

300618

25  
2ej



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

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

**“PROYECTO PARA LA PURIFICACION  
DE GLICERINA A PARTIR DE LEJIAS”**

**TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A :  
CLAUDIA GUADALUPE VILLALOBOS ZEPEDA**

Director: I.Q. Donaciano Vera López

**TESIS CON  
FALSA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1992



## **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 está 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.

## CAPITULACION

### CAPITULO I

- I) Introducción. .... 3
- I.1) Objetivos.
- I.2) Antecedentes.
- I.3) Generalidades : Tipos y usos de la glicerina.
- I.4) Relación de algunas propiedades físicas con respecto al proceso de recuperación.

### CAPITULO II

- II) Estudio de mercado. .... 8
- II.1) Estimación de la demanda.
- II.2) Análisis de mercado de la glicerina.

### CAPITULO III

- III) Proceso de recuperación de la glicerina. .... 14
- III.1) Generalidades.
- III.2) Bases de diseño.
- III.3) Equipo.
- III.4) Operación del equipo.
- III.5) Preparación de la glicerina cruda para la destilación.

### CAPITULO IV

- IV) Diseño y cálculo del equipo. .... 34
- IV.1) Balance de materia.
- IV.2) Diseño del equipo básico.

## CAPITULO V

V)	Evaluación económica.	..... 52
V.1)	Costos e inversiones.	
V.2)	Utilidad y rentabilidad.	

## CAPITULO VI

VI)	Recomendaciones y conclusiones.	..... 61
VI.1)	Eliminación de pérdidas de glicerina.	
VI.2)	Acciones correctivas sobre las pérdidas de glicerina.	
VI.3)	Pérdidas permisibles para las etapas de recuperación de la glicerina.	
VI.4)	Conclusiones	

APENDICE A	..... 69
------------	----------

APENDICE B	..... 77
------------	----------

BIBLIOGRAFIA	..... 81
--------------	----------

## I) INTRODUCCION

### I.1) OBJETIVOS

Una de las motivaciones principales para la elaboración de este trabajo, fue la necesidad de una compañía de contar con su propia planta purificadora de glicerina, debido a la producción tan alta de jabón y la falta de un sistema recuperador del subproducto del proceso.

Para lograr este proyecto, se definen los siguientes objetivos :

- 1) Mostrar de una manera general el tratamiento previo de la lejía y el proceso en general de la recuperación de la glicerina.
- 2) Establecer la ingeniería básica de los equipos más importantes involucrados en el proceso de recuperación, para mostrar de manera didáctica los criterios utilizados y cálculos realizados.
- 3) Evaluar técnica y económicamente el proyecto en base a los resultados que se obtengan y conocer la viabilidad de la construcción de la planta.
- 4) Mencionar las implementaciones desarrolladas para la purificación de este subproducto para mejorar la eficiencia del proceso.

## I.2) ANTECEDENTES

El glicerol combinado con ácidos grasos en forma de ésteres conocidos como glicéridos , es altamente empleado y participa en el desarrollo y reproducción de la vida animal y vegetal.

Menos de setenta y cinco años atrás, la economía mundial y la salud de las naciones dependía principalmente en la agricultura y transportes entre otros; la era del progreso industrial recibió gran importancia cuando Alfred Nobel logró adaptar la nitroglicerina para su uso industrial en forma de dinamita y gelatinas explosivas.

Actualmente la producción de la glicerina a nivel mundial es bastante grande. Entre los principales productores de esta podemos mencionar a los Estados Unidos, Argentina, Cuba, Francia, Alemania e Inglaterra.

En el año de 1988, el promedio de una compañía de saponificación y recuperación de glicerina liberó alrededor de 1323 toneladas de glicerina a partir de grasas y aceites consumidos. Estos porcentajes de pérdidas pueden ser traducidos como sigue :

PERDIDAS EN JABON HUMEDO	122 TONS. METRICAS
PERDIDAS EN EL PROCESO DE RECUPERACION	91 TONS. METRICAS
	-----
PERDIDAS TOTALES DE GLICERINA	212 TONS. METRICAS

La importancia económica de satisfacer con los parámetros de pérdidas que se establecerán a lo largo de este trabajo en el proceso de recuperación de glicerina, son obvios.

La actividad industrial y su gran demanda, han estimulado el consumo de jabón y la producción de la glicerina, pero en períodos recientes, la demanda de la glicerina aumenta más rápidamente de lo que es producida.

La glicerina es un valioso producto que se obtiene a partir de la saponificación de grasas naturales y aceites (cabe hacer la observación que la diferencia entre grasas y aceites es prácticamente su estado físico).

### I.3) GENERALIDADES

La glicerina es un líquido incoloro, viscoso, higroscópico y de sabor dulce. Su estructura química se escribe como se muestra:



Es un triol, esto es, un alcohol que contiene tres grupos alcohólicos "OH". De no ser por reacciones con agentes oxidantes muy fuertes, solamente es susceptible a la oxidación por catálisis a temperaturas altas. No es ácido ni básico por lo que se le considera anticorrosivo.

(Para mayor información sobre las propiedades físicas de la glicerina., favor de referirse al apéndice "A").

### TIPOS Y USOS DE LA GLICERINA

La glicerina comercial puede ser clasificada como cruda o refinada, y cada una de estas clases tiene varios grados.

La glicerina cruda se produce comunmente en dos grados:

1) Lejía de jabón cruda, la cual se obtiene a partir de la concentración de las lejías del jabón. Su contenido aproximado de glicerina es del 80% y de un 6% a un 9% de sal siendo el resto es agua.

2) Cruda saponificada, obtenida mediante la concentración de la solución acuosa restante después de la catálisis de las grasas. Contiene entre el 88% y 91% de glicerina y 0.25% a 0.5% de sal.

La glicerina refinada o destilada se produce en varios grados. Los grados reconocidos comercialmente en los Estados Unidos son:

1) La glicerina U.S.P. que cubre con las especificaciones de United States Pharmacopeia, y el término Q.P. (químicamente pura) es utilizado para este producto. Es utilizada en la elaboración de alimentos, medicinas y para propósitos técnicos que necesiten un alto grado de pureza. El contenido de glicerina debe ser no menor al 99.5%

2) La glicerina de alta gravedad; es un grado técnico de la glicerina de alta concentración, no menor del 98.7% como lo es indicado por su gravedad específica (no menor a 1.2620 a 15.5/15.5°C).

3) La glicerina dinamita, que es refinada para cubrir las especificaciones de manufactura de la nitroglicerina y la dinamita. La glicerina dinamita es de alta concentración, al igual que la glicerina de alta gravedad, por lo que sus propiedades son muy similares.

4) La glicerina amarilla destilada, utilizada en procesos donde no es necesario un alto grado de pureza o gravedad específica (1.2550 a 15.5/15.5°C), lo cual equivale a un contenido del 96% de glicerina.



## USOS

La combinación tan inusual de las propiedades que posee la glicerina, la hacen a esta muy utilizada en la industria. Algunos usos que se le dan dependen de sus propiedades físicas y otros de sus propiedades químicas. Ciertos usos dependen de los dos, y esto es posible debido a su no toxicidad y a su falta de olor y sabor.

En el apéndice "B" se presenta una gráfica para mostrar el porcentaje glicerina utilizado en distintas industrias así como una breve explicación del uso que se le da.

### I.4) RELACION DE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS CON RESPECTO AL PROCESO RECUPERACION

El punto de ebullición, la presión de vapor y la solubilidad (en agua) de la glicerina, tienen un fuerte impacto en el proceso de recuperación de la misma.

-Debido a su solubilidad en el agua, no hay posibilidad de separar la glicerina del agua en las lejías por una separación en fase líquido/líquido. Realmente, es la solubilidad de la glicerina en el agua la que nos permite extraer ésta de la masa del jabón de un vaso destilador, en un proceso batch.

-Debido a su baja presión de vapor, es posible separar la mayor cantidad de agua de la glicerina en la lejía, mediante una evaporación de la misma la cual es económicamente la mejor manera de lograrlo.

-Debido a su punto de ebullición tan alto, es necesario una fuente de energía calorífica lo bastante poderosa para el paso final de purificación de la glicerina en el proceso de la destilación, tal como vapor de agua de media presión.

En los apéndices "A" y "B" se proporciona una información más detallada sobre las propiedades físicas de la glicerina y sus aplicaciones industriales respectivamente.

## II) ESTUDIO DEL MERCADO

Un estudio de mercado requiere en términos generales de dos etapas :  
La primera consiste en recopilar antecedentes sobre el o los productos en estudio, en forma de datos estadísticos sobre producción, consumo, importaciones, exportaciones, etc.  
La segunda etapa consiste en analizar los datos recopilados, interpretarlos y proyectarlos para estimar con esto el mercado potencial.

### II.1) ESTIMACION DE LA DEMANDA

La demanda de un producto está en función del tipo de mercado en el que se consume y de factores tales como calidad, precio, cambio en las aplicaciones o usos, etc. Depende también si se utiliza como materia prima, intermedio o producto final de un proceso de producción.

La estimación de la demanda se hace generalmente a partir de la tendencia histórica tomando un período representativo, en el que las cifras se hallan comportado de manera regular. No obstante, se deben de tomar en cuenta factores que pudiesen modificar la tendencia y estimar su influencia sobre ella. Un caso puede darse cuando los usos o aplicaciones del producto se diversifiquen, incrementando su demanda en relación a los tradicionales, y, en algunos casos es conveniente tomar en cuenta la vida útil del producto.

### II.2) ANALISIS DE MERCADO DE LA GLICERINA

El objetivo principal de este capítulo es determinar el potencial económico de una planta para el tratamiento de lejías jabonosas en el mercado ,tomando en cuenta las importaciones y exportaciones del producto, así como las industrias que se dedican al proceso y a la distribución del producto.

De acuerdo con los estudios realizados, el consumo de glicerina se basa principalmente en la elaboración de materiales explosivos, pinturas, farmacéuticos, tabaco, etc.

Un análisis más detallado referente a la inversión aproximada de una compañía jabonera se muestra a continuación :

AÑO	INVERSION		FIJA NETA	PRODUCCION BRUTA	INSUMOS TOTALES	VALOR AGREGADO	VENTAS TOTALES
	BRUTA TOTAL	FIJA BRUTA					
1979	679	485	317	14,542	10,470	4,072	14,181
1983	7,297	551	3	85,312	62,475	22,837	80,954

(FUENTE : ANUARIO DEL BANCO DE MEXICO)

Actualmente se puede observar que las estimaciones pronosticadas en cuanto a la exportación de la glicerina fueron erróneas. Si tomamos en cuenta los datos del anuario estadístico de comercio (Tabla I), se puede ver que las exportaciones en los años 1965-1972 eran prácticamente nulas, contrario a lo que pasa en los años presentes:

AÑO	CONSUMO APARENTE DE GLICERINA			
	PRODUCCION NACIONAL	TOTAL DE IMPORTACIONES	EXPORTACIONES	CONSUMO APARENTE
1981	14,251 Ton	4,561.48 Ton	-----	15,432 Ton
1982	14,714 "	6,320.74 "	305	16,715 "
1983	15,177 "	3,714.51 "	541	15,991 "
1984	15,640 "	2,348.65 "	700	16,020 "
1985	16,103 "	1,851.96 "	1,200	16,958 "

AÑO	PRODUCCION INTERNA		
	BRUTA		
1981	10,500	Millones de pesos	
1982	18,750	"	"
1983	24,670	"	"
1984	39,100	"	"
1985	46,185	"	"

(TABLA I)

FUENTE : ANUARIO ESTADISTICO DE COMERCIO  
EXTERIOR 1965-1984 S.I.C.-D.G.E.

