

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA BERZELIUS

INCORPORADA A LA U. N. A. DE M.

Estudio Comparativo de Evaporadores Simple  
y Doble Efecto para la Concentración  
de Lejías Glicerinosas.

TESIS

QUE PARA RECIBIR EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

PRESENTA

Jorge Salcido Benítez

1953



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.

*A mis padres con  
profundo agradecimiento.*

*A mis hermanos.*

*A los Sres.*

*Ing. Quím. Fernando Urbina y  
Quím. Luis Verecá por cuyos  
consejos y ayuda fué  
posible este trabajo.*

*A la Facultad de Química Berzelius.*

# SUMARIO :

**CAPITULO I - Generalidades.**

**CAPITULO II - Cálculo de las Constantes Características de los Evaporadores usados en este caso.**

**CAPITULO III- Cálculo de los Evaporadores simple y doble efecto.**

**CAPITULO IV - Resultados y Conclusiones.**

**BIBLIOGRAFIA.**

## PROEMIO

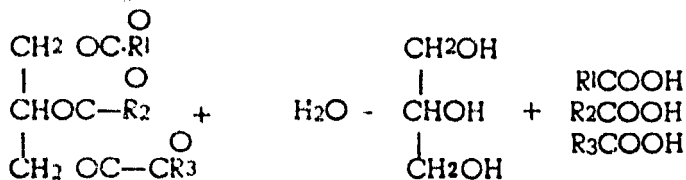
El objeto de este trabajo ha sido el de observar prácticamente la diferencia que existe al trabajar dos sistemas de evaporación Intermitentes, Simple y Doble Efecto para la concentración de lejías glicerinosas en una planta de Glicerina.

Para esto hago más adelante un cálculo matemático comparativo en el cual se podrán observar las ventajas que presenta en operación normal de trabajo uno de los sistemas con respecto al otro, teniendo en cuenta para ello, los factores principales que rigen como base de producción como son..... tiempo de operación, economía en el gasto de vapor y del equipo.

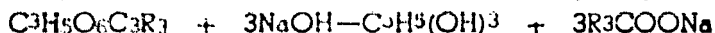
# Capítulo I.

**GENERALIDADES.**

En la hidrólisis de las grasas, compuestos orgánicos generalmente ésteres mono, di, o triglicéridos de los ácidos grasos superiores, se obtienen por una reacción reversible los ácidos grasos que en la gran mayoría de los casos son distintos y una molécula de glicerina según la reacción:



Si esta hidrólisis se lleva a cabo con un hidróxido alcalino, generalmente sosa cáustica para la formación de jabón que es la sal metálica de estos ácidos grasos, se obtiene como sub producto una lejía que contiene una solución glicerina y sal principalmente.



Dada la gran importancia que actualment tiene esta substancia en la industria moderna como son por ejemplo: la de cosméticos, cremas dentales, adhesivos, plásticos, industria militar, etc..... se ha hecho necesario su recuperación a partir de estas lejías, ya que al estado natural se encuentra en muy pequeñas cantidades, encontrándose sobre todo en el aceite de palma y otros aceites raros

En la hidrólisis para la fabricación de jabón se siguen varios procedimientos siendo estos:

Método de Twitchell.

Hidrólisis a Alta Presión con Catalizadores en Autoclave.

Hidrólisis Enzimática

Hidrólisis Alcalina.

Método de Twitchell.--

Se usa como catalizador en este método un reactivo obtenido sulfonando el producto de la reacción de un ácido graso con benceno o naftaleno.

Se efectúa en tanques abiertos recubiertos de plomo o metal Monel ya que se requiere cierto grado de acidez en la fase acuosa. Por el peligro de envenenamiento del catalizador se acostumbra purificar primero la materia prima, mediante lavados con ácido sulfúrico y finalmente con Carbonato de Bario con lo que se elimina el ácido en forma de sulfato insoluble. La forma de trabajar la grasa es la siguiente: La grasa lavada se mezcla con un 25 - 50% de su peso con agua y de 0.75 - 1.25% de su peso con el catalizador, efectuándose el desdoblamiento por ebullición con vapor en serpentines durante 36-46 horas. Se acostumbra tapar los tanques queriéndose con esto evitar el contacto con el aire para que no se oscurezca aunque esto en la mayoría de los casos no se logra a satisfacción.



El proceso se lleva a cabo en varios pasos en los que se reemplazan las lejas glicerinosas con lavados de agua. El grado de desdoblamiento depende del número de pasos o lavados y del tiempo que dure la operación, obteniéndose como regla general un rendimiento del 95 - 98%. Tiempos más largos de operación traen como consecuencia soluciones más diluidas de glicerina.

Las características de este método son:

Bajo costo del equipo inicial, pero los ácidos grasos son más oscuros, que los obtenidos por otros métodos necesitándose una destilación posterior para purificarlos. Además el tiempo de operación, así como el consumo de vapor es mayor que en los demás procesos.

**Hidrólisis a Alta Presión con Catalizadores en Autoclave.**---

Es el más antiguo obteniéndose por este método ácidos grasos más claros que no requieren posterior destilación. Los catalizadores más usados son:  $ZnO$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $NaOH$  y  $KOH$ .

Se carga la autoclave con el catalizador en proporción de 2 - 4% sobre el peso de grasa. El polvo de  $Zn$  mejora el color de los ácidos grasos. Agua en proporción del 30-60% en peso.

Las autoclaves son vasos cilíndricos altos y de material resistentes a la corrosión, aislados y con las líneas de alimentación del vapor. Se alimenta primeramente vapor a través de la masa para desalojar el aire, cerrándose después la autoclave, admitiéndose entonces vapor generalmente de 75 a 150 libras de presión.

El tiempo de operación varía entre 6 - 10 horas, con un rendimiento del 95%. De las autoclaves se pasan a unos tanques decantadores, para separar las lejas glicerinosas de los ácidos grasos.

Este tipo de hidrólisis es costoso e incosteable en la actualidad por emplearse temperaturas muy elevadas con lo que se corre el peligro de un desdoblamiento en las moléculas de glicerina.

**Hidrólisis Enzimática.**---

Esta hidrólisis se lleva a cabo por medio de enzimas lipolíticas, careciendo de importancia en la actualidad.

**Hidrólisis Alcalina.**---

Este proceso se lleva a cabo en tanques abierto o pailas calentados con serpentines de vapor, ya sean abiertos o cerrados sirviendo el primero tanto como medio de calentamiento como para agitar la mezcla.

Como catalizadores en este procedimiento se emplean óxidos o hidróxidos alcalinos generalmente sosa cáustica; salvo en algunos tipos de jabón con características especiales, como por ejemplo en aquellos en que se emplea  $KOH$  con lo que se obtiene un jabón muy blando.

Debido a las ventajas de este proceso sobre los anteriores, se ha adoptado este procedimiento en la actualidad para la hidró-

lisa de las grasas para la fabricación del jabón obteniéndose como subproducto las lejas glicerosas de las que se recuperará la glicerina para fines industriales.

Siendo la hidrólisis de las grasas una reacción reversible, estas soluciones causticas (NaOH) catalizan la reacción formando una emulsion con lo cual se aumenta la magnitud de la interfase agua-grasa. Puesto que la grasa y el alcali son inmiscibles la operación al principio es lenta y se acelerará mas rápidamente mientras mayor sea esta superficie interfacial.

