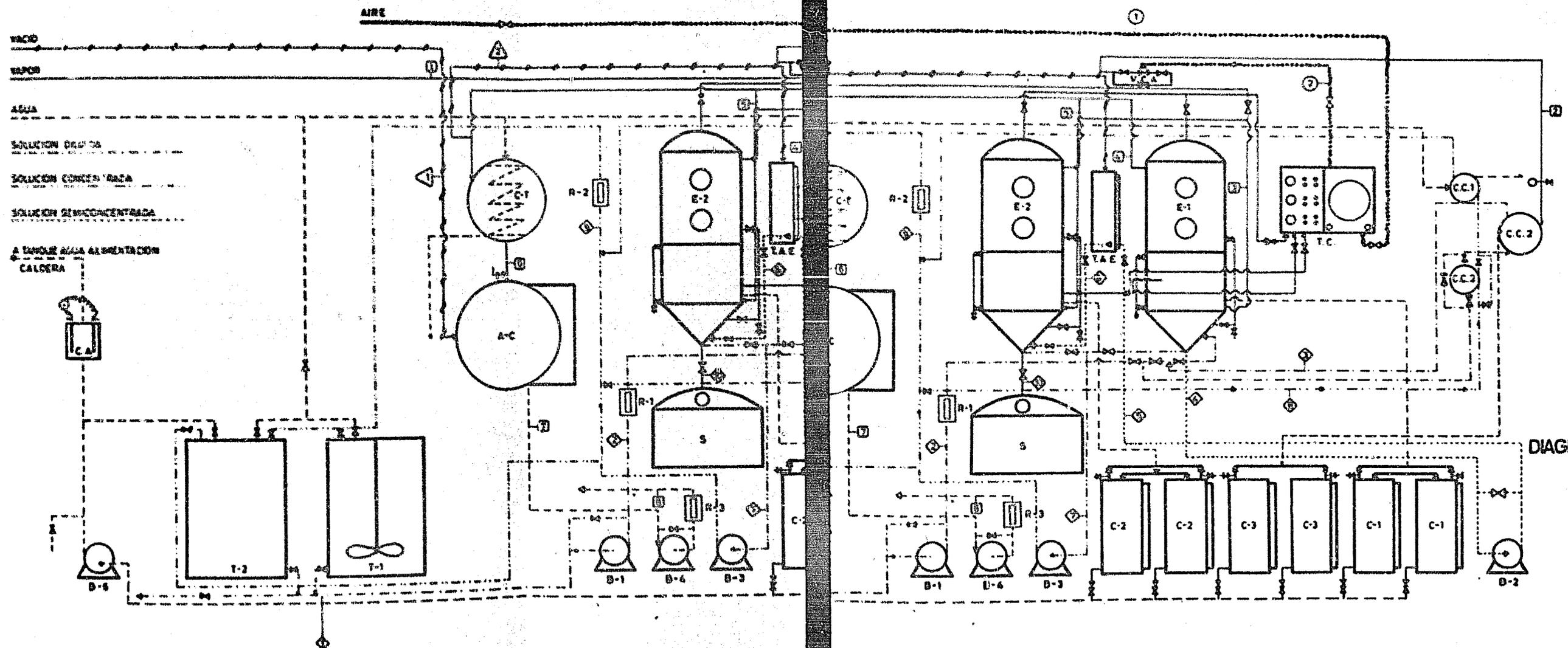


DIAGRAMA DEL EQUIPO
FIGURA 2

De la figura 2

- A - C Acumulador de condensaciones del condensador tubular
- B - 1 Bomba para la solución diluida
- B - 2 Bomba para solución semiconcentrada
- B - 3 Bomba para solución concentrada
- B - 4 Bomba para los condensados acumulados en el A - C
- B - 5 Bomba para condensados acumulados en los tanques C - 1, C - 2, C - 3
- C - 1 Tanques colectores del condensado del vapor de calentamiento del primer efecto
- C - 2 Tanques colectores del condensado del vapor de calentamiento del segundo efecto (vaporizaciones del primer efecto)
- C - 3 Tanques colectores del condensado del vapor de calentamiento del cambiador de calor C-C-2
- C - A Celda de alarma
- C C 1 Cambiador de calor entre solución concentrada y agua
- C C 2 Cambiador de calor entre solución diluida y vapor

- C C 3 Cambiador de calor entre solución diluída y solución concentrada.
- C - T Condensador tubular para las vaporizaciones del segundo efecto y del tanque de autoevaporación
- E - 1 Evaporador primer efecto
- E - 2 Evaporador segundo efecto
- R - 1 Rotámetro solución diluída
- R - 2 Rotámetro solución concentrada
- R - 3 Rotámetro para condensados
- S Caja de sal
- T - 1 Tanque de solución diluída
- T - 2 Tanque de solución concentrada
- T - C Tablero de control para tres manómetros, las bombas, el agitador y la válvula de control automático
- T A E Tanque de autoevaporación
- V C A Válvula neumática de control automático.

RELACION DE CIRCUITOS.