Para poder hablar de exportaciones e importaciones, es necesario mencionar cómo se manejan estos términos a nivel internacional; es por eso que se muestran a continuación las fracciones arancelarias de la glicerina en todas sus presentaciones de demanda y oferta :

FRACCION	TIPO
11520.1001	Glicerina en bruto
11520.1099	Las demás (glicerina, incluso pura)
11520.9001	Glicerina refinada excepto grado dinamita
11520.9099	Las demás (glicerina incluida la sintética)

A partir de estas fracciones, la importación y exportación de la glicerina es como sigue:

EXPORTACION DE FRACCIONES SELECCIONADAS Y PAISES DE DESTINO

PARA : ENE-DIC 1989

(CIFRAS EN MILES  
DE DOLARES)

FRACCION		GLICERINA EN BRUTO;AGUAS Y LEJIAS GLICERINOSAS	CANTIDAD (kg)	VALOR
1520-10		AUSTRALIA	18,600	21
		U S A	333,725	349
		TOTAL POR FRACCION	352,325	370
FRACCION 1520-90		LAS DEMAS,INCLUIDA LA GLICERINA SINTETICA		
		U S A	2,693,365	3,144
		TOTAL POR FRACCION	2,693,365	3,144

IMPORTACION DE FRACCIONES SELECCIONADAS Y PAISES DE ORIGEN  
PARA ENE-DIC 1989

FRACCION		GLICERINA EN BRUTO	CANTIDAD	VALOR
1520.1001		U S A	45,680	63
		FRANCIA	10	-
		TOTAL POR FRACCION	45,690	63
FRACCION 1520.1099		LAS DEMAS (GLICERINA PURA;AGUAS Y LEJIAS GLI- CERINOSAS)		
		U S A	565	1
		FRANCIA	43	-
		TOTAL POR FRACCION	608	1

FRACCION	1520.9001	GLICERINA REFINADA EXCEPTO GRADO DINAMITA				
		U S A	128,157		221	
		TOTAL POR FRACCION	128,157		221	

FRACCION	1520.9099	LAS DEMAS (GLICERINA INCLUIDA LA SINTETICA)				
		ALEMANIA OCCIDENTAL	1,166		3	
		DINAMARCA	7		-	
		U S A	3,122		7	
		TOTAL POR FRACCION	4,295		10	

FUENTE : DIRECCION DE INVESTIGACION ECONOMICA  
BANCO DE MEXICO

Haciendo un cuadro comparativo entre México y E.E.U.U. de los años 89-90 con lo que respecta a la producción y al valor de la glicerina, tenemos lo siguiente :

		1 9 8 9		1 9 9 0		
FRACCION	ARANCELARIA	PRODUCTO	VALOR	VOLUMEN	VALOR	VOLUMEN
México	1520.90.01	Glicerina refinada	221,886	128,157	238,179	154,238
E.E.U.U.	"	"	221,886	128,157	61,218	45,643
México	1520.10.01	Glicerina en bruto	64,012	45,690	124,153	131,664
E.E.U.U.	"	"	63,984	45,680	124,140	131,659

VALOR dado en dólares  
VOLUMEN dado en kilogramos

FUENTE :Secretaría de Comercio y  
Fomento Industrial

Como podemos observar, la exportación de la glicerina es considerablemente grande sin embargo, nuestro análisis está dedicado al mercado de consumo nacional. Este mercado es bastante amplio ya que no existen muchas empresas que se dediquen a purificarla a partir de las lejías jabonosas. De hecho, las únicas empresas que se dedican a la purificación de glicerina son las siguientes:

- J.T.BAKER, S.A. de C.V.
- NALCOMEX, S.A. de C.V.
- QUIMIC, S.A. de C.V.
- QUIMIVAN, S.A. de C.V.
- HENKEL MEXICANA, S.A. de C.V.
- FABRICA DE JABON LA CORONA S.A.

Además podemos comparar la baja que tuvo la importación de glicerina refinada en los E.E.U.U, contrario a lo que sucedió en el país. De aquí que surja la necesidad de crear nuevas plantas que se dediquen a este proceso, ya que existen varias distribuidoras y pocas manufactureras. Dentro de las distribuidoras tenemos las siguientes:

- CASA MOLINA FONT, S.A.
- DOW QUIMICA MEXICANA, S.A. de C.V.
- MATERIAS PRIMAS, S.A. de C.V.
- OLIN QUIMICO, S.A. de C.V.
- PETROVAL
- PRODUCTOS QUIMICOS MARDUPOL, S.A.
- PRODUCTOS QUIMICOS MONTERREY, S.A.
- PROVEQUIM, S.A. de C.V.
- QUIMICA DELTA, S.A. de C.V.
- QUIMPER, S.A. de C.V.

### III) PROCESO DE RECUPERACION DE LA GLICERINA

#### III.1) GENERALIDADES

En seguida describimos las principales etapas para el proceso de recuperación, que siguen de la manufactura del jabón húmedo mediante la saponificación de aceites y grasas.

De esta manera, las etapas de recuperación de la glicerina después de la saponificación son :

- Reposo de la lejía
- Tratamiento de la lejía
- Evaporación
- Destilación
- Blanqueo

#### REPOSO DE LA LEJIA

El propósito de esta etapa, es separar y recuperar la mayor cantidad de jabón posible a partir de la lejía. Esto se logra dejando reposar la lejía caliente de la saponificación, y esperar a que se enfríe.

#### TRATAMIENTO DE LA LEJIA

Esta etapa consiste en remover de la lejía, todos los residuos de jabón que no se lograron separar en la etapa anterior. Esto se lleva a cabo a partir de una serie de reacciones químicas, para que el residuo de jabón que se tenga, resulte insoluble y se pueda eliminar rápidamente. Al producto de esta etapa se le conoce con el nombre de lejía tratada.

#### EVAPORACION

Consiste en remover la mayor cantidad de agua posible de la lejía tratada por medio de la evaporación, así como también la sal mediante el reposo de la misma, la cual cristaliza durante el proceso de evaporación. El producto obtenido a partir de esta etapa recibe el nombre de glicerina cruda.



La sal que cristaliza y reposa durante el proceso de evaporación, es lavada y secada para volverse a utilizar en la manufactura del jabón.

#### DESTILACION

La destilación es el objetivo principal del proyecto debido al desperdicio que se tenía de los subproductos del jabón que eran tirados al desagüe; actualmente con las normas dispuestas por SEDUE, se deben implementar nuevas técnicas para el aprovechamiento de estos productos en ayuda a la ecología del país.

La destilación se utiliza para separar la glicerina purificada del agua, sal e impurezas restantes, provenientes de la glicerina cruda. La destilación por arrastre de vapor estará seguida por una condensación fraccionada. En la destilación, tanto la glicerina como el agua son volatilizados y en la condensación fraccionada, la glicerina y el agua son condensados en forma separada. Al producto final se le conoce con el nombre de glicerina destilada. Durante la destilación, la sal residual cristaliza de tal manera, que resulta imposible su recuperación.

#### BLANQUEO

Los propósitos de esta etapa son:

- 1) Blanquear la glicerina destilada con carbón activado para mejorar su color, olor, y sabor.
- 2) Ajustar el contenido de la glicerina blanqueada con agua para satisfacer las especificaciones de la glicerina terminada.

A continuación se van a ampliar los puntos antes mencionados para poder comprender la necesidad de una planta como ésta, ya que sus principios físico-químicos no son complicados y resultan ser eficientes

#### TRATAMIENTO DE LAS LEJIAS''

Esta etapa es crítica para todo el proceso; las lejías tratadas adecuadamente crean problemas menores en las etapas de evaporación y destilación y contribuye a dar altos rendimientos de glicerina.

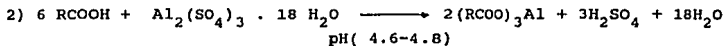
El jabón residual soluble, proveniente de las lejías reposadas, es precipitado químicamente mediante la adición de sustancias para convertirlo en ácidos grasos que poseen un bajo peso molecular.

Se utiliza HCl (ácido clorhídrico) para bajar el pH de la lejía reposada de un 12, a un pH neutro (ligeramente menor a 7) , lo cual causa que los ácidos grasos formados, sean insolubles. El uso de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico) no es recomendado debido a que causa un gran incremento en el contenido de sulfatos de la sal recuperada.

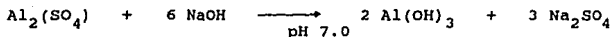
Posteriormente se utilizan sales solubles de aluminio o fierro (sulfato de aluminio) para convertir los ácidos grasos en jabones de aluminio menos solubles.

Un pequeño exceso de esta sal es utilizado para asegurarse de que habrán los suficientes iones de aluminio para reaccionar con todos los ácidos grasos y reducir el pH de la masa hasta de un 4.6 - 4.8, donde los jabones de aluminio son menos solubles.

La química del tratamiento de lejías hasta este punto puede ser expresada por las siguientes ecuaciones:



Debido al exceso de iones aluminio presentes en la lejía, estos deben ser separados por medio de una filtración; posteriormente se eleva el pH de la lejía hasta un punto neutral (7), donde el exceso de iones de aluminio precipitan como hidróxido de aluminio ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). Se puede expresar la reacción como sigue:



Una segunda filtración removerá todo tipo de impurezas para dejar nuestra lejía lista para la siguiente etapa: EVAPORACION.

## EVAPORACION

Existen varios posibles diseños para evaporadores de glicerina cruda. Dentro de estos, deben considerarse varios puntos:

- La capacidad que tiene con respecto a la cantidad de agua que va a ser evaporada.

-La eficiencia térmica y consumo máximo del vapor.

-Tipo de unidad de calentamiento.

-La manera de como se va a separar la sal cuando sea necesario.

-Evitar al máximo pérdidas de glicerina.

-Equipo de alimentación.

-Métodos de control.

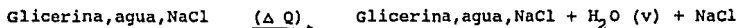
-Materiales de construcción (por lo general se maneja acero al carbón, debido a su bajo costo en comparación con otros materiales similares).

La evaporación está caracterizada de tipo físico principalmente por:

1) La gran diferencia que existe entre la presión de vapor del agua y la de la glicerina, la cual permite una evaporación selectiva del agua de la lejía tratada.

2) La solubilidad de la sal en agua, en glicerina y en mezclas de glicerina-agua, que permiten la recuperación y el re-uso de la sal para la manufactura del jabón.

El balance de esta etapa se puede expresar como :



Las composiciones de las lejías tratadas y de la glicerina cruda en la mayoría de los casos es:

	LEJIA TRATADA (%)	GLICERINA CRUDA (%)
H <sub>2</sub> O	71	10
GLICERINA	16	80
SAL	13	10

Sabiendo que las presiones de vapor entre la glicerina y el agua son muy grandes tomamos en cuenta la ley de Dalton de las presiones parciales, que puede ser utilizada ya que el sistema se considera ideal por la presión de vacío y las temperaturas moderadas con las que se trabaja , y se puede observar que la composición de los vapores de mezclas agua-glicerina va a ser muy alta en agua y extremadamente baja en glicerina.

El producto que se obtiene a partir de la evaporación es la glicerina cruda ( ya antes mencionada) contiendo el 80% de glicerina, 10% en agua y el resto en sal.

## DESTILACION

La destilación que ocurre en el proceso, la podemos atribuir a los siguientes factores:

-la diferencia que existe en las presiones de vapor de la glicerina y el agua, el volatilizar éstas al mismo tiempo, y condensarlas por separado.

-la presión de vapor de las impurezas volátiles presentes en la glicerina cruda.

-la solubilidad de la sal en mezclas agua-glicerina y la separación de ésta mientras el agua y la glicerina se volatilizan.

El balance de estos conceptos puede ser expresada como sigue:

1) Glicerina Cruda  $\longrightarrow$  glicerina(v) + H<sub>2</sub>O(v) + NaCl(s)  
Q, inyección + impurezas (v,l,s)

2) Vapores de (1)  $\longrightarrow$  glicerina(l) + H<sub>2</sub>O(v) + impurezas(v)  
en frío

3) Vapores de (2)  $\longrightarrow$  H<sub>2</sub>O(l) + impurezas(v,l)

entendiendo que : (v) vapor, (l) líquido, (s) sólido

- En la ecuación (1), la glicerina y el agua son volatilizadas junto con algunas impurezas a altas temperaturas y a una presión de vacío. La sal cristaliza al igual que las impurezas restantes a manera de precipitados.

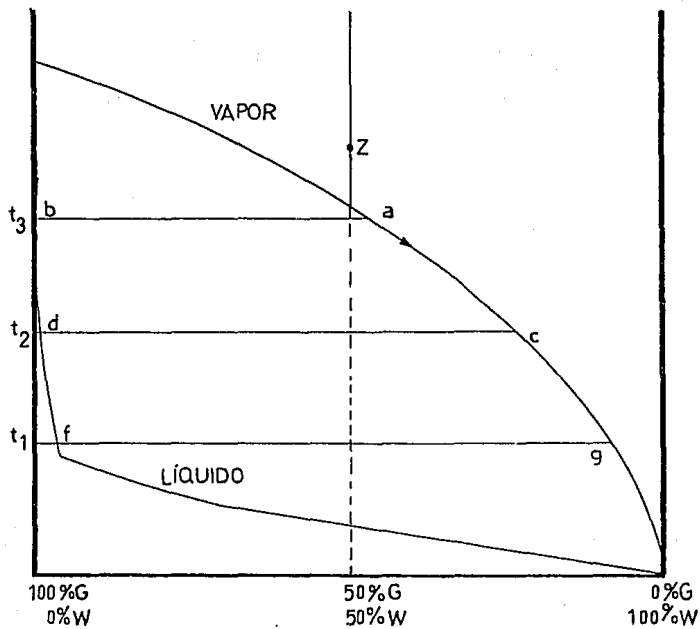
- En la ecuación (2), los vapores de la ecuación (1) se enfrían lo suficiente para condensar la glicerina.
- En la ecuación (3), se continúan enfriando los vapores restantes para poder condensar el agua y algunas impurezas.

