

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

DISEÑO DE UNA PRACTICA DE LABORATORIO
SOBRE DESTILACION POR ARRASTRE CON VAPOR

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

ELOINA PATRICIA AURIOLES LOPEZ

México, D. F.

36

1976



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.

CLAS. F&S 1976

ADQ. M-T 39

FECHA _____

PROC. _____



QUIMICA

Presidente, Prof, JOSE F. GALINDO FUENTES.

Vocal " RUDI P. STIVALET CORRAL.

Jurado asignado .
originalmente
según el tema.

Secretario " ANTONIO VALIENTE BARDERAS.

1er. Suplente " GRACIELA MARTINEZ ORTIZ.

2º. Suplente " CARLOS BAZAN VILLEGAS.

Sitio donde se desarrolló el tema: Laboratorio de Ingeniería
de la Facultad de Química, UNAM.

Sustentante: Eloísa Patricia Aurióles López. 

Asesor: Antonio Valiente Barderas. 

Me fué posible acrisolar mi experiencia universitaria gracias a los principios morales e intelectuales que me le garon mis queridos padres, el Sr. Ing. José Auriolés Fernández y la Sra. Profa. Eloína López de Auriolés así - - como mi fé en Dios.

Con cariño y gratitud para mis hermanos:

José Nicolás
Gerardo Arturo
Eduardo Eloy

P R O L O G O

Esta tesis fué creada para lograr diversos objetivos, no sólo para beneficio del alumno y el laboratorio de Ingeniería Química, sino también para la industria, para todas aquellas personas que la lean y se interesen por el tema y en una forma muy especial para mí misma en mi formación como Ingeniero Químico.

Uno de los principales objetivos de la práctica es - el cálculo de la eficiencia del equipo, por ésta razón se hicieron pruebas con diferentes sustancias para conocer - la facilidad de manejo de éstas así como el grado de seguridad que con ellas puede tener el alumno, pues algunas - son muy inflamables, irritan la piel y dañan la ropa, por otro lado, con cada una de estas sustancias se estudiaron diferentes condiciones de operación como es el cambio de la presión de entrada del vapor de agua hacia el calderín. Dependiendo de ésto último será el tiempo en que se realize la destilación.

El tiempo es un factor muy importante, pues se deberá tomar en cuenta que el alumno no entra inmediatamente a - realizar la práctica, sino que se le dá una plática previa a ésta para introducirlo al problema y que comprenda exactamente lo que se va a hacer y cual es el objetivo que se persigue al realizar la práctica, en seguida, el alumno - se situará en el lugar del laboratorio en donde se encuentra colocado el equipo y empezará a reconocer todas sus - partes así como la técnica de arranque y operación de éste. Una vez que el alumno se haya familiarizado con el equipo podrá empezar a trabajar en él.

Como se puede observar, todas estas actividades pre-
vias a la práctica pueden ser realizadas en un tiempo que
puede variar entre una y dos horas, por lo tanto, el tiem
po destinado para hacer la práctica es aproximadamente de
una hora ó una hora y media.

Dependiendo del tipo de sustancia y las condiciones de operación usadas, será el tiempo que se tarde en hacer una destilación completa utilizando en cada caso la misma cantidad en volumen de carga desde un principio hasta un fin pasando por todas sus etapas.

Se demostrará que aumentando la presión de entrada - del vapor de agua, el tiempo necesario para completar la destilación es menor, de tal manera que aparentemente el problema que se tiene con el factor tiempo se ve resuelto pero en realidad, existen otros factores que son tan importantes ó quizá más importantes que éste, como son: el factor eficiencia y el factor cantidad de vapor de agua u tilizado en la operación que influye directamente sobre - las pérdidas de calor.

Si la entrada de vapor es muy grande, resultará una eficiencia pequeña y como ya se dijo, uno de los objetivos principales es lograr una eficiencia elevada, por lo tanto se tendrá que encontrar un punto óptimo en donde se vean nivelados los factores tiempo y eficiencia máxima posible.

Otro de los objetivos principales es el cálculo de las pérdidas de calor que se deducen al hacer una simple diferencia entre el calor necesario en un aparato ideal y el calor utilizado en éste aparato real.

Nuevamente influye en una forma directa el factor - tiempo y la presión de entrada del vapor de agua hacia - el calderín, pues cuando ésta última es pequeña, el tiem po para que el sistema alcance su temperatura de ebullición es muy grande y consecuentemente la transferencia de calor de el equipo hacia los alrededores también será gran de, lo cual significa pérdida de calor y la necesidad de ocupar mayor cantidad de vapor de agua que contrarreste -- estas pérdidas.

La idea de hacer una tesis sobre el diseño de una -

práctica de laboratorio tiene como objeto el tener una posibilidad más de lograr un mayor número de prácticas si se realiza un mayor número de tesis sobre diversos temas relacionados con las prácticas de laboratorio de ingeniería - puesto que de éste modo, habiendo sido estudiadas detenidamente cada una de las prácticas y encontrando las condiciones de operación óptimas así como las sustancias más adecuadas no solamente para que la práctica se lleve a cabo con éxito, sino para dar una mayor seguridad al alumno en cuanto al manejo de éstas y consecuentemente ésta seguridad se verá reflejada hacia el mismo laboratorio.

Por otra parte, el maestro tendrá la ventaja de conocer de antemano los resultados a los cuales el alumno deberá llegar si la práctica estuvo bien lograda y así podrá tener un juicio más amplio para evaluar a los alumnos.

Si existe una cantidad grande de prácticas a realizar, el alumno saldrá con mayor preparación en el aspecto práctico y técnico lo cual considero muy importante para que éste pueda abrirse paso dentro del campo de la industria.

Por otro lado se evitarán suspensiones de prácticas debido a la falta de sustancias adecuadas, a la falta de vapor de agua en el caso que la práctica así lo requiera, o bien por la necesidad de reparar el equipo en ese momento, pues en el caso de que alguno de estos problemas se pudiera presentar, habrá la posibilidad de cambiar la práctica por hacer, de tal manera que el alumno aproveche el tiempo y de éste modo tenga una mayor preparación.

Se pueden organizar prácticas diferentes en las cuales el aparato a utilizar sea el mismo, de éste modo, con el mismo número de equipos que existen en el laboratorio se amplíen los temas a tratar.

Las ideas pueden ir siendo cada vez más originales hasta llegar el momento en que no sólo se trate de un dise

fio de una práctica para el laboratorio sino que el campo de acción se amplíe hasta llegar a la industria en donde se le dará un uso aún más útil, es decir que el laboratorio de ingeniería química por medio de tesis desarrolle una labor a manera de planta piloto que no sólo obtenga beneficios para los alumnos sino que coopere con nuevas ideas, técnicas etc., para la industria mexicana y al mismo tiempo ésta última tendrá el beneficio de recibir gente mejor preparada en estos aspectos.

La tesis fué realizada en un idioma sencillo y claro con el objeto de que esté al alcance de personas que no están adentradas en el campo de la ingeniería química, pero que sin embargo les interese el tema y puedan darse cuenta de la importancia que tiene un laboratorio en la facultad ó en la industria, así como los pasos a seguir para realizar un proyecto que se tiene en mente tomando en cuenta muchos factores como en éste caso lo fueron: el tiempo, la eficiencia, las pérdidas de calor, la seguridad a la integridad física de las personas que operan el equipo así como para todas aquellas que se encuentran trabajando cerca de éste y para el mismo laboratorio.

En lo personal, este trabajo ayudó a completar mi formación como ingeniero, pues además de que los conocimientos teóricos fueron reafirmados, se relacionaron con los conocimientos prácticos, los cuales son indispensables para que un ingeniero químico sea considerado como tal y se realice con toda plenitud en éste campo.

El primer capítulo tiene como objetivo presentar un panorama general sobre la destilación por arrastre con vapor y su importancia y para completar la información los dos capítulos siguientes tratan sobre el equipo en el que se realizó la tesis y los equipos utilizados en la industria. Una vez que se ha planteado el problema, se procede a la experimentación en las diferentes condiciones

de trabajo, esto es: con diferentes sustancias y a diferentes presiones de entrada del vapor de agua para obtener resultados tales como la variación de la eficiencia a lo largo del proceso, dependencia de ésta con respecto a otras variables importantes como la presión de entrada del vapor, así como el consumo de vapor de agua necesario para efectuar la operación, el porcentaje de carga que se recupera, etc., todo ello dependiendo de la presión de entrada del vapor de agua. Esta serie de datos nos conduce al capítulo siguiente "Discusión de resultados", en donde se trata a fondo cada uno de los experimentos y se justifica el por qué de cada uno de los resultados obtenidos.

Una vez que se conoce cuales son las condiciones óptimas de trabajo, se puede elaborar la "Presentación de la práctica a los alumnos", es decir, la forma como se va a exponer el problema en las tres horas destinadas para asistir a ésta clase. Este capítulo se inicia con la introducción donde se define y se especifica que es una destilación por arrastre con vapor y cuales son sus ventajas, inmediatamente después se entra en la parte matemática en donde se deducen las ecuaciones que nos van a llevar al cálculo de la eficiencia y las pérdidas de calor.

Hasta ésta parte de la práctica, se discute en un salón de clases y una vez llegado a éste punto, el alumno entrará al laboratorio a reconocer el equipo con la ayuda del diagrama y la descripción de las partes principales que constituyen el equipo.

Cuando el alumno haya reconocido el equipo, procederá a estudiar la técnica de operación y empezará a trabajar sobre éste.

Para dar una mayor ayuda, se proporciona una lista bibliográfica así como un cuestionario que le sirve de guía de estudio y por último se le da un esqueleto para construir tablas y llenar con datos, con el objeto de que tenga

en cuenta todos los datos que tiene que sacar durante la práctica así como los que tiene que consultar en libros y tenga todo el material completo para realizar los cálculos en su totalidad.

En el último capítulo de la tesis se comentan las conclusiones a las que se llegó después de haberse realizado la discusión de resultados.

INDICE .

CAPITULO I.- GENERALIDADES	pag.
-Introducción al problema	1
-Destilación intermitente por vapor de un compuesto volátil de su solución en un líquido no volátil.	5
-Sistema binario, ambos "a" y "o" volátiles y velocidad del vapor de agua constante	15
-Sistema binario, ambos "a" y "o" volátiles - velocidad de vapor de agua variante	16
-Destilación por arrastre con vapor continua	17
-Ventajas y desventajas de la destilación - continua.	18
-Destilación por vapor de un componente volátil a partir de un componente disuelto - no volátil presente en gran cantidad.	20
-Destilación por vapor de un componente volátil a partir de una cantidad relativamente pequeña de un compuesto no volátil disuelto.	21
-Efecto de la presencia de agua líquida en el destilador.	22
-Caldera sin agua	26
-Caldera sin agua a presiones bajas	26
-Rendimiento de vaporización en la destilación por arrastre con vapor	29
-Utilización de una fuente de calor externa	30
-Aplicaciones	32
CAPITULO II.- DESCRIPCION DEL EQUIPO	
-Descripción del calderín	36
-Descripción del cambiador de calor ó condensador.	38
-Descripción del destilador	41

-

CAPITULO III.- APARATOS DE DESTILACION POR ARRASTRE CON VAPOR UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA.	42
--	----

CAPITULO IV.- EXPERIMENTACION Y CALCULOS

-Deducción de la ecuación para calcular la eficiencia	63
-Pasos a seguir para hacer el balance de energía.	66
-Ejemplo detallado para mostrar como se llegó a los resultados obtenidos.	68
-Tablas con los datos tomados experimentalmente y tablas con los resultados obtenidos.	
Experimento benceno-agua a 0.1 Kg/cm ²	73
Experimento benceno-agua a 0.15Kg/cm ²	77
Experimento benceno-agua a 0.2 Kg/cm ²	80
Experimento 2 metil pentano-agua a 0.1 Kg/cm ²	82
Experimento 2 metil pentano-agua a 0.15 Kg/cm ²	86
Experimento 2 metil pentano-agua a 0.2 Kg/cm ²	88
Experimento tolueno-agua a 0.12 Kg/cm ²	90
Experimento tolueno-agua a 0.15 Kg/cm ²	92
Experimento tolueno-agua a 0.2 Kg/cm ²	94
Experimento tetracloruro de carbono-agua a 0.13 Kg/cm ²	96
Experimento tetracloruro de carbono-agua a 0.15 Kg/cm ²	98
Experimento tetracloruro de carbono-agua a 0.2 Kg/cm ²	100
-Gráficas y tablas de donde fueron tomados algu nos datos que se necesitan para realizar los - cálculos.	102

CAPITULO V.- DISCUSION DE RESULTADOS

-Experimento benceno-agua a una presión de entra da del vapor de agua de 0.1 Kg/cm ²	113
-Experimento benceno-agua a una presión de entra	

ca del vapor de agua de 0.15 Kg/cm ²	114
-Experimento benceno-agua a una presión de entrada del vapor de agua de 0.2 Kg/cm ²	115
-Comparación de los experimentos benceno-agua a diferentes presiones de entrada del vapor de agua.	115
-Experimento 2 metil pentano- agua a una presión de entrada del vapor de agua de 0.1 Kg/cm ²	131
-Experimento 2 metil pentano-agua a una presión de entrada del vapor de agua de 0.15 Kg/cm ²	131
-Experimento 2 metil pentano-agua a una presión de entrada del vapor de agua de 0.2 Kg/cm ²	132
-Comparación de los tres experimentos 2 metil pentano-agua a diferentes presiones de entrada del vapor de agua.	132
-Experimento tolueno agua a una presión de entrada del vapor de agua de 0.12 Kg/cm ²	145
-Experimento tolueno-agua a una presión de entrada del vapor de agua de 0.15 Kg/cm ²	146
-Experimento tolueno-agua a una presión de entrada del vapor de agua de 0.2 Kg/cm ²	146
-Comparación de los tres experimentos tolueno-agua a diferentes presiones de entrada del vapor de agua.	147
-Experimento tetracloruro de carbono-agua a una presión de entrada del vapor de agua de 0.13 Kg/cm ²	159
-Experimento tetracloruro de carbono-agua a una presión de entrada del vapor de agua de 0.15 Kg/cm ²	159
-Experimento tetracloruro de carbono-agua a una presión de entrada del vapor de agua de 0.2 Kg/cm ²	160
-Comparación de los tres experimentos tetracloruro de carbono-agua a diferentes presiones de	

entrada del vapor de agua	161
CAPITULO VI.- PRESENTACION DE LA PRACTICA A LOS - AJUNTOS.	
-Introducción.	173
-Fundamentos	174
-Equipo utilizado para la destilación por - - arrastre con vapor.	178
-Cálculos	179
-Guía de estudio	180
-Tablas de datos	181
CAPITULO VII.- CONCLUSIONES	183

DESTILACION POR ARRASTRE CON
VAPOR.

GENERALIDADES.

INTRODUCCION AL PROBLEMA.-

La destilación por vapor de agua es la que efectúa la vaporización de los componentes volátiles de la carga del material a una temperatura rebajada, por la introducción directa de vapor de dicha carga, el vapor de agua - utilizado en esta manera se llama "vapor directo".

El descenso de la presión parcial de los componentes volátiles de la carga obtenida al utilizar vapor directo puede conseguirse mediante el empleo de algún gas químicamente inerte. Sin embargo el uso de gases o vapores distintos del vapor de agua introduce en muchos casos problemas adicionales en la condensación y recuperación del destilado, al mismo tiempo que en la recuperación del gas.

En la mayoría de las fábricas en las que es necesario emplear destilaciones de esta naturaleza, se dispone de vapor de escape a bajo costo, por esas razones se emplea vapor de agua en la mayoría de los casos. (')

La separación de componentes volátiles de sus mezclas con sustancias no volátiles pueden realizarse mediante una destilación de una sola etapa a presión atmosférica. Pero con frecuencia, los componentes volátiles tienen una temperatura normal de ebullición elevada a la cual pueden descomponerse rápidamente. Una temperatura de ebullición elevada requiere también el empleo de vapor de calefacción de temperatura elevada que es siempre caro. La temperatura de ebullición puede reducirse disminuyendo la presión total sobre el contenido de la caldera y un modo de conse

Guiro es mediante la destilación al vacío. se mantiene una presión baja en la instalación mediante una bomba, pero el equipo de bombeo y la mayor resistencia mecánica de la instalación necesarios en la destilación a vacío aumentan considerablemente los costos fijos. En general es más barato recurrir a la destilación por arrastre con vapor y a vacío.

Un líquido hierve cuando la suma de las presiones parciales que ejerce es superior a la presión total sobre el mismo, si se introduce en el líquido vapor de agua y éste pasa a ocupar una parte del espacio libre situado sobre aquel, la presión que debe ejercer el líquido para que se produzca la ebullición es inferior, y su temperatura de ebullición disminuirá. El vapor de agua no permanecerá en el espacio libre a menos que sea renovado continuamente, por lo general es inyectado a través del líquido contenido en una caldera a fin de asegurar que estará presente en las superficies de ebullición y aumentar la intensidad de transmisión de calor entre el mismo y el líquido, o entre éste último y un sistema de calefacción exterior. Pueden utilizarse otros diluyentes en la fase gaseosa en lugar de vapor de agua. No es necesario que el diluyente sea inmiscible con la mezcla líquida, pero de serlo se tiene la ventaja de eliminar la necesidad de una posterior destilación de los productos.