SOLUCION

Circuito	1	Del tanque T - 1	a la bomba 1
Circuito	2	De la bomba 2	al sistema de - precalentamiento
Circuito	3	Del sistema de preca- lentamiento	al evaporador - E - 1
Circuito	4	Del evaporador E - 1	a la bomba 2
Circuito	5	De la bomba 2	al tanque de au- toevaporación
Circuito	6	Del tanque de autoe- vaporación	al evaporador - E - 2
Circuito	7	De E - 2	a la bomba 3
Circuito	8	De B - 3	al sistema de -- precalentamiento
Circuito	9	Del sistema de preca- lentamiento	al tanque T - 2
Circuito	10	De E - 2	a la caja de sal S

VAPOR Y CONDENSADO

Circuito	1	De la caldera	a V.C.A.
Circuito	2	De V.C.A.	al sistema de -- precalentamiento
Circuito	3	De la caldera	a E - 1
Circuito	4	De E - 1	a C - T

Circuito	5	De E - 2	a C - T
Circuito	6	De C - T	a A - C
Circuito	7	De A - C	a la bomba 4
Circuito	8	De B - 4	al drenaje

VACIO

Circuito	1	De la bomba de vacío	a A - C
Circuito	2	De C - T	a T.A.E.

AIRE

Circuito	1	De la compresora	a T.C.
Circuito	2	De T.C.	a V.C.A.

CAPITULO III
REFORMAS AL EQUIPO
Y
NORMAS DE TRABAJO.

REPORMAS AL EQUIPO Y NORMAS DE TRABAJO.--

Un punto de gran importancia en la evaporación de este tipo de soluciones es el determinar a que nivel es conveniente trabajar los evaporadores. Puesto que el coeficiente de transmisión de calor varía inversamente con la altura del nivel del líquido, pues la velocidad de circulación depende de la altura del líquido en el evaporador. También al aumentar la altura del nivel del líquido se aumenta la presión media ejercida sobre el líquido, con lo cual se incrementa el punto de ebullición de la solución.

La solución de glicerina, agua y cloruro de sodio hierve con violencia y como es un subproducto de la fabricación del jabón, forma espuma, entonces las vaporizaciones tienden a arrastrar gotas de líquido. Estos arrastres se producen cuando se trabaja a un alto nivel, cuando se eleva súbitamente el vacío dentro del evaporador o cuando la solución se introduce al evaporador a una temperatura mayor a la temperatura de ebullición correspondiente a la presión interna del evaporador.

Por otra parte, no conviene trabajar los evaporadores con solución de glicerina y sal a niveles muy bajos, puesto que se corre el peligro de que se sequen los tubos de la calandria pudiendo producirse incrustaciones en los tubos.

Además estos evaporadores cuentan con un embudo al final del "downtake", con el fin de evitar que se mezclen el licor concentrado y el diluido, debido a esto, se deben trabajar como evaporadores de circulación forzada y no se trabajan en la forma tradicional de un evaporador de calandria de tubos cortos verticales, o sea no se trabaja a un nivel un poco arriba de donde terminan los tubos de la calandria, sino que más abajo para permitir la circulación del licor dentro de los tubos.

De acuerdo con todo lo anterior, prácticamente se vio que era conveniente trabajar manteniendo el nivel del líquido a un tercio de la altura de la calandria y a vacío moderado el segundo efecto.

Pero se encontró el inconveniente de que no era posible mantener un nivel constante en el segundo efecto. Estas variaciones en el nivel eran debidas a que el primer efecto trabajaba a presión atmosférica mientras que el segundo efecto trabajaba sometido a vacío, entonces al pasar la solución del primer efecto al segundo, es te estaba a una temperatura mucho mayor a la temperatura de ebullición de la solución a la presión del segundo efecto, debido a lo cual se autoevaporaba en este segundo vaso, con lo cual se producía una violenta circulación de la solución y debido a esto se producían arrastres con las consecuentes pérdidas de glicerina y cloruro de sodio.

Además al introducirse la solución en esas condiciones,-- al sufrir autoevaporación hacía que los tubos de la calandria se quedaran sin solución, con lo cual bajaba considerablemente el coeficiente de transmisión de calor, además de que se corría el peligro de ir incrustando los tubos.

Para poder mantener el nivel constante en el - segundo efecto y al mismo tiempo aprovechar esta autoevaporación, se instaló entre los dos vasos de los evaporadores y a la altura de la calandria un tanque de paso, el - cual va conectado al vacío del segundo efecto, por el que se pasa la solución antes de pasarla al segundo efecto y ahí sufre su autoevaporación y luego pasa al segundo efecto.

Este tanque es de un diámetro de 4 pulgadas y - 20 pulgadas de altura.

En esta forma pudieron mantenerse los niveles - constantes, sin embargo, todavía hubo una pequeña cantidad de arrastres (de 1 % máximo) debido al espacio de vapor tan pequeño que tienen los evaporadores. Estos evaporadores, están provistos en la parte superior del domo de unas mamparas para evitar estos arrastres, pero no son suicientes. Para evitar estos arrastres, se recomienda tener un espacio de vapor más grande y el uso de separadores de ciclón en la parte superior, a la salida de las vaporizaciones.

Los condensados de las vaporizaciones y del vapor de calentamiento son enviados como agua de alimentación a la caldera (puesto que es agua destilada), esta agua debe de ser pura, es decir, cuando ha habido arrastros del producto no se deben de enviar para evitar incrustaciones en la caldera, con el fin de controlar ésto, se instaló un sistema de alarma en la línea de descarga de la bomba que manda estos condensados a la caldera.

Esta alarma consiste en una celda con electrodos que son, el ánodo de grafito y el cátodo de fierro, y conectado al circuito va un timbre, de tal forma, que al pasar agua con cloruro de sodio en solución, se cierra el circuito y hace sonar el timbre, en este momento, los condensados se desvían, dejándose de enviar a la caldera y se mandan al drenaje.