Debido a que la presión de vapor de la glicerina es muy baja aún en temperaturas elevadas, el objetivo será el vaporizar la glicerina bajo ciertas condiciones que nos permitan tener un control razonable de las descomposiciones térmicas y termocatalíticas que se presentan, y una cantidad razonablemente alta de glicerina vaporizada. Esto se logra a una baja presión absoluta por medio de una destilación de vapor, y controlando la temperatura a un máximo de 175°C.

Haciendo uso de la ley de Dalton, la glicerina es vaporizada mientras se inyecta vapor en el recipiente para lograr que la presión de vapor total de la glicerina y el vapor, permitan una destilación a una temperatura menor de la que se necesitaría si se destilara la glicerina sola. Las condiciones con las cuales se debe operar este equipo son de 170°C con una presión absoluta de 10 a 15 mm de Hg.

Cabe hacer mención que la sal cristaliza en el recipiente durante destilación, mientras el agua residual de la glicerina cruda es vaporizada. Este es un evento químico-físico importante debido a que la cristalización de la sal interfiere en la transferencia de calor que se da en el recipiente, y por lo tanto, origina la descomposición de la glicerina.

A continuación se presenta un diagrama del sistema glicerina-agua en equilibrio (Tabla 1)



( TABLA 1 )



Considerando solamente agua y glicerina pura(w,g), la forma de la curva nos muestra la gran diferencia que existe en la volatilidad de los componentes. Si un vapor sobrecalentado conteniendo el 50% de glicerina es enfriado cuidadosamente, la condensación empezará en el punto donde la vertical del 50% corte la línea de vapor. La gota del líquido que se separe, dentro de las condiciones de equilibrio tendrá una composición "b" (casi glicerina pura).

Mientras más calor sea removido, más líquido será separado siguiendo la trayectoria "bd"; la composición del vapor residual y su temperatura seguirán la trayectoria "ac". Si la primera condensación se detiene a la temperatura "t2", el líquido condensado tendrá una composición entre "b" y "d", y el vapor restante en "c". Asimismo, si las condensaciones posteriores llegan a "t3", otra fracción de líquido con una composición entre "d" y "f" será separada de un vapor de composición "g". Tomando en cuenta esto, observamos que los productos del proceso de destilación son:

-Destilado del primer condensador.-glicerina de alta pureza la cual será blanqueada y ajustada en el proceso final para considerarse químicamente pura, grado medicinal/dental satisfaciendo las especificaciones de la farmacopea.

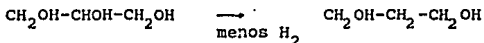
-Destilado del segundo condensador.-un material de "alto grado" y "alta gravedad específica", que con un blanqueo y ajuste posterior de contenido de glicerina, se convierte en una glicerina de alta pureza y grado industrial, utilizada principalmente en la industria de los explosivos.

-Destilado del tercer condensador.-un material de bajo contenido de glicerina y pureza, que puede ser utilizado para varios propósitos industriales.

Generalmente las concentraciones de glicerina de los concentradores 1,2 y 3 son del 99.5%, 99.2% y 90% respectivamente.

Es importante mencionar en este punto la posible presencia del trimetilen glicol (TMG) o propilen glicol 1,3 , producto de la degradación microbiológica de la glicerina.

Superficialmente podemos expresar esta degradación como:



Se forman a su vez productos gaseosos durante la degradación, sin embargo no debe asumirse de la ecuación anterior que el O<sub>2</sub> es uno de ellos.

La fermentación bacteriana que se presenta para la formación del TMG, resulta de una bacteria coliform (E.freundii, A.aerogenes) de la glicerina. Puede llegar a formarse hasta el 60% de la glicerina fermentada, aunque el mecanismo de esta fermentación anaeróbica es desconocido. Al igual que el TMG, el ácido láctico, el alcohol butílico y otros productos ocasionan pérdidas de glicerina; es por ello que se debe evitar el almacenamiento de ésta en lugares sucios donde las temperaturas son cálidas y el tiempo de residencia de la glicerina es alto.

### III.2) BASES DE DISEÑO

El proceso de destilación de la glicerina es de mucho cuidado ya que los errores que se cometan durante operación, pueden ser corregidos una vez perdidas grandes cantidades de glicerina, ya sea por descomposición en el recipiente o por glicerina acarreada en los fondos. Para evitar estas pérdidas se deben tomar algunas precauciones :

- Se recomienda analizar la muestra de glicerina cruda antes de agregarle un agente alcalino y después para ajustar la alcalinidad.

- Activar el sistema de inyección de vapor, alimentar el recipiente con la glicerina cruda y ajustar el vapor cerrado a los tubos del intercambiador para poder operar a las siguientes condiciones :

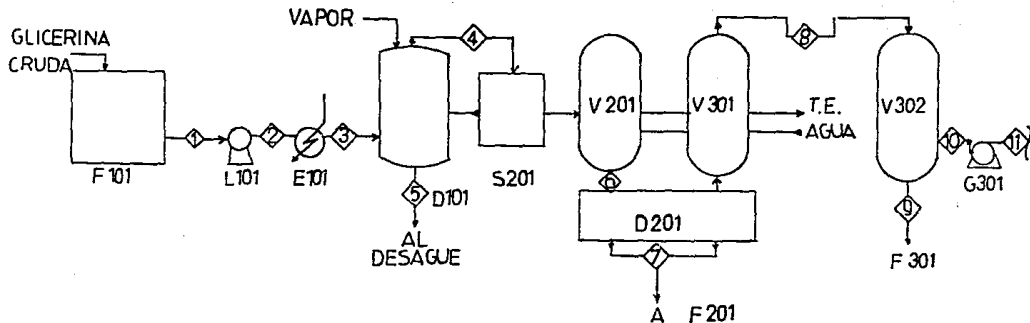
1) Temperatura del líquido en el recipiente	170 C
2) Temperatura del vapor en el recipiente	170 C
3) Temperatura del vapor del primer condensador	121 - 132 C
4) Temperatura del vapor del segundo condensador	71 - 82 C
5) Temperatura del vapor del tercer condensador	32 - 43 C
6) Presión absoluta	10 - 15 mm Hg

Debe tenerse cuidado con el tiempo de operación del recipiente, ya que si hay más calor del necesario, la glicerina comienza a descomponerse rápidamente.

glicerina + calor ----- acroleína  
( - H<sub>2</sub>O )

En el presente diagrama de flujo se pueden observar las condiciones de entrada y salida necesarios del proceso para lograr la calidad deseada.

## DIAGRAMA DE FLUJO (GLICERINA)



28

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
FMÁSICO(kg/h)	1000	1000	1000	930	70	930	375	180	5556	124.44	124.44
COMP. P/O GLIC.	88	88	88	90	7	90	00.5	70	20	0	0
AGUA	0	0	0	0.5	8.0	0.5	0.5	70	7.0	0	0
SAL. MP	1	1	1	0	3	0	0	0	0	100	10.0
DENSIDAD(g/cm <sup>3</sup> )	1.205	1.205	1.1835	1.27	0.9996	1.27	1.20	1.0304	1.04	1.293	1.293
TEMPT.(°C)	60	60	90	170	60	120	120	70	40	40	40
PRESIÓN(atm)	0.756	1.207	1.19	0.026	0.756	0.26	0.026	0.026	0.756	0.026	0.756
VISCOSIDAD(cp)	0.456	0.456	0.342	0.70	0.166	1.5	1.5	0.099	0.994	3.4	3.4

### III.3) EQUIPO

Debido a que la lejía de la glicerina cruda contiene aproximadamente el 10% de sal y materia orgánica, el residuo de estos materiales no volátiles, influye para la elección de un equipo de vaporización, prefiriéndose el uso de equipo que opere en procesos batch en lugar de los continuos.

El recipiente a diseñar deberá contar con las siguientes especificaciones

1) Vapor de alta presión utilizado para calentar la glicerina cruda hasta la temperatura de destilación, es decir unos  $170^{\circ}\text{C}$ , y la capacidad de mantener esta temperatura durante el proceso así como el poder soportar una temperatura mayor al final del proceso.

2) Una gran superficie de transferencia de calor requerida durante la destilación.

3) Un vapor de baja presión para la destilación de vapor.

4) La condensación fraccionada de los vapores destilados.

5) La baja presión requerida para vaporizar a la temperatura de operación, digamos de 10 a 15 mm de Hg.

Los elementos esenciales del equipo necesario para la planta se muestran a continuación :

- Una fuente de vapor de alta presión ,300 psi. (no se muestra en el diagrama).

-Un recipiente, "D101", el cual está equipado por el interior con intercambiador de calor que consiste en varios tubos por donde circula vapor de media presión.

-Un separador centrífugo estacionario,"S201", en donde el líquido arrastrado es separado de los vapores de agua y glicerina, mientras la masa de vapor sigue avanzando.

-Tres condensadores en serie,"V202","V301","V302",utilizados para condensar la glicerina y el agua selectivamente.

-Un eyector de vapor o booster "G301", utilizados para comprimir el aire y todos aquellos gases no condensables y ser expulsados por el último condensador. La capacidad del booster es un factor que puede limitar en cierto punto la capacidad del equipo.Asímismo, se requiere de un condensador barométrico que provea la baja presión absoluta(no se muestra).

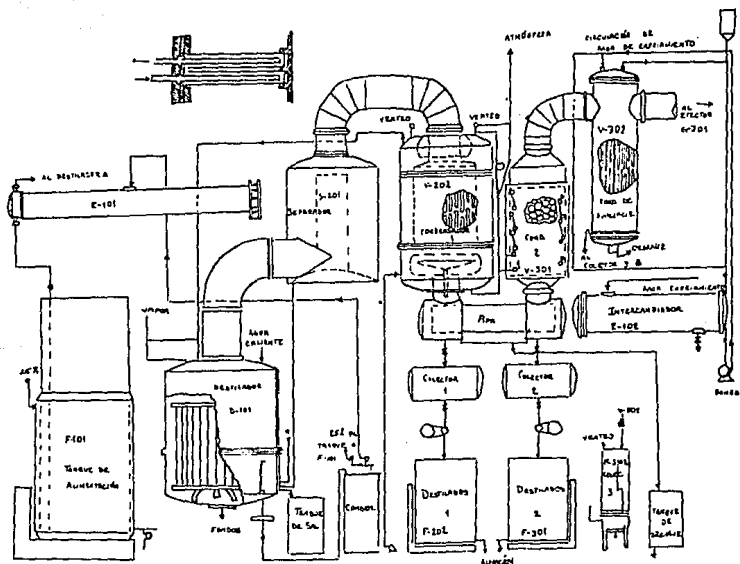
-El condensador "V202" es enfriado con vapor de 5 psi a una temperatura de  $228^{\circ}\text{C}$  ; a su vez, el condensador "V301" se enfría, en el fondo, con un vapor de 5 psi por donde entran los vapores y en la parte superior con agua, estando en un rango de temperaturas de 32 a  $42^{\circ}\text{C}$ . Por último, el condensador "V302" se enfría con la misma agua.

Una función típica para estas plantas , es el ahorro de vapor obtenido a partir del intercambio de calor latente de los vapores de glicerina con el agua condensada proveniente de los serpentines del recipiente, para poder crear el vapor abierto que se requiere para la operación del equipo.

Para minimizar las posibles pérdidas de glicerina que pudiese haber,se sugiere lo siguiente:

- 1) La remoción continua de la sal durante la destilación.
- 2) La continua circulación forzada del líquido de la vasija, bombeando éste por un intercambiador de calor externo "E101" , y regresándolo al recipiente.

# DIAGRAMA DE PROCESO PARA LA RECUPERACION DE GLICERINA.



68

#### III.4) OPERACION DEL EQUIPO

Es importante recalcar los eventos claves que ocurren en la secuencia de la destilación, eventos que en su mayoría involucran el paso del vapor por el equipo. Siguiendo la ruta del vapor tenemos que:

I) El vapor es introducido al recipiente "D101" por medio del tubo de entrada del intercambiador y emerge del líquido hirviendo hacia la cabeza de la vasija, junto con la glicerina vaporizada. La porción de agua de la glicerina cruda, contribuye también, a la masa de vapor de agua que se encuentra en la parte superior de la vasija (cabeza).

II) Los vapores salen del recipiente para llegar al fondo del separador centrífugo "S201", para ser separados del líquido arrastrado (conteniendo probablemente espuma).

III) De ahí, los vapores pasan del separador a la parte superior del primer condensador "V202" y por debajo del mismo, donde el 65% de la glicerina en el vapor se licúa. La glicerina líquida pasa al primer concentrador "F201".

IV) Los vapores restantes no licuados, pasan por la parte inferior del primer condensador hacia la parte inferior del segundo condensador "V301", subiendo por éste y en donde el 33% de la glicerina originalmente vaporizada, es licuada. Mientras éste material cae por el condensador, cruza con el vapor que sube del primer condensador, y sobre los serpentines de baja presión "E102". Esto enriquece al líquido en glicerina ya que vaporiza toda el agua que se hubiese podido licuar junto con la glicerina. El líquido enriquecido pasa al segundo concentrador.