Por observaciones efectuadas anteriormente se ha comprobado que el factor que influye sobre el equilibrio de la reacción es la glicerina presente, por lo que para poder llevar a cabo totalmente esta reacción es necesario eliminar periódicamente la glicerina formada. Será de esta leja de la que partiremos despues para su recuperación.

El método empleado para la recuperación de la glicerina es el de concentrarla por un proceso de evaporación hasta lo que se conoce con el nombre de glicerina cruda, que como veremos más adelante tiene una concentración alrededor del ochenta por ciento. Después de este proceso y para obtener una glicerina del cien por ciento se lleva a destilación, quedando así, lista para el mercado.

Este estudio, comprenderá la primera parte de su recuperación, es decir la obtención de la glicerina cruda.

Como habia indicado anteriormente, estas lejas de glicerina se eliminan de las pailas a medida que esta se trabaja y para conocer la procedencia de la leja que se va concentrar por evaporación, indicare a continuación las Fases o Cambios con que se trabaja la paila.

Salada

Saponificación

1o., 2o. y tercer Cambios

Media Preparación

Preparación.

El procedimiento de trabajar los cambios es a contracorriente es decir que cada uno de estos se trabaja con la leja proveniente del cambio siguiente así: La salada se trabaja con leja que resulta de trabajar el cambio de saponificación; y esta a su vez se trabaja con la resultante del primer cambio, etc..... Con esto se logra un enriquecimiento sucesivo en glicerina de estas lejas.

En el cambio denominado Salada, es en el que se lleva a cabo la máxima saponificación de las grasas (90%), trabajándose con las cantidades necesarias de caustico hasta que el contenido en  $\text{Na}_2\text{O}$  lleque a 0.20% como máximo. Este llrite tiene como objeto, como veremos más adelante de disminuir la cantidad de ácido necesario para ajustar el pH de la leja al alimentarla al evaporador. Logrado

esto, se deja reposar por un período de tres horas, procediéndose entonces a sangrar la paila.

Es esta lejía así obtenida la que pasa al Departamento de Glicerina para su tratamiento y recuperación.

De este cambio de Salada, la mayor parte de la lejía queda oculta en el jabón, constituyendo su humedad; y solo una cantidad inferior al 50% va al Departamento de Glicerina, quedando por consiguiente el jabón con un alto contenido, aproximadamente del 60% en glicerina, por lo que los cambios subsecuentes no tendrán otro objeto que el de eliminarla hasta que llegue a contener un 0.30% como máximo. Al mismo tiempo estos cambios servirán para ir limpiando el jabón.

#### Cambio de Saponificación.—

En este cambio, se le añade más lejía cáustica aproximadamente del 5% para terminar de saponificar la grasa libre aún existente. Se deja reposar durante un tiempo entre dos y tres horas y se sangra.

#### Primer y Segundo Cambios.—

Estos cambios se dan con una lejía muy diluida que tienen por objeto lavar el jabón. hace la alimentación al segundo.

Al trabajar el simple efecto, únicamente se cerraron estas conexiones y se procedió a trabajar el efecto como tal.

Fué sobre estos dos tipos de evaporadores con los que trabajó, con el fin de poder determinar prácticamente el gasto de vapor en cada uno de ellos durante la concentración de una misma cantidad de lejía, así como también el tiempo que toma cada uno de estos sistemas, para llevar a cabo la operación y determinar cual de los dos resulta más conveniente.

Tercer Cambio.—En este cambio se añade a la paila únicamente agua y una solución de sal, con lo que se abre el jabón y facilita el sangrado.

La Media Preparación y la Preparación, son finalmente tratamientos para llegar a darle al jabón lo que se conoce con el nombre de "punto", del jabón.

Como había indicado, la lejía desprendida del Cambio de Salada, es la que pasa al Departamento de Glicerina para su recuperación posterior. Para esto se bombea a unos tanques de almacenamiento en donde se le somete a varios tratamientos para poder tenerla en condiciones de alimentarla a los evaporadores, pues tal como viene del departamento de Pailas, trae consigo en suspensión, materias albuminoides, resinas y jabón que pudo arrastrar al sangrar la paila, y que es necesario eliminar.

#### Primer Tratamiento.—

El contenido en cáustico que trae la lejía y como había dicho anteriormente, no debe pasar de un 0.20% de  $\text{Na}_2\text{O}$ . Neutralizando con ácido clorhídrico se lleva a un contenido de 0.06% de  $\text{Na}_2\text{O}$ . Lograda esto, se trata enseguida con un sulfato metálico generalmente de Hierro o de Aluminio; (en nuestro caso de Aluminio) en exceso con lo cual se logra precipitar todo el jabón que ha sido arrastrado en forma de jabones insolubles de Aluminio. El cáustico que todavía se encuentra en la lejía, reacciona con el sulfato metálico formando el hidróxido de Aluminio que es un precipitado flocculento blanco, de gran poder de adsorción el cual se aprovecha para que arrastre consigo a todas o gran parte de las resinas y materias albuminoides que se encuentran en suspensión.

De este primer tratamiento, se pasa la lejía por un filtr prensa, llegandose entonces al

#### Segundo Tratamiento --

En este tratamiento se elimina el exceso de sulfato de Aluminio con solución de sosa cáustica, formandose un precipitado de hidróxido de Aluminio.

Para conocer si ya se ha llegado a la neutralización completa, se manda una muestra al laboratorio de control, en donde se verifica que el tratamiento se ha efectuado dentro de las especificaciones, y para ello se filtra la muestra y se toman tres porciones en otros tantos tubos de ensaye.

El contenido del primero, se neutraliza a la fenolftaleína y se le agregan unas gotas de sulfato de aluminio en solución al 10%; pueden suceder entonces dos cosas:

- a) La muestra permanece clara indicando entonces que se ha agregado suficiente sulfato de aluminio para la purificación.
- b) Se forma un precipitado flocculento blanco de hidróxido de aluminio indicando que había en la lejía todavía exceso de ácidos grasos y sosa cáustica, por lo cual la purificación no ha sido completa debiendose agregar más sulfato de Aluminio.

A la muestra en el segundo tubo de ensaye se le agrega un exceso de amoníaco. Si se forma un precipitado semejante de hidróxido de aluminio, indica que se ha agregado más sulfato del necesario. Si permanece clara la lejía, entonces se ha añadido la cantidad necesaria o en defecto.

A la muestra en el tercer tubo, se le añade un ligero exceso de ácido sulfúrico 1:3 para verificar la presencia de ácidos grasos.

Habiendo mandado el Laboratorio los resultados e indicando se ha llegado a la neutralización completa, se pasa entonces la lejía por otro filtro prensa, obteniéndose así la lejía limpia quedando ya únicamente por ajustarle el pH a un punto tal (pH: 6.5) para poder ser alimentada al evaporador.

Hay que hacer notar que en general es más conveniente agregar un pequeño exceso de sal de aluminio y luego precipitarlo en forma de hidróxido al neutralizar con sosa. Con esto nos asegura-

mos la eliminación completa de jabón arrastrado y demás materias.

Antes de tratar propiamente el objeto de este estudio expondré brevemente los conceptos teóricos fundamentales:

El proceso denominado EVAPORACION consiste en aprovechar la propiedad que tienen los líquidos de pasar al estado de vapor o viceversa, de acuerdo con las condiciones de presión y temperatura a las cuales están sometidos.