Cuando se requiere más de una etapa de separación, es decir, cuando los componentes de la mezcla tienen una volatilidad semejante, la operación se llama "Agotamiento con vapor de agua" y es similar a la desorción.

Por ejemplo si se fabrica anilina a partir del nitrobenzeno por reducción con limaduras de hierro en presencia de un catalizador, azoxi-compuestos y pequeñas cantidades de nitrobenzeno inalterado así como óxidos de hierro y agua con 3% de anilina disuelta quedan formando una mezcla con anilina cuando la reacción finaliza.

La reacción se efectúa por cargas de unos 5000 a 6000 - litros, separándose después los componentes volátiles mediante la destilación por arrastre con vapor en el mismo reactor.

La elección final de las condiciones convenientes - dependerá de los factores económicos que afectan el proceso, particularmente del costo del vapor de agua. El vapor de agua utilizado en este tipo de destilación es en general de baja presión y a veces se trata de vapor de agua regidual.

La anilina se oxida a su temperatura normal de ebullición adquiriendo un color rojo característico, pero - no se descompone apreciablemente hasta que se alcanza una temperatura elevada. La razón principal por la que se utiliza la destilación por arrastre con vapor en este caso es evitar el uso de vapor de agua de calefacción a elevada presión.

Supóngase que se dispone de suficiente cantidad de vapor de agua recidual saturado y seco a una presión manométrica de 0.35 Kg/cm^2 (temperatura = 109°C); también se dispone si es necesario de vapor de agua saturado y seco a una presión manométrica de 14 Kg/cm^2 (temperatura = 195°C). Este último suministro de vapor de agua sería - previamente adecuado para hacer hervir la anilina a presión atmosférica (temperatura de ebullición 185.6°C).

Se supondrá que exeptuando las sustancias no volátiles, los productos de reacción son anilina y agua únicamente. Aunque se trata de un proceso intermitente, se efectuarán todos los cálculos para condiciones estacionarias. Los resultados que se obtengan no serán aplicables al - - comienzo de la destilación, cuando la mezcla líquida se está calentando hasta su temperatura de ebullición. Se efectuará el cálculo separado para el final de la destilación, cuando por elevarse la concentración de componentes

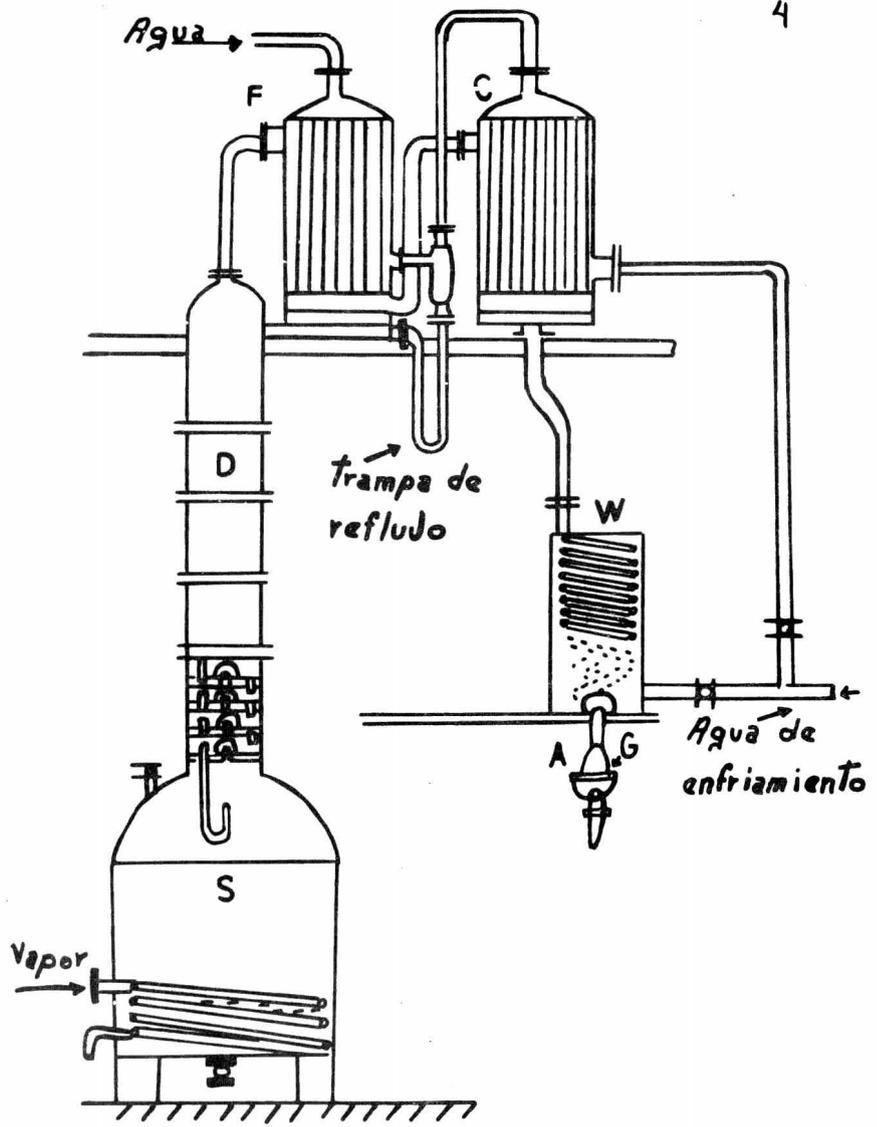


FIG 1. Columna intermitente y torre

no volátiles en la caldera cambian las condiciones del - proceso. (")

La relación de la sustancia destilada al vapor pro - veniente del interior es frecuentemente menor de lo que se calculó de las presiones de saturación:

$$\frac{W_a}{W_b} = \frac{\bar{p}_a M_a}{\bar{p}_b M_b} \dots \dots \dots (1)$$

- W_a = Kg. de destilado
- W_b = Kg. de vapor de agua
- \bar{p}_a = presión parcial del destilado
- \bar{p}_b = presión parcial del vapor
- M_a = peso molecular del destilado
- M_b = peso molecular del vapor de agua = 18

Si el vapor viene através de burbujas grandes y la capa del líquido destilado es poco profunda, el tiempo de contacto en la torre puede ser demasiado pequeña para asegurar el equilibrio entre el vapor del destilado y el vapor de agua y deja la torre llevándose menos de la cantidad máxima de vapor.

La ecuación anterior sin embargo dá un compostamien to teóricamente posible de la torre y entonces nos provee de una medida exacta de la eficiencia de la operación. (#)

DESTILACION INTERMITENTE POR VAPOR DE UN COMPONENTE VOLA- TIL DE SU SOLUCION EN UN LIQUIDO NO VOLATIL.

Si es aplicable la ley de Raoult:

$$E = \frac{\bar{p}_a}{p_a^o \frac{a}{a + 0}} \dots \dots \dots (2)$$

En donde:

b = total de moles del vapor de agua directo necesario
 a = total de moles del componente volátil presentes en la solución en el alambique en un instante.

O = total de moles del líquido no volátil en el destilador (es constante).

\bar{p}_b = Presión parcial efectiva de vapor de agua en los vapores.

p_a^o = Presión de vapor del componente puro "a".

E = Rendimiento de vaporización en la destilación - por vapor, esto es, la relación de \bar{p}_a a la presión parcial de "a" en el equilibrio.

Se supondrá por ahora que no hay agua líquida en el destilador y que por tanto, \bar{p}_b es menor que la presión de saturación de el vapor de agua a la temperatura del destilador. Más adelante estudiaremos la presencia de agua líquida en el aparato y sus efectos (') .

En la operación intermitente el tanque bajo la columna es llenado con una carga de líquidos para ser separada y empezada a destilar. (fig. 1).

S.- recipiente

D.- columna de destilación

F.- condensador parcial

C.- condensador final

W.- enfriador auxiliar para el producto

G.- domo de vidrio que cubre el cambiador de reflujo

A. Donde la velocidad de destilación puede ser observada, y donde un hidrómetro puede flotar, para que pueda indicar la densidad del producto, como un constituyente volátil - es sacado el residuo en la torre se convierte progresivamente más rico en una sustancia menos volátil, esto significa, que el vapor que asciende del tanque se vuelve continuamente más pobre en la sustancia volátil y tiende a -

liberarlo del no volátil, entonces puesto que la columna de rectificación tiene una longitud fija, la relación de reflujo condensado en el tope de la columna a el destilado deben ser progresivamente aumentando.

Esto va acompañado por el control de temperatura y la cantidad de agua de enfriamiento en el condensado parcial. Esta necesidad de modificar continuamente las condiciones de operación en una destilación intermitente es una desventaja muy seria, pero la separación satisfactoria de los constituyentes puede ser realizada, exepcto ya al final de la operación.

Cuando el destilado contiene algo del constituyente del alto punto de ebullición y debe ser colectado separadamente al mezclarlo con la carga siguiente. Esta inhabilidad a efectuar la separación completa al final de la operación es ocasionado por el hecho de que hay insuficiente componente de bajo punto de ebullición en el sistema para mentener el grado de concentración necesaria a través de la columna, ahí permanece solamente el componente de alto punto de ebullición sobre los platos del fondo. (#).

Si un sistema compuesto por "a" (volátil) y "O" -- (no volátil) completamente miscibles en la fase líquida, va a ser separado por destilación con arrastre de vapor batch y ambos "a" y "O" son miscibles en agua, "a" y el vapor de agua aparecen en el vapor.

La presión total sería:

$$P_t = \bar{P}_a + \bar{P}_b = x_a p_a^0 + x_b p_b^0 \quad \dots \dots \dots (3)$$

Se supone que "a" y "O" de una mezcla líquida ideal. Si la presión total que se fijó para cualquier punto en el proceso de destilación (a un valor definido de x_a) la temperatura deberá ser fija para satisfacer la ecuación

anterior. Entonces la presión parcial actual de "a" en el vapor es algo menor que la teórica porque de la resistencia a la transferencia de masa y energía en el proceso actual, una eficiencia de vaporización E es comunmente usada

$$E = \frac{\bar{p}_a}{x_a p_a^0} = \frac{\bar{p}_a}{\frac{a}{a+b} p_a^0} \quad (4)$$

El valor de E varía ampliamente con el sistema, la velocidad de destilación, el tipo de equipo, etc. pero generalmente está entre 0.6 y 0.95

Utilizando el valor de E tenemos:

$$P_t = E x_a p_a^0 + \bar{p}_b \quad \dots \dots \dots (5)$$

Considerando el proceso de destilación batch con arrastre de vapor, hay tres detalles de importancia evaluada generalmente : a) la cantidad de vapor requerida, b) perfil de temperaturas de destilación y c) el tiempo para completar el proceso. Generalmente las siguientes ecuaciones describen el proceso y pueden ser usados para la evaluación de los detalles de interes:

$$\frac{db/d\theta}{-da/d\theta} = \frac{b}{a} = \frac{\bar{p}_b}{\bar{p}_a}$$

$$db = \frac{P_t - \bar{p}_a}{\bar{p}_a} = \frac{P_t - E x_a p_a^0}{E x_a p_a^0}$$

$$\frac{db}{-da} = \frac{P_t}{E p_a^0} \frac{a}{a+0} - 1$$

$$db = - \frac{p_t}{E p_a^0} \frac{a}{a+0} da + da$$

$$db = \frac{p_t a + p_t^0}{E p_a^0 a} da + da$$

$$db = - \frac{p_t a}{E p_a^0 a} da + da + \frac{p_t^0}{E p_a^0 a} da$$

$$db = - \frac{p_t}{E p_a^0 a} -1 da - \frac{p_t^0}{E p_a^0 a} da \dots \quad (6)$$

Integrando la ecuación (6) entre las condiciones finales e iniciales nos dá:

$$b = \frac{p_t}{E p_a^0} -1 (a_1 - a_2) + \frac{p_t^0}{E p_a^0 a_2} \ln \frac{a_1}{a_2} \quad (7)$$

A presión constante y temperatura la cantidad de vapor de agua a sacar fuera de la destilación, para destilar $a_1 - a_2$ moles de "a" es calculada a partir de la e-

cuación (7). El tiempo requerido puede ser calculado al dividir el número total de moles de vapor de agua necesitadas por la velocidad de vapor de agua en moles por unidad de tiempo.

Si todo o casi todo el componente volátil va a ser destilado, la presión parcial del componente \bar{p}_a será muy pequeña y la presión total se convierte esencialmente igual a la presión parcial del vapor de agua $P_t = P_b$.

Para prevenir la condensación del vapor, la temperatura sería seleccionada para ser mayor que la temperatura de saturación del vapor a la presión de destilación.

La ecuación general de velocidad para una destilación en lotes con arrastre de vapor puede ser escrita como:

$$-d(O X_a) = R_b Y_a dt \dots \quad (8)$$

En donde:

O = moles del componente O en cualquier tiempo en el líquido

R_b = velocidad del vapor de agua = moles de vapor de agua en el vapor por unidad de tiempo.

X_a = Moles de "a" por mol de "O" en el líquido.

Y_a = Moles de "a" por mol de vapor de agua en el vapor.

$$E = \frac{\bar{p}_a}{\bar{p}_a^+} = \frac{\text{presión parcial actual}}{\text{presión parcial en equilibrio}} = \frac{\bar{p}_a}{x_a \gamma_a p_a^0} \quad (9)$$

$$\bar{p}_a^+ = y_a P_t = x_a \gamma_a p_a^0 \dots \dots \dots (10)$$

$$y_a = \frac{Y_a}{1 + Y_a} \dots \dots \dots (11)$$

$$\bar{p}_a^+ = \frac{Y_a}{1 + Y_a} \quad p_t = x_a \gamma_a p_a^o \dots (12)$$

$$Y_a = \frac{\bar{p}_a}{p_t - \bar{p}_a} = \frac{E \bar{p}_a^+}{p_t - E \bar{p}_a^+}$$

Hay dos métodos generales de operar una destilación batch con vapor, con la consideración a la velocidad de flujo de vapor de agua, la velocidad de vapor de agua constante y variándola. Estos son considerados en conjunto con el tipo de sistema de destilación como sigue:

SISTEMA BINARIO.- "a" volátil y "O" no volátil, velocidad de vapor de agua constante y temperatura constante:

$$- X_a dO - O dX_a = R_b Y_a d\theta \dots (13)$$

$$dO = \theta \dots (14)$$

$$- \frac{O}{R_b} \int_{X_{a2}}^{X_{a1}} \frac{dX_a}{Y_a} = \int_0^\theta d\theta \dots (15)$$

$$- \frac{O}{R_b} \int_{X_{a2}}^{X_{a1}} \left(\frac{p_t}{E \bar{p}_a^+} - 1 \right) dX_a = \theta \dots (16)$$

$$- \frac{O}{R_b} \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \left(\frac{p_t}{E x_a \gamma_a p_a^o} - 1 \right) dX_a = \theta \dots (17)$$

$$-\frac{0}{R_b} \begin{pmatrix} X_{a2} \\ \left(\frac{P_t}{E \gamma_a p_a^0} - 1 \right) \\ X_{a1} \end{pmatrix} dX_a = 0 \quad (18)$$

$$-\frac{0}{R_b} \begin{pmatrix} X_{a2} \\ \frac{P_t}{E \gamma_a p_a^0} \\ X_{a1} \end{pmatrix} \frac{1 + X_a}{X_a} dX_a - \begin{pmatrix} X_{a2} \\ dX_a \\ X_{a1} \end{pmatrix} = 0 \quad (19)$$

$$-\frac{0}{R_b} \left[\frac{P_t}{E \gamma_a p_a^0} \begin{pmatrix} X_{a2} \\ \frac{dX_a}{X_a} + \begin{pmatrix} X_{a2} \\ dX_a \\ X_{a1} \end{pmatrix} \end{pmatrix} \right] = 0 \quad (20)$$

$$-\frac{0}{E_b} \left(\frac{P_t}{E \gamma_a p_a^0} \left[\ln \frac{X_{a2}}{X_{a1}} + (X_{a2} - X_{a1}) \right] - (X_{a2} - X_{a1}) \right) = 0 \quad (21)$$

Esta ecuación se aplica esencialmente a sistemas ideales así que γ_a es relativamente constante y se aproxima a la unidad. Donde esto no es verdadero, la variación del coeficiente de actividad con la composición debe ser conocido analíticamente o por medio de datos experimentales. Con los datos experimentales útiles, puede ser evaluada la integral gráficamente.

SISTEMA BINARIO.- "a" volátil, "O" no volátil, la velocidad del vapor del agua varía, la temperatura es constante.