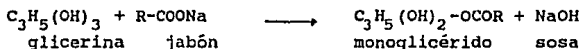
V) Los vapores restantes pasan por la parte superior del condensador "V301" hacia el tercer condensador "V302", bajando por éste (esencialmente una trampa de vapor) para licuar lo que reste de glicerina, es decir, un 2% de la original. Este material es recibido por el tercer concentrador.

VI) Los vapores restantes, esencialmente aire e impurezas volátiles, pasan a la fuente de vacío "G301".

### III.5) PREPARACION DE LA GLICERINA CRUDA PARA LA DESTILACION

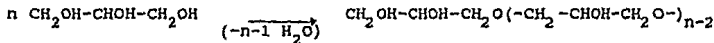
Debido a la naturaleza de la glicerina (3 grupos OH), ésta puede sufrir reacciones de esterificación y deshidratación, las cuales deben estar muy controladas durante el proceso.

La formación de ésteres glicéricos volátiles a partir de la reacción de la glicerina con jabones de baja concentración de ácidos grasos procede de la siguiente manera:



La reacción de esterificación puede ser evitada mediante una remoción previa a la destilación de jabón y ácidos grasos, y el mantener la glicerina durante el proceso en un medio alcalino. El uso de vapor abierto contribuye también a reducir la formación de ésteres.

La reacción de deshidratación intermolecular se origina al remover una molécula de agua a partir de dos de glicerina, formando un dímero en donde los residuos de la glicerina se unen para formar un éter:



La formación del poliglicerol es catalizada por álcalis como sosa caústica ; la reacción es irreversible y la cantidad de glicerina que se pueda degradar es considerable. A su vez, la reacción se ve favorecida por altas temperaturas y por la baja concentración de agua en el recipiente. La esterificación y deshidratación pueden inhibidas si se utiliza un agente alcalino débil como lo es el carbonato de sodio para convertir los ácidos grasos así como al  $\text{Na}_4\text{EDTA}$  para inhibir la deshidratación de la glicerina.

Métodos de análisis se han desarrollado para poder estimar la cantidad de glicerina degradada. Hasta ahora uno de los métodos más utilizados es el que realiza a partir del dicromato que separa toda la materia de jabón y otras impurezas, seguida de la estimación de la materia oxidable calculada como glicerol.

Con lo que respecta a las borras o residuos de la destilación, se ha visto que éstas contienen una cantidad considerable de glicerina y se han desarrollado algunos procesos para la recuperación de la misma, como en Anzio Italia:

- Se diluyen primeramente en agua

- El pH se baja, de un medio muy alcalino a uno muy ácido, a partir de HCl (ácido clorhídrico) para lograr una separación de fases en el líquido; un fluido acuoso conteniendo glicerina, y uno viscoso con un contenido alto de poliglicerol y demás impurezas.

- La parte acuosa del líquido es agregada al comienzo del proceso del tratamiento de la lejía, mientras que el líquido viscoso es descartado.

Se menciona este proceso sólo porque existe, sin embargo, la experiencia ha mostrado que es costoso y poco eficiente; es por ello que se recomienda que desde el principio del proceso se evite al máximo la formación de borras o residuos.

## CALCULO Y SELECCION DEL EQUIPO

### IV.1) BALANCE DE MATERIA

Debido a que estamos manejando un proceso batch tenemos que :

$$\text{ENTRADAS} = \text{SALIDAS} + \text{ACUMULACIONES}$$

$$E = S + dM/dT$$

Donde

$$E = \text{Entradas} = 8,000\text{kg} = 1,000 \text{ Kg/hr}$$

$$S = \text{Salidas (condensador V-201, V-301, V-302, eyector G-301)}$$

$$S = 7,440 \text{ Kg por un batch de 8 horas (7,440 Kg/8 hr = 930 Kg/hr)}$$

$$dM/dT = \text{Acumulaci3n (fondos)}$$

$$1,000 = 930 + dM/dT$$

Integrando:

$$70 \int dT = \int dM$$

Dando l3mites para T (0 a 8hrs) y M (0 a M) nos queda :

$$70 (8) = M$$

$$560 \text{ Kg} = M$$

#### IV.2) DISEÑO DEL EQUIPO BASICO

##### TANQUE DE ALIMENTACION

Debido a que el proceso de saponificación tiene una duración aproximada de 8 hrs, y la masa de lejía que se obtiene después del tratamiento es de 8,000 Kg (glicerina cruda), se va a calcular el tanque con un sobrediseño del 20% ,previendo un excedente que se pudiera tener en producción.

$$Mg = 8000 \text{ Kg}$$

$$D = 1.205 \text{ Kg/lt}$$

$$M = 8000 \text{ Kg} \times 1.2 = 9,600 \text{ Kg}$$

$$V = \frac{9,600 \text{ Kg}}{1.205 \text{ Kg/lt}} = 7,967 \text{ lts} = 8 \text{ m}^3$$

El tanque cilíndrico de acero al carbón estará montado sobre una báscula con una capacidad de 10,000 Kg para poder controlar la cantidad que va a ser purificada.

La relación de altura-diámetro del tanque será de 2:1 como se indica a continuación:

$$V = \text{PI } D^2 h / 4$$

$$V = 0.785 * D^2 * 2D = 1.57 D^3$$

sustituyendo valores:

$$8.0 = 1.57 D^3$$

$$D = 1.72 \text{ mt}$$

$$h = 3.44 \text{ mt} = 3.5 \text{ mt}$$

### ESPESOR DEL RECIPIENTE

Para calcular el espesor del tanque en pulgadas tenemos que:

$$t = \frac{2.6(D)(H-1)(G)}{21,000} + C \quad \dots (1)$$

- t → espesor del tanque (pulgadas)  
D → diámetro nominal del tanque (pies)  
H → altura del tanque (pies)  
G → gravedad específica del líquido  
21,000 → esfuerzo máximo permisible de trabajo, incluyendo el factor de eficiencia de la soldadura (psi)  
C → factor de corrosión = 0.125 pulgadas

Sustituyendo los datos en la ecuación (1) tenemos que :

$$t = \frac{2.6(5.643)(11.876-1)(1.205)}{21,000} + 0.125 =$$

$$t = .1332 \text{ pulgadas} = 3/16''$$

NOTA : Este espesor corresponde al que aparece en la tabla A-2 del API 650, cuarta edición, para el diseño de tanques atmosféricos.

### DESTILADOR : RECIPIENTE Y CALENTADOR

El cálculo de la capacidad del recipiente es similar al del tanque de almacenamiento, lo único en que difiere es en el dimensionamiento :

La relación entre el diámetro y la altura es 2:1. !

De esta manera, el volumen necesario para la vasija es de :

$$V = pD^2h/4$$

$$V = pD^3/2$$

$$D = 2.12 \text{ mt}$$

$$V = 15 \text{ mt}^3$$

El diámetro se consideró de 2.12 mt para que el calentador de inmersión se pueda instalar dentro sin problema.

### ESPESOR DEL RECIPIENTE

El espesor del recipiente ,siendo éste un tanque presurizado ,será de :

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} + C$$

- P → presión de diseño (lb/pulg<sup>2</sup>)  
R → radio interno del cilindro (pies)  
S → esfuerzo permisible (lb/pulg<sup>2</sup>)  
C → factor de corrosión (pulgadas)  
E → eficiencia de la soldadura

$$t = \frac{(.02631 * 1.033 * 14.223) (7 \text{ pies})}{(20,000(1) - 0.6(.02631 * 1.033 * 14.223))} + C$$

$$t = 0.000135 + 0.125 \text{ " } = 0.1251 \text{ " } = 3/16 \text{ "}$$

NOTA : El cálculo del espesor por sismo no se reporta debido a que el espesor mandatorio fue el obtenido a partir de la presión interna.

### CALENTADOR

El calentador que se recomienda , es un calentador de inmersión por convección natural con tubos verticales.

El calentador presenta un montaje de 10" sobre el piso del tanque. Por lo tanto, la necesidad de calentamiento a través de capas de aislamiento de sedimento presente en los serpentines convencionales, se evita en esta forma :

El diseño fuera del piso reduce el tiempo de limpieza del tanque en el caso de cambio de producto a un mínimo.

Estos calentadores a su vez, permiten transferir más calor al fluido del tanque con menores temperaturas de película. La polimerización, la decoloración o el daño al material o al fluido a calentar son evitados de esta manera.

El equipo que se recomienda consta de 46 tubos de 1.5" de diámetro y 6' de largo. El área de cada tubo se expresa como sigue:

$$A = p(1.5/12)6 = 2.35 \text{ pies}^2$$

Mediante el programa que se enlista a continuación , el área requerida de transferencia es de  $10 \text{ mt}^2 \approx 108 \text{ pies}^2$ . Por lo tanto:

$$Nt = 108/2.35 = 46 \text{ tubos}$$

Este haz de tubos va a ocupar un diámetro de  $5' = 151 \text{ cm}$ , dejando un espacio de 1 pie de cada lado del calentador, el diámetro de la vasija será de  $7' = 2.12 \text{ mt}$

Por la parte superior, el calentador posee una brida cara realizada para la entrada de vapor , y por la parte inferior una conexión de tubo biselado para soldarlo con el colector interno o a otras conexiones.

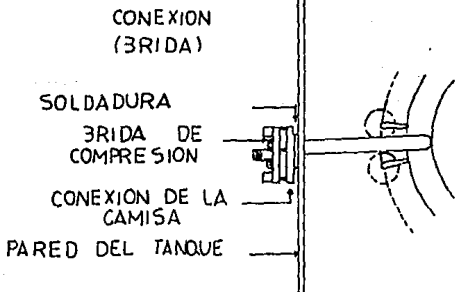
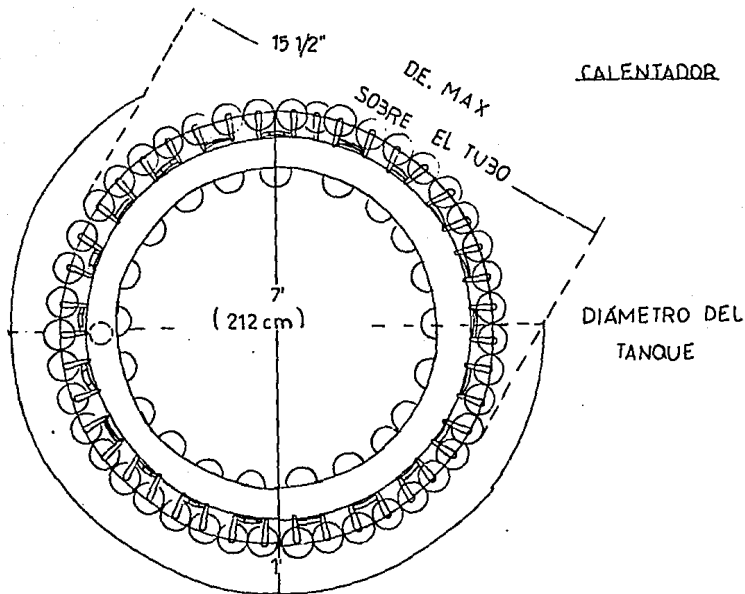


El calentador está fabricado en acero al carbón y puede ser desconectado fácilmente para el mantenimiento de la vasija.

A continuación se presenta un esquema del mismo, detallando principalmente la conexión del serpentín al exterior del tanque, y el haz de tubos del calentador.