De acuerdo con esto, la evaporación será la separación por vaporización de un material volátil de otro no volátil, siendo esta por regla general material carente de valor y en la gran mayoría de los casos se trata de agua. En la actualidad, los procesos de evaporación se limitan a la concentración de soluciones acuosas, como por ejemplo, la concentración de albuina, azúcares, taninos, etc.....

La forma como se lleva a cabo esta separación es diferente para los tipos de evaporadores empleados, existiendo sin embargo, dos factores fundamentales para llevar a cabo esta separación:

Naturaleza del medio de calentamiento para producir la vaporización.

Eliminación del vapor producido para evitar su acumulación.

El calor necesario como medio de calentamiento se suministra de dos maneras:

Por contacto directo de la solución con el medio de calentamiento.

Por transmisión a través de una pared sólida.

La eliminación del vapor producido se efectúa de dos modos: Mezclado con un gas inerte, como aire, etc., etc..... Como vapor puro.

Entonces, el calentamiento podrá ser aplicado directamente al líquido; o bien a través de una pared metálica empleando para este caso aceite o vapor. En la actualidad viene a constituir el universalmente usado en este tipo de industria, pues presenta en general una serie de ventajas sobre los anteriores como son: mejor control de temperatura, de presión y sobre todo, es el medio de calentamiento con mayor coeficiente de transmisión de calor.

Teniendo en cuenta que la solución se haya en ebullición violenta para tener una mejor circulación y por consecuencia un mayor coeficiente de transmisión de calor, es natural que algo de esta solución sea arrastrada por el vapor producido con las pérdidas consiguientes. Para evitar esto se acostumbra tomar ciertas precauciones dentro del evaporador, o bien emplear separadores con los cuales se recupera la solución arrastrada.

La eliminación propiamente de los vapores se lleva a cabo mediante el condensador que puede ser bien de los del tipo de

mezcla o bien de superficie. El condensador empleado en la planta donde se me permitió hacer este trabajo, es del tipo del condensador de mezcla.

Otro accesorio en el equipo del evaporador es la bomba de vacío con la que se eliminan los gases no condensables.

No es mi intención profundizar más en los detalles teóricos de este proceso, y por ende únicamente hare a continuación una corta referencia a la forma y tipo de equipos en que se puede llevar a cabo la concentración de soluciones, e indicar de estos los tipos empleados en este trabajo.

#### OPERACION CONTINUA.—

Aquella en que la alimentación de solución y descarga del producto, se efectúan simultáneamente después de haber llegado a un equilibrio.

#### OPERACION INTERMITENTE.—

En este tipo de operación, se carga la solución y se comienza a concentrar, cuando más una cantidad equivalente al agua evaporada para mantener el volumen dentro del evaporador constante. Una vez alcanzada la concentración final se procede a descargar el producto.

#### OPERACION MIXTA.—

En este tipo, se comienza a trabajar en un evaporador continuo y al llegar a una concentración intermedia, se cambia a un evaporador intermitente.

De estos tres tipos vistos y dadas las características de la solución por concentrar, sobre todo por lo que respecta a las incrustaciones de estas sales, se emplea la operación INTERMITENTE; evitándose con esta operación la formación de incrustaciones de sal.

Las operaciones anteriores se pueden llevar a cabo en distintos tipos de equipos, dependiendo esto de la capacidad de la fábrica, siendo:

#### SIMPLE EFECTO

#### MULTIPLE EFECTO

El Simple Efecto es el constituido por un solo vaso

El Múltiple Efecto consiste en una serie de evaporadores conectados en tal forma, que el vapor producido en uno de ellos sirve como medio de calentamiento para el siguiente. En la práctica el Múltiple Efecto se ha limitado con resultados positivos a tres efectos, y solo en casos particulares como en el de azúcar, se hace uso de más efectos.

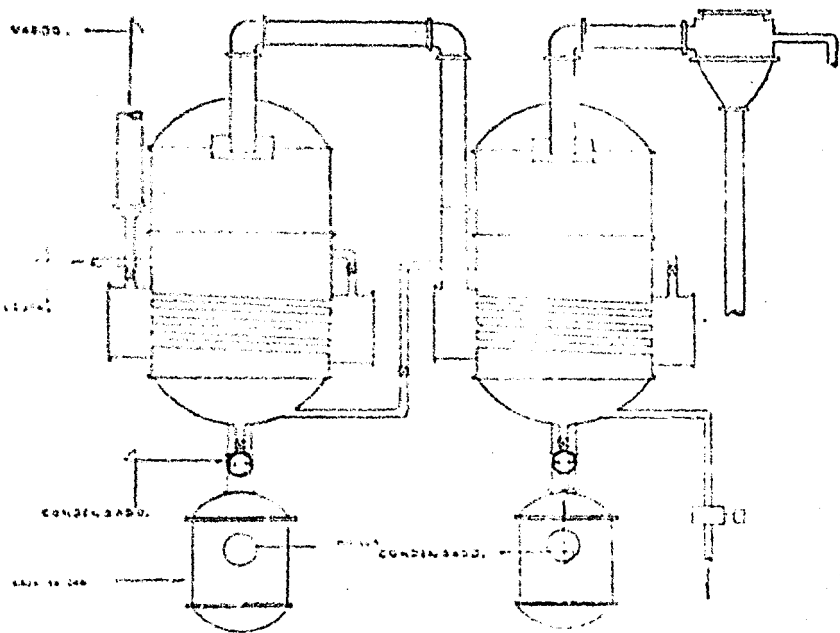
Los evaporadores empleados en este estudio son del denominado STANDARD, o sean vasos cilíndricos verticales, con planchas

horizontales superiores e inferiores para la conexión del condensador y la salida de la solución concentrada, y conexión a las cajas de sal.

Están las conexiones de tal manera, que trabajando en doble efecto. la calandria del primer efecto está conectada a la línea de vapor con todos los accesorios, como son válvulas de control de presión, manómetro, etc., con una interconexión entre los dos evaporadores para que el vapor desprendido de uno pase como medio de calentamiento del segundo. Los vasos en donde se encuentra la solución, también se encuentran intercomunicadas, para permitir el paso de solución del primer efecto, que es por donde se hace la alimentación al segundo.

Al trabajar el simple efecto, únicamente se cerraron estas conexiones y se procedió a trabajar el efecto como tal.

Fué sobre estos dos tipos de evaporadores con los que trabajé, con el fin de poder determinar prácticamente el gasto de vapor en cada uno de ellos durante la concentración de una misma cantidad de lejía, así como también el tiempo que toma cada uno de estos sistemas, para llevar a cabo la operación y determinar cuál de los dos resulta más conveniente





## Capítulo II.

**CALCULO DE LAS CONSTANTES CARACTERISTICAS DE  
LOS EVAPORADORES USADOS EN ESTE CASO**

El estudio de los factores que afectan la capacidad de un evaporador se han dividido en dos partes:

- 1.—Factores que afectan al calor que se transmite.
- 2.—Factores que afectan la transmisión de calor.

A continuación hago una referencia de cada uno de estos factores y la manera como fueron considerados para este trabajo.