Como se mencionó anteriormente, no se debe trabajar a vacíos muy altos, pues aunque aparentemente, lo mejor es trabajar al mayor vacío posible, pues teóricamente así se aumenta la capacidad del equipo por la caída de la temperatura de ebullición de la solución, pero también hay un incremento de viscosidad, lo cual afecta desfavorablemente al coeficiente de transmisión de calor y además hay el problema de que a altos vacíos aumentan las pérdidas debidas a arrastros.

En el capítulo anterior, mencionamos que este

equipo consta de unos pequeños cambiadores de calor, los cuales se usan para precalentar la solución diluida y para enfriar la solución concentrada. El hecho de precalentar la solución diluida antes de introducirla al primer efecto, tiene como resultado el aumento de la capacidad, pues si precalentamos la solución hasta su punto de ebullición, todo el calor transferido por la superficie de calentamiento del primer efecto se utiliza en evaporar - y es entonces cuando se tiene su máxima capacidad. Pero si se alimenta a una temperatura más baja, parte de ese calor debe de usarse para llevar esta solución hasta la temperatura de ebullición. Y no debe de precalentarse a mayor temperatura de la de ebullición, puesto que volvería a presentarse el problema de la autoevaporación.

La temperatura a la cual se lleva la solución diluida en estos cambiadores de calor es controlada por una válvula automática por medio de un controlador de tipo neumático, que actúa sobre una válvula de diafragma - que regula el paso del vapor al precalentador. Esta válvula originalmente era muy grande (de 2 pulgadas de diámetro) por lo que no efectuaba un buen control, pues la línea de vapor es de media pulgada de diámetro, debido a lo cual se cambió por una válvula de media pulgada, pudiéndose ya tener un mejor control de esta variable.

Para facilitar la operación del equipo, sobre todo desde el punto de vista didáctico, se pintaron las diferentes líneas de flujo de diferentes colores. Verde claro para la solución diluida, verde oscuro para la solución concentrada, azul para el agua y gris para el vacío y para el aire.

Se le pusieron muestreadores al primero y segundo efectos, para poder hacer un análisis de sus soluciones en el momento necesario.

La caja de sal tenía una malla en el fondo para retener los cristales, ésta resultaba ser demasiado abierta, puesto que había ocasiones en que ya se veían los cristales en la caja de sal y aun embargo a la hora de vaciar la solución saturada de la caja, debido a lo abierto de la malla, la solución arrastraba a los cristales al tanque de solución concentrada y no quedaba casi nada en la caja de sal, entonces sobre esta malla se puso una tela a base de "Dacrón" con lo cual ya permanecieron los cristales en la caja de sal.

Otro problema que había y que no se resolvió es que para mantener el flujo de alimentación al primer efecto constante, debido a la capacidad del evaporador ha: que mantener flujos pequeños, inferiores a 2 lt/min, entonces la bomba 1 y el rotámetro 1 están sobrados (va de 0 a 10 lt/min) por lo que no se puede mantener constan

se un flujo pequeño. Para mantenerlo había que cambiar el rotámetro por uno más pequeño que su rango fuera de 0 a 3 litros/minuto.

CAPITULO IV

FORMA DE OPERAR EL EQUIPO Y CONTROL ANALITICO

FORMA DE OPERAR EL EQUIPO Y CONTROL ANALITICO.

a).- Operación del Equipo .-

Se prepara solución con 4 % de glicerina, 10% de cloruro de sodio y el resto de agua, en el tanque de solución diluida (ver fig. 1) y se conecta al agitador - para mezclarlo perfectamente.

Se pone en operación la caldera, manteniéndola cerrada hasta que llega a una presión de 50 psi, luego se abre la válvula del vapor, pudiéndose ya usar éste para la operación.

Se alinean las válvulas en forma tal que la solución diluida pase por medio de la bomba 1 a un rotámetro y de ahí a los cambiadores de calor del sistema de precalentamiento y luego al vaso del primer efecto. Que la solución semiconcentrada pase por medio de la bomba 2 del primer efecto al tanque de autoevaporación y de ahí al segundo efecto. Que la solución concentrada salga del segundo efecto por medio de la bomba 3 pasando por los cambiadores de calor del sistema de precalentamiento (en donde se va a enfriar) y de ahí al tanque de solución concentrada, pasando por su rotámetro respectivo.

Se abren las válvulas para permitir el paso del agua de enfriamiento al cambiador de calor que va a enfriar a la solución concentrada y al tanque condensador de las vaporizaciones procedentes del segundo efecto.

Se revisan los niveles de los tanques de condensados y se alinean estos tanques en forma tal de poder recibir en ellos estos condensados.

Se conecta la bomba de vacío, alineando el sistema en forma tal, de hacer vacío en el segundo efecto y en el tanque de autoevaporación.

Se conecta el registrador controlador y se fija la temperatura a la cual se quiere precalentar la solución diluida (aproximadamente 95°C).

Se conecta la compresora y se abren las válvulas que permiten el paso del aire para el sistema de control neumático de la válvula reguladora del paso del vapor en el sistema de precalentamiento.

Se alinean las válvulas de los evaporadores de forma tal que se puedan trabajar como un doble efecto.

Se abren las válvulas que se encuentran antes y después (válvulas de bloqueo) de la válvula de control con lo que empieza a pasar vapor al precalentador.

Se conecta la bomba 1 y se empieza a mandar solución diluida.