El programa que se enlista está basado en las ecuaciones que se muestran y con la nomenclatura correspondiente :

- B → coeficiente de expansión térmica ( $1/°F$ )
- Cf → calor específico (BTU/lb  $°F$ )
- D → densidad (lb/ft<sup>3</sup>)
- Do → diámetro externo del cilindro (pulgadas)
- hi → coeficiente de transferencia de calor para el fluido interior (1500 BTU/hr-ft<sup>2</sup>- $°F$  para el vapor)
- hc → coeficiente de transferencia de calor para convección libre (BTU/hr-ft<sup>2</sup>- $°F$ )
- kf → conductividad térmica (BTU/hr-ft<sup>2</sup>( $°F$ /ft))
- Rd → factor de obstrucción (0.02 hr-ft<sup>2</sup>- $°F$ /BTU para la glicerina)
- T1 → temperatura del medio de calefacción ( $°F$ )
- t1 → temperatura inicial del tanque ( $°F$ )
- t2 → temperatura final del tanque ( $°F$ )
- w → tiempo (hr)
- Uc → coeficiente total limpio (BTU/ hr-ft<sup>2</sup>- $°F$ )
- Ud → coeficiente total de diseño (BTU/ hr-ft<sup>2</sup>- $°F$ )
- v → viscosidad (lb/hr-ft)
- Δ t diferencia de temperaturas ( $°F$ )



```

INPUT "TEMPERATURA FINAL=";TF
INPUT "TEMPERATURA INICIAL=";TO
DIM
S(100),F(100),C(100),D(100),T(500),SUM1(100),V(100),B(100),E(
100),G(100),UC(100),UD(100),J(100),SUM(100)
N= (TF - TO) / 10 + 1: PRINT "N=";N
D(1)= 1.186856
D(2)= 1.18073
D(3)= 1.1746
D(4)= 1.1684
D(5)= 1.16236
D(6)= 1.15623
D(7)= 1.1501.
D(8)= 1.14399
D(9)= 1.13786
T(1)=90
T(2)= 100
T(3)= 110
T(4)= 120
T(5)= 130
T(6)= 140
T(7)= 150
T(8)= 160
T(9)= 170
V(1)= 0.358371
V(2)= 0.3256
V(3)= 0.2928
V(4)= 0.26014
V(5)= 0.2274
V(6)= 0.19466
V(7)= 0.1619
V(8)= 0.1292
V(9)= 0.0964
SUM1(1) = 0
FOR I =1 TO N-1
S(I) = (D(I) + D(1 + I))/2
C(I) = 10/S(I)
F(I) = (1/D(I + 1) - 1/D(I)) / C(I)
PRINT "TEMPERATURA";I;"="; T(I) : PRINT "B" : I;"=";F(I)
SUM1(I) = SUM1( I - 1) + F(I)
NEXT I
PRINT "LA B PONDERADA ES DE ";SUM1 (N - 1) / (N - 1)
FOR I = 1 TO N
A = 4.4813 E-06
B(I)= A * D(I) ^ 2 / V(I)
G(I)= (270 - T(I)) / 0.0254
E(I)= 116 * ((G(I) * B(I)) ^ (.25))
PRINT "A LA TEMPERATURA DE "; T(I)
PRINT "EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA ES DE";E(I);KCAL/h
m2 C"
NEXT I
H = 2235
SUM (I) = 0

```

```
FOR I = 1 TO N
UC(I) = H * E(I) / (H + E(I))
UD(I) = (UC(I) / 0.02) / (UC(I) + 1/ 0.02)
PRINT "EL COEFICIENTE TOTAL LIMPIO =" ; UC(I)
PRINT "EL COEFICIENTE TOTAL DE DISEÑO ES =" ; UD(I)
SUM (I) = SUM (I-1) + UD(I)
NEXT I
J =292.07111938 / (SUM(N) / N)
PRINT "EL COEFICIENTE PROMEDIO GLOBAL ES DE" ; SUM(N) / N
PRINT "LA SUPERFICIE REQUERIDA ES DE' ; J; M2
```

TEMPERATURA 1 = 90  
B 1 = 5.174909E-4

TEMPERATURA 2 = 100  
B 2 = 5.2052596E-4

TEMPERATURA 3 = 110  
B 3 = 5.292385E-4

TEMPERATURA 4 = 120  
B 4 = 5.182981E-4

TEMPERATURA 5 = 130  
B 5 = 5.28769E-4

TEMPERATURA 6 = 140  
B 6 = 5.315818E-4

TEMPERATURA 7 = 150  
B 7 = 5.326713E-4

TEMPERATURA 8 = 160  
B 8 = 5.372962E-4

LA B PONDERADA ES DE 5.26984E-4

A LA TEMPERATURA DE 90  
EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA ES DE 68.95004 Kcal/h m<sup>2</sup> C

A LA TEMPERATURA DE 100  
EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA ES DE 69.44116 Kcal/h m<sup>2</sup> C

A LA TEMPERATURA DE 110  
EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA ES DE 70.05398 Kcal/h m<sup>2</sup> C

A LA TEMPERATURA DE 120  
EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA ES DE 70.81372 Kcal/h m<sup>2</sup> C

A LA TEMPERATURA DE 130  
EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA ES DE 71.79683 Kcal/h m<sup>2</sup> C

A LA TEMPERATURA DE 140  
EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA ES DE 73.07845 Kcal/h m<sup>2</sup> C

A LA TEMPERATURA DE 150  
EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA ES DE 74.80868 Kcal/h m<sup>2</sup> C

A LA TEMPERATURA DE 160  
EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA ES DE 77.24035 Kcal/h m<sup>2</sup> C

A LA TEMPERATURA DE 170  
EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA ES DE 80.93301 Kcal/h m<sup>2</sup> C

6/1

EL COEFICIENTE TOTAL LIMPIO = 66.88658  
EL COEFICIENTE TOTAL DE DISENO ES = 28.61175

EL COEFICIENTE TOTAL LIMPIO = 67.34865  
EL COEFICIENTE TOTAL DE DISENO ES = 28.69596

EL COEFICIENTE TOTAL LIMPIO = 67.92493  
EL COEFICIENTE TOTAL DE DISENO ES = 28.80007

EL COEFICIENTE TOTAL LIMPIO = 68.63897  
EL COEFICIENTE TOTAL DE DISENO ES = 28.92767

EL COEFICIENTE TOTAL LIMPIO = 69.56222  
EL COEFICIENTE TOTAL DE DISENO ES = 29.09039

EL COEFICIENTE TOTAL LIMPIO = 70.76464  
EL COEFICIENTE TOTAL DE DISENO ES = 29.5728

EL COEFICIENTE TOTAL LIMPIO = 74.66013  
EL COEFICIENTE TOTAL DE DISENO ES = 29.94547

EL COEFICIENTE TOTAL LIMPIO = 78.10471  
EL COEFICIENTE TOTAL DE DISENO ES = 30.48471

EL COEFICIENTE PROMEDIO GLOBAL ES DE 29.26971

LA SUPERFICIE REQUERIDA ES DE 9.978616 M2

ECUACIONES

$$B = \frac{(1/D1 - 1/D2)}{(D1 + D2)/2} \dots\dots\dots(1)$$

$$hc = 116((kf^3 D^2 Cf B) (b t/Do))^{0.25} \dots\dots\dots(2)$$

(v)

$$Uc = \frac{hi \cdot hc}{(hi+hc)} \dots\dots\dots(3)$$

$$Ud = \frac{Uc/(1/Rd)}{Uc+1/Rd} \dots\dots\dots(4)$$

$$\ln \frac{T1 - t1}{T1 - t2} = \frac{UAW}{M Cp} \dots\dots\dots(5)$$

FLUJO DE FLUIDOS

DIAMETRO DE LA TUBERIA

Para calcular el diámetro de la tubería, la velocidad que se recomienda para el flujo es de 5 ft/s.

Sabiendo que la densidad de la glicerina cruda es de 74.52 lb/ft<sup>3</sup>, el flujo másico viene dado por :

$$Q = 1000 \text{ Kg/hr (2.205 lb/Kg) (1/74.52 ft}^3\text{/lb) (1/3600 h/s)}$$

$$Q = 0.0082 \text{ ft}^3\text{/s} = 3.63 \text{ GPM}$$

$$S = Q/v$$

$$S = 0.0082 \text{ ft}^3\text{/s} / 5 \text{ ft/s}$$

$$S = 0.00164 \text{ ft}^2$$

Para calcular el diámetro sabemos que:

$$D = (4S/p)^{0.5}$$

$$D = 0.0458 \text{ ft} = 0.55"$$

En base a este valor, podemos considerar un diámetro para la brida de succión de 1", y para la brida de descarga uno de 3/4". Las dos tuberías son cédula 40.

Del Manual de Flujo de Fluidos (CRANE), se obtienen los valores para diámetros internos de tubería y superficie, teniendo así lo siguiente :

TUBERIA	DIAMETRO INTERNO (ft)	SUPERFICIE (ft <sup>2</sup> )
3/4"	0.113	0.00371
1"	0.133	0.0060

Tenemos así que la velocidad real del líquido es de :

$$V = Q/S = 0.0082/0.00371$$

$$V = 2.2 \text{ ft/s}$$

#### LONGITUD EQUIVALENTE

ACCESORIO	L/D
Tubo recto de 1" ( 5 ft )	40
Tubo recto de 3/4" ( 20 ft )	240
1 Válvula de compuerta	8
1 Válvula check	37
1 Válvula de globo	35
1 Entrada	30
1 Salida	15
TOTAL	405

$$N_{re} = 2.2 \text{ ft/s} (1.205) (62.4) (1/12) / (0.4566 * 6.72E-4)$$

$$N_{re} = 4.4927 E4$$

Del Manual de Flujo de Fluidos (CRANE) obtenemos el factor de fricción con un valor de :

$$f = 0.026$$



Teniendo estos datos, podemos calcular el Bernoulli que viene dado por:

$$P_1/D + z_1g/gc + v_1^2/(2gc) + H_b = P_2/D + z_2g/gc + v_2^2/(2gc) + h_{fs}$$

Tomando como referencia el tanque de almacenamiento (F-101), podemos designarlo como el punto uno y considerar la velocidad nula, teniendo:

$$H_b = 144(P_2 - P_1)/D + (z_2 - z_1)/gc + v_2^2/(2gc) + h_{fs} + p_I/D$$

entendiendo  $p_I$  como la caída de presión por parte del intercambiador, la cual se va a considerar de 10 psi :

$$P_2/D = P_1/D + z_2g/gc + P_{vc} - h_{fs} \quad (1-2)$$

Sabiendo que  $h_{fs} = f(L/D)v^2/2g$

$$h_{fs} = 0.79139 = h_{fs} \quad (1-2)$$

$$h_{fs1} = 0.2081$$

$$P_{vc} = 0.43 h_{fs} = 0.3403 \text{ lb}_f\text{ft}/\text{lb}_m = 5 \text{ lb}_f\text{ft}/\text{lb}_m$$

(se toma el valor de 5 ya que es el mínimo para poder regular la válvula)

$$P_2/D = 27.5$$

$$P_1/D = P_s/D + h_{fs1}$$

$$P_1/D = 18.5 + 0.2081 = 18.7081$$

$$H_b = 144(27.5 - 18.7081)/(62.4 * 1.205) + (13.91 - 11.5) + \underline{(2.7)^2/64.4} + 0.025(2.7^2)(405)/(64.4 * 1.205) + 10(144)/(64.4 * 1.205)$$

(El término subrayado se desprecia por ser un valor muy pequeño)

$$H_b = 38.45 \text{ lb}_f\text{ft}/\text{lb}_m$$

NPSH

$$NPSH = (P_1 - P_v) * 2.31/D_L + v^2/2gc$$

De tablas obtenemos el valor de la presión de vapor ( $P_v$ ), siendo ésta de 1.16 lb/in<sup>2</sup>.

$$NPSH = 41 \text{ ft}$$

#### POTENCIA DE LA BOMBA

$$Pt = 38.5 \text{ lb}_f \text{ft} / \text{lb}_m * (3.63 \text{ GPM}) * 1.205 \text{ lb} / \text{ft}^3 / 3960 * n$$

$$Pt = 0.0425 / n \text{ HP}$$

A estas condiciones, la eficiencia de la bomba es del 68% , quedando así :

$$\text{BHP}_{\text{req}} = 0.0425 / 0.68$$

$$\text{BHP}_{\text{req}} = 0.0625 \text{ HP}$$

#### INTERCAMBIADOR DE CALOR

Para el diseño del equipo debemos tener las siguientes consideraciones:

- El intercambiador que se recomienda es de tubos y coraza.
- El vapor de agua proveniente del tambor expansor será el medio de calentamiento e irá por la coraza.
- La lejía tratada irá por los tubos debido a su corrosividad.

T1 = Temperatura de entrada por los tubos

T2 = Temperatura de salida por los tubos

t1 = Temperatura de entrada por la coraza

t2 = Temperatura de salida por la coraza

$$Qg = 1,000 \text{ Kg/hr} * 0.4969 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C} * (90 - 60)^{\circ}\text{C}$$

$$Qg = 14,907 \text{ Kcal/hr} = 59,155 \text{ BTU/hr}$$

Calor latente del vapor a 225°F = 962 BTU/lb

Masa del vapor = 61.5 lb/hr

$$LMTD = \frac{(t_1 - T_2) - (t_2 - T_1)}{\ln \frac{(t_1 - T_2)}{(t_2 - T_1)}}$$

$$LMTD = 53.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Rd glicerina = 0.007

Suponiendo un  $U_D = 100$  tenemos:

$$A = \frac{Q}{U_D \Delta T} = 11 \text{ ft}^2$$

#### GEOMETRIA

Para esta superficie, recomendamos tubos 14 BWG de 3/4" en un pitch triangular de 1" con una longitud de 6 pies.

Con estos datos, en la tabla del Kern ( Procesos de transferencia de calor) aparece el area externa de superficie (as) con un valor de 0.1963 pies<sup>2</sup>/pie lineal.