### FACTORES QUE AFECTAN AL CALOR QUE SE TRASMITE.

El calor que es necesario para llevar a cabo la vaporización incluye:

- Calor sensible.
- Calor latente.
- Calor de concentración de la solución.
- Calor de cristalización.
- Calor perdido por radiación.

a).—Calor sensible: Necesario para llevar la solución de su temperatura de alimentación a la temperatura de ebullición en las condiciones que se tengan dentro del cuerpo del evaporador. Este calor está definido por la siguiente ecuación:

$$q = W^{\circ} c_p (t_e - t_a)$$

donde:

q: Calor sensible en Btu/h

W<sup>o</sup>: Cantidad de solución alimentada en lb/h.

c<sub>p</sub>: Calor específico medio de la solución entre la temperatura de alimentación y la temperatura de ebullición en Btu/lb<sup>o</sup>F. las temperaturas de ebullición, dado por la ecuación:

b).—Calor latente: Necesario para la vaporización del agua a las temperaturas de ebullición dado por la ecuación:

$$q = \Delta W \lambda t_e$$

donde:

q: Calor latente de vaporización en Btu/h.

$\Delta W$ : Cantidad de agua evaporada en lb/h.

t<sub>e</sub>: Calor latente de vaporización a la temperatura de ebullición en btu/lb. Como no se dispone de ningún método exacto para el cálculo del calor latente de vaporización del solvente en la solución y como en la gran mayoría se trata de concentraciones acuosas, se acostumbra a tomar con un cierto error el calor latente de vaporización del agua a la temperatura de ebullición de la solución.

Como el valor de los últimos tres calores es en general muy pequeño comparado con los anteriores especialmente con el valor del calor latente, se acostumbra para el cálculo de los evaporadores no tomarlos en cuenta, influyendo solamente en un margen de seguridad del equipo.

Debido a esto, la ecuación que nos dará el calor que se transmite será la siguiente:

$$Q = W_s c_p (t_e - t_a) + \Delta W \lambda t_e$$

Como no se dispone de un método adecuado para obtener los valores de los calores específicos, recurri a información bibliográfica al respecto con lo que me fué posible obtener los valores que me eran necesarios.

Para la determinación de la cantidad de agua evaporada, se hizo lo siguiente se cubicaron unos tanques a donde va a dar la línea de descarga de dos pulcadas del condensado del segundo efecto. Por una trampa de vapor se evitó pérdidas de agua en forma de vapor, haciéndose entonces las lecturas del condensado formado por diferencia de niveles en los tanques.

Trabajando el simple efecto (Evaporador número dos), y habiéndose llevado el proceso a volumen constante, determiné la cantidad de agua evaporada, haciendo para ello un balance de materiales de las lecturas tomadas en los tanques de almacenamiento, y las lecturas en el tanque de condensado.

Trabajando el doble efecto y recordando que el valor producido en el primer efecto, es el medio de calentamiento del segundo pude determinar así  $\Delta W_2$ . Por un balance de materiales y de transmisión de calor determiné  $\Delta W_3$ , dándose los resultados en la tabla general de valores.

Siendo el procedimiento de trabajo seguido en estos evaporadores del tipo INTERMITENTE y por la forma en que se lleva a cabo la alimentación de la lejía, las ecuaciones antes analizadas nos van a variar, pues todos los factores van a estar cambiando, según se vaya desarrollando el proceso y la solución se concentre.

Debido a esto se tuvo que ir tomando intervalos de tiempo y que en este caso correspondieron a los periodos entre los cuales se hizo el muestreo o sea cada media hora. Así entonces calcularé la cantidad de calor necesario para ir pasando de una concentración a otra, así por ejemplo de una concentración de quince por ciento a otra de veinte por ciento, el calor necesario será:

$$Q = W_s c_p (t_e - t_a) + \Delta W \lambda t_{em}$$

siendo

W. Solución alimentada en ese período en lb.

$c_1$ . Calor específico medio entre esas dos concentraciones.

$\Delta W$ . Agua evaporada en lb.

$\lambda$ . Calor latente de vaporización medio.

Durante la operación, hay una separación de sal por precipitación, pasando a las cajas de sal que se encuentran conectadas en la parte inferior del cuerpo de los evaporadores, arrastrando consigo una cierta cantidad de lejía que es necesario recuperar por su contenido en glicerina. Mas adelante expongo la manera en que esta recuperación se lleva a cabo.

Esta lejía así obtenida se denomina lejía de lavados y es bombeada después de separarla de la sal a unos tanques de almacenamiento de donde se toma para ser nuevamente aprovechada en el proceso.

La forma que se sigue en la práctica para volver a utilizar estos lavados es el siguiente. Se comienza en primer lugar a trabajar el sistema con lejía fresca o sea aquella proveniente del Departamento de Fajas y que ha sido previamente tratada en forma indicada en el capítulo anterior. Entonces se alimenta esta lejía al evaporador hasta alcanzar una densidad aproximada del 27°Be. Esta lectura se hace inmediatamente después de hacer el muestreo con objeto de tener todos los datos a la temperatura de ebullición de la solución. Al llegarse a este momento, se suspende la alimentación de lejía fresca y se comienza a alimentar lejía de lavados, con objeto de su recuperación de glicerina. Siguiendo la operación en estas condiciones, y cuando la solución alcanza una densidad de 30° Be, se deja a lo que se denomina Glicerina Media Cruda con un contenido en Glicerina alrededor del cuarenta y cinco por ciento.

Si a partir de este momento, se prosiguiera la operación para obtener Glicerina Cruda (80%) alimentando para eso lejías frescas o bien de lavados se ve inmediatamente la imposibilidad de lograrlo trabajando como es en este caso a volumen constante. Entonces para poder llegar de Media Cruda a Glicerina Cruda se acostumbra hacer lo siguiente. Al llegar la solución a Media Cruda se suspende el proceso y se desairan los evaporadores a unos tanques de almacenamiento hasta tenerlos completamente llenos. En subsiguientes cargas, y al llegarse a media cruda se suspende la alimentación de lejías diluidas y se utiliza entonces la Glicerina Media Cruda almacenada, con esta alimentación se continúa el proceso hasta llegarse a Glicerina Cruda.

Como este trabajo consistió en la obtención de la Glicerina Cruda trabajando la planta normalmente, se aprovechó para su obtención de la Glicerina Media Cruda almacenada en el Departamento de Glicerina, y para ella, se cubieron estos tanques para poder conocer por diferencia de niveles en cada determinación la cantidad alimentada a los evaporadores. Para conocer la composi-

ción de esta Glicerina, se muestrearon a diferentes profundidades para tener un resultado representativo del porcentaje de Glicerina y sal, y determinar así la cantidad de agua evaporada.

### FACTORES QUE AFECTAN LA TRASMISION DE CALOR.

La capacidad de un evaporador está medida por el producto de los siguientes factores, según fórmula de Newton.

$$Q = U A \Delta t$$

donde

Q/θ: Cantidad de calor transmitida en Btu/h.

U: Coeficiente de transmisión de calor en Btu/hft<sup>2</sup>°F.

Δt: Diferencia de temperaturas entre el medio de calentamiento y la solución concentrándose.