Se abre el paso del vapor al primer efecto y se procede a llenar éste con la solución diluida ya precalentada hasta un tercio de la altura de la calandria del evaporador. Ahí se mantiene el nivel y se comienza a evaporar, al llegar la solución a tener una concentra---

ción media de la desecada de glicerina y cloruro de sodio se comienza a bombear esta solución al tanque de autoevaporación y de ahí al segundo efecto, el cual ya se encuentra un poco caliente pues han estado pasando por él las vaporizaciones precedentes del primer efecto. Se continúa evaporando manteniendo constantes los niveles.

Cada determinado tiempo se toma una muestra del segundo efecto y se le hace un análisis de cloruros, al llegar a la concentración de sobresaturación deseada (generalmente ya se ven los cristales de cloruro de sodio en los tubos de nivel) se abre la válvula que comunica con la caja de sal y se baja toda la solución sobresaturada que se encuentra en el segundo efecto, luego se vuelve a cerrar la válvula y se repite esta operación hasta que se llena la caja de sal.

Una vez que esta caja de sal está llena de solución sobresaturada, ya se deja abierta la válvula de compuerta de comunicación entre la caja de sal y el vaso del segundo efecto, y ya se trabaja en forma continua, cayendo la sal cristalizada a la caja de sal y mandando la solución concentrada al tanque de solución concentrada desde el momento en que ésta alcance la concentración deseada de glicerina.

Cuando se quiere parar la operación, se cierra el vapor de calentamiento, se desconecta la bomba de

vacío, la bomba de alimentación y todas las bombas, se cierra la válvula que comunica la caja de sal con el vaso del segundo efecto.

Se alimenta aire comprimido a la caja de sal para poder desalojar de ella a la solución saturada y quedan los cristales de cloruro de sodio en el fondo. Luego, para secar éstos, se admite vapor hasta que la caja de sal esté a la temperatura correspondiente como vapor saturado, se deja de alimentar vapor y se inyecta aire proveniente de la compresora hasta que se llegue a la temperatura ambiente. Entonces se abre la caja de sal y se sacan los cristales.

b).- Control Analítico. -

El control analítico se hizo con respecto al porcentaje de cloruro de sodio y excepcionalmente con respecto al porcentaje de glicerina en la solución.

La glicerina se determinó por el método de acetilación con anhídrido acético - piridina que consiste en que a una cantidad conocida de solución se le agrega una determinada cantidad de reactivo anhídrido acético - piridina (en proporción de un volumen de anhídrido acético por seis volúmenes de piridina) poniéndose a hervir en baño de vapor durante 30 ó 40 minutos. Se enfría y se le agrega alcohol isobutílico. Se titula con hidróxido de potasio alcohólico de normalidad conocida,

usando fenolftaleína de indicador.

Simultáneamente se corre un blanco, al cual se le hacen las mismas operaciones que al problema.

Los cálculos se hacen:

$$\% \text{ de glicerina} = \frac{(B - S) \times N \times 3.07}{W}$$

donde:

B = ml. de KOH alcohólica usados para titular el blanco.

S = ml. de KOH alcohólica usados para titular la muestra.

N = Normalidad de la potasa.

W = Peso de la muestra.

El cloruro de sodio se determinó por el método del nitrato de plata, que consiste en:

Se toman 10 ml. de muestra, se afora a 100 -- ml., se toma una alícuota de 25 ml. y se le agregan unas gotas de solución de cromato de potasio, que se usa como indicador. Se titula con solución de nitrato de plata -- décimo normal y los cálculos se hacen:

$$\% \text{ de cloruro de sodio} = \frac{V \times N \times \text{meq} \times Af \times 100}{\text{parte alícuota} \times M}$$

donde:

V = ml. de solución de nitrato de plata.

N = Normalidad de la solución de nitrato de plata.

M = ml. de muestra.

CAPITULO V
RESULTADOS OBTENIDOS

RESULTADOS OBTENIDOS.

Se hicieron corridas antes y después de corregir el equipo, en cada corrida se alimentaban 4 tanques de 200 Kgs. cada uno a una concentración de 4 % de glicerina, 10 % de cloruro de sodio y 86 % de agua.

Los resultados obtenidos una vez corregido el equipo se tabularon en la tabla número VI.