Así, el número de tubos es de:

$$N_t = 11 / (0.1963 * 6) = 9.3 = 9 \text{ tubos}$$

Igualmente localizamos el diámetro de la coraza que más se aproxime al número de tubos, siendo este de 8" con un número de tubos de 12 :

$U_D$  corregido =

$$A = 12 * 6 * 0.1936 = 14 \text{ pies}^2$$

$$U_D = 59,155 / (14 * (194.^\circ\text{F} - 140.^\circ\text{F}))$$

$$U_D = 78$$

FLUIDO FRIO : LEJIA - TUBOS

Con la geometría especificada, en tablas del Kern ( Procesos de transferencia de calor ) encontramos que el area interna del tubo es de 0.2679 pulg<sup>2</sup> (af):

$$a_t = N_t * af / 144n$$

$$a_t = 12 * 0.2679 / (144 * 2)$$

$$a_t = 0.0111 \text{ pie}^2$$

Masa Velocidad

$$G_t = w / a_t = 2,205 / 0.0111$$

$$G_t = 198,649 \text{ lb/hr-pie}^2$$

a 167°F

$$v = 0.3993 * 2.42 = 0.966 \text{ lb/hr-pie}$$

Diámetro equivalente :

$$D_e = 0.584 \text{ pulg}/12$$

$$D_e = 0.0486 \text{ pie}$$

Número de Reynolds :

$$NRe = G_t D_e / v$$

$$NRe = 9,994$$

En tablas, el factor de fricción es :

$$f = 0.000275$$

Con el número de Reynolds buscamos en tablas el valor de jH :

$$jH = 40$$

a 167°F, la conductividad térmica es :

$$K = 0.189 \text{ BTU/hr-pie}^2 (\text{°F/pie})$$

$$(cv/k)^{1/3} = (0.4969 * 0.966 / 0.189)^{1/3} = 1.3643$$

Coefficiente de película por el lado de los tubos

$$h_o = jH * k / D_e * ((cv/k)^{1/3})$$

$$h_o = 212 \text{ BTU/hr-pie}^2 \text{°F}$$

Para la lejía, el valor de la densidad es de 1.22

CAIDA DE PRESION POR EL LAZO DE LOS TUBOS

$$\Delta P = \frac{f \cdot G^2 \cdot L_n}{5.22 \cdot 10^{10} \cdot D_{e,ss}}$$

s = relación de viscosidades = 1

$$\Delta P = \frac{(0.000275) (198.649)^2 (6) (2)}{5.22 \cdot 10^{10} (0.0486) (1.22)}$$

$$\Delta P = 0.042 \text{ psi}$$

Caída de presión por retornos :

$$\Delta P_r = (4n/s) (v^2/2g')$$

donde :

n 6 número de pasos

v 6 velocidad del fluido

$$\Delta P_r = (4 \cdot 2 / 1.22) (2.2^2 / 64.4)$$

$$\Delta P_r = 0.4928 \text{ psi}$$

La caída total por los tubos es de :

$$\Delta P_t = 0.42 + 0.4928 = 0.5348 \text{ psi}$$

FLUIDO CALIENTE : VAPOR - CORAZA

Area de flujo:

$$a_s = Di \cdot C' \cdot B / 144Pt$$

$$a_s = 8'' \cdot 0.25 \cdot 10 / 144 (1)$$

$$a_s = 0.138 \text{ pie}^2$$

Masa Velocidad:

$$G_s = 61.5 / 0.138$$

$$G_s = 445.66 \text{ lb/hr-pie}^2$$

A 225.F

$$v = 0.013 \cdot 2.42 = 0.0314 \text{ lb/hr-pie}$$

Diámetro equivalente:

$$D_e = 0.99 / 12 = 0.0825$$

Número de Reynolds:

$$NRe = G_s D_e / v$$

$$NRe = (445.66) (0.0825) / 0.0314 = 1,171$$

En tablas el factor de fricción es :

$$f = 0.0035$$

Para el vapor, el coeficiente de película por el lado de la coraza se toma como 1,500 BTU/hr-pie<sup>2</sup>.F, mientras que su factor de obstrucción se considera de 0.0005(hr)(ft<sup>2</sup>)(.F)/Btu.

El volumen específico del vapor a 225.F es de = 21 pie<sup>3</sup>/lb, por lo que la densidad del vapor es de :

$$d = 1/21 = 0.0477 \text{ lb/pie}^3$$

$$s = 0.0477/62.4 = 0.00076$$

$$\begin{aligned} \text{Número de cruces} = N+1 &= 12L/B \\ &= 12(6)/10 = 7 \end{aligned}$$

Diámetro de la coraza :

$$D_i = 8/12 = 0.666$$

CAIDA DE PRESION POR EL LADO DE LA CORAZA

$$\Delta P = \frac{f G_e D_i^2 (N+1)}{5.22 \cdot 10^{10} D_i s^* s}$$

s = relación entre viscosidades = 1

$$\Delta P = \frac{0.0035(445.66)^2 (0.666)(7)}{5.22 \cdot 10^{10} (0.0825)(0.00076)(1)}$$

$$\Delta P = 1E-3 \text{ psi} = \text{despreciable}$$

COEFICIENTE TOTAL LIMPIO U<sub>c</sub>

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} + R_{d_{\text{glic.}}} + R_{d_{\text{vap.}}}$$

$$\frac{1}{U_c} = \frac{1}{212} + \frac{1}{1500} + .007 + 0.0005$$

$$U_c = 77.6 \text{ Btu}/(\text{hr})(\text{ft}^2)(\text{.}^\circ\text{F})$$

## V) EVALUACION ECONOMICA

### V.1) COSTOS E INVERSIONES

Teniendo este panorama general podemos concluir que la instalación de una planta purificadora de glicerina es altamente recomendable, tanto para la compañía instalada, como para el país ya que serviría como promotora para la creación de más plantas de este tipo. Su demanda es grande y la oferta del producto es pequeña, su uso es amplio y su manejo no requiere de medidas de alta seguridad, la materia prima está disponible a un bajo costo y el proceso para purificarla no involucra ningún tipo de reacción química que pudiera ser peligrosa.

Los datos que a continuación presentamos fueron obtenidos de una planta existente con un efluente de producto de aproximadamente 8 tons por día :

Costo de la materia prima (lejía tratada) = \$200.00 Kg.

Costo de la glicerina Q.P. = \$3,500.00 Kg.

Costo de la glicerina dinamita = \$3,000.00 Kg.

Producción diaria aproximada :

Glicerina Q.P. = 4,900 Kg

Glicerina dinamita = 1,600 Kg

Considerando 8 tons. de materia prima, tenemos un total de ingresos diario de :

$$G = 4,900(3,500) + 1,600(3,000) - 8000(200) = \$20,350,000.00$$

Este total si se hace el cálculo por mes, considerando que se trabajen 300 días al año y un turno de 8 horas diarias tenemos :

$$G_t = 20,350,000\$/\text{día} * 300 \text{ día/año}$$

$$G_t = \$6,105 \text{ millones de pesos anuales}$$



La distribución de los recursos totales es la siguiente:

INVERSION TOTAL = INVERSION FIJA + CAPITAL DE TRABAJO

La INVERSION FIJA comprende:

- a) Terreno
- b) Edificio
- c) Equipo e instalación del mismo
- d) Instrumentación y tuberías
- e) Laboratorio y oficinas
- f) Costo de ingeniería y construcción
- g) Contingencias
- h) Depreciación

CAPITAL DE TRABAJO

- a) Materias Primas
- b) Mano de obra
- c) Mantenimiento
- d) Gastos de personal y administrativos
- e) Servicios

INVERSION FIJA

a) Terreno.-Se tiene una superficie de  $100 \text{ m}^2$ . El costo del terreno sin construir en Cd. Vallejo es de  $\$300,000/\text{m}^2$ , dando un total de : \$30 millones M.N.

b) Edificios.-La nave ya está construida, de hecho se pretende utilizar una parte de ésta para la instalación del equipo de la planta recuperadora, ya que la compañía necesitaba de éste para beneficio de la empresa.

Se evaluó el costo de esta construcción en un estimado de \$200 millones M.N.

c) Equipo

- Dos tanques con capacidad de 8,000 lts. Los tanques a utilizar de acuerdo con el API 550 serán de las siguientes especificaciones:  
Material de construcción : Acero al carbón (A-285 Gr C)  
Ancho de la lámina : 3/16"  
Diametro requerido :1.72 mts.

El tanque será cilíndrico vertical, de fondo plano y con una descarga lateral de 3" de diámetro.  
Costo estimado: \$10 millones M.N.

-Una bomba rotatoria de engranes de 20 GPM siendo su costo de \$8 millones M.N.

-Un intercambiador de calor de 4 pasos, fabricado en acero inoxidable y con un costo de \$80 millones M.N.

- Un calentador de inmersión para convección natural con tubos verticales y fabricado con acero al carbón utilizado para la calent el recipiente. Su costo aproximado es de \$45 millones

-Un recipiente con una capacidad de 8 m<sup>3</sup>, enchaquetado con lana mineral y fabricado con una aleación de Níquel y acero inoxidable. Costo : \$150 millones de pesos.

-Un separador centrífugo utilizado como un equipo protector para cualquier falla, se cotizó en \$20 millones M.N.

-Una serie de condensadores en serie, dos fabricados con tubos verticales ,y el otro con tubos horizontales tienen un costo de aproximadamente \$100 millones M.N.

-Un tubo colector, diseñado para captar la glicerina Q.P., tiene un costo de \$10 millones M.N.

-Las tres cámaras requeridas para coleccionar la glicerina proveniente del tubo colector y del último condensador, hacen un total de \$15 millones M.N.

-Un equipo de vacío, que consiste principalmente en un sistema de eyectores y un condensador de superficie, tienen un costo aproximado de \$118 millones M.N.

**-COSTO DEL EQUIPO**

De acuerdo con el método de Chilton, el costo de equipo mayor se multiplica por 1.15 :

$$\text{Total del equipo} = \$556 \text{ millones} * 1.15 = \$639.4 \text{ millones}$$

**-COSTO DEL EQUIPO INSTALADO**

Chilton establece que la variación de costos para la instalación de una planta mediana está entre el 20% y el 30% del costo del equipo. Para nuestro caso utilizaremos el 20% ,quedando así :

$$639.4 * 0.2 = \$127.9 \text{ millones}$$

**-COSTO DEL EQUIPO Y SU INSTALACION (COSTO TOTAL)**

$$639.4 + 127.9 = \$767.3 \text{ millones}$$

**d) Instrumentación y tuberías**

Para plantas que manejan fluidos, el costo de la tubería es aproximadamente un 10% del costo total ;

$$767.3 * 0.10 = \$76.73 \text{ millones}$$

**-COSTO DE LA INSTRUMENTACION**

Su costo aproximado es del 5% del costo total :

$$767.3 * 0.05 = \$38.365 \text{ millones}$$

$$\text{TOTAL} = 76.73 + 38.365 = \$115.1 \text{ millones}$$

e) Equipo de laboratorio y oficinas \$100 millones M.N.  
(implementación del existente)

TOTAL DE LOS CONCEPTOS (TOTAL) : a) b) c) d) y e) = \$1,212.4 millones

f) Costo de ingeniería y construcción

Para plantas sencillas el costo de ingeniería y construcción es aproximadamente del 15% del total :  $1,212.4 * 0.15 = \$181.86$  millones

g) Contingencias

Cuando el proceso es firme y los cambios en ingeniería mínimos, el costo de las contingencias representa un 10% del total :

$$1,212.4 * 0.1 = \$121.24 \text{ millones}$$

h) Depreciación.- Considerando las leyes vigentes en nuestro país, consideraremos una vida útil del equipo de 10 años, y por un método estadístico( línea recta ) obtenemos : \$101.5 millones

TOTAL DE LA INVERSION FIJA

Terreno	\$ 30	millones
Edificios	\$200	millones
Equipo e instalación	\$767.3	millones
Instrumentación y tuberías	\$115.1	millones
Equipo de laboratorio y oficinas	\$100	millones
Costo de ingeniería construcción	\$181.86	millones
Contingencias	\$121.24	millones
Depreciación(por el método de la línea recta, con un valor de salvamento de \$500 millones).	-----	
TOTAL	\$1,617	millones

## CAPITAL DE TRABAJO

a) Materias Primas.-De acuerdo al balance de materia prima previamente expuesto tenemos lo siguiente:

8 tons/día = 2400 tons/año de lejía tratada  
a razón de \$200.00/kg \$0.48 millones

b) Mano de Obra. (Base anual)

1 Ingeniero químico	\$4 millones mensuales	\$48.00 millones
1 Laboratorista	\$1.2 millones mensuales	\$14.40 millones
5 Obreros	\$0.380 millones mensuales	\$22.80 millones
Prestaciones (Serv. médicos, incidentivos) 64% sueldos		\$54.53 millones
		-----
TOTAL		\$140.21 MILLONES

c) Gastos de Administración y ventas

Gastos de administración:

1 Gerente	\$5 millones mensuales	\$60.00 millones
1 Contador	\$3.5 millones mensuales	\$42.00 millones
1 Secretario	\$1 millones mensuales	\$12.00 millones

Gastos de venta y distribución:

3 Agentes de Ventas	\$1.5 millones mensuales	\$54.00 millones
2 Distribuidores	\$1.2 millones mensuales	\$21.60 millones
1 Secretaria	\$1.0 millones mensuales	\$12.00 millones
Prestaciones ( 64% del sueldo)		\$129.00 millones
		-----

TOTAL \$330.6 MILLONES

d) Mantenimiento.- El valor es aproximadamente del 5 al 15% del costo del equipo y su instalación. Tomando un 10% : \$76.72 millones

e) Servicios auxiliares .-Se toma entre el 0 y 5% sobre el costo del equipo, debido a que se cuentan con los servicios ya instalados de la compañía. Tomando un 5% : \$38.36 millones

**TOTAL DEL CAPITAL DE TRABAJO:**

Materias Primas	\$ 0.48 millones
Mano de Obra	\$140.21 millones
Gastos de administración y ventas	\$330.6 millones
Mantenimiento	\$ 76.72 millones
Servicios	\$ 38.36 millones
	-----
	\$586.37 MILLONES

**INVERSION TOTAL = INVERSION FIJA + CAPITAL DE TRABAJO**

**INVERSION TOTAL = 1617 + 586.37 = \$2,203.37 millones M.N.**

## V.2)UTILIDAD Y RENTABILIDAD

Para este cálculo se tiene que,por conceptos de ingresos mercantiles se paga el 5% de las ventas brutas, obtenido a partir de la diferencia de las ventas netas.A éstas se les resta la inversión total para obtener las utilidades brutas. Por último,consultando la Ley del Impuesto sobre la Renta, se puede ver que la utilidad se encuentra gravada con el 50% por concepto del Impuesto Sobre el Ingreso Global; la diferencia final es la utilidad neta.