A: Superficie de calentamiento en ft<sup>2</sup>

Temperatura de Condensación del Vapor

Por regla general, el vapor empleado como medio de calentamiento es saturado con lo que se puede obtener una relación entre su presión y su temperatura. Conociendo la presión por medio de un manómetro colocado en la línea de vapor después de la válvula reductora de presión y haciendo uso de las tablas de vapor se encuentra su temperatura, transformando primeramente la presión manométrica a presión absoluta.

Temperatura de ebullición de la solución

La temperatura de ebullición de una solución es la temperatura a la cual su presión de vapor es igual a la presión del medio que la rodea, siendo aquella función de su temperatura y concentración. Entonces para determinar esta temperatura de ebullición será necesario conocer la presión dentro del evaporador, así como la concentración de la solución en el momento de la determinación.

### Coeficiente Total de Transmisión de Calor.

El coeficiente total de transmisión de calor se afecta por cuatro resistencias que se presentan al paso del calor

- a) Resistencia presentada por la película que se está condensando.
- b) Resistencia de la pared sólida al paso del calor.
- c) Resistencia presentada por las incrustaciones
- d) Resistencia presentada por la película de la solución en ebullición

La expresión de este coeficiente es:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h'} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h'} + \frac{1}{h''}}$$

Por lo que respecta al primer tipo de resistencia y recordando que estamos empleando vapor saturado, el cual tiene un alto coeficiente de transmisión de calor (1000 - 2000), este factor es despreciable.

De la resistencia presentada por la pared metálica, siempre y cuando se procure mantenerlos limpios, se puede decir que es de la magnitud de la resistencia presentada por el vapor siendo el cociente tan pequeño que se puede despreciar.

De la resistencia presentada por incrustaciones y en este caso particular en donde se presentan en pequeñas películas, al fin de la operación siendo fácilmente removibles con lavados de agua después de esta etapa, es posible descartarla como factor que influya en el valor del Coeficiente Total de Transmisión de calor.

De este modo, nuestra ecuación del Coeficiente Total de Transmisión de calor (U) quedará

$$U = h''$$

Por trabajos efectuados anteriormente y dentro de los cuales se encuentran la evaporación de lejas glicerinosas, se ha encontrado una fórmula empírica para la determinación del Coeficiente Total de Transmisión de Calor

$$Uz = a + \Delta t^b$$

$U = h''$ , Coeficiente Total de transmisión de Calor en Btu/hft<sup>2</sup>°F.

z Viscosidad de la leja en Centipoises.

a Constante que depende del tipo del evaporador.

b Constante que depende del tipo de la solución que se va a concentrar.

$\Delta t$ , Diferencia de temperaturas entre la temperatura de condensación del vapor y la temperatura de ebullición de la solución.

Tratándose de sistemas Intermitentes, el valor de las viscosidades nos van a estar variando desde las condiciones iniciales hasta las condiciones finales, y por consiguiente el valor del Coeficiente de Transmisión también va a variar.

Con los datos proporcionados por la casa fabricante y graficando esta relación en papel logarítmico, nos obtenemos una línea recta cuya distancia al origen es función de la clase de evapora-

dor empleado y cuya pendiente dependerá de las propiedades de la solución evaporada.

$$\log U_z = \log a + b \log \Delta t$$

Para encontrar los distintos valores que adquiere  $U$  a las concentraciones que se obtuvieron en la experimentación se determinó la viscosidad de estas muestras y para ello, se les llevó a la temperatura a la cual se encontraba cada una de ellas en el momento de hacer el muestreo y empleando un viscosímetro Saybolt, obtuve por medio de la tabla correspondiente, segundos Saybolt y de aquí por medio de las tablas ya Standarizadas, encontré su viscosidad absoluta en Centipoises. Los resultados quedan anotados en la tabla siguiente.

Como el fin perseguido en el cálculo de estos coeficientes de transmisión de calor ha sido el de observar prácticamente la diferencia de capacidades que se obtienen al trabajar estos dos sistemas, veremos más adelante como al trabajar el Simple Efecto su Capacidad es mayor con respecto al Doble Efecto, pero también al hacer el cálculo comparativo del consumo de vapor y del tiempo de operación se ve que estos valores aumentan con respecto a los obtenidos trabajando el Doble Efecto.

Debido a que la recta característica para estos evaporadores y para este tipo de solución fué encontrada experimentalmente en las mejores condiciones de trabajo, es por eso que los valores encontrados en este trabajo y obtenidos en condiciones de operación normal de producción se apartan un poco de los datos de los Coeficientes Totales de Transmisión de Calor operando estos evaporadores en condiciones ideales.

## DOBLE EFECTO

Efecto Número Uno.			Efecto Número Dos.		
Densidad °Be	% Glicerina	% Sal	Densidad °Be	% Glicerina	% Sal
24.5	23.05	18.7	24.5	18.50	17.65
25.0	21.21	17.60	27.0	23.00	18.66
25.0	21.85	18.10	28.0	25.30	18.07
26.0	22.30	18.50	28.0	29.60	17.50
27.0	29.00	17.47	28.5	31.00	18.07
28.0	34.50	16.64	29.5	36.00	15.73
28.5	34.30	15.99	30.0	41.00	14.66
28.5	35.40	15.90	30.0	45.50	14.10
28.5	34.50	15.93	31.0	47.60	13.43
28.5	34.65	16.00	32.0	45.85	13.23
27.0	31.00	16.20	31.0	48.00	13.16
27.0	29.70	18.70	32.0	51.25	12.36
27.0	30.09	16.71	32.0	56.00	12.00
27.0	30.03	16.71	32.0	55.60	12.36
27.0	29.97	17.72	33.0	59.70	11.41
27.0	29.30	17.98	33.0	57.70	12.05
26.0	25.75	17.00	33.0	56.80	12.70
27.0	28.00	17.10	33.0	51.00	12.27
32.5	52.70	13.10	33.0	64.50	11.20
36.0	60.00	14.90	34.0	70.00	9.58
39.0	72.00	10.50	34.0	77.60	8.53
35.0	80.15	6.66	35.5	82.50	6.50



## DOBLE EFECTO

Efecto Número Uno				Efecto Número Dos.			
Viscosidad Centipoises	$t_0$	$\Delta t$	$\Delta t_0$	Viscosidad Centipoises	$t_0$	$\Delta t$	$\Delta t_0$
10.00	195	32.1	980.9	10.00	155	40.0	1004.95
10.00	196	31.1	980.3	10.04	163	33.0	1000.25
10.01	196	31.1	980.3	10.06	145	51.0	1010.75
11.14	200	27.1	977.8	11.87	170	30.0	996.10
12.00	194	33.1	981.5	12.00	130	64.0	1019.50
12.50	193	34.1	982.1	12.63	130	63.0	1019.50
12.21	193	34.1	982.1	13.00	132	60.0	1018.30
12.48	195	32.1	980.9	14.00	138	57.0	1014.90
12.31	195	32.1	980.9	14.28	145	50.0	1010.75
12.20	195	32.1	980.9	15.80	135	60.0	1016.60
11.87	195	32.1	980.9	17.10	134	61.0	1017.20
12.21	195	32.1	980.9	25.00	135	60.0	1016.60
12.21	197	30.1	979.6	25.01	140	57.0	1013.70
12.22	196	31.1	980.3	24.80	136	60.0	1016.00
11.80	198	29.1	979.0	25.66	139	59.0	1014.30
12.00	196	31.1	980.3	25.00	135	61.0	1016.60
11.90	196	31.1	980.3	24.05	135	61.0	1016.60
12.00	196	31.1	980.3	26.50	155	41.0	1004.95
16.50	160	85.8	1129.9	30.00	190	58.3	984.10
27.00	160	85.8	1129.9	32.00	190	58.3	984.10
31.15	193	52.8	982.1	36.05	202	46.7	976.60
39.00	195	50.8	980.9	38.78	202	46.7	976.60