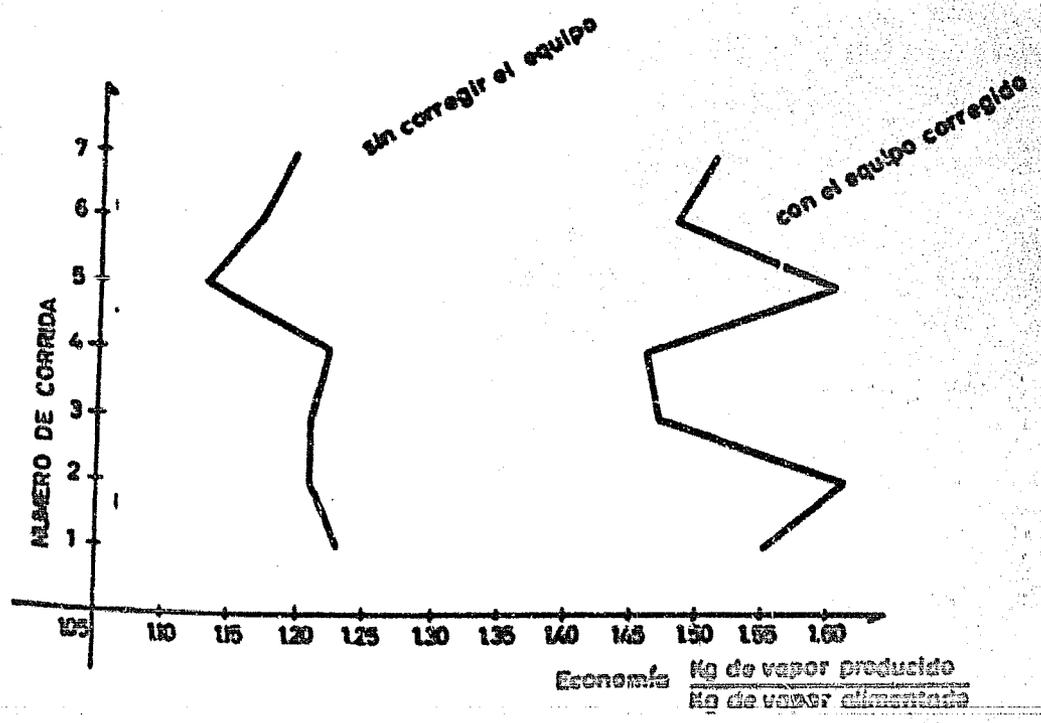
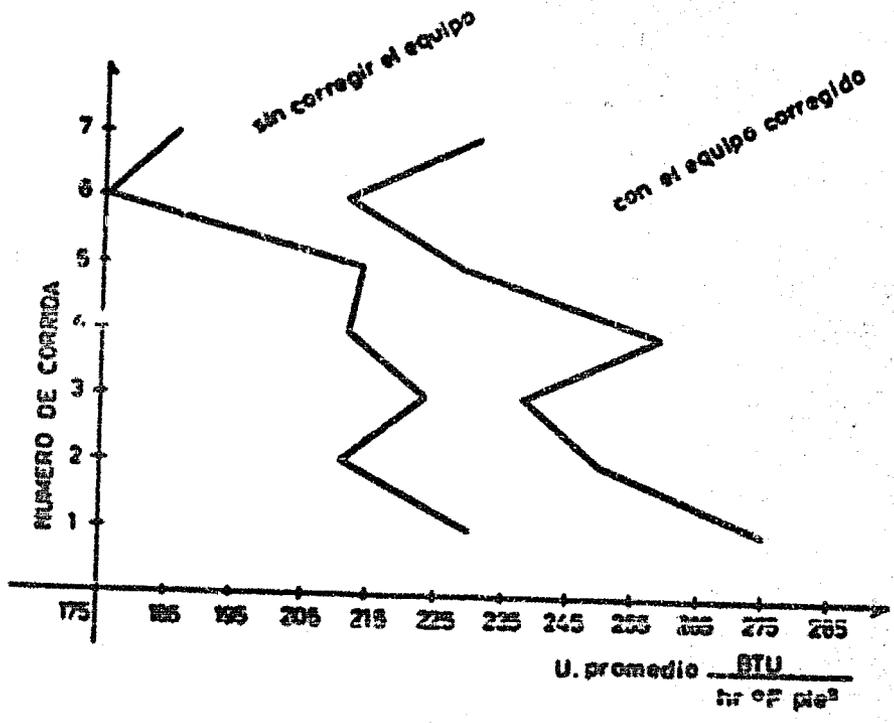
TABLA VI

Resultados obtenidos con el equipo corregido.													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1.30	114	11.3	0.87	11.3	14	74	0.75	0.6	407	143	275.0	1.55
2	1.35	114	11.3	0.85	11.3	15	71	0.77	0.6	371	128	249.5	1.61
3	1.40	114	11.3	0.85	11.3	14	74	0.75	0.5	335	140	237.5	1.47
4	1.40	114	11.3	0.86	11.3	13	78	0.75	0.5	339	177	258.0	1.46
5	1.40	114	11.3	0.85	11.3	15	70	0.77	0.6	335	121	228.0	1.60
6	1.50	114	11.3	0.85	11.3	14	74	0.76	0.5	277	146	211.5	1.48
7	1.50	114	11.3	0.86	11.3	15	70	0.80	0.5	281	126	230.5	1.51

Los resultados obtenidos antes de corregir el equipo se tabularon en la tabla número VII.

TABLA VII

Resultados obtenidos con el equipo sin corregir.													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1.30	113	11.3	0.81	11.3	14	72	0.70	0.32	338	120	229.0	1.23
2	1.35	113	11.3	0.80	11.3	15	70	0.68	0.29	314	107	210.5	1.21
3	1.40	114	11.3	0.82	11.3	14	73	0.68	0.31	323	123	223.0	1.21



4	1.40	113	11.3	0.81	11.3	13	76	0.69	0.30	277	147	212.0	1.22
5	1.40	114	11.3	0.82	11.3	15	70	0.66	0.28	323	104	213.5	1.13
6	1.50	112	11.3	0.81	11.3	14	74	0.66	0.29	326	126	176.0	1.17
7	1.50	114	11.3	0.82	11.3	15	70	0.68	0.30	265	107	186.0	1.19

Las columnas en las tablas anteriores corresponden a:

- 1.- Número de corrida.
- 2.- Presión del vapor de calentamiento en el primer efecto en Kg/cm^2
- 3.- Temperatura de ebullición de la solución en el primer efecto en $^{\circ}\text{C}$.
- 4.- Presión del domo en el primer efecto en lb/pulg^2
- 5.- Gasto del vapor de calentamiento en Kg/min
- 6.- Presión del vapor de calentamiento en el segundo efecto en lb/pulg^2
- 7.- Presión en el domo del segundo efecto en pulgadas de Hg de vacío.
- 8.- Temperatura de ebullición de la solución en el segundo efecto en $^{\circ}\text{C}$.
- 9.- Gasto del vapor de calentamiento del segundo efecto en Kg/min (Vaporizaciones del primer efecto).
- 10.- Condensado de vaporizaciones del segundo efecto en Kg/min
- 11.- Coeficiente total de transmisión de calor del primer efecto en $\frac{\text{BTU}}{\text{hr } ^{\circ}\text{F } \text{pie}^2}$

- 12.- Coeficiente total de transmisión de calor del segundo efecto en $\frac{\text{BTU}}{\text{hr } ^\circ\text{F pie}^2}$
- 13.- Coeficiente total de transmisión de calor promedio de los dos efectos.
- 14.- Economía de los evaporadores en Kg de vapor producidos por Kg de vapor alimentado.

A continuación viene el cálculo de la primera columna de la tabla VI, las demás se hicieron en forma similar.

Presión del vapor en el primer efecto = 1.3 Kg/cm²

P_v abs. en el primer efecto = 29.75 lb/pulg²

Temperatura de ebullición de la solución en el primer efecto = 114°C = 237°F.

Con presión atmosférica en el domo y con un gasto de vapor de 0.87 Kg/cm²

La presión de vapor de calentamiento en el segundo efecto es igual a la atmosférica por que se encuentra abierto a la atmósfera.

Se trabajó a una presión en el domo de 14 pulgadas de vacío y con un gasto de vapor de calentamiento de 0.75 Kg/min.

Cálculo de los coeficientes de transmisión de calor.-

lor.-

Sabemos que $Q/\theta = U A \Delta T$

Cálculo del área de calentamiento de los evapora-

dores.

Cada calandria consta de 28 tubos de fierro con un diámetro interno de 1 3/8 de pulgada y 21 pulgadas de longitud, el diámetro interno del "downtake" es de 3 3/16 de pulgada, el diámetro de la calandria es de 16 pulgadas y el espesor de las chapas de los tubos es de 3/4 de pulgada.

$$A_t = A_1 + A_2 + A_3$$

A_1 = Area de la chapa le abajo

A_2 = Area de los tubos

A_3 = Area del "downtake"

$$A_1 = (A_{\text{espejo}} - A_{\text{tubos}} - A_{\text{downtake}})$$

$$A_{\text{espejo}} = 0.785 (16/12)^2 = 1.395 \text{ pies}^2$$

$$A_{\text{tubos}} = 0.785 (0.115)^2 \times 28 = 0.266 \text{ pies}^2$$

$$A_{\text{downtake}} = 0.785 (0.318)^2 = 0.0794 \text{ pies}^2$$

$$A_1 = (1.395 - 0.266 - 0.0794) \text{ pies}^2$$

$$A_1 = 1.0275 \text{ pies}^2$$

$$A_2 = 3.1416 \times 0.115 \times 21/12 \times 28 = 17.62 \text{ pies}^2$$

$$A_3 = 3.1416 \times 0.318 \times 21/12 = 1.75 \text{ pies}^2$$

$$A_t = (1.0275 + 17.62 + 1.75) \text{ pies}^2$$

$$A_t = 20.4975 \text{ pies}^2$$

Primer efecto:

$$A = 20.5 \text{ pies}^2$$

$$t_{el} = 11400 = 2370F$$

$$P_v \text{ abs} = 29.75 \text{ lb/pulg}^2$$

$$T_{\text{vap}} = 250^\circ\text{F}$$

$$\lambda_{\text{vapor}} = 945.7 \text{ BTU/lb}$$

$$w_v = 0.87 \text{ Kg/min} = 114.84 \text{ lb/hr}$$

$$\Delta T = 250^\circ\text{F} - 237^\circ\text{F} = 13^\circ\text{F}$$

$$Q/\theta = w_v \lambda$$

$$Q/\theta = (114.84 \times 945.7) \text{ BTU/hr}$$

$$Q/\theta = 108\,604.188 \text{ BTU/hr}$$

$$U = \frac{108\,604.188}{20.5 \times 13} \frac{\text{BTU}}{\text{hr } ^\circ\text{F pie}^2}$$

$$U_1 = 407.01 \frac{\text{BTU}}{\text{hr } ^\circ\text{F pie}^2}$$

Segundo efecto:

$$A = 20.5 \text{ pies}^2$$

$$P_{\text{domo man}} = 14 \text{ pulgadas de Hg de vacio}$$

$$P_{\text{domo abs}} = (23 - 14) = 9 \text{ pulgas Hg.}$$

$$P_{\text{domo abs}} = 4.4208 \text{ lb/pulg}^2$$

$$t_{\text{°II}} = 74^\circ\text{C} = 165^\circ\text{F}$$

$$P_{\text{vap}} = 11.3 \text{ lb/pulg}^2$$

$$T_{\text{vap}} = 198^\circ\text{F}$$

$$\lambda_{\text{vap}} = 978.3 \text{ BTU/lb}$$

$$w_{\text{vap}} = 0.75 \text{ Kg/min}$$

$$\Delta T = (198 - 165)^\circ\text{F} = 33^\circ\text{C}$$

$$Q/\theta = 99 \text{ lb/hr} \times 978.3 \text{ BTU/lb}$$

$$Q/\theta = 96\,851.7 \text{ BTU/hr}$$

$$U_{II} = \frac{96\,851.7}{20.5 \times 33} \frac{\text{BTU}}{\text{hr } ^\circ\text{F pie}^2}$$

$$U_{II} = 143 \frac{\text{BTU}}{\text{hr } ^\circ\text{F pie}^2}$$

$$U_{\text{promedio}} = 275 \frac{\text{BTU}}{\text{hr } ^\circ\text{F pie}^2}$$

Cálculo de la economía de los evaporadores:

Se alimentan al primer efecto 0.87 Kg/min de vapor.