Ventas Brutas	\$6,105.00 millones
Ingresos Mercantiles	- \$ 305.25 millones
Ventas Netas	--- \$5,799.75. millones
Inversión Total	- \$2,203.37 millones -----
Utilidad Bruta	\$3,596.38 millones
Impuestos Sobre Ingreso Global	-1,798.19 millones -----
UTILIDAD NETA :	\$1,798.19 millones

RENTABILIDAD DEL CAPITAL =  $1,798.19/2,203.37 * 100$

RENTABILIDAD DEL CAPITAL =  $81.6 \% = 82\%$

La rentabilidad del capital es aceptable,considerando el aumento de los impuestos mercantiles y el impuesto sobre el ingreso total en los últimos tres años a la fecha. El futuro de esta planta bien administrada es de gran éxito; México necesita de personas decididas a mejorar nuestro país, invirtiendo en empresas que puedan ser redituables y compatibles con la producción internacional.

## VI) RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

### VI.1) ELIMINACION DE PERDIDAS DE GLICERINA

Se presenta a continuación un análisis de resultados obtenidos durante la elaboración del proyecto :

- 1) La detección de los problemas operacionales existentes durante el proceso.
- 2) El establecimiento de una metodología para la resolución de los mismos y la optimización del proceso, la cual resultó ser del 45% de la capacidad de la planta.

La metodología propuesta se basa principalmente en llevar un control estricto de glicerina contable en cada una de las etapas. Para ello se van a tratar todos los procesos en donde el contenido de glicerina es importante:

#### REPOSO DE LA LEJIA

- Asentamiento parcial de la lejía por parte del departamento de manufactura del jabón.
- Jabón asentado, que es regresado al departamento de manufactura del jabón.
- Lodos desechadas.
- +Lejía reposada transferida al proceso de tratamiento.

#### TRATAMIENTO DE LA LEJIA

- Material residual del proceso desechado.
- Tortas del filtro prensa, desechadas.
- +Lejía tratada transferida al proceso de evaporación.

#### EVAPORACION

- Sal recuperada, transferida a la manufactura del jabón.
- Sal con alto contenido de sulfatos, desechadas.
- +Glicerina cruda transferida al proceso de destilación.



#### DESTILACION

- Destilados del primer y segundo condensador transferidos al departamento de blanqueo.
- El tercer destilado es vendido o redestilado.
- Las borras de la vasija destiladora, desechadas.

#### BLANQUEO

- Grado medicinal/dental y de "alto grado" de glicerina transferidos fuera del departamento de glicerina.
- Torta del filtro prensa, desechado.

Se implementaron los controles de producción necesarios para cada departamento, teniendo así, un balance adecuado de materia.

#### VI.2) ACCIONES CORRECTIVAS SOBRE LAS PERDIDAS DE GLICERINA

Las acciones correctivas que se implementaron para solucionar las causas reales de pérdidas de glicerina se mencionan a continuación :

#### CAUSA

#### RECOMENDACION

##### -REPOSO DE LA LEJIA

Degradación microbiológica

Almacenar la lejía en lugares limpios y cerrados. Minimizar el tiempo de almacenamiento.

##### -TRATAMIENTO DE LA LEJIA

Lodos del filtro prensa

Monitorear el contenido de glicerina en los lodos del filtro. Considerar el lavar el precipitado mientras permanece en el filtro

## -EVAPORACION

Fugas de masa del proceso por elementos defectuosos del equipo

Antes de arrancar el equipo, checar el condensado en el equipo para iones  $Cl^-$ . Si dichos iones están presentes, tomar acciones correctivas

Arrastre

Arrastre es un problema frecuente; un detector de conductividad después del separador y antes del sistema de vacío. El detector detecta sal, la cual viene acompañada de glicerina y otros materiales.

Boilover

El escape del evaporador de altas cantidades de espuma o de la masa del líquido se atribuye a:

- Calidad pobre de la lejía
- Cambios en el contenido de agua de la lejía tratada.

Evaporación Súbita

Esto es el resultado de cambios repentinos en la temperatura de operación o en la presión absoluta del sistema.

Pérdidas de vapores de glicerina  
al sistema de vacío

Descomposición térmica de la  
glicerina

#### -DESTILACION

Arrastre,boilover y evaporación  
súbita

Pérdidas de vapores de glicerina  
al sistema de vacío

Mientras la evaporación proce-  
de hacia el punto donde el lí-  
quido alcanza la composición  
de la glicerina cruda, la con-  
centración en el vapor de gli-  
cerina es baja. La evaporación  
debe ser llevada abajo de este  
punto, así la concentración de  
glicerina en el vapor aumenta  
rápidamente, ya que es una fun-  
ción exponencial de la concen-  
tración de glicerina en el lí-  
quido.

A temperaturas muy altas, la  
glicerina sufre descomposición  
orgánica. De ahí que se tenga  
mucho cuidado en el sistema de  
vacío y no aumentar la tempera-  
tura para compensar el efecto  
obtenido.

Las recomendaciones hechas para  
la evaporación son casi las  
mismas que para la destilación:  
-Operar a las condiciones  
prescritas.

-Asegurarse que el material sea  
de buena calidad.

Estos problemas son más severos  
aquí que en la evaporación, ya  
que la glicerina se vaporiza  
deliberadamente. Las temperatu-

Esterificación con ácidos grasos  
o con jabón.

Borras de la vasija compuestas  
principalmente por políglicerol  
y glicerina monomérica atrapada

ras de operación de los tres  
condensadores se especificaron  
de esa manera para que los  
vapores de glicerina no se per-  
dieran en el sistema de vacío.

Se mencionó anteriormente la  
importancia de inhibir la este-  
rificación con la adición de un  
álcali débil a la vasija misma  
de destilación. La pérdida de  
glicerina puede ser determinada  
midiendo la cantidad de éster  
en el destilado.

El conteo de glicerina perdida  
es importante para saber la  
magnitud de políglicerol y  
glicerina monomérica arrastrada

Varios métodos de análisis de  
estos deshechos se han  
realizado, como el método del  
dicromato o del periodato, don-  
los resultados se analizan co-  
como sigue :

‡ Glicerina Monomérica = ‡ Gli-  
cerina por el método del  
periodato.

‡ Políglicerol = ‡ Glicerina  
por el método del dicromato -

‡ Glicerina del método del  
periodato.

La glicerina reacciona con el ácido periódico porque contiene grupos OH vecinales. El poliglicerol no reacciona esencialmente porque contiene si acaso, muy pocos grupos.

Productos volátiles debido a la deshidratación de la glicerina, tales como la acroelina.

Debido a la dificultad de medir la severidad de esta pérdida, es mejor tomar acciones preventivas : mantenga la masa destilada ligeramente alcalina con un álcali débil y agregue  $\text{Na}_4\text{EDTA}$  a la vasija antes de la destilación.

### VI.3) PERDIDAS PERMISIBLES PARA LAS ETAPAS DE RECUPERACION DE LA GLICERINA

La siguiente tabla establece las pérdidas óptimas tanto técnica como económicamente que tenerse en cada una de las etapas del proceso de purificación de la glicerina :

ETAPA	PERDIDA ACEPTADA (%)
-Reposo de lejía	0.1
-Tratamiento de la lejía	0.3
-Evaporación	1.0
-Destilación	4.0
-Blanqueo	ninguna

Para aplicar estos estándares, debemos considerar los siguientes puntos :

- En un batch (8 horas) de un proceso de saponificación debe quedar, por lo menos, un 9.2% de la glicerina disponible en el jabón húmedo.

- Si la planta satisface con las pérdidas antes descritas, un 6.9% adicional de la glicerina disponible se pierde debido al alcance teórico de ésta en la saponificación de grasas y aceites.

- La pérdida total de glicerina disponible en una planta es del 16.1% (9.2% + 6.9%), planta que satisface con las normas y estándares de la manufactura del jabón y recuperación de la glicerina.

Actualmente se estudian nuevas tecnologías para las principales fallas que se tienen en una planta de este tipo. Los dos objetivos a tratar son, principalmente :

-Remover la sal de las lejías de glicerina (para mejorar la eficiencia de la etapa de evaporación)

-Alternativas para la etapa de destilación (para mejorar el rendimiento de glicerina).

Las nuevas tecnologías desarrolladas tienen muy poca aplicación en la actualidad sin embargo, existen sugerencias en la literatura científica para la recuperación de glicerina.

Es por ello que los nuevos diseños que se realicen tomen en cuenta estas nuevas tecnologías para incrementar la producción de una manera considerable y salir de lo convencional para enfrentarnos con toda la nueva tecnología que está desarrollándose día con día.

#### VI.4) CONCLUSIONES

Después de realizar el presente trabajo se obtuvieron las siguientes conclusiones :

1.- Se establece sin lugar a duda la factibilidad técnica-económica del proyecto propuesto.

2.- Se definen los parámetros técnicos de carácter básico para la realización del proyecto. Dentro de estos se presentan las mejoras al equipo ya existente de destilación como es el uso de un calentador de inmersión en lugar de serpentines que servían como medio de calentamiento para el recipiente.

3.- Se establece el punto de equilibrio (punto óptimo) para que la planta opere con una producción aceptable y un consumo bajo de servicios auxiliares, electricidad, agua, etc., siendo este valor del 45% de la capacidad de la planta.

Asimismo, el estudio de mercado realizado nos muestra que el consumo nacional de glicerina es grande comparado con la producción de la planta, por lo que no existe problema alguno para la penetración al mercado de esta compañía.

Como se puede observar, el presente trabajo no sólo estudió el proceso de una manera general, si no también da las herramientas necesarias para todo aquél que se interese en la construcción de una planta para purificar glicerina a partir de lejías jabonosas.

# APENDICE

## A



En la siguiente tabla se muestran las densidades con respecto a la temperatura y al porcentaje de la glicerina en la solución :

<u>DENSIDADES DE SOLUCIONES DE GLICERINA-AGUA (gr/ml)</u>			
<u>GLICERINA(%)</u>	<u>15°C</u>	<u>20°C</u>	<u>30°C</u>
100	1.26445	1.26108	1.25495
90	1.23810	1.23510	1.22890
80	1.21160	1.20850	1.20240
70	1.18415	1.18125	1.17565
60	1.15650	1.15380	1.14830
50	1.12870	1.12630	1.12110
40	1.10145	1.09930	1.09175
30	1.07455	1.07270	1.06855
20	1.04840	1.04690	1.04350
10	1.02325	1.02210	1.01905
5	1.01120	1.01015	1.00735
0	0.99913	0.99823	0.99568

A continuación se enuncian las especificaciones más generales de la glicerina:

#### SOLUBILIDAD

La glicerina es miscible en agua y en alcoholes de bajo peso molecular. Posee una solubilidad limitada en solventes polares orgánicos, tales como éteres, ésteres y cetonas. Es prácticamente insoluble en solventes no polares, como los hidrocarburos.