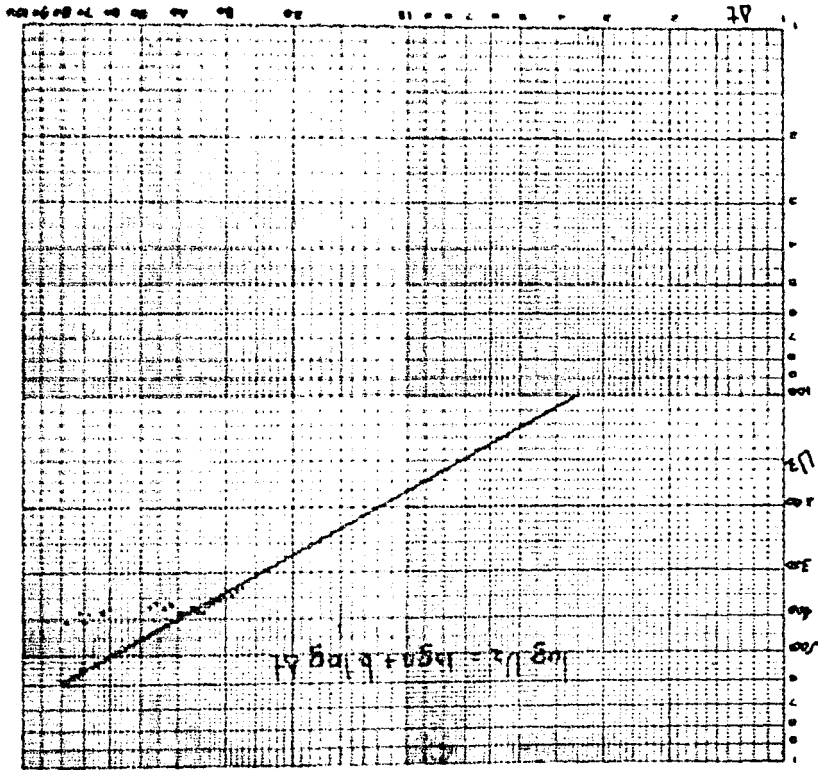
## SIMPLE EFECTO

Densidad °Be	% Glicerina	% Sal	Viscosidad Centipoises	te	Δt	Δte
23.0	21.65	17.70	9.50	190	37.1	984.1
24.5	22.90	18.40	10.01	195	32.1	980.9
24.5	22.51	17.65	10.00	195	32.1	980.9
25.0	21.93	18.10	10.00	196	31.1	980.3
25.0	22.00	17.45	10.03	198	29.1	979.0
25.0	21.86	18.61	10.96	194	33.1	981.5
26.5	24.63	18.40	12.60	193	34.1	982.1
27.0	28.14	17.30	12.50	193	34.1	982.1
27.0	29.00	16.64	12.29	194	33.1	981.5
28.0	34.35	16.00	12.68	194	33.1	981.5
23.0	21.60	17.70	9.50	190	37.1	984.1
28.5	35.02	15.56	13.08	195	32.1	980.9
27.0	29.61	16.01	12.63	195	32.1	980.9
27.0	29.30	16.04	12.00	195	32.1	980.9
26.5	27.02	16.75	11.78	195	32.1	980.9
27.0	28.32	16.71	12.32	194	33.1	981.5
27.5	30.40	17.05	12.27	196	31.1	980.3
27.5	30.03	17.72	12.78	197	30.1	970.6
28.0	39.83	18.10	16.40	198	29.1	979.0
28.5	39.39	17.65	16.85	195	32.1	980.9
29.0	40.09	17.00	17.30	194	33.1	981.5
32.0	52.54	14.31	16.55	200	27.1	977.8
36.0	64.21	13.09	28.06	195	32.1	980.9
35.0	77.06	11.05	33.40	195	32.1	980.9
34.0	81.05	6.56	38.89	198	29.1	979.0

# SIMPLE EFECTO

## Segunda Carga

Densidad °Be	% Glicerina	% Sal	Viscosidad Centipoises	te	$\Delta t$	$\lambda$ te
24.0	21.01	16.79	10.00	194	33.1	981.5
24.0	21.42	17.65	10.00	194	33.1	981.5
24.5	22.59	18.12	10.11	195	32.1	980.9
24.5	21.60	18.56	10.00	195	32.1	980.9
25.0	22.83	18.10	10.42	196	31.1	980.3
25.0	22.18	19.01	10.68	196	31.1	980.3
25.5	23.71	18.62	11.45	195	32.1	980.9
26.5	27.66	18.00	12.06	193	34.1	982.1
27.0	29.81	16.99	13.01	1933	34.1	982.1
27.0	32.19	15.87	12.37	194	33.1	981.5
28.0	34.38	15.92	12.81	194	33.1	981.5
28.5	35.16	16.12	13.16	195	32.1	980.9
27.0	30.18	19.10	12.56	195	32.1	980.9
27.5	33.05	18.63	12.40	195	32.1	980.9
27.5	30.19	18.99	12.32	196	31.1	980.3
28.0	33.18	17.42	12.55	196	31.1	980.3
28.0	38.85	17.70	15.67	197	30.1	979.6
28.5	39.64	17.07	16.43	198	29.1	979.0
29.0	40.75	16.75	18.83	200	27.1	977.8
32.0	53.01	15.19	17.53	198	50.3	984.1
35.0	63.21	13.37	19.33	195	53.3	984.1
34.0	80.66	7.13	39.00	198	50.7	976.6



## Capítulo III.

CALCULO DE LOS DOS EVAPORADORES SIMPLE Y  
DOBLE EFECTO

En este tercer capítulo, procederé a hacer el cálculo matemático de cada uno de los temas empleados: Simple Efecto y Doble Efecto.

En los procesos de evaporación de leñas glicerinosas hay una precipitación de sal por saturarse la solución de ésta, arrastrando una cierta cantidad de glicerina que es necesario recuperar.

El procedimiento que se acostumbra seguir es el siguiente:

Después que se llena la caja de sal se cierra la válvula que comunica con el cuerpo del evaporador y se bombea todo el contenido a unos tanques de asentamiento con fondo falso a través de los cuales pasa la leña arrastrada, siendo bombeada después a unos tanques denominados Tanques de Lavados. La sal es entonces lavada, pasando estos lavados a los mismos tanques antes mencionados.

Haciendo vacío por el fondo falso de los tanques de asentamiento se seca la sal, procediéndose entonces a pesarla.

Como este estudio fué desarrollado durante el funcionamiento normal de producción de la planta de glicerina, donde se aprovechan los lavados anteriores, cubiqué estos tanques, haciéndose muestreo a diferentes profundidades con el objeto de obtener una muestra representativa.

De las pesadas de sal que fueron saliendo durante el proceso y de los análisis de los lavados anteriores, determiné la cantidad de glicerina proveniente de estos lavados y la cantidad de agua evaporada.