Se producen:

En el primer efecto 0.75 Kg/min de vapor y -
en el segundo efecto 0.6 Kg/min de vapor

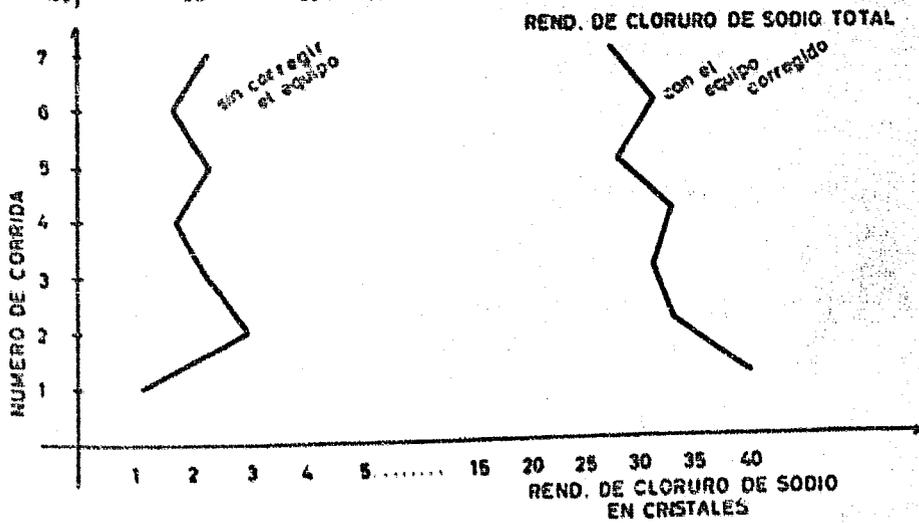
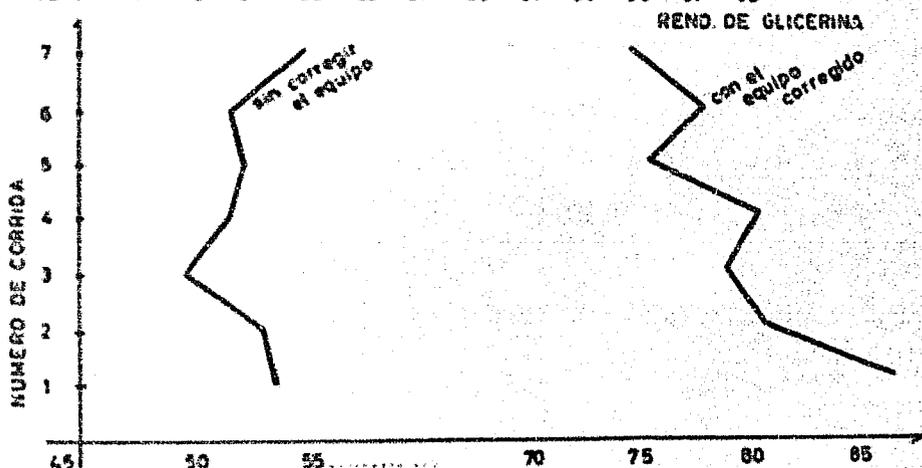
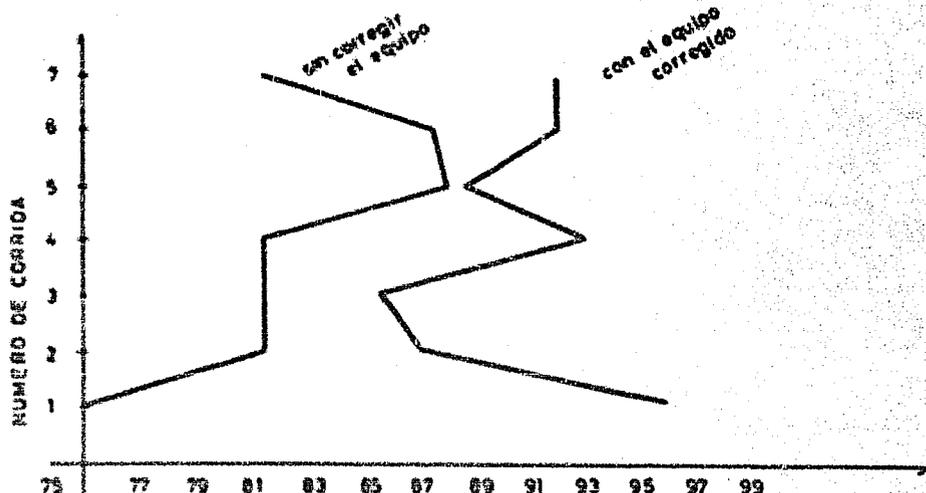
$$\text{Economía} = \frac{0.75 + 0.6}{0.87}$$

$$\text{Economía} = 1.55$$

Respecto al cálculo de rendimientos, los tabuleamos los resultados en las siguientes tablas, siendo la tabla VIII con el equipo corregido y la IX antes de corregir.