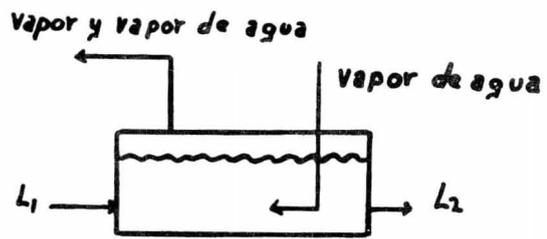
$$- \dot{O} dX_a = R_b Y_a d\theta \dots \dots \dots (22)$$

$$- \dot{O} \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} dX_a = \int_0^{\theta} R_b d\theta \dots \dots \dots (23)$$

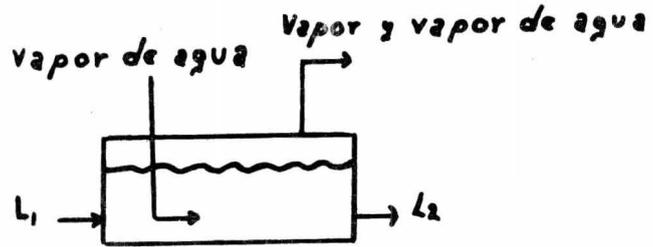
$$- \dot{O} \left(\frac{P_t}{E \gamma_a P_a^0} \left[\ln \frac{X_{a2}}{X_{a1}} + (X_{a2} - X_{a1}) \right] - (X_{a2} - X_{a1}) \right) = \int_0^{\theta} R_b d\theta \dots \dots \dots (24)$$

En este caso para el tiempo requerido para la destilación, la velocidad del vapor de agua debe ser conocida como una función del tiempo. Si $R_b = a + \theta$, por un lado la ecuación (23) se convierte en :

$$\int_0^{\theta} (a + \theta) d\theta = \theta^2 \dots \dots \dots (25)$$



a) Destilación por arrastre con vapor a contracorriente



b) Destilación por arrastre con vapor a corrientes paralelas

FIG. 2.

Si la velocidad del vapor del agua es una función - de la composición remanente en la torre, tal es, $R_b=f(X)$ esta función es incluida en la general del otro lado de - la ecuación.

SISTEMA BINARIO.- ambos "a" y "O" volátiles, velocidad del vapor de agua constante.

Se ha notado que la destilación de ambos componentes en la presencia de vapor de agua con agua no líquida, la fase presente es la misma como la destilación al vacío - de el sistema binario en una presión efectiva la cual iguala a la presión total menos la presión parcial del vapor de agua. Si la velocidad del vapor de agua es constante pero la cantidad vaporizada con el tiempo disminuye - con forme la destilación progresa, la presión efectiva - disminuirá y la temperatura aumentará, disminuirá o permanecerá constante dependiendo del tipo de sistema y de las condiciones. Por ejemplo, si el sistema tiene un rango angosto de ebullición, la temperatura usualmente disminuirá hacia el fin de la destilación porque la temperatura de ebullición de O (la cual es cercana a la de "a") está siendo reducida propiamente hacia la disminución de la presión de destilación efectiva conforme la cantidad del sistema vaporizado disminuya.

Por otro lado, si el punto de ebullición de "O" es mucho mayor que el de "a", la reducción de la presión efectiva de destilación puede ser insuficiente para compensar por la gran temperatura de ebullición de "O", y - la temperatura aumentará. Si el cambio en presión efectiva es suficiente para compensar el cambio en el punto de ebullición con la presión, la temperatura puede permanecer constante.

Para calcular la composición del líquido y vapor y el tiempo necesario para la destilación requiere de una

solución compleja de ensayo y error, a menos que una de las condiciones previamente establecidas o descritas sea supuesta. Si la temperatura puede ser supuesta constante, la ecuación de Rayleigh (temperatura constante variando la presión) puede ser usada para determinar la composición y la cantidad de material destilado, como es descrito en la primera parte de éste capítulo.

La ecuación (25) puede ser usada para determinar el tiempo requerido para la destilación si alguna relación entre la composición del líquido o vapor y la cantidad de líquido o de vapor con el tiempo pueden ser supuestos.

SISTEMA BINARIO.- ambos "a" y "O" volátiles, velocidad de vapor de agua variante.

Esta situación ofrece la misma dificultad de evaluación cuantitativa como el caso anterior, Otra vez es necesario suponer que la velocidad de vapor de agua puede ser cambiada con el tiempo en tal manera que, por ejemplo, la presión efectiva permanece constante. Si esto puede ser hecho, la cantidad destilada y composición del líquido y vapor puede ser calculada por la ecuación de Rayleigh. El tiempo requerido para la destilación puede ser determinado y el cambio en la composición del vapor y líquido con respecto al tiempo o con respecto a la velocidad de vapor de agua puede ser supuesta o fijada.(/).

Si el sistema tiene dos componentes volátiles:

$$P_t = \bar{p}_a + \bar{p}_O + \bar{p}_b \quad \dots \dots \dots (26)$$

$$P_t - P_b = P_t - y_b P_b^O = \gamma_a x_a P_a^O + \gamma_O x_O P_O \quad (27)$$

Cuando la composición con respecto al vapor de agua en el vapor, esto es, y_b es mantenido constante y la pre

sión es fijada, la composición del líquido o cuando la temperatura es fija, y el sistema "aO" destila a una presión "efectiva" igual a $p_t - p_b$. Esto es un proceso muy útil porque el vapor abierto admite materiales miscibles para ser destilados a temperaturas abajo de su temperatura normal de ebullición sin el uso de vacío.

DESTILACION POR ARRASTRE CON VAPOR CONTINUA

Hay muchos casos de destilación por arrastre con vapor conducidos como una operación continua en estado estacionario.

El flujo del vapor puede ser a contra corriente a el flujo de la alimentación o a corrientes paralelas como se muestra en la figura (2).

La evaluación cuantitativa de variables pertinentes de destilación continua en estado estacionario es relativamente simple comparada con la involucrada en un proceso diferencial batch o en lotes.

Las ecuaciones para destilación por arrastre con vapor continua para un sistema binario con un componente volátil "a" y un no volátil "O" son:

$$O (X_{a_1} - X_{a_2}) = bY_a \quad \dots \quad (28)$$

O = moles de O por unidad de tiempo

X_{a_1} = moles de "a" por mol de "O" entrantes

X_{a_2} = moles de "a" por mol de "O" salientes

b = moles de vapor de agua por unidad de tiempo

Y_a = Moles de "a" por mol de vapor de agua.

$$b = \frac{O (X_{a_1} - X_{a_2})}{Y_a} \quad (29)$$

$$b = 0 (X_{a_1} - X_{a_2}) \frac{p_t - E \bar{p}^+}{E \bar{p}^+} \quad (30)$$

Para flujo a contra corriente las moles de vapor de agua están dadas por:

$$b = 0 \frac{p_t}{E \bar{p}^+} \frac{X_{a_1} - X_{a_2}}{X_{a_1}} + \left(\frac{p_t}{E \bar{p}^+} - 1 \right) (X_{a_1} - X_{a_2}) \quad (31)$$

Para flujo a corrientes paralelas las moles de vapor de agua están dadas por:

$$b = 0 \frac{p_t}{E \bar{p}^+} \frac{X_{a_1} - X_{a_2}}{X_{a_2}} + \left(\frac{p_t}{E \bar{p}^+} - 1 \right) (X_{a_1} - X_{a_2}) \quad (32)$$

La eficiencia de calor de una operación continua es mayor que en la intermitente, mientras que en la anterior las operaciones son menos complicadas. La operación intermitente se trabaja en pequeña escala o bajo tales circunstancias la continuidad se hace imposible. (/).

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA DESHIDRACION CONTINUA.

Ventajas:

- 1.- Calidad uniforme y alto grado de producto
- 2.- Economía en calor
- 3.- Ahorro en el trabajo

La uniformidad en la calidad del producto y del alto grado que puede ser obtenido es debido al hecho de que la torre continua opera en condiciones uniformes en todos los puntos en el sistema y es posible diseñar el sistema de tal modo que las impurezas se tomen con más cuidado satisfactoriamente. La economía en calor obtenida tiene — dos razones, en primer lugar, el calor requerido para aumentar el licor a la temperatura de ebullición. Puede ser recubierta en la torre continua por intercambiadores de calor útiles, considerando que en la torre intermitente, todo éste calor es perdido y en segundo lugar, la producción de grandes cantidades de fracciones intermedias las cuales deben ser destiladas para recubrir desde ellos los constituyentes que significan una gran cantidad de calor que debe ser suministrada para éste propósito. Del mismo modo el ahorro en el trabajo de un sistema continuo es — que no hay fracciones destiladas intermedias.

No hay trabajo en la conexión con el llenado y vaviado y limpiado fuera de las calderas y la operación involucra una atención muy pequeña después de que las máquinas han sido reguladas, un operador hábil para cuidar un número de torres continuas sin ejercer indebidamente.

Las desventajas del sistema continuo sin embargo son algo serias:

- 1.- Costo inicial excesivo
- 2.- Sencitivo a condiciones externas
- 3.- Construcción y operación complicada

El excesivo costo inicial del sistema estriba en el hecho de que los accesorios necesarios para permitir la operación automática son frecuentemente complicados y caros aunque las columnas de fraccionamiento usualmente son similares a las usadas en las columnas intermitentes y no hay usualmente caldera, los reguladores de vapor, los bajantes y otros accesorios aumentan considerablemente —

el costo del equipo, también las torres continuas son muy sencitivas a las condiciones externas y operan exitosamente sólo cuando la calidad y cantidad de la alimentación del licor es uniforme y cuando el suministro de vapor y agua es constante, y si en el proceso de operación el material producido va a ser destilado, hay cambios de tiempo en tiempo donde el material va a ser manejado es variable, entonces la torre continua usualmente debe ir con ciertas modificaciones en su diseño para manejar el cambio en el material, en éste caso de torre intermitente es posible manejar en forma más o menos satisfactoria casi cualquier material de naturaleza similar para el cual la torre fué diseñada. Finalmente el sistema continuo es complicado en construcción y la operación requiere un tren de hombres para el trabajo, la frecuencia de operación de los equipos de destilación deben ser confiados a una labor relativamente sin dañarla y entonces las torres continuas son frecuentemente culminadas en esta cuenta. En general sin embargo puede observarse que la torre es preferida aunque haya otras cosas iguales (+).

DESTILACION POR VAPOR DE UN COMPONENTE VOLATIL A PARTIR DE UN COMPONENTE DISUELTO NO VOLATIL PRESENTE EN GRAN CANTIDAD.

$$\frac{db}{-da} = \frac{p_b}{p_a} = \frac{p_t - p_a}{p_a} = \frac{p_t}{p_b} - 1 \quad \dots \dots \dots (33)$$

$$p_a = E p_a^0 \left(\frac{a}{a + 0} \right) \quad \dots \dots \dots (34)$$

$$db = - \left(\frac{p_t}{E p_a^0} - 1 \right) da - \frac{p_0}{E p_a^0} \frac{da}{a} \quad (35)$$

Suponiendo que se mantenga constante la temperatura en el destilador, p_a es constante. Para una presión total constante integrando la anterior obtenemos: (').

$$b = \left(\frac{p_t}{E p_a^0} - 1 \right) (a_1 - a_2) + \frac{p_t 0}{E p_a^0} \ln \frac{a_1}{a_2} \quad (36)$$

DESTILACION POR VAPOR DE UN COMPONENTE VOLATIL A PARTIR DE UNA CANTIDAD RELATIVAMENTE PEQUEÑA DE UN COMPUESTO NO VOLATIL DISUELTO.

En estas condiciones "0" tal como se empleó en la deducción anterior es pequeño con relación a "a". Por consiguiente, p_a puede considerarse constante y según la ecuación (2): (').

$$\bar{p}_a = E p_a^0$$

Por tanto:

$$\frac{db}{-da} = \frac{\bar{p}_b}{\bar{p}_a} \dots \dots \dots (37)$$

Integrando:

$$b = \frac{\bar{p}_b}{\bar{p}_a} (a_1 - a_2) \dots \dots \dots (38)$$

$$\frac{b}{a_1 - a_2} = \frac{\bar{p}_b}{\bar{p}_a} \dots \dots \dots (39)$$

EFFECTO DE LA PRESENCIA DE AGUA LIQUIDA EN EL DESTILADOR.

El efecto de la presencia de agua líquida en la carga durante una destilación de vapor se analiza aplicando los principios de la regla de las fases.

Supongamos que haya que destilar por vapor un componente volátil inmiscible con el agua y que contenga una cantidad despreciable de una impureza no volátil disuelta.

Si no hay presente agua en estado líquido, hay dos componentes y dos fases y por consiguiente dos grados de libertad.

Pueden variarse independientemente la temperatura y la presión volviendo a la ecuación (39) se observará el consumo de vapor de agua en el proceso se disminuye aumentando el denominador y reduciendo el numerador del segundo miembro de la ecuación.

En ausencia de agua líquida, esto se realiza operando a la temperatura más alta admisible, reduciendo la presión de trabajo o haciendo ambas cosas a la vez puesto que en este caso p_b presión parcial del vapor de agua, es igual a la diferencia entre la presión total y la presión parcial del componente volátil, esto es: que - - -

$$\bar{p}_b = \bar{p}_t - \bar{p}_a .$$

Por otro lado si hay presente agua en fase líquida, las fases son tres, y con dos componentes queda únicamente un grado de libertad. En este caso fijada la temperatura o la presión se fija el estado del sistema. Volviendo a la ecuación (39) p_b tiene ahora un valor fijo igual a la presión de vapor de agua a la temperatura de la destilación. Si se fija la presión total en, por ejemplo, la presión atmosférica, la temperatura de destilación queda definida por la temperatura a la cual:

$$\bar{p}_b + \bar{p}_a = \bar{p}_t$$

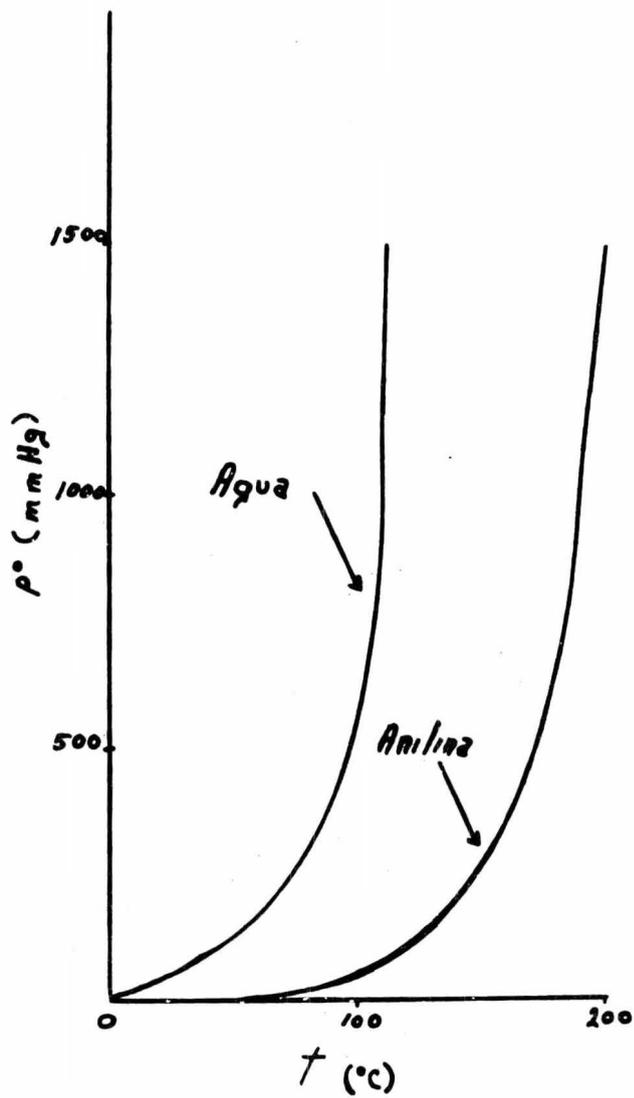


FIG. 3.

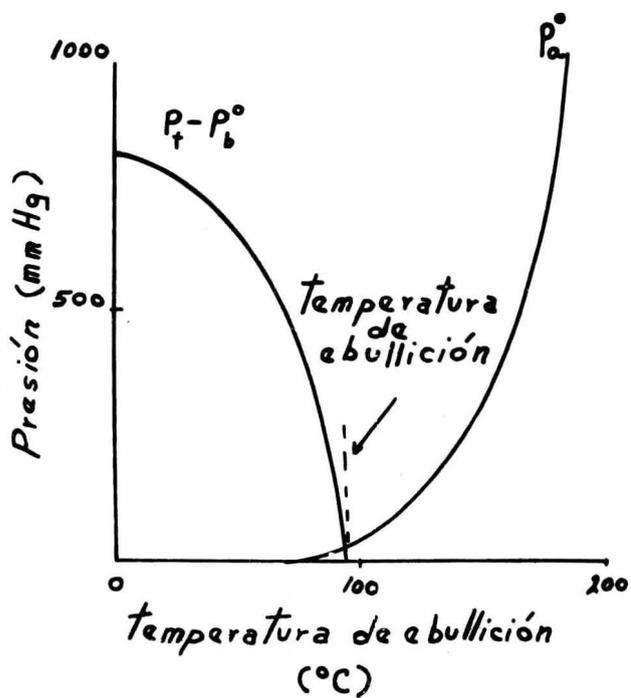


FIG. 4.

Para evitar la acumulación de una fase de agua líquida por la condensación de parte del vapor directo, se elige la temperatura de trabajo de modo que $\bar{p}_b = \bar{p}_t - \bar{p}_a$ sea menor que la presión de saturación del vapor de agua para la temperatura dada.