Trabajando el Simple y Doble Efecto, procuré en ambos casos tomar las mismas cantidades de leña fresca, cuyo análisis fué:

Glicerina	12.13	--	11.48
NaCl	10.45	--	11.06
Be	10.8		

siendo estos resultados un promedio de distintas determinaciones, así como de las leñas de lavados cuyos análisis son conocidos.

Trabajando el Doble Efecto, en el momento en que se llega a Media Cruda y con el objeto de disminuir el tiempo de operación y aumentar la capacidad del equipo, se procede a cerrar las tuberías que conectan el espacio vapor del primer efecto con la calandria del segundo así como la comunicación de los vasos donde se encuentra la solución para trabajar el sistema a partir de este momento como Simple Efecto, alimentando vapor de 14.5 libras de presión.

Como este trabajo ha sido el de comparar el funcionamiento de un Simple Efecto y un Doble Efecto, será hasta este punto donde se tomarán los resultados para poder determinar las ventajas de uno de estos sistemas con respecto al otro. Los resultados quedan anotados en la tabla de valores. Se hará también una comparación final hasta el momento de obtener la Glicerina Cruda que

nes servirá para observar las cantidades totales en el consumo de vapor y tiempos de operación.

### OPERACION Simple Efecto.

Al principio de la operación, se alimentó leña fresca, haciéndose el vacío simultáneamente. Después de tres horas de trabajo, se suspendió la alimentación de esta leña y se comenzó a alimentar leña de lavados ya para llegar a Media Cruda se alimentó durante 90 minutos leña fresca hasta llegar a Media Cruda. Durante este periodo, nos salieron tres cajas de sal (1410 Kgs.).

En este punto, se suspendió la alimentación de la leña de lavados, y aprovechando como habia explicado anteriormente la Glicerina Media Cruda obtenida en operaciones anteriores, se comenzó a alimentar de ésta, al mismo tiempo que se aumentaba la presión del vapor a 14 1/2 libras man.

En estas condiciones, se llegó al final del proceso obteniéndose Glicerina Cruda (82.10) Durante este periodo de tiempo salió una caja de sal (100 Kgs.)

Se cerró la válvula de admisión de vapor, así como la de alimentación de la Glicerina Media Cruda, y se procedió a descargar el evaporador a un tanque de reserva para conocer la cantidad obtenida. Después de esto se lavó el evaporador, volviéndose entonces a repetir el proceso anterior en las mismas condiciones, sacándose las siguientes sal y permeabilis (2480 Kgs.)

De las dos Batches totales a obtuve:

Primer Batch: 7840 libras de Glicerina Cruda, (82.10).

Segundo Batch: 6360 libras de Glicerina Cruda, (81.27).

Total: 13420 libras = 6100 Kgs

### Doble Efecto.

El procedimiento al principio de la operación es semejante al segundo en el Simple Efecto. Se calienta los evaporadores con leña fresca, comenzándose a hacer el vacío por medio de los condensadores como tubo al segundo efecto, al mismo tiempo se abre la válvula del vapor a la cámara del primer efecto, siendo vapor de cinco libras de presión, como en el caso anterior. Después suspendi la alimentación de esta leña, continuando con la de lavados hasta llegar a media cruda. Durante este tiempo salió cinco cajas de sal (2270 Kgs.). En ambas lavó en los tanques de calentamiento.

Al llegar a Media Cruda, se an el procedimiento explicado anteriormente, tratándose los dos efectos, como en el Simple Efecto, alimentándose Media Cruda de los tanques de almacenamiento y aumentando la presión de vapor. Como el sistema de seguridad del primer efecto no permite una presión mayor de 13,5 li-

bras, en esto se trabajó hasta llegar a Glicerina Cruda con esta presión, en cambio en el segundo efecto, si fué posible bajarlo a 14.5 libras de presión. Ya para llegar al final de la operación y cuando la concentración de sal había disminuido, suspendí la alimentación, para terminar de concentrar la Glicerina. En esta segunda parte salieron dos cajas más de sal (1060 Kgs.).

Terminado el proceso, descargué los evaporadores, pasando la carga de cada uno a unos tanques báscula y obtuve:

Efecto Número Uno. 5866 libras.

Efecto Número Dos. 7524 libras.

Total. 13 390 libras = 5950 Kgs.

Como puede verse, la cantidad en peso de Glicerina Cruda obtenida en los dos casos, Simple y Doble Efecto, es muy semejante, y partiendo de esta base, calcularé a continuación el consumo total de vapor para los dos sistemas, dando los resultados en forma de una tabla más adelante, así como los balances globales de las experiencias.

#### CONSUMO DE VAPOR EN LA OBTENCION DE GLICERINA MEDIA CRUDA

##### SIMPLE EFECTO

Primera Carga: 14 023 220.7 Btu  
Tiempo Operación: 10.5 horas

Segunda Carga: 16 257 936.6 Btu  
Tiempo Operación: 10.5 horas

DOBLE EFECTO: 20 114 380 Btu  
Tiempo Operación: 9 horas

#### CONSUMO DE VAPOR EN LA OBTENCION DE GLICERINA CRUDA.

##### SIMPLE EFECTO

Primera Carga: 4 099 939.0 Btu  
Tiempo Operación: 2 horas

Segunda Carga: 5 328 746.7 Btu  
Tiempo Operación: 2 horas

DOBLE EFECTO:  
4 857 350.5 Btu  
Tiempo Operación: 1.5 horas

#### BALANCES TOTALES.

Estos nos van a dar una idea del aumento de capacidad del Simple Efecto, con respecto al Doble Efecto de acuerdo con las cantidades de Glicerina Cruda obtenidas.



## SIMPLE EFECTO:

### Primera Carga:

#### Cantidades alimentadas

Lejía fresca:	7 024.5 x 1.08 x 2.2	16 689.38 lbs.
Lejía lavados:	3460 .1 x 1.18 x 2.2	8 982.34 lbs.
Media Cruda:	3 034.5 x 1.3 x 2.2	8 718.82 lbs.
	<b>TOTAL</b>	<b>34 390.54 lbs.</b>

#### Balance de agua.

16 689.38 x 0.7497	12 512.0.
8 982.3 x 0.7214	6 479.86
8 718.82 x 0.4091	3 566.86
	<b>TOTAL 22 558.750 lbs. alimentadas</b>

Agua evaporada: 15 651.6 lbs.

Agua en Glicerina Cruda 908.16 ..

Agua en Lavados: 5 217.4 ..

**TOTAL 21 777.16 ..**

Diferencia: 781.6 ..

#### Balance de Glicerina

16 689.38 x 0.1239	2 057.8 lbs.
8 982.34 x 0.1301	1 168.6 ..
8 718.00 x 0.4600	4 010.6 ..
	<b>TOTAL: 7 247.0 lbs. alimentadas</b>

Glicerina en Glicerina Cruda: 5 779.84 lbs.

Glicerina en lavados: 958.1 ..

**TOTAL: 6 737.9 lbs.**

Diferencia: 509.12 lbs.

#### Balance de Sal.

16 689.38 x 0.1264	2 109.53 lbs.
8 982.34 x 0.1485	1 333.9 ..
8 718.82 x 0.1309	1 141.3 ..
	<b>TOTAL: 4 584.7 lbs. alimentadas</b>

Sal en cajas 4 202. 0 lbs.