TABLA VIII

Rendimientos obtenidos con el equipo corregido.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	14.5	18.6	35	5	91	96.0	86.5	40.0



2	13.0	18.9	30	6	89	87.0	80.8	33.3
3	13.0	18.9	28	5	90	85.5	79.0	31.5
4	14.0	18.7	30	6	89	93.0	80.5	33.3
5	13.5	19.0	25	5	90	88.5	75.5	28.1
6	14.0	18.6	28	5	90	92.0	78.0	31.5
7	14.0	18.7	24	6	92	92.0	74.8	27.5

TABLA IX

Rendimientos obtenidos con el equipo sin corregir.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	12	21	1.0	4	91	75.0	53.5	1.12
2	13	20	2.5	5	94	81.5	53.0	2.92
3	13	19	2.0	5	90	81.5	49.8	2.25
4	13	20	1.5	6	90	81.5	51.5	1.69
5	14	20	2.0	6	92	88.0	52.2	2.30
6	14	20	1.5	5	89	87.5	51.6	1.67
7	13	21	2.0	6	90	81.5	54.8	2.25

En donde las columnas corresponden a:

- 1.- Número de corrida.
- 2.- Concentración de glicerina en la solución saturada final.
- 3.- Concentración de cloruro de sodio en la solución saturada final.
- 4.- Peso de cristales que se obtuvo en la caja de sal.
- 5.- Concentración de glicerina en los cristales.
- 6.- Concentración de cloruro de sodio en cristales.

7.- Rendimiento de glicerina.

8.- Rendimiento de cloruro de sodio total.

9.- Rendimiento de cloruro de sodio obtenido en cristales

El cálculo de la primera corrida se hizo de la siguiente manera:

En todas las corridas se alimentaron 4 tanques de 200 Kgs. cada uno a una concentración de 4 % de glicerina, 10 % de cloruro de sodio y 86 % de agua, y se concentró a obtener un tanque de 200 Kgs. a diferentes concentraciones.

En la primera corrida la solución concentrada se obtuvo a una concentración de 14.5 % de glicerina y 18.6 % de cloruro de sodio y se obtuvieron 35 Kgs. de cristales a una concentración de 5 % de glicerina y 91 % de cloruro de sodio.

0 sea, de glicerina se alimentan 32 Kgs. y salen 29 Kgs. por la solución y 1.7 Kgs. por los cristales.

$$\text{Rendimiento de glicerina} = \frac{29 - 1.7}{32}$$

$$\text{Rendimiento de glicerina} = 96 \%$$

De cloruro de sodio se alimentan 80 Kgs. y salen 37.2 Kgs. por la solución saturada y 31.9 por los cristales.

$$\text{Rendimiento de cloruro de sodio} = \frac{37.2 - 31.9}{80}$$

$$\text{Rendimiento de cloruro de sodio} = 86.5 \%$$

Rendimiento de NaCl en cristales = 31.9/80

Rendimiento de NaCl en cristales = 40 %

CAPITULO VI
CONCLUSIONES.

CONCLUSIONES.

El objetivo de esta tesis fue el mejorar el equipo de evaporación instalado en el Laboratorio de Ingeniería Química y ésto se logró como puede verse en la siguiente tabla, que es comparativa de los resultados obtenidos antes y después de corregir el equipo.

TABLA X

Comparación de resultados.						
1	2	3	4	5	6	7
1	275.0	229.0	1.55	1.23	40.0	1.12
2	249.5	210.5	1.61	1.21	33.3	2.92
3	237.5	223.0	1.47	1.21	31.5	2.25
4	258.0	212.0	1.46	1.22	33.3	1.69
5	228.0	213.5	1.60	1.13	28.1	2.36
6	211.5	176.0	1.48	1.17	31.5	1.67
7	230.5	186.0	1.51	1.19	27.5	2.25

En la que las columnas corresponden a:

- 1.- Número de corrida.
- 2.- Coeficiente total de transmisión de calor promedio del equipo corregido.
- 3.- Coeficiente total de transmisión de calor promedio del equipo antes de corregir.
- 4.- Economía del equipo de evaporación corregido.
- 5.- Economía del equipo de evaporación antes -

de corregirlo.

6.- Rendimiento de cloruro de sodio crystalizado en el equipo corregido.

7.- Rendimiento de cloruro de sodio crystalizado antes de corregir el sistema.

En la tabla anterior, vemos que los coeficientes de transmisión de calor se mejoraron, lo mismo sucedió con las economías, también se incrementaron los rendimientos, obteniéndose un rendimiento aceptable de cloruro de sodio crystalizado, para los fines didácticos a que se destina este equipo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- J.H. Perry.- Chemical Engineers Handbook.- Tercera Edición.- Mc. Graw Hill.- New York, 1950.
- 2.- Producción Química Mexicana.- Tercera Edición.- 1965.
- 3.- Miner.- Glycerol.- Primera Edición.- Reinhold.- New York, 1953.
- 4.- Lawrie J.W.- Glycerol and the Glycols.- Reinhold.- New York, 1928.
- 5.- E. Calvet.- Química General Aplicada a la Industria.- Tercera Edición.- Barcelona Salvat.- Volúmenes 2 y 4.- 1951.
- 6.- F. Orozco.- Análisis Químico Cuantitativo.- Tercera Edición.- Editorial Porrúa.- México, 1956.
- 7.- Fieser y Fieser.- Química Orgánica.- Segunda Edición.- Tratados y Manuales Grijalbo.- México, 1960.
- 8.- Ing. Quim. Alberto Urbina.- Segundo Curso de Ingeniería Química.- México, D.F.