Si hay material no volátil en gran cantidad, como se supuso en las ecuaciones (33) a (36), la presión parcial del vapor de agua sube durante el curso de la destilación intermitente, debido al empobrecimiento del componente volátil en la carga y la consiguiente disminución de p_a .

puesto que, por lo general se desea despojar a la solución del componente "a" hasta que la concentración residual del mismo sea pequeña, p_b se aproximará bastante a p_t hacia el final del proceso; por consiguiente, se elegirá una temperatura de trabajo tal que siendo la presión de saturación del vapor mayor que p_t se asegure que no se produzca ninguna condensación de vapor en ningún instante durante el proceso, por ejemplo si se trabaja a la presión atmosférica, la temperatura mínima elegida para conseguir este fin sería 100°C o un poco mayor.

Graficando las curvas p_a° y $p_t - p_b^{\circ}$ vs. T , la intersección de las dos curvas nos da la temperatura normal de ebullición en condiciones de equilibrio. (fig. 3 y 4)

En la práctica la destilación se efectúa con un caudal finito y el líquido y el vapor no tienen tiempo de alcanzar el equilibrio, más aún las dos fases no son completamente inmiscibles entre sí, o con los componentes no volátiles. El resultado es que la presión parcial ejercida por cada fase líquida es sólo una fracción de su presión de eficacia. (').

CALDERA SIN AGUA

1.- Presión atmosférica.- Si se suministra una cantidad de calor superior a la necesaria para destilar un componente volátil, el agua líquida desaparecerá de la caldera. Habrá entonces dos fases y dos componentes y por tanto dos grados de libertad. Esto significa que puede aumentarse la temperatura de la caldera permaneciendo constante la presión total. Como antes la razón de moles de vapor a moles de componente volátil destilado es igual a la razón de las presiones parciales en la fase vapor:

$$\frac{b}{a} = \frac{\bar{P}_b}{\bar{P}_a} \dots \dots (40)$$

y si la eficacia es menor que uno. La presión parcial del vapor de agua ya no está determinada por la fase líquida puesto que no hay agua presente en ella y el vapor de agua ocupa simplemente la parte de la fase vapor no ocupada por el componente volátil.

La relación anterior disminuye a medida que aumenta la temperatura. ("). (fig. 5 y 6).

CALDERA SIN AGUA A PRESIONES BAJAS.

Otra posibilidad es elegir una temperatura adecuada para la caldera y averiguar la presión total óptima, -- puede calcularse una temperatura adecuada en la caldera si se conocen la intensidad de transmisión de calor deseada y el área de la superficie de calefacción. (No se puede ahora calentar la caldera considerando una fracción de vapor inyectado porque se ha especificado que no debe haber agua en la caldera). Estas magnitudes están determinadas por el tiempo disponible para destilar cada carga y por las dimensiones de la caldera. Conociendo el valor de el coeficiente de transmisión de calor puede calcularse

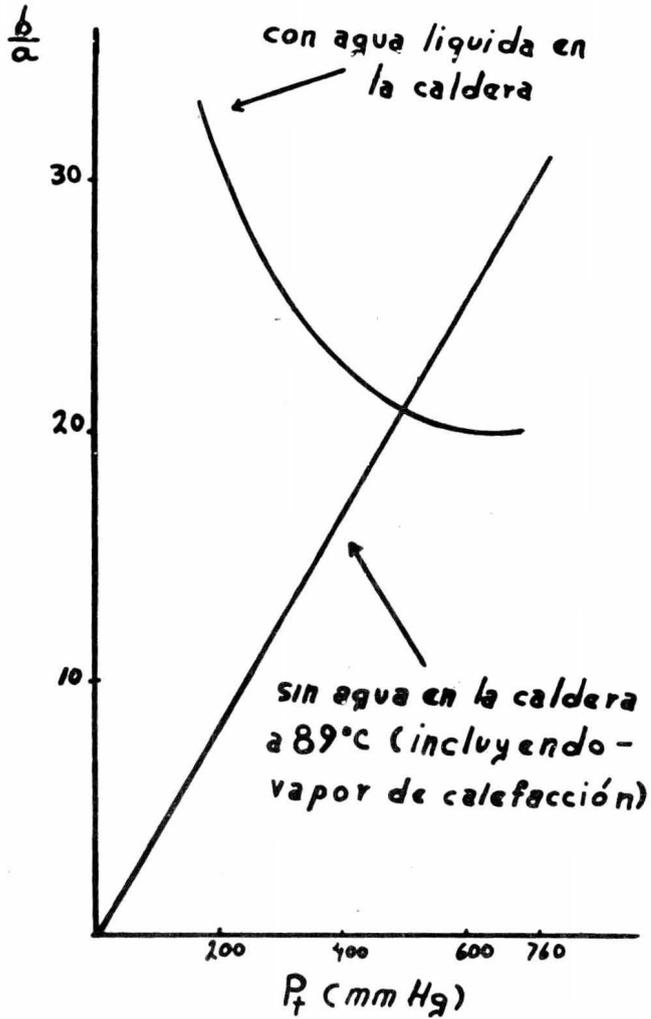


FIG. 5.

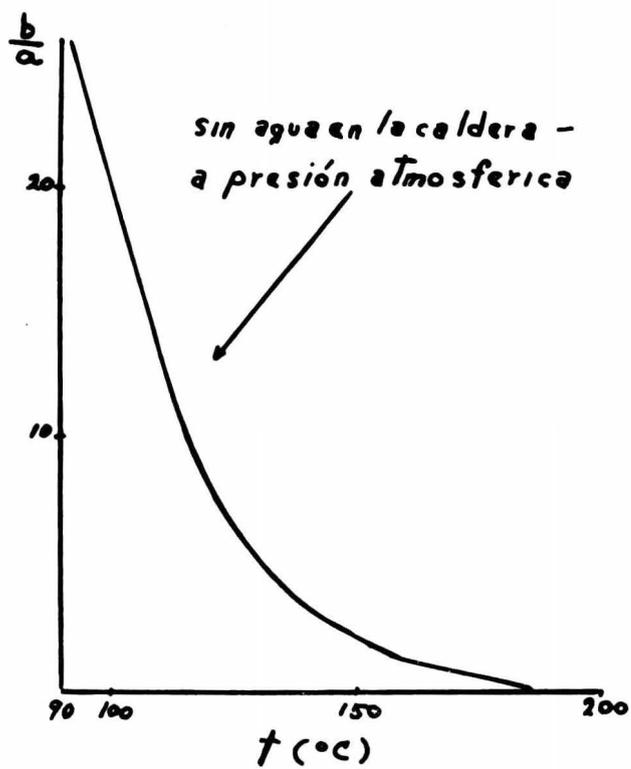


FIG. 6.

la diferencia de temperatura entre el vapor de calefacción y el líquido que hierve en la caldera.

Cuanto menor es la presión, menor es la cantidad de vapor necesario. Simplemente con una destilación a vacío, la presión debería oscilar entre 28 y 23 mmHg. (sin inyectar vapor de agua). Probablemente en la práctica tra bajar a unos 200 mmHg. sería más fácil siempre que se dispusiera de vapor de agua residual. (").

RENDIMIENTO DE VAPORIZACION EN LA DESTILACION POR ARRASTRE CON VAPOR:

En una destilación por vapor las burbujas de este se elevan a través de la carga líquida y escapan por la superficie del mismo con una concentración del componente volátil, que dependerá de su presión parcial del vapor en la carga. Se ha observado que la presión parcial del material volátil, en el vapor que se desprende en el destilador es en la mayoría de los casos inferior a la presión parcial que representa el equilibrio con este componente en la carga.

Se ha empleado el rendimiento de vaporización como un factor empírico de seguridad para tener en cuenta esta desviación con respecto a las condiciones de equilibrio.

En el pasado fué corriente utilizar los valores de 0.6 y 0.7.

Se demostró que el rendimiento de vaporización, está relacionado con el carácter de la sustancia destilada; - con la profundidad del líquido através de la cual pasan las burbujas de vapor y con el tamaño de las burbujas de vapor por la siguiente expresión:

$$E_v = \frac{\bar{p}}{\bar{p}^+} = 1 - e^{-K L/D}$$

\bar{p} = Presión parcial efectiva del material volátil en el vapor de agua.

\bar{p}^+ = Presión parcial del componente volátil que estaría en equilibrio con la carga líquida.

L = Profundidad de la carga líquida a través de la cual sube el vapor.

D = Diámetro de las burbujas de vapor de agua.

K = Constante característica de la sustancia destilada - determinada por su rapidez de difusión en el estado de vapor.

E_v = Rendimiento de vaporización.

Para obtener altos rendimientos de vaporización, debe introducirse el vapor en la carga por un gran número de pequeños orificios y a una profundidad apreciable por debajo de la superficie del líquido, con agujeros de 6 mm. de diámetro y una profundidad de inmersión de 30 cm. o más, es probable que puedan emplearse para el rendimiento de vaporización valores mucho más altos de los acostumbrados, éste es de 0.9 a 0.95 cuando se trate de la destilación a vapor de los aceites lubricantes (peso molecular mayor de 250) los cuales partiendo de los datos de las instalaciones de refinación muestran que los rendimientos de vaporización obtenidos son, por término medio del orden de 0.5 aproximadamente. (').

UTILIZACION DE UNA FUENTE DE CALOR EXTERNA.

Existe la conveniencia de trabajar a la temperatura más alta posible (que no perjudique al componente volá-

til) y en ausencia de una fase de agua líquida realizar una economía en el consumo de vapor directo. La economía en el consumo de vapor directo es no sólo deseable sino también porque disminuyendo la relación de vapor al destilado se reduce la cantidad total de calor por eliminar en el condensador y también la superficie de condensación y el agua de enfriamiento necesarias. Por esas razones suele ser conveniente disponer de un medio para suministrar a la carga calor que no sea de la condensación de una parte del vapor directo.

La fuente de calor externo puede ser el vapor condensado en un serpentín de circuito cerrado sumergido en la carga.

Deberá observarse que si se considera otro medio de calentamiento distinto del vapor, habrá de tenerse mucho cuidado en evitar todo perjuicio a la carga, procurando no se produzcan temperaturas de película demasiado altas en la superficie de transmisión de calor. Al calcular el calor necesario y al diseñar las superficies de calefacción deben tenerse en cuenta:

1.- El tiempo necesario para calentar la carga fría hasta la temperatura de destilación.

2.- El calor necesario para suministrar el calor latente de vaporización durante el proceso de destilación de la carga.

Al estudiar el punto 1 es conveniente proporcionar superficie suficiente para que la carga pueda llevarse a la temperatura debida en un tiempo bien equilibrado con respecto al necesario para el ciclo completo.

El punto 2 dependerá de la rapidez con que se desee destilar la carga, ésto es, de la duración del ciclo. (')

APLICACIONES.-

La destilación intermitente por vapor es una herramienta valiosa del químico orgánico para la purificación de compuestos orgánicos en el laboratorio. Por medio de éste tipo de destilaciones pueden separarse líquidos orgánicos volátiles de impurezas relativamente no volátiles a temperaturas suficientemente bajas para que no se produzca una descomposición térmica.

Cuando se realiza este tipo de operación en escala industrial resulta ventajoso emplear la destilación por vapor.

La purificación de la glicerina y ácidos grasos son ejemplos de aplicaciones en la escala industrial. (').

BIBLIOGRAFIA:

- (') John H. Perry
Manual del Ingeniero Químico
Tomo I
Traducción de la 3^a. Edición.
Pags. 892 a 896.
- (") Dr. H. Sawitowski, Dr. W. Smith
Métodos de cálculo en los procesos de transferencia de masa.
Pags. 174 a 185
- (#) Walker Lewis & Mc Adams.
Principles of Chemical Engineering
Pags. 566, 568, 569, 579, 580, 581.

- (+) Robinson & Gilliland.
Elements of Fractional Distillation
Pag. 251 a 252.
- (/) Van Winckle, Matheu 1910.
Distillation
Pags 173 a 184.

II

DESCRIPCION DEL EQUIPO.

El equipo está construido de cobre en su mayor parte, y abarca un espacio de 2.25m de largo por 1 m de ancho y por 3.60 m. de altura, es decir que ocupa un volumen de 91 m³.

La marca de este equipo es: M F D By Brighton Copper Works, Inc.

Cincinnati, Ohio.

Coppersmiths & Engineers.

To The Chemical Industry.

Serial Number 559 (para el calderín)

Serial Number 560 (para el destilador)

Serial Number 561 (para el condensador)

Contiene válvulas de 1/2 in, 3/8 in. y 1 in. en un total de 30 distribuidas através de todo el equipo, así como dos termómetros, uno de ellos de la marca METRICA con su escala de 0 a 150°C y el otro de marca IMPERIAL con su escala de 10 a 150°C, dos manómetros de la marca METRON con escalas de 0 a 7 Kg/cm² y de 0 a 100 lb/in². y el segundo con escalas de 0 a 1 Kg/cm² y de 0 a 14.2 lb/in². , dos tubos indicadores de nivel de vidrio sin escalas y dos trampas de vapor.

Existen varias comunicaciones directas de el equipo con el exterior, y algunas de ellas hacia el desagüe como son: la tubería que comunica la parte inferior del calderín con el desagüe , la línea de vapor con el equipo, la línea principal y el desagüe y la línea que transporta el agua de enfriamiento que pasa através del condensador y sale directamente hacia el desagüe.

Hay algunas otras comunicaciones directas hacia el exterior, diferentes a éstas, como son: la tubería del condensador através de la cual pasa la sustancia volátil arrastrada por el vapor junto con éste último en fase va

VISTA FRONTAL

VISTA LATERO POSTERIOR

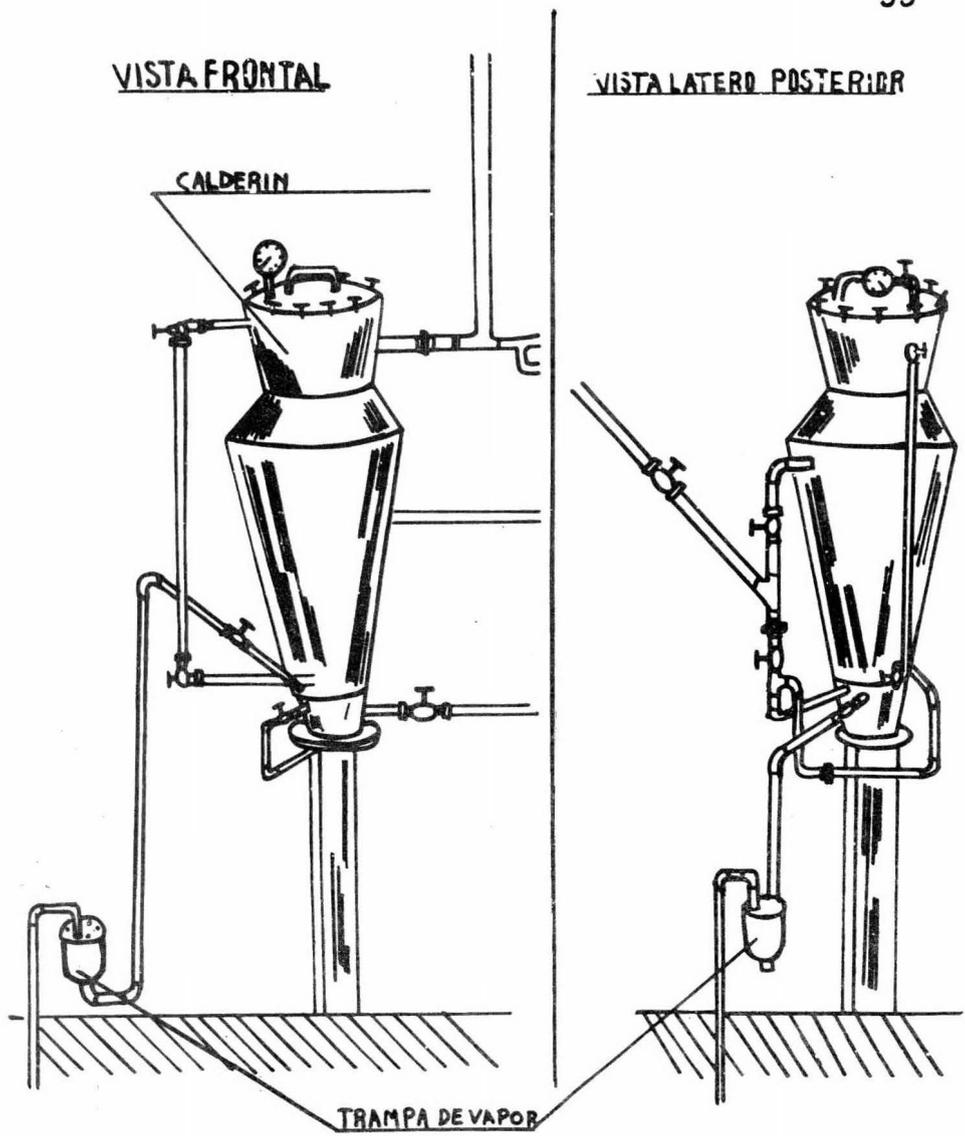


FIG. 7.

por al entrar al condensador y en fase líquida al salir de éste mediante la cual se transporta hacia una válvula que controla la salida de ésta mezcla para tomar muestras y determinar las cantidades de sustancia volátil y de agua.