Sal en Glicerina C. 352. 0 ..

**TOTAL: 4 552.00 lbs.**

Diferencia: 32 lbs.

## **Segunda Carga:**

### **Cantidades alimentadas.**

Lejía fresca:	7 583.6 x 1.08 x 2.2	18 018.66 lbs.
Lejía lavados:	4 330.1 x 1.20 x 2.2	11 431.46 ..
Media Cruda:	3 619 x 1.30 x 2.2	10 398.10 ..
	<b>TOTAL:</b>	<b>39 848.22 lbs.</b>

### **Balace de agua:**

18 018.66 x 0.7369	: 13 277.95 lbs.
11 431.46 x 0.7226	: 8 260.37 ..
10 398.10 x 0.4050	: 4 211.23 ..
	<b>TOTAL : 25 749.55 lbs. alimentadas</b>

Agua evaporada:	18 350.4 lbs.
Agua en Glicerina Cruda:	979.6 ..
Agua en Lavados	5 581.2 ..
	<b>TOTAL 24 911.20 lbs.</b>

Diferencia 853 lbs.

### **Balace de Glicerina**

18 018.66 x 0.1306	: 2 353.24 lbs
11 431.46 x 0.1212	: 1 385.49 ..
10 398.10 x 0.4389	: 4 553.73 ..
	<b>TOTAL: 8 312.46 lbs. alimentadas</b>
Glicerina en glicerina cruda	6 114.75 lbs.
Glicerina lavados:	995.5 ..
	<b>TOTAL 7 110.25 lbs.</b>

Diferencia: 1202.2 lbs

### **Balace de Sal.**

18 018.66 x 0.1325	: 2 387.47 lbs
11 431.46 x 0.1562	: 1 785.59 ..
10 398.10 x 0.1561	: 1 623.15 ..
	<b>TOTAL: 5 796.21 lbs</b>

Sal en Cajas:	5 280.00 lbs
Sal en Glicerina C.	429.60 ..

Diferencia: 86.61 lbs.

## **DOBLE EFECTO:**

### **Cantidades alimentadas.**

Lejía fresca:	14 006.4 x 1.08 x 2.2	33 279.20 lbs.
Lejía lavados:	9 251.4 x 1.18 x 2.2	24 016.63 ..
Media Cruda:	5 721.1 x 1.306 x 2.2	16 437.74 ..
	<b>TOTAL:</b>	<b>73 733.57 lbs. alim.</b>

Balance de agua:

33 279.20 x 0.7744 : 25 771.41 lbs.  
24 016.63 x 0.7346 : 17 642.61 ..  
16 437.74 x 0.4091 : 6599 .00 ..  
TOTAL: 49 973.00 lbs. alimentadas  
Agua evaporada en el primer efecto: 20 369.7 lbs.  
Agua evaporada en el segundo efecto: 20 087.65 ..  
Agua en Glicerina Cruda: 1 561.00 ..  
Agua en lavados: 7 438.10 ..  
TOTAL: 49 456.45 lbs.  
Diferencia: 516.55 lbs.

Balance de Glicerina:

33 279.20 x 0.1213 : 4 036.76 lbs.  
24 016.63 x 0.1246 : 2 992.47 ..  
16 437.74 x 0.4600 : 7 561.36 ..  
TOTAL: 14 590.00 lbs. alimentadas

Balance de Sal

33 279.20 x 0.1043 : 3 471.02 lbs.  
24 016.63 x 0.1408 : 3 381.54 ..  
16 437.74 x 0.1309 : 2 151.70 ..  
TOTAL: 9 004.26 lbs. alimentadas  
Sal en cajas: 7 172.00 lbs.

Sal en Glicerina Cruda: 860.00 ..  
Sal lavados: 972.00 ..

## Capítulo IV.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Primero y como resultado principal comparativo, me referiré con los datos obtenidos, a las ventajas de uno de estos sistemas durante la concentración de leñas hasta la obtención de Glicerina Media Cruda, que es el punto hasta donde el Doble Efecto trabaja como tal, pues ya he explicado anteriormente que a partir de este momento, hasta llegar a Glicerina Cruda, se separan los dos vasos trabajando individualmente como Simple Efecto. Posteriormente tomaré los datos para llegar a Glicerina Cruda en los dos casos y basándome en la semejanza de peso del producto haré las relaciones para apreciar prácticamente las ventajas de uno y otro sistema

Para mayor claridad, pongo a continuación una lista con estos valores

Obtención de Glicerina Media Cruda.

### **SIMPLE EFECTO.**

Primera Carga

Consumo de Vapor 14 337.00 lbs. 6636.5 kg.

Tiempo Operación 10.5 horas

Segunda Carga

Consumo de Vapor 15 316.63 lbs. 7007 kg.

Tiempo Operación 10.5 horas

**TOTAL.**

Consumo de Vapor 31 117.80 lbs. 14 324 kgs.

Tiempo Operación 21 horas

### **DOBLE EFECTO**

Consumo de Vapor 20 911.48 lbs. 9 524 kgs.

Tiempo Operación 9 horas

De aquí entonces concluimos, que trabajando el DOBLE EFECTO para la obtención de Glicerina Media Cruda se logró:

Una disminución en el tiempo de operación de un CINCUENTA Y SIETE POR CIENTO

La cantidad de vapor empleada, es menor en un TREINTA Y DOS POR CIENTO.

Obtención de Glicerina Cruda.

### **SIMPLE EFECTO**

Primera Carga

Consumo de Vapor 18 912.00 lbs.

Tiempo Operación 12.5 horas

Segunda Carga

Consumo de Vapor 22 111.8 lbs.

Tiempo Operación 12 horas

### TOTAL:

Consumo de Vapor: 41 024 lbs. = 18 650 kas.  
Tiempo Operación: 24.5 horas

### DOBLE EFECTO

Consumo de Vapor: 29 139.17 lbs. = 13 245 kgs.  
Tiempo Operación: 10.5 horas

Disponiendo el Departamento de Pailas de una cantidad suficiente de leña para bombearse al Departamento de Glicerina; vemos entonces que aunque trabajando el SIMPLE EFECTO se mejora la capacidad del evaporador; el procedimiento más adecuado para la concentración de leñas glicerinas dada la capacidad de la planta es trabajar el DOBLE EFECTO por las siguientes ventajas.

Para las cantidades de Glicerina Cruda obtenidas

Se disminuye en un CINCUENTA Y SEIS POR CIENTO el tiempo de operación

La cantidad de vapor empleado en el DOBLE EFECTO es menor en un VEINTINUEVE POR CIENTO.

## BIBLIOGRAFIA

Chemical Engineer's Handbook

John H. Perry

McGraw-Hill

Edición 1950

Chemical Engineering

Unit Processes and Principles

D. Van Nostrand

Segundo Curso de Ingeniería Química

Ing. Quím. Alberto Urbina

Principles of Chemical Engineering

Bodger Walter Lucius

McGraw-Hill

Glycerol and the Glycols

James W. Lawrie

American Chemical Society

Principles of Chemical Engineering

William H. Walker

McGraw-Hill

Unit Operations

George Granger Brown

Wiley

Química Orgánica

Fieser y Fieser