#### GRAVEDAD ESPECIFICA

Debe de ser no menor a 1.249, indicando esto, un contenido de glicerina no menor al 95%

**PUNTO DE EBULLICION Y FUSION**

El punto de ebullición de la glicerina de alta pureza es sorprendentemente alto, aproximadamente de 290°C a presiones atmosféricas y sufriendo descomposición. Su punto de fusión es también alto, de 20°C, pero la cristalización puede ser inducida solamente a muy bajas temperaturas y por un largo periodo de tiempo.

**PUNTOS DE EBULLICION DE SOLUCIONES GLICERINA-AGUA (°C)**

<u>PRESION (mm Hg)</u>	<u>100</u>	<u>200</u>	<u>500</u>	<u>600</u>	<u>760</u>
Agua pura	51.6	66.4	88.7	93.5	100.0
Glicerina (%)					
10	34.4	67.0	89.5	94.3	100.9
20	52.7	67.7	90.3	95.2	101.8
30	53.4	68.6	91.3	96.2	102.8
40	54.4	69.5	92.4	97.3	104.0
50	55.7	71.1	94.2	99.2	106.0
60	58.0	73.5	97.0	102.1	109.0
70	61.7	77.6	101.4	106.6	113.6
80	68.2	84.3	108.7	113.9	121.0
90	80.2	97.7	124.4	130.2	138.0
Glicerina Q.P.	227.3	246.8	275.7	281.8	290.0

PRESIONES DE VAPOR DE LA GLICERINA Y DEL AGUA

PRESIONES DE VAPOR(mm Hg).

<u>TEMPERATURA(°C)</u>	<u>AGUA</u>	<u>GLICERINA</u>
20	18	
30	32	
40	55	
50	93	
60	149	
70	234	
80	355	
90	526	
100	760	
120		1
140		2
160		7
180		18
200		45
290*		760

\* La glicerina se descompone aproximadamente a 290°C

CALOR ESPECIFICO DE SOLUCIONES DE GLICERINA

<u>GLICERINA %</u>	<u>CALOR ESPECIFICO(cal/gr °C)</u>
6.2	0.8233
8.0	0.7841
16.4	0.7313
55.5	0.6039
87.0	0.4969

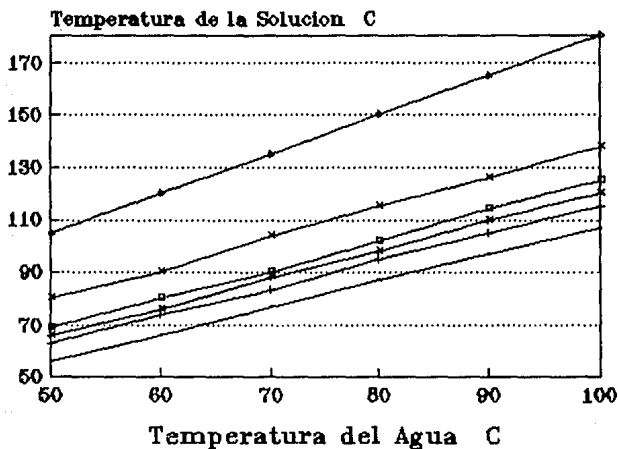
VISCOSIDADES ABSOLUTAS DE SOLUCIONES  
GLICERINA-AGUA(cp)

<u>GLICERINA(%)</u>	<u>20°C</u>	<u>25°C</u>	<u>30°C</u>
0.00	1.005	0.893	0.800
5.00	1.143	1.010	0.900
10.00	1.311	1.153	1.024
15.00	1.517	1.331	1.174
20.00	1.542	1.542	1.360
25.00	2.095	1.810	1.590
30.00	2.501	2.157	1.876

# DIAGRAMA DE DUHRING

## SISTEMA GLICERINA-AGUA

### SATURADO CON NaCl

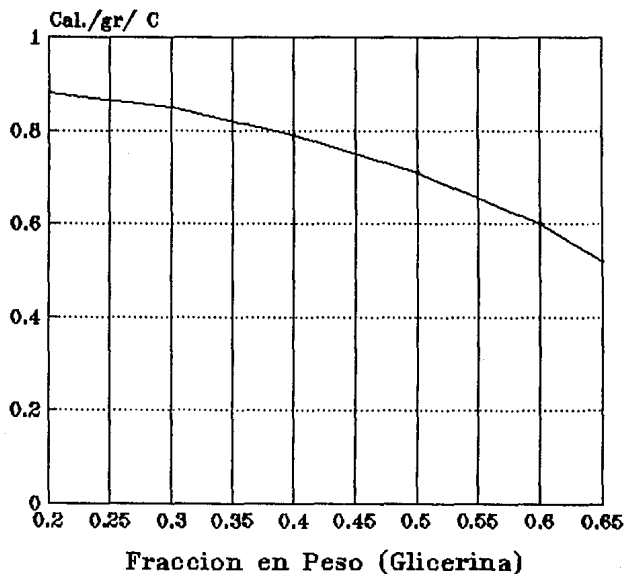


Conc. Glicerina		
—	+	*
10.46%	60.10%	69.99%
—□—	—x—	—●—
76.83%	86.22%	96.84%

ht

# CALORES ESPECIFICOS

## Sol. Acuosa de Glicerina



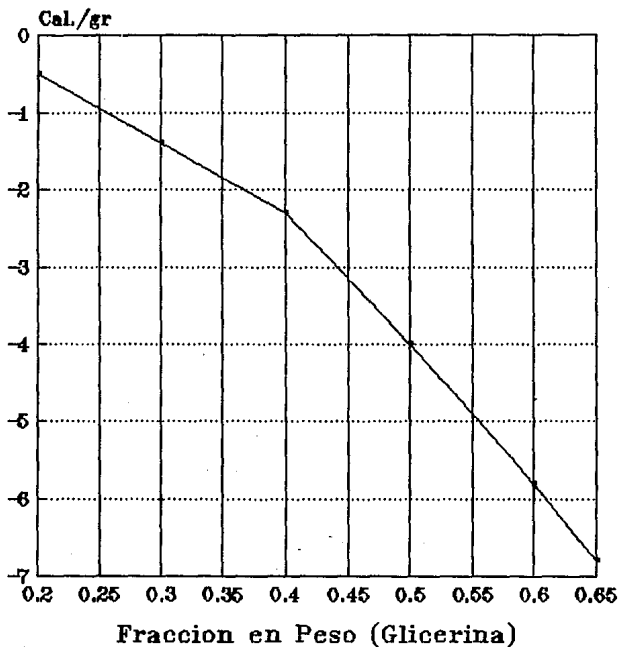
— Punto de Congelacion

st

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

# CALORES DE SOLUCION

## Sistema Glicerina-Agua



# APENDICE

## B



## USOS

### ALIMENTOS Y BEBIDAS

El poder solvente que posee la glicerina resulta de gran uso para saborizantes y extractos. Ha sido utilizado en sabores cítricos y de vainilla, en el café y en extractos de toda clase.

La glicerina es utilizada también como producto auxiliar para la fermentación de alcohol; está presente en la cerveza en un 0.09% - 0.18% y en el vino puede llegar hasta un 10% en el contenido de alcohol.

Para congelar vegetales por inmersión, se utiliza una solución conteniendo el 15% de glicerina y un 15% de sal en agua. Las ventajas de esta solución sobre otras es que los colores se preservan, no existe la posibilidad de que los vegetales resulten salados o que se endurezcan debido a su alto contenido de sal.

### MEDICINA

La glicerina Q.P. es utilizada como solvente así como humectante en productos farmacéuticos. La característica principal que se requiere para su uso, es su no toxicidad.

Preparaciones multivitamínicas dispersibles en agua, pueden ser adicionadas en productos acuosos y en tónicos. Las vitaminas son incorporadas a una solución de alcohol etílico y un agente de mezcla, en este caso, la glicerina.

### RESINAS ALQUIDALES

Las resinas alquidales, base glicerina, son ampliamente utilizadas como recubrimientos de áreas debido a que conservan su brillo y apariencia original por un período largo. Además han ido reemplazando a las lacas y barnices de secado rápido, y por otro lado, provee las bases para pinturas con alto poder de resistencia al clima.

Los poliésteres son producidos mediante la esterificación de un ácido dibásico con un alcohol polihídrico, tal como la glicerina.

#### EXPLOSIVOS

La glicerina en sí no es un explosivo, pero puede ser nitrada para serlo, formando lo que comunmente conocemos como nitroglicerina. La dinamita es el explosivo predominante en la industria. Está compuesta básicamente por un mezcla de nitroglicerina con un combustible, sales oxidantes tales como nitratos de sodio o amonio. Estos materiales absorben la nitroglicerina y están presentes en tales proporciones que pueden facilitar una obtención de oxígeno suficiente, para convertir el hidrógeno presente en agua y el carbono en  $CO_2$  teniendo como resultado , una producción mínima de gases tóxicos.

#### TABACO

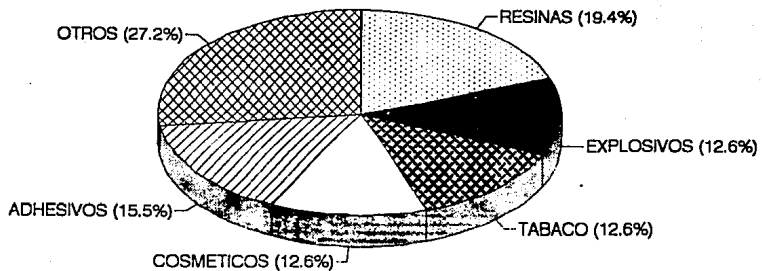
El uso principal de la glicerina en la industria del tabaco, es para la manufactura del cigarro, aunque también es algo utilizada en el proceso de llenar el cigarro, pipas y en tapar el tabaco.

La glicerina sirve como plastizante y humectante en el tratamiento que se le da al tabaco para los cigarros. Actua también como solvente y retenedor de sabores.

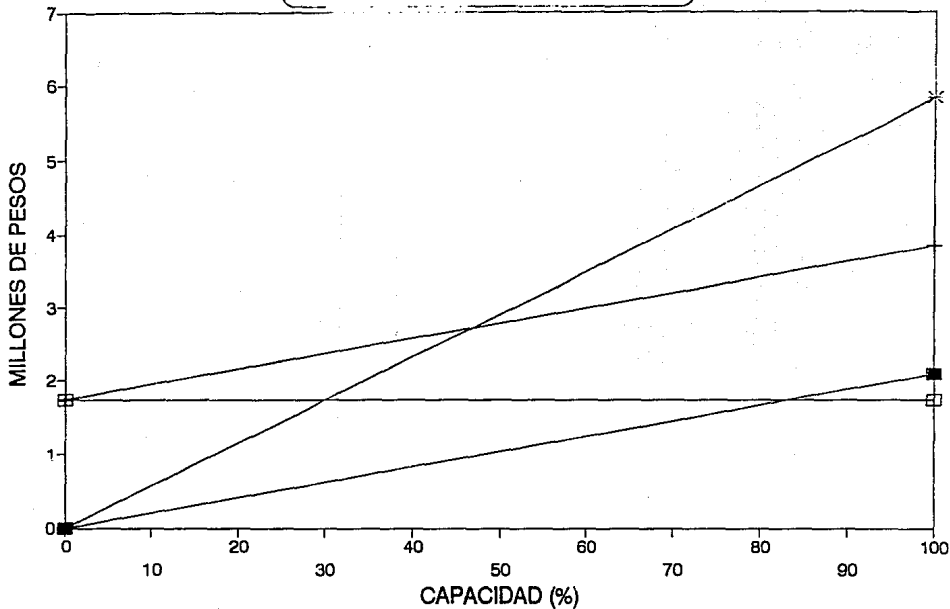
Cualquier substancia que se le agregue al tabaco debe ser no tóxica y no volátil; debe ser de un color y sabor agradables. La glicerina Q.P. cumple con estos requisitos.

Además de los usos mencionados, la glicerina es utilizada para la industria textil, la fotográfica, en adhesivos y lubricantes, vidrio y muchas más.

# USOS DE LA GLICERINA



# GRAFICA ECONOMICA



■ GASTOS VARIABL + GASTOS TOTALE \* VENTAS T. □ G.FIJOS

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Foust Alan, Wenzel, Clump, Anderson  
"Principios de Operaciones Unitarias"  
Segunda Edición  
Compañía Editorial Continental
- 2) Kern, Donald Q.  
"Procesos de Transferencia de Calor"  
C.E.C.S.A.
- 3) Lawrie, J.W.  
"Glycerol & Glycols"  
Chem. Catalog Co.
- 4) Perry, John E.  
"Chemical Engineer's Handbook"  
Mc Graw Hill
- 5) Woollat Edgar  
"The manufacture of soaps, other detergents & glycerine"  
Ellis Horwood Limited, 1985 England
- 6) Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos  
Instituto Nacional de Estadísticas Geográficas e  
Informática  
Fuente : Banco de México

7) "Chemical Engineering Journal"

Vol. 95 pgs. 71-75

September 1988

8) United States Pharmacopeia XIX

Page 557