En la base del destilador tiene una válvula que controla la salida del líquido que fué arrastrado por el vapor libre de éste último, el cual pasa por una tubería conectada en el domo de éste.

En la parte media del destilador se encuentra una comunicación hacia el exterior mediante un tubo que forma ángulo de 90 grados en cuyo extremo superior termina en forma de un embudo.

DESCRIPCION DE EL CALDERIN.-

El calderín es un recipiente que tiene una altura de 95 cm. de los cuales 79 cm. corresponden a la altura de el calderín sin su compuerta y 16 cm. corresponden a la altura de ésta última.

El espesor del calderín es de 4 cm. y los diámetros externos e internos que corresponden a su parte superior son de 38 cm. y 30 cm. respectivamente.

Como éste recipiente no tiene una forma geométrica regular, tenemos que mencionar varios diámetros que se consideran más importantes para poder describirlo mejor. En éste caso se mencionarán los diámetros mayor, medio y menor, todos ellos exteriores.

El diámetro mayor corresponde a la parte media superior del recipiente con 29.92 cm., el diámetro medio corresponde a la parte media inferior del recipiente con 26.10 cm y el diámetro menor localizado en la parte inferior del recipiente con 20.69 cm.

El calderín se encuentra colocado a una distancia de 75 cm. arriba del piso, tiene un medidor de nivel de

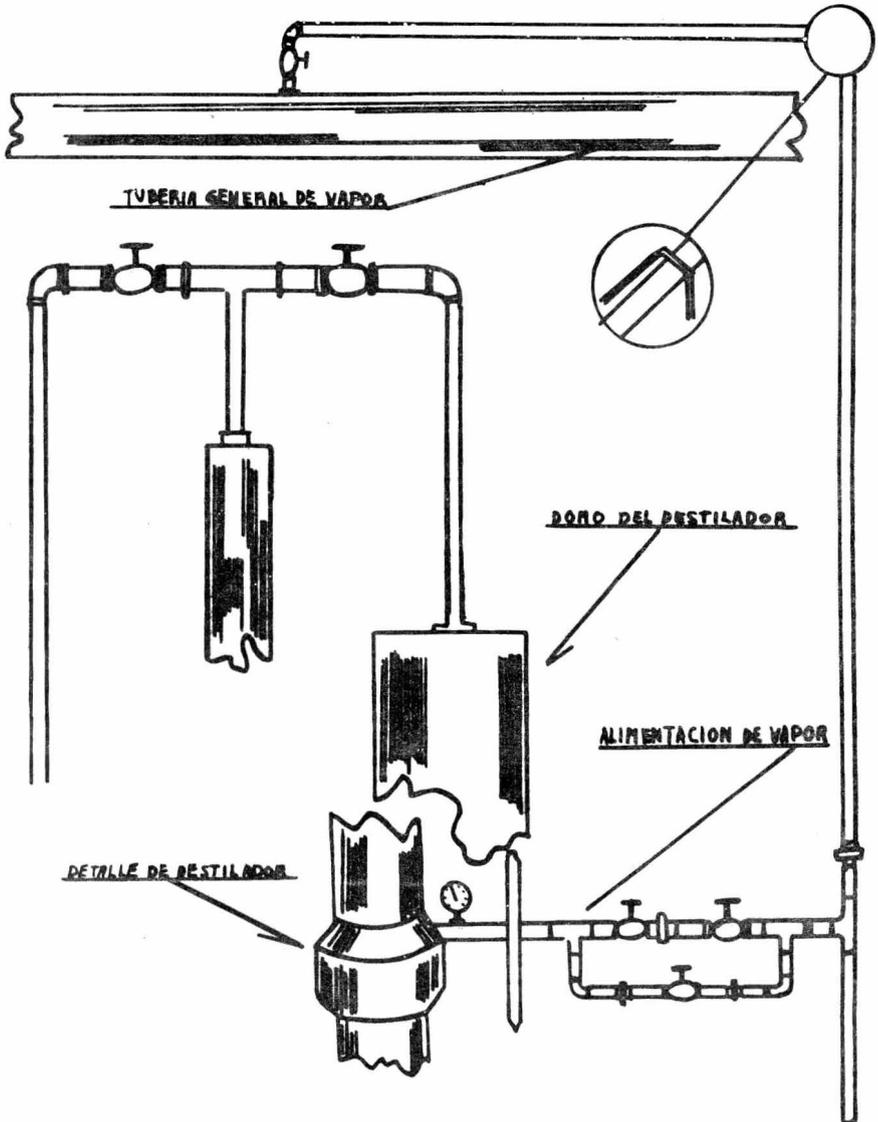


FIG. 8.

vidrio sin escala en cuyos extremos contiene dos válvulas de 1/2 in, así como una válvula de 3/8 in. colocada en la tubería que conecta la parte inferior del calderín con la trampa de vapor y finalmente llega al desagüe y dos válvulas más de 3/8 in. colocadas en la tubería que transporta el vapor de agua hacia el calderín en su parte media.

En la base del calderín sale una tubería que conecta directamente con la base del destilador y en esta tubería tenemos dos válvulas más de 1/2 in. colocadas cada una cerca de la base del calderín y el destilador respectivamente. La compuerta del calderín colocada en la parte superior se fija a éste con una serie de llaves tipo mariposa, y además está integrada con una asa para levantar la manualmente, un manómetro marca METRON con escalas de 0 a 7 Kg/cm² y de 0 a 100 lb/in² y un termómetro de la marca METRICA con escala de 0 a 150°C.

DESCRIPCION DEL CAMBIADOR DE CALOR O CONDENSADOR.

Es muy simple en su constitución pues únicamente son dos tubos concéntricos a través de los cuales pasan los fluidos que intervienen en éste intercambio de calor. A través del tubo exterior fluye el agua de enfriamiento que proviene del sistema de agua general y por el tubo inferior fluye el vapor que sale del calderín el cual es condensado aquí y sale en fase líquida pasando por un tubo mirilla y por la tubería que conduce el condensado hacia el exterior.

En la parte superior del condensador se puede apreciar el tubo que viene siendo el tubo interior de éste, así como también se puede apreciar que este tubo tiene la forma de una T conteniendo dos válvulas de 1 in. de diámetro de cada lado de la T.

En las partes laterales podemos observar el tubo que conduce el agua de enfriamiento que sale por la parte superior del condensador haciendo un ángulo de 90 grados

VISTA FRONTAL
DEL DESTILADOR
Y CONDENSADOR

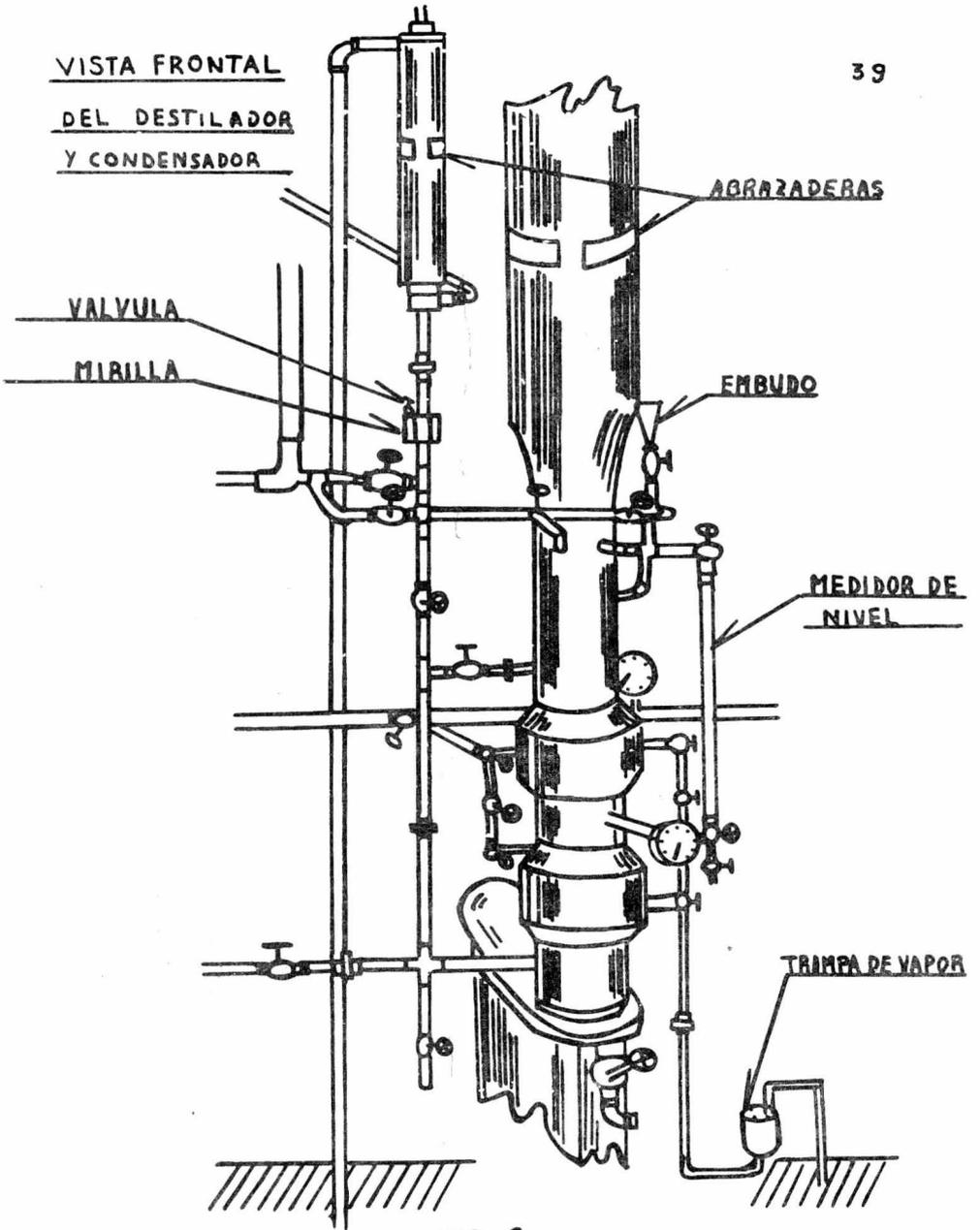


FIG 9

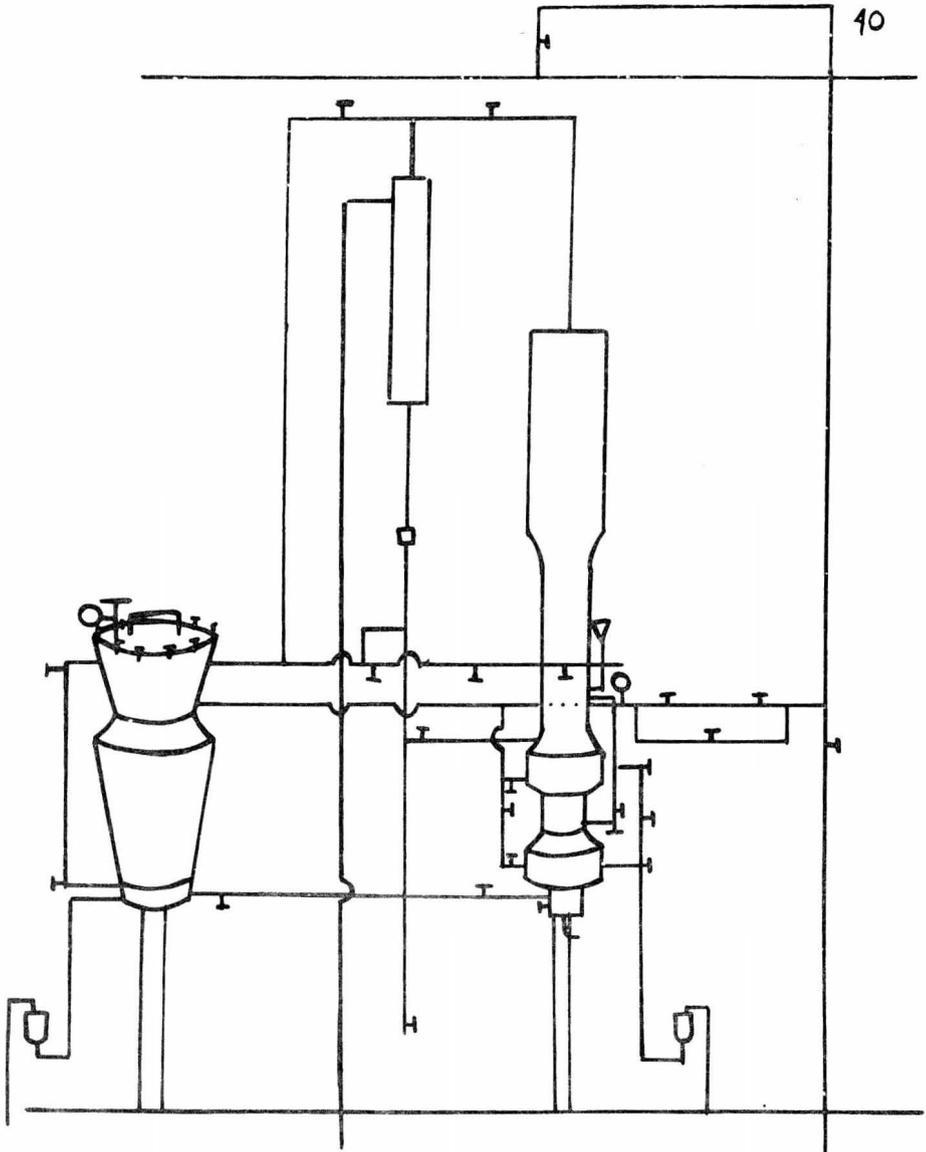


FIG 10

y descendiendo luego hacia el desagüe.

La longitud del condensador es de 76 cm. y el diámetro exterior es de 8 cm.

DESCRIPCION DEL DESTILADOR.-

Este tiene una longitud de 1.63m. y está colocado sobre una base de 72 cm. de altura y debido a su forma podemos observar dos diámetros diferentes, uno de 15.27 cm. localizado en la parte superior del destilador así como en los dos cambiadores de calor que se localizan en la parte inferior y los cuales están separados por un tubo con un diámetro de 10.50 cm.

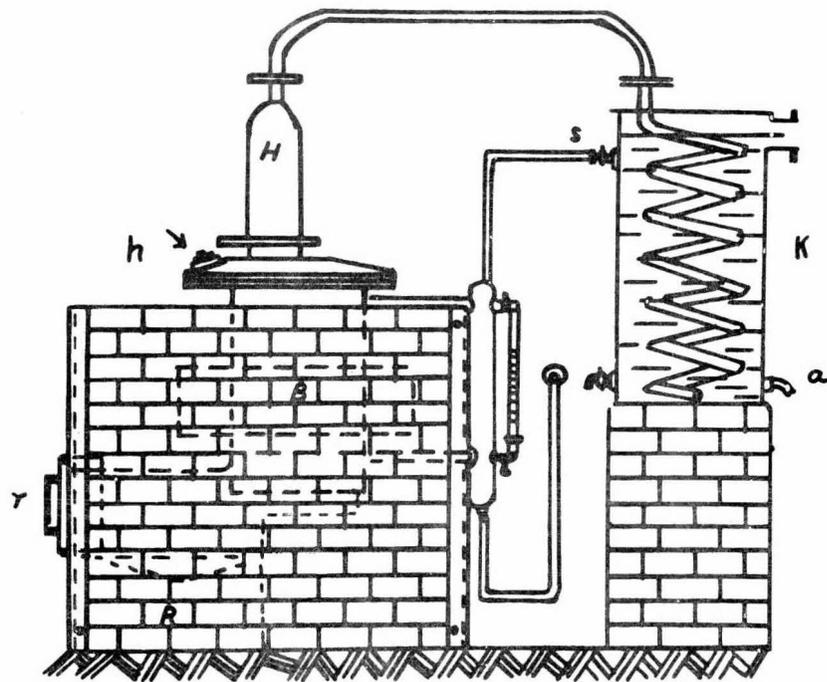
El destilador está equipado con un termómetro marca **INTERIAL** con su escala de 10 a 150°C , un medidor de nivel de vidrio sin escala en cuyos extremos lleva dos válvulas de 1/2 in. y 12 válvulas más de 1/2 in también que se encuentran colocadas en diferentes partes a su alrededor, - una trampa de vapor y una válvula de 1 in. que comunica - la base del destilador con el exterior.

III

APARATOS DE DESTILACION POR ARRASTRE CON VAPOR UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA.

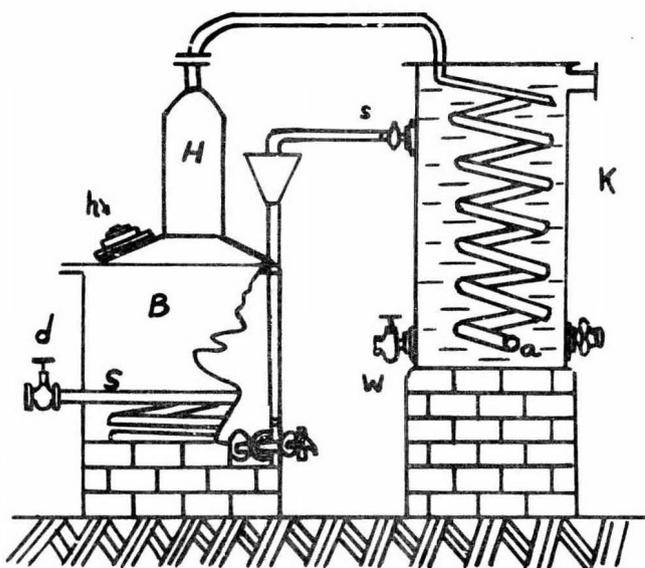
El aparato de destilación simple o alambique es una vasija apropiada a la vaporización de un líquido, unida a un condensador o refrigerante que permite condensar de nuevo y recoger lo evaporado. El punto de ebullición de la mezcla de líquidos solubles entre sí se encuentra entre los puntos de ebullición de los componentes.

Los alambiques comprenden siempre (fig. 11 y 12) una caldera B, que puede ser calentada al fuego desnudo, por vapor que actúa mediante un serpentín o un doble fondo, o bien, es insuflado directamente en el líquido, por gas, por baño de arena, de aceite o de metales fundidos y aún por resistencia eléctrica. Casi siempre son necesarios: grifo de carga, grifo de descarga, tubo de nivel, orificio, termómetro y espita de aire. De la caldera B pasa el tubo de vapor al refrigerante K, que consiste en una caja de agua y uno o varios serpentines cilíndricos en ziz-zas (fig. 11 y 12), haces de tubos verticales (fig. 13 y 14) u horizontales unidos a placas finales comunes, en los que penetra el vapor por un extremo y sale por el otro, y también haces análogos dispuestos de modo que el vapor deba correr en serie por varios de ellos (fig 15), también se usan los llamados refrigerantes de envoltura o camisa, consistentes en dos cilindros enchufados, unidos por arriba y por abajo, en los que el vapor por condensar es precipitado por el agua que los rodea. Finalmente a veces se recomiendan aún otras formas (lentes, bolas, etc.) que vienen a ser sólo modificaciones de las antes mencionadas. Que el vapor circule por el interior y el agua por la envoltura (figs. 11, 12, 14, 16) o al contrario fig 13) depende de las circunstancias. Los tubos a causa de



Aparato de destilación de agua sobre fuego directo

FIG 11.



*Aparato de destilación con calefacción
por vapor*

FIG. 12.

FIG 13

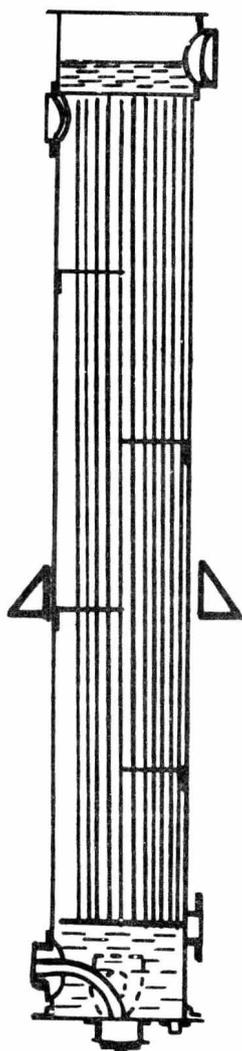
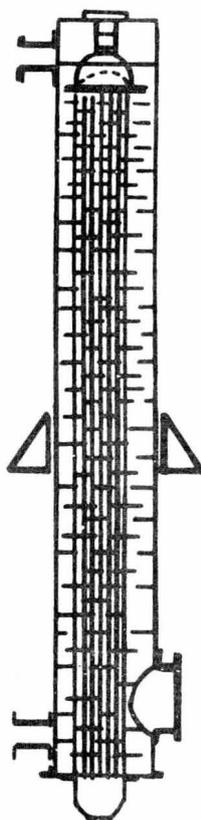


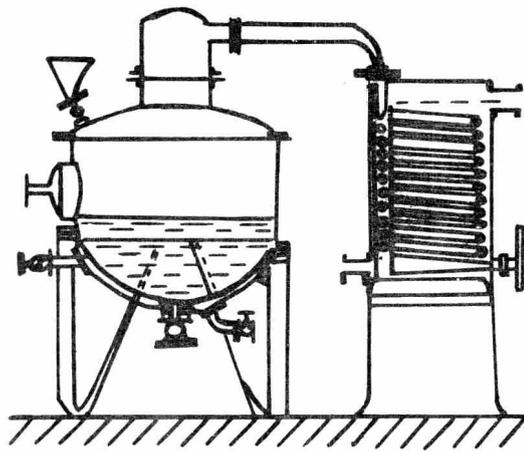
FIG 14



*Refrigerantes tubulares
verticales*



FIG.15 Refrigerante Tubular Horizontal



Alambique calentado mediante
un doble fondo
FIG 16

las incrustaciones con que los reviste el agua refrigerante, deben ser fácilmente limpiados durante el funcionamiento, es ventajoso hacer pasar el agua a través de los tubos. Pero la mayor rapidéz y la mejor condensación se consigue haciendo que por los tubos pase el vapor. Casi siempre detrás del refrigerante se aplica una probeta recipiente que tiene por objeto hacer visible el destilado y permitir la medición de su temperatura, de su densidad, y a menudo hasta de su cantidad. La probeta (fig 17) - consiste en un recipiente metálico de tal profundidad que puedan hundirse y flotar en ella el termómetro y aerómetro; en el recipiente penetra el destilado por abajo para hacerlo visible por arriba. Casi siempre está cubierto por una campana, que en caso de destilación al vacío debe ajustar perfectamente con los bordes metálicos. Si el tubo en que se introduce el aerómetro está provisto a determinada altura, de un orificio, del nivel del líquido sobre el orificio, medido sobre una escala de que también está provisto el aparato (fig. 19), se pueden deducir o leer los litros que salen por unidad de tiempo.

Cuando una destilación no se lleva a cabo a la presión atmosférica sino a presión reducida, o cuando la probeta debe servir para medir la cantidad de destilado, detrás del refrigerante deben instalarse uno o más depósitos colectores para el destilado, en los que se mantiene el vacío por medio de una bomba de aire. Cuando se aplica un solo colector, se elige con una pared horizontal de separación (fig 18), uniendo los dos compartimientos superpuestos por medio de un tubo con llave, que se cierra al quedar lleno el compartimiento inferior, con lo que se puede ya poner en comunicación con la atmósfera para vaciarlo. Mientras tanto se va recogiendo el destilado en el compartimiento superior, que vuelve a ponerse en comunicación con el inferior en cuanto éste queda des

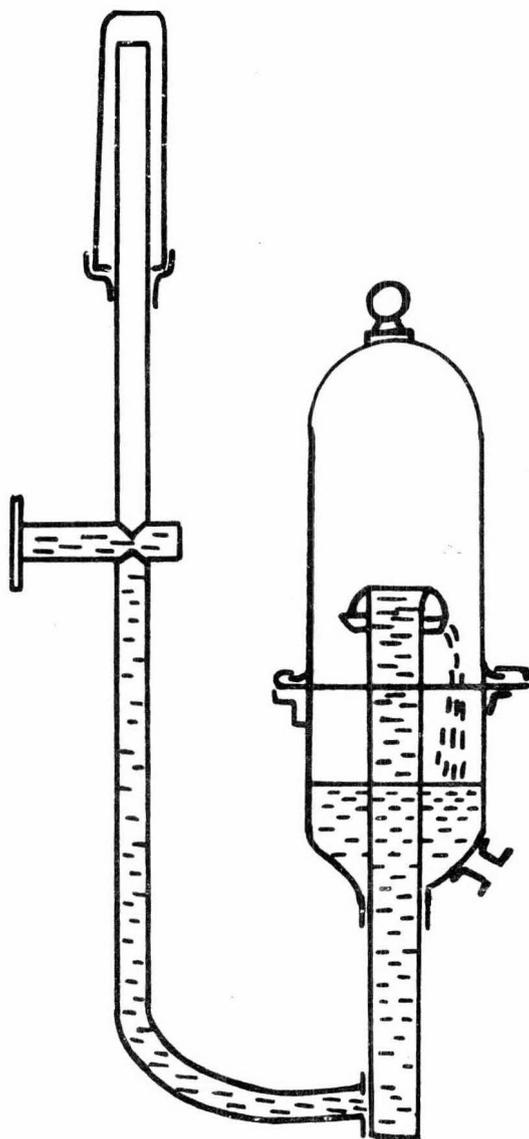
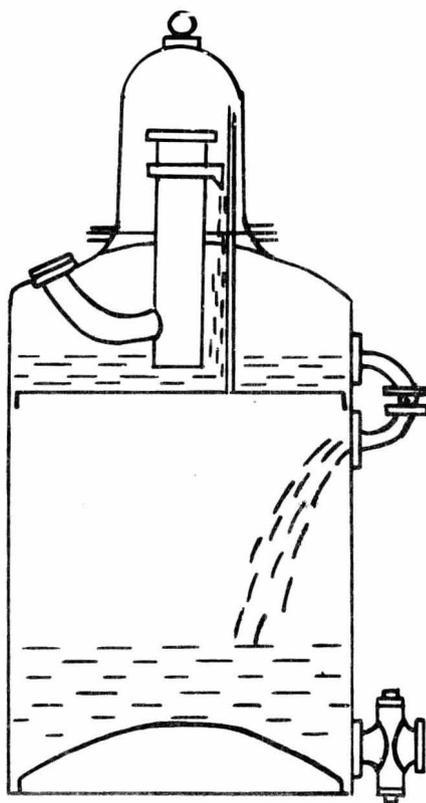
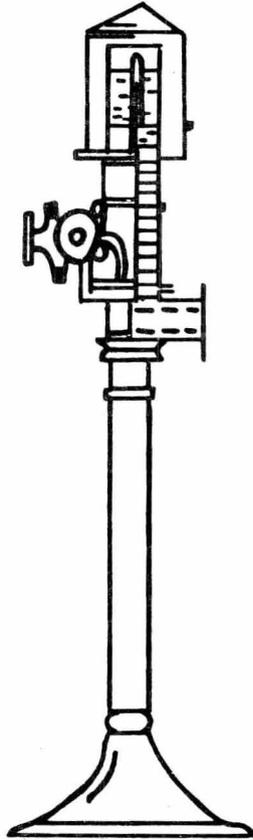


FIG 17. *Probeta*



*Probeta con recipiente
de dos pisos
FIG. 18.*



Probeta con contador de litros
FIG. 19.

alojado. Si se instalan diversos receptáculos, van siendo alternativamente llenados y desalojados, aplicando este sistema también si es preciso la separación de porciones de destilado de propiedades diversas. Los recipientes - colectores deben estar provistos de grifos de carga y va ciado, tubos de nivel o mirillas, vacuómetro, orificio - de mano, espitas de aire. A veces comprenden también ser pentines calefactores, si los destilados tienen la propiedad de solidificarse por enfriamiento.

En ciertos casos, de las masas que se destilan se - desprenden también aire y gases incondensables, que antes de la probeta hay que expulsar a la atmósfera o absorber los con la bomba de aire mediante el llamado tubo de aire. Este tubo sirve también para dar la entrada al aire en - el refrigerante; pues como la vaporización no se verifica de un modo absolutamente uniforme, la condensación del va por en el refrigerante queda terminada a veces a menor o a mayor distancia del punto de entrada, y en consecuencia varía la capacidad del espacio que en el refrigerante con tiene sólo líquido y ya no vapor, por lo que debe estar - ocupado por aire atmosférico, o en el caso de destilación al vacío, por aire enrarecido.

El consumo de vapor en la destilación simple con cal deo por paredes metálicas es la suma del requerido por - la calefacción del aparato y su carga, por la vaporización del destilado y por la pérdida debida a la irradiación.

El refrigerante ha de robar al destilado su calor de vaporización y producir su enfriamiento, para lo cual hay que atender a que la superficie de enfriamiento debe ser generalmente mayor que la superficie de condensación. -- La extensión de la superficie de caldeo de la caldera - depende naturalmente de la potencialidad deseada, del ca lor de vaporización de la materia que se elabora y del - combustible empleado, y en consecuencia debe ser determi

nada en cada caso en particular. La extensión de la superficie de refrigeración depende de la potencialidad de la caldera, del punto de ebullición, calor latente y calor específico del destilado, temperatura y pureza del agua de refrigeración y en consecuencia tampoco puede darse un valor general. Lo dicho es aplicable al trabajo a la presión atmosférica.

El material para la construcción de los aparatos se elige con el arreglo a las propiedades de la sustancia que se elabora. Para la destilación de agua-alcohol, alcohol amílico, acetona, ácido fórmico, ácidos grasos, éter, glicerina, etc. se emplea como material de construcción el cobre, a menudo estaño, porque el estaño es más resistente a la acción de muchas sustancias o dá con ellas compuestos inocuos e incoloros. Benzol, bencina e hidrocarburos análogos, amoniaco, soluciones de albúmina, alquitrán, ácido sulfúrico anhidro, etc. exigen el empleo de hierro. Prefiriéndose a menudo la fundición al hierro forjado.

Las materias brutas que por contacto con superficies muy calientes experimentan alteraciones inconvenientes se destilan en calderas calentadas en baños de agua (baño-maría) fig 20, son depósitos de agua, abiertos por arriba calentados por cualquier medio calefactor, en los que se sumerge la caldera cuya temperatura no puede exceder de los 100°C , y actúan además suavemente, porque la transmisión de calor entre dos líquidos se realiza más lentamente que entre vapor o fuego y líquido. Tales disposiciones se hallan especialmente en uso para la obtención de aceites de granos, frutos, hojas, etc, así como en la destilación de alcohol. Los materiales sometidos a la extracción se echan directamente en la caldera cargada de agua, bencina, alcohol, éter (frutos, hojas, granos) o bien se meten en sacos o cestos que se suspenden en la caldera o en

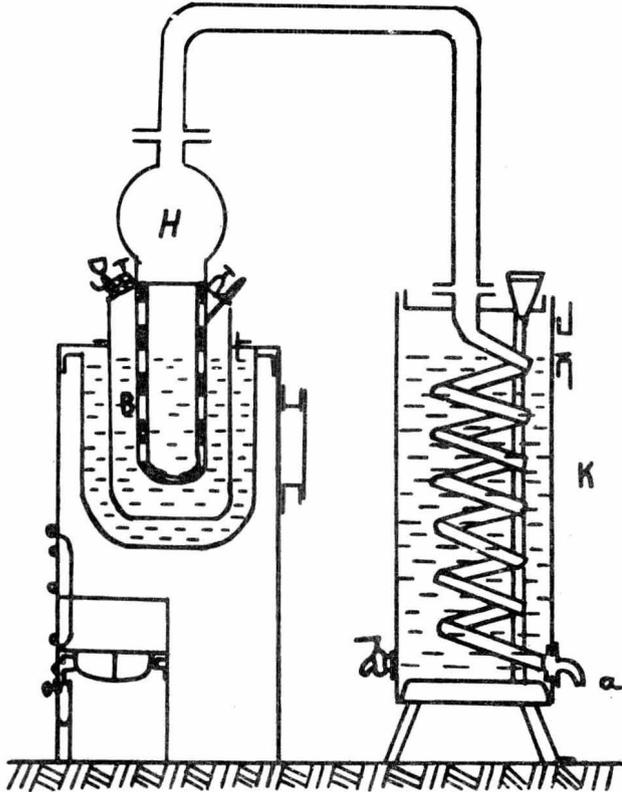


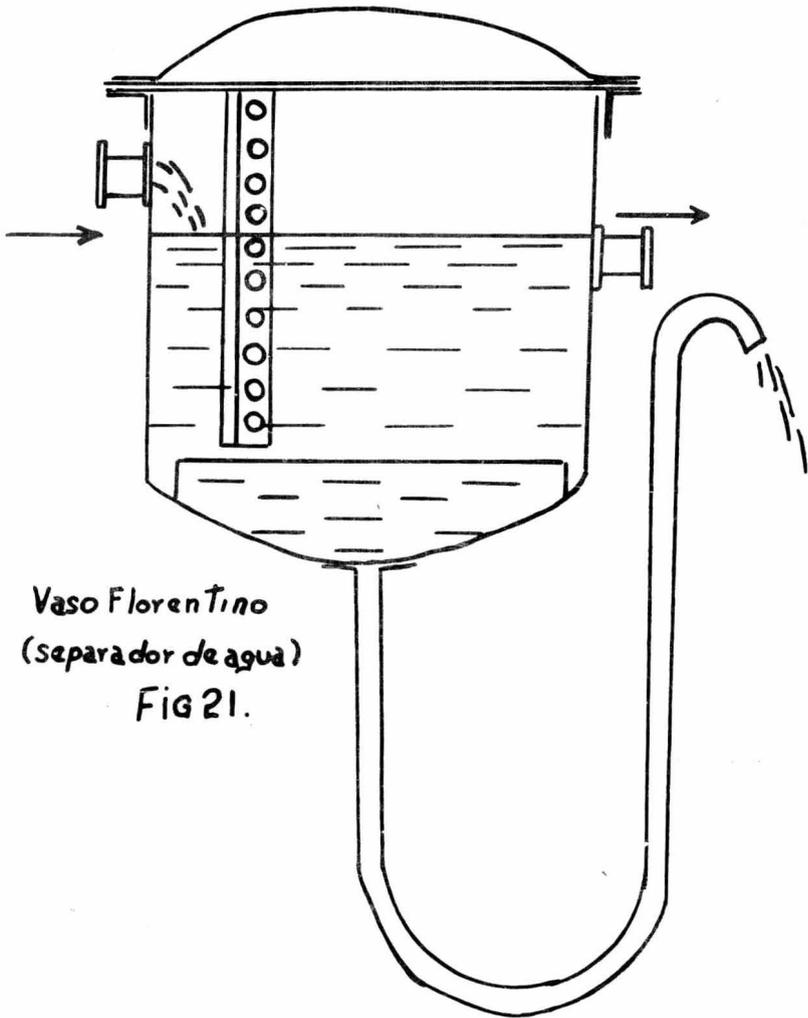
FIG 20 *Aparato de destilación con
baño maría y cesto para semillas*

depósitos intercalados entre caldera y refrigerante, donde se someten a la acción del vapor que se lleva las mate rias volátiles. Cuando el vapor licuado en el refrigerante contiene sustancias insolubles, de peso específico - más bajo o más elevado que el suyo, se separa la mezcla en los vasos florentinos (fig. 21) de vidrio o metal. - Consisten esencialmente en recipientes divididos por un - tabique en dos compartimientos.

Deponiéndose los líquidos según los respectivos pesos específicos, se separan de modo que cada uno se acumula en un compartimiento, de los que fluyen por tuberías aplicadas a alturas distintas correspondientes a sus pesos específicos. El líquido más liviano fluye por la tubería más elevada. Cuando se trata de destilar líquidos densos de alta viscosidad, o que no se mezclan debidamente, o - están mezclados con cuerpos sólidos o se separan en el - curso de la vaporización, es a menudo ventajoso proveer a la caldera de mecanismos agitadores.

La vaporización o destilación simple de líquidos con elevado punto de ebullición, que no sean solubles en agua puede facilitarse y acelerarse por inyección de vapor -- de agua, porque la introducción del vapor de agua rebaja su punto de ebullición. Pro duce se el descenso porque ven ci en do el vapor de agua una parte de la tensión total de la atmósfera circundante que debe ser vencida en la ebullición y el vapor del líquido debe sólo vencer el resto de tensión, y en consecuencia debe alcanzar sólo la temperatura de saturación correspondiente a ella.

La introducción de vapor de agua saturado se realiza comunmente por un serpentín provisto de orificios o por un colador, Si el líquido no está todavía bastante ca -- liente, el vapor introducido debe primero ceder el calor necesario, para todo ello se condensa en la caldera. De -- be seguirse entonces introduciendo vapor en la caldera -



Vaso Florentino
(separador de agua)
FIG 21.

hasta expulsar el vapor del líquido de la caldera. La cantidad de este vapor de agua depende de las propiedades físicas, o sea de la tensión y del volumen del líquido vaporizado y puede ser calculada, cuando éste es insoluble en agua, con tal que ambos vapores estén saturados.

Así cabe establecer, independientemente la proporción de la mezcla en la caldera, la temperatura de vaporización a la cual la suma de las dos o más presiones parciales de vapor iguale a la presión total circundante. Pero si los líquidos que se destilan son miscibles en todas proporciones, su proporción ponderal en el peso del vapor desarrollado depende de la proporción ponderal de los diversos líquidos en la caldera, y ya no puede calcularse, sino sólo conocerse por los experimentos de los físicos, recopilados en los libros. Resulta que líquidos miscibles en todas proporciones no pueden ser separados por destilación simple; sino en aparatos rectificadores.

Insuflando vapor de agua saturado pueden pues ser vaporizados líquidos no miscibles con agua, a temperatura inferior a su punto de ebullición: trementina, alquitrán, bencina, diversos aceites, etc. Pero aún se puede bajar más el punto de ebullición si la destilación con vapor insuflado se lleva a cabo en espacios con el aire enrarecido es decir al vacío, lo cual no presenta dificultad alguna. Como en todos los casos, los refrigerantes deben condensar no sólo el destilado obtenido, sino además el vapor de agua que con él pasa, y como los destilados son generalmente aceitosos y se adhieren mucho a las superficies del refrigerante, con lo que resulta muy atenuada la transmisión de calor, es preciso elegir las superficies de refrigeración de amplias dimensiones.

No sólo el vapor saturado se aplica a activar la destilación, sino también el recalentado. El recaldeo se puede producir por fuego directo, por líquido caliente y por

vapor de alta tensión . Claro está que para recalentar - un vapor o sea para calentarlo a temperatura superior a la de saturación, basta hacerlo pasar saturado a cualquier temperatura bastante elevada.

El vapor de agua de elevada tensión, antes de penetrar en el recalentador, debe ser purgado de agua y mediante una válvula regulable se reduce su tensión de modo que - recorra el recalentador sólo con el exceso de presión - necesario para vencer la fricción. Además como el aparato de destilación casi nunca trabaja a una presión mayor que la atmosférica, sino más bien a menor, y el vapor consume calor. También en vista de la seguridad del trabajo es ventajoso que los tubos del recalentador no den lugar a aumentos de presión.

Como material se emplea para los recalentadores el hierro fundido o forjado, prefiriéndose el primero porque con su mayor espesor de pared posee mayor capacidad - calorífica y así hace posible una constancia de temperatura algo mayor y difícil de mantener por caldeo directo de los tubos del recalentador . Tales recalentadores se - disponen ventajosamente de modo que los gases que los han calentado pasen de los tubos del recalentador a las paredes de la caldera, ahorrándose así calor. La temperatura del vapor recalentado se comprueba mediante un termómetro aplicado a la entrada del vapor en la caldera. Al líquido de la caldera llega el vapor finamente dividido por su paso por los orificios de un tubo o un colador. El empleo de vapor recalentado, en lugar del saturado, en la destilación, permite a veces una buena separación entre vapor y destilado, aún cuando éste sea soluble en agua. Pues - saliendo juntos de la caldera vapor de agua recalentado y vapor del destilado, puede producirse un enfriamiento - de ambos por etapas, de suerte que el vapor de agua queda sin condensarse, pero empieza a saturarse y en cambio, - parte del vapor de destilado que lo acompaña precipita -

por haber alcanzado su temperatura de saturación. Con el resto de destilado, pasa el vapor de agua saturado a un segundo refrigerante, para que se liquiden ambos.

En ciertos casos se emplean para el primer grado los refrigerantes de aire (fig. 22 y fig 23), en esencia con sistentes en tubos verticales u horizontales, más o menos anchos, por los que pasa la mezcla de vapores y cuyas pa redes externas están expuestas al aire ambiente.

El destilado a menudo puro, precipitado en estos re-
frigerantes al aire, se retira por abajo, através de ser
pentes refrescados con agua. La destilación con vapor -
de agua recalentado en aparatos en que se ha hecho el va-
cío, rebaja la temperatura de trabajo, reduce el consumo
de vapor a un peso mínimo y aumenta la potencialidad de
la instalación de modo que ésta forma de trabajar es in-
dudablemente la más indicada para diversas sustancias.
Las disposiciones antes descritas para recoger el desti-
lado y el vapor condensado en la destilación al vacío ha
llan aplicación en éste caso. Si se desea obtener, aunque
sea soluble en agua un destilado que a pesar dé la insu-
flación de vapor de agua se halle lo más libre de agua que
sea posible, es decir, lo más concentrado posible, puede
también conseguirse por especiales rodeos. (##)

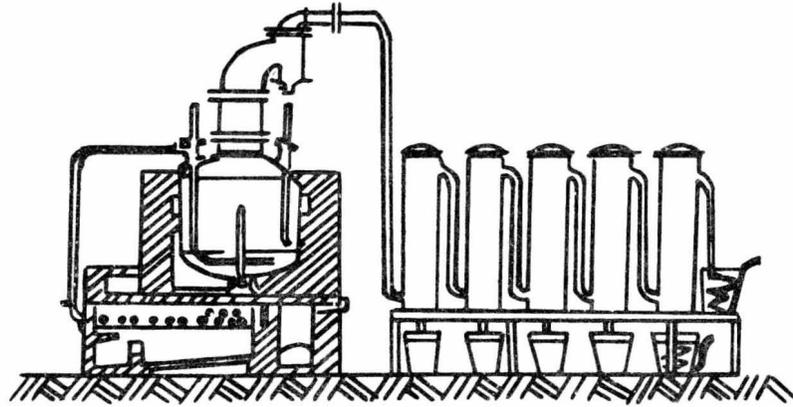


FIG: 22 *Aparato de destilación para glicerina*

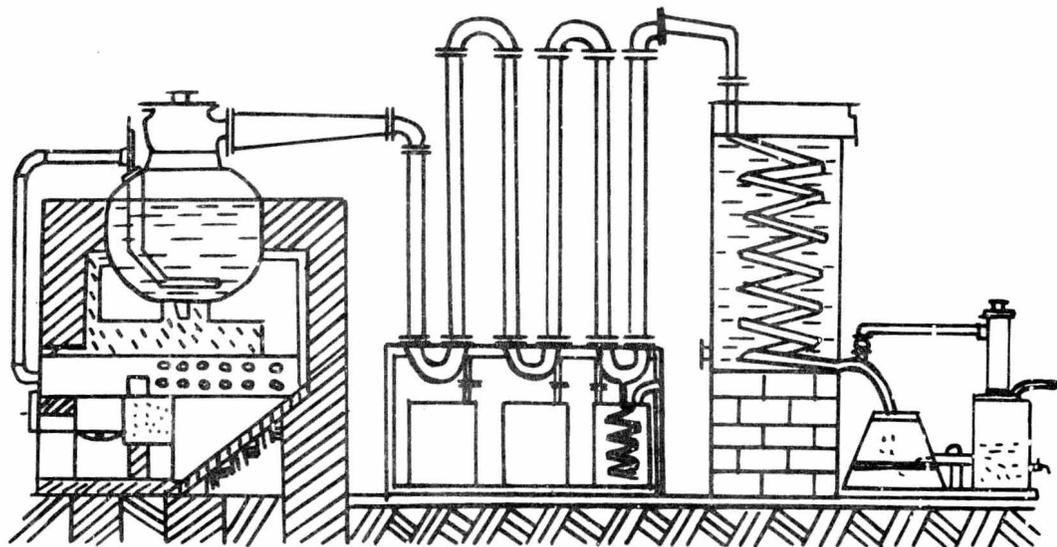


FIG 23. *Aparato de destilación de ácidos grasos*

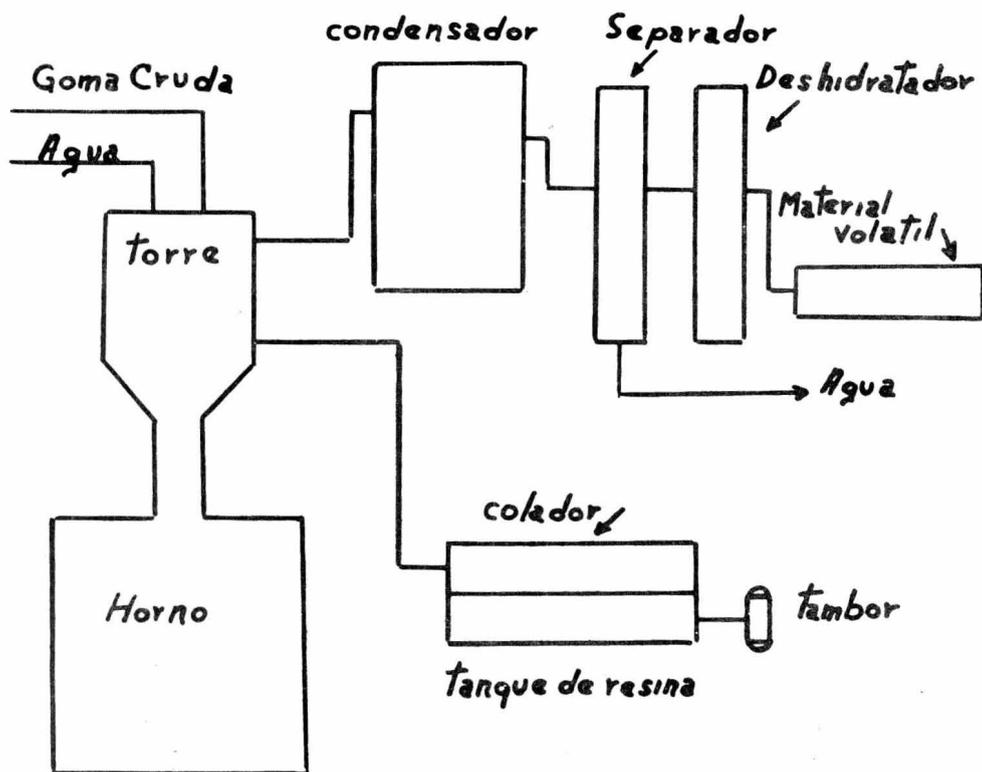


FIG 24 Destilación por arrastre con vapor de alquitrán trementina y otras resinas como se hizo en 1935.

BIBLIOGRAFIA:

DR. FRITZ ULLMANN

(#).- Enciclopedia de Química Industrial

Sección I

Editorial Gustavo Gili, S.A.

Pags. 229 a 237.

(++).- Chemical Engineering

March 2, 1974

Page. 105, 110

EXPERIMENTACION Y CALCULOS.

Este capítulo se divide en varios subtemas que a continuación se mencionan:

- a) Dedución de la ecuación para calcular la eficiencia
- b) Pasos a seguir para hacer el balance de energía
- c) Ejemplo detallado para mostrar como se llegó a los resultados obtenidos.
- d) Tablas con los datos tomados experimentalmente y tablas con los resultados obtenidos.
- e) Gráficas y tablas de donde fueron tomados algunos datos que se necesitan para realizar los cálculos.
- f) Bibliografía del inciso anterior.

a) DEDUCCION DE LA ECUACION PARA CALCULAR LA EFICIENCIA

$$P_t = \bar{P}_a + \bar{P}_b ; \quad \bar{P}_a \neq P_a^0 x_a ; \quad \bar{P}_b \neq P_b^0 x_b$$

entonces $\frac{\bar{P}_a}{P_a^0 x_a} \neq 1$ Por lo tanto introducimos

$$\text{el término de eficiencia (E).- } \frac{\bar{P}_a}{P_a^0 x_a} = E$$

Prácticamente el valor de E es menor a la unidad debido a la presencia de resistencias a la transferencia de masa y de energía en el sistema.

Considerando un proceso intermitente de destilación por arrastre con vapor tenemos que la velocidad de entrada del vapor a la velocidad de destilación del componente volátil "a" es:

Los parámetros parciales de cada sustancia

$$\frac{db/d\theta}{-da/d\theta} = \frac{b}{a} = \frac{\bar{p}_b}{\bar{p}_a} = \frac{p_t - \bar{p}_a}{\bar{p}_a} = \frac{p_t - E x_a p_a^0}{E x_a p_a^0}$$

$$\frac{db}{-da} = \frac{p_t}{E x_a p_a^0} - 1$$

si: $x_a = \frac{a}{a + 0}$ entonces:

$$db = - \frac{p_t (a + 0)}{E p_a^0 a} da + da$$

$$db = - \frac{p_t}{E p_a^0} da - \frac{0 da}{E p_a^0 a} + da$$

integrando entre los límites de 0 a b y de a_1 a a_2 :

$$\int_0^b db = \frac{-p_t}{E p_a^0} \int_{a_1}^{a_2} da - \frac{0}{E p_a^0} \int_{a_1}^{a_2} \frac{da}{a} + \int_{a_1}^{a_2} da$$

$$b = - \frac{p_t}{E p_a^0} (a_2 - a_1) - \frac{0}{E p_a^0} \ln \frac{a_2}{a_1} + (a_2 - a_1)$$

Sacando como factor común $(a_2 - a_1)$:

$$b = (a_2 - a_1) \left(\frac{-p_t}{E p_a^0} + 1 \right) - \frac{0}{E p_a^0} \ln \frac{a_2}{a_1}$$

Como los experimentos fueron hechos con sustancias que prácticamente no tenían material no volátil, consideramos a "0" como cero:

$$b = (a_1 - a_2) \left(\frac{p_t}{E p_a^0} - 1 \right)$$

De la ecuación integrada despejamos E:

$$b = \frac{(a_1 - a_2) p_t}{E p_a^0} - (a_1 - a_2)$$

$$b + (a_1 - a_2) = \frac{(a_1 - a_2) p_t}{E p_a^0}$$

$$E = \frac{p_t (a_1 - a_2)}{p_a^0 (b + (a_1 - a_2))}$$

en donde:

a_1 = gmol de "a" en el calderín en el tiempo 0

a_2 = gmol de "a" en el calderín en el tiempo 1

$(a_1 - a_2)$ = g mol destiladas de "a" en éste intervalo de tiempo.

b = g mol de agua que arrastró a "a"

p_a^0 = presión de vapor del componente "a"

p_t = presión total

b) PASOS A SEGUIR PARA HACER EL BALANCE DE ENERGIA

PASO 1.- Enunciar todos los datos que se necesiten y tomar como base de cálculo 100 Kg de material volátil.

a = g mol de material volátil al tiempo t.

b = g mol de agua que arrastra a "a" al tiempo t.

$H_{\text{vapor}}^{P_t}$ = entalpia de vapor de agua saturado a la presión total de entrada.

$H_{\text{vapor}}^{t_b}$ = entalpia de vapor de agua a la temperatura de ebullición del sistema.

$H_{\text{liq.}}^{t_b}$ = entalpia del agua líquida a la temperatura de ebullición del sistema.

$W_{\text{c(total)}}$ = Cantidad de agua total que se usó para el calentamiento en el experimento.

$W_{\text{A(total)}}$ = Cantidad de agua total que arrastró al material volátil en el experimento.

λ^{t_b} = Calor latente de ebullición a la temperatura de ebullición del sistema del componente volátil.

$C_p^{t_b}$ = Capacidad calorífica del componente volátil a la temperatura de ebullición del sistema.

PASO 2.- Calcular W_{A} (práctico) :

$$W_{\text{A}} = \frac{b \text{ Kg mol de } H_2O}{a \text{ Kg mol de "a"}} \times \frac{18 \text{ Kg de } H_2O}{1 \text{ Kg mol de } H_2O} \times \frac{1 \text{ Kgmol "a"}}{\text{P.M. Kg "a"}} \times 100$$

$$W_{\text{A}} = \frac{\text{Kg de } H_2O}{100 \text{ Kg "a"}}$$

en donde P.M. = peso molecular del componente "a"

PASO 3.- Cálculo del calor necesario para arrastrar el material volátil "a".

$$Q_n = m C_p \Delta t + m \lambda = \text{Kg} \times \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times ^\circ\text{C} + \text{Kg} \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_n = \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} ; \text{ en éste caso como tomamos una base de cálculo}$$

de 100 Kg. de material volátil podemos expresar: $Q_n = \frac{\text{Kcal}}{100 \text{ Kg}}$

es decir, es la cantidad de calor necesaria por cada 100 Kg de volátil.

PASO 4.- Cálculo de la cantidad de vapor de agua necesaria para calentar la carga hasta su temperatura de ebullición teóricamente.

$$W_c (H_s - H_{liq}) + W_A (H_s - H_{vap}) = Q_n$$

$$W_c = \frac{Q_n - W_A (H_s - H_{vap})}{(H_s - H_{liq})}$$

$$W_c = \frac{\text{Kcal} - \text{Kg} \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}}{\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}} = \frac{\text{Kg de } H_2O}{100 \text{ Kg "a"}}$$

PASO 5.- Cálculo de la cantidad de vapor de agua necesaria para calentar la carga hasta su temperatura de ebullición prácticamente.

$$W_{c(\text{prác})} = \frac{W_c (\text{total})}{(\text{vol. tot.} - \text{vol. } H_2O) (\text{densidad de "a"})} \times 100$$

$$W_c = \frac{\text{gr. de H}_2\text{O}}{(\text{ml}_{\text{tot}} - \text{ml}_{\text{H}_2\text{O}}) \left(\frac{\text{gr de "a"}}{\text{ml}} \right)} \times 100 = \frac{\text{gr de H}_2\text{O}}{100 \text{ gr. "a"}}$$

también se puede expresar como: $W_c = \frac{\text{Kg. de H}_2\text{O}}{100 \text{ Kg de "a"}}$

PASO 6.- Cálculo de las pérdidas de calor:

$$Q_p = (W_{c(\text{práct})} - W_{c(\text{teórico})}) (H_s - H_{\text{liq}})$$

$$Q_p = \frac{\text{Kg de H}_2\text{O}}{100 \text{ Kg "a"}} \times \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg H}_2\text{O}} = \frac{\text{Kcal}}{100 \text{ Kg "a"}}$$

$$Q_p \times 100 = \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg "a"}}$$

PASO 7.- $W_{c(\text{tot})} = W_{c(\text{calentamiento})} + W_{c(\text{pérdidas})}$
 expresados en $\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg de "a"}}$

c) EJEMPLO DETALLADO PARA MOSTRAR COMO SE LLEGO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Se tomará como ejemplo, la lectura No.4 del experimento con benceno a una presión de entrada del vapor de agua de 0.1 Kg/cm^2 .

Cálculo de la eficiencia:

$$E = \frac{P_t (a_1 - a_2)}{P_a^0 (b + (a_1 - a_2))}$$

$$E = \frac{586 \text{ mmHg (4.936 gmol benceno)}}{420 \text{ mmHg (3.333 gmol H}_2\text{O + 4.936 gmol benceno)}}$$

$$E = \frac{2892.496}{420 (8.269)} = \frac{2892.496}{3472.980} = 0.833$$

Balance de energía :

PASO 1.-

a = 4.936 gmol de benceno

b = 3.333 gmol de agua

$$\begin{aligned} H_s & 1.422 + 11.3 = 12.722 \text{ psia} \\ & = 1147.8 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \times \frac{1 \text{ lb}}{454 \text{ gr.}} \times \frac{252 \text{ cal}}{1 \text{ BTU}} \\ & = 637.104 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg.}} \end{aligned}$$

La presión total de entrada se transforma así:

$$\begin{aligned} 0.1 \text{ Kg/cm}^2 \times \frac{14.7 \text{ lb/in}^2}{1.0333 \text{ Kg/cm}^2} & = 1.422 \text{ lb/in}^2 = 1.422 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$P_{\text{tot.}} = 1.422 + 11.3 = 12.722 \text{ psia}$$

$$H_{\text{liq.}}^{62^\circ\text{C}} = 62 \text{ Kcal/Kg}$$

$$H_{\text{vap.}}^{62^\circ\text{C}} = 143^\circ\text{F} = 1123 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \times \frac{1 \text{ lb}}{454 \text{ gr.}} \times \frac{252 \text{ cal}}{1 \text{ BTU}} = 623.33 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$W_{\text{c}}(\text{total}) = 5460 \text{ gr (experimentalmente)}$$

$$W_{\text{A}} = 945 \text{ gr. (experimentalmente)}$$

$$\lambda_{\text{benceno}}^{62^\circ\text{C}} = 87.151 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg.}}$$

Este dato se calcula de la ecuación de Kistyakowsky de la siguiente forma:

$$\frac{\lambda_b}{T_b} = 8.75 + 4.571 \log T_b$$

Para éste caso: $T_b = 62 + 273 = 335^\circ\text{K}$

$$\lambda_b = (8,75 + 4.571 \log 335) 335 = 6797.813 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg mol}}$$

Como todos nuestros datos están en Kcal/Kg:

$$6797.813 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg mol}} \times \frac{1 \text{ Kg mol}}{78 \text{ gr}} = 87.151 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$C_p^{62^\circ\text{C}} \text{ benceno} = 0.45 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$

PASO 2.-

$$W_A(\text{práctico}) = \frac{3.333 \text{ Kg mol } \text{H}_2\text{O}}{4.936 \text{ Kg mol benc.}} \times \frac{1 \text{ Kg mol benc.}}{78 \text{ Kg}} \times$$

$$\frac{18 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ Kg mol } \text{H}_2\text{O}} \times 100 = 15.582 \frac{\text{Kg } \text{H}_2\text{O}}{100 \text{ Kg. benc.}}$$

PASO 3.-

$$Q_n = m C_p (t_2 - t_1) + m \lambda$$

$$Q_n = 100 \text{ Kg benc} \left(0.45 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \right) (62 - 20) + (100 \text{ Kg benc})$$

$$(87.151 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}) = 10605.1 \frac{\text{Kcal}}{100 \text{ Kg benc.}}$$

PASO 4.-

$$\frac{Q_n - W_A (H_s - H_{vap})}{(H_s - H_{liq})} = W_c(\text{teórica})$$

$$\frac{10605.1 \frac{\text{Kcal}}{100 \text{ Kg}} - 15.582 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{100 \text{ Kg "a"}} (637.104 - 623.339) \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg H}_2\text{O}}}{(637.104 - 62) \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg H}_2\text{O}}}$$

$$W_c(\text{teórica}) = 18.067 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{100 \text{ Kg benc.}}$$

PASO 5.-

$$\frac{W_c(\text{total}) \times 100}{(\text{vol. total} - \text{vol. H}_2\text{O}) (\text{densidad del benc})} = W_c(\text{prác.})$$

$$\frac{5460 \text{ gr. H}_2\text{O}}{(7540 - 945) (0.875) \text{ gr. benc}} \times 100 = W_c(\text{práctico})$$

$$W_c(\text{práctico}) = 94.61 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{100 \text{ Kg benc.}}$$

PASO 6.-

$$Q_p = (W_c(\text{práctico}) - W_c(\text{teórico})) (H_s - H_{liq})$$

$$Q_p = (94.61 - 18.067) \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{100 \text{ Kg benc.}} (637.104 - 62) \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg H}_2\text{O}}$$

$$Q_p = 44020.185 \frac{\text{Kcal}}{100 \text{ Kg. benc}} = 440.201 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg benc.}}$$

PASO 7.-

$$W_c(\text{total}) = W_c(\text{calentamiento}) + W_c(\text{pérdidas})$$

$$0.9461 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg benc.}} = 0.180 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg benc.}} + 0.765 \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg benc.}}$$

*Práctico**Teórico*

d) TABLAS CON LOS DATOS TOMADOS EXPERIMENTALMENTE
Y TABLAS CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

EXPERIMENTO BENCENO-AGUA

Presión de entrada del vapor 0.1 Kg/cm²
 Agua que queda al final del experimento en el calderín 5460 ml.
 Presión total de trabajo 586 mm Hg.
 Peso molecular del benceno 78 gr/gr mol.

DATOS EXPERIMENTALES;

tiempo	vol. total	vol. H ₂ O	t _{salida}	t _{calderín}
hrs.	ml	ml	°C	°C
5:36	----	----	----	----
5:45	500	58	22	61
5:52	540	67	22	62
5:59	500	63	22	62
6:06	500	60	22	62
6:12	500	60	22	62
6:19	500	58	22	62
6:25	500	63	22	62
6:31	500	60	22	62
6:37	500	60	22	62
6:44	500	60	22	62
6:51	500	60	22	63
6:58	500	64	22	63
7:06	500	64	22	63
7:20	500	66	22	63
7:41	500	82	22	64

DATOS EXPERIMENTALES, DATOS DE TABLAS , Y RESULTADOS

tiempo min	vol. total ml	vol. H ₂ O ml	t _{salida} °C	densidad _{salida} gr/ml
6	500	58	22	0.875
7	540	67	22	0.875
7	500	63	22	0.875
7	500	60	22	0.875
6	500	60	22	0.875
7	500	58	22	0.875
6	500	63	22	0.875
6	500	60	22	0.875
6	500	60	22	0.875
7	500	60	22	0.875
7	500	60	22	0.875
7	500	64	22	0.875
8	500	64	22	0.875
14	500	66	22	0.875
<u>21</u>	<u>500</u>	<u>82</u>	22	0.875
122	7540	945		

(continuación)

benceno gmol	agua gmol	t _{calderín} °C	p ^o _{benceno} mmHg	Eficiencia
4.958	3.222	61	404	0.879
5.306	3.722	62	420	0.820
4.902	3.500	62	420	0.814
4.936	3.333	62	420	0.833
4.936	3.333	62	420	0.833
4.958	3.222	62	420	0.845
4.902	3.500	62	420	0.814
4.936	3.333	62	420	0.833
4.936	3.333	62	420	0.833
4.936	3.333	62	420	0.833
4.936	3.333	63	430	0.813
4.890	3.560	63	430	0.813
4.890	3.560	63	430	0.813
4.868	3.666	63	430	0.777
4.689	4.556	64	450	0.666

BALANCE DE ENERGIA:

PASO 1.-

$$a = 4.936 \text{ gmol benceno}$$

$$b = 3.333 \text{ gmol agua}$$

$$H_s = 637.104 \text{ Kcal/Kg (del vapor a 12.722 psia)}$$

$$H_{\text{vap.}} = 623.339 \text{ Kcal/Kg (a } 143^\circ\text{F} = 62^\circ\text{C)}$$

$$H_{\text{liq}} = 62 \text{ Kcal/Kg (a } 62^\circ\text{C)}$$

$$W_{\text{c(práctico)}} = 5\,460 \text{ gr}$$

$$W_{\text{A(práctico)}} = 945 \text{ gr}$$

$$\lambda_{\text{benceno}} = 87.151 \text{ Kcal/Kg (a } 62^\circ\text{C)}$$

$$C_p(\text{benceno}) = 0.45 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{PASO 2.- } W_A(\text{práctico}) = 15.582 \text{ Kg H}_2\text{O} / 100 \text{ Kg benceno}$$

$$\text{PASO 3.- } Q_n = 10\,605 \text{ Kcal} / 100 \text{ Kg de benc.}$$

$$\text{PASO 4.- } W_c(\text{teórico}) = 94.61 \text{ Kg H}_2\text{O} / 100 \text{ Kg de benc.}$$

$$\text{PASO 5.- } W_c(\text{práctico}) = 18.067 \text{ Kg H}_2\text{O} / 100 \text{ Kg de benc.}$$

$$\text{PASO 6.- } Q_p = 440.201 \text{ Kcal/Kg de benc.}$$

$$\begin{aligned} \text{PASO 7.- } W_c(\text{total}) &= W_c(\text{calentamiento}) + W_c(\text{pérdidas}) \\ 0.9461 &= (0.18067 + 0.7654) \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg benc}} \end{aligned}$$

EXPERIMENTO BENCENO-AGUA

Presión de entrada del vapor 0.15 Kg/cm²
 Agua que queda al final del experimento en el calderín 4400 ml
 Presión total de trabajo 586 mmHg
 Peso molecular del benceno 78 gr/grmol

DATOS EXPERIMENTALES:

tiempo	vol. total	vol. H ₂ O	t _{salida}	t calderín
hrs.	ml.	ml.	°C	°C
4:42	----	----	----	----
4:46	1000	98	22	62
4:50	1000	133	22	62
4:54	1000	118	22	62
4:59	1000	118	22	62
5:03	1000	122	22	62
5:06	1000	120	22	62
5:09	1000	120	22	62
5:13	1000	124	22	64
5:17	1000	130	22	64
5:21	1000	135	22	66
5:26	1000	150	22	69
5:30	400	75	22	86

DATOS EXPERIMENTALES, DATOS DE TABLAS, Y RESULTADOS.

tiempo	vol. total	vol. H ₂ O	t _{salida}	densidad salida
min	ml	ml	°C	gr/ml
4	1000	98	22	0.875
4	1000	133	22	0.875
4	1000	118	22	0.875
5	1000	118	22	0.875
4	1000	122	22	0.875
3	1000	120	22	0.875
3	1000	120	22	0.875
4	1000	124	22	0.875
4	1000	130	22	0.875
4	1000	135	20	0.879
5	1000	150	22	0.875
<u>4</u>	<u>400</u>	<u>75</u>	22	0.875
48	11400	1443		

benceno	agua	t _{calderín}	P ^o _{benceno}	Eficiencia
gmol	gmol	°C	mm Hg	
10.118	5.444	62	420	0.907
9.726	7.389	62	420	0.792
9.894	6.555	62	420	0.839
9.894	6.555	62	420	0.839
9.849	6.778	62	420	0.828
9.871	6.667	62	420	0.832
9.871	6.667	62	420	0.832
9.827	6.889	64	452	0.765
9.759	7.222	64	452	0.748
9.703	7.500	66	480	0.688
9.535	8.333	69	530	0.590
4.487	4.167	86	880	0.345

BALANCE DE ENERGIA:

PASO 1.-

$$a = 9.894 \text{ gmol benceno}$$

$$b = 6.555 \text{ gmol agua}$$

$$H_s = 637.504 \text{ Kcal/Kg (del vapor a } 13.434 \text{ psia)}$$

$$H_{\text{vap.}} = 625.1 \text{ Kcal/Kg (a } 62^\circ\text{C} = 143.6^\circ\text{F)}$$

$$H_{\text{liq.}} = 62 \text{ Kcal/Kg (a } 62^\circ\text{C)}$$

$$W_c(\text{práctico}) = 4\,400 \text{ gr}$$

$$W_A(\text{práctico}) = 1\,443 \text{ gr}$$

$$\lambda_{\text{benceno}} = 87.151 \text{ Kcal/Kg (a } 62^\circ\text{C)}$$

$$C_p(\text{benceno}) = 0.45 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$



QUIMICA

$$\text{PASO 2.- } W_A(\text{práctico}) = 15.289 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg benceno}$$

$$\text{PASO 3.- } Q_n = 10\,605.1 \text{ Kcal}/100 \text{ Kg de benceno}$$

$$\text{PASO 4.- } W_c(\text{teórico}) = 18.051 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg benceno}$$

$$\text{PASO 5.- } W_c(\text{práctico}) = 50.50 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg de benceno}$$

$$\text{PASO 6.- } Q_p = 186.745 \text{ Kcal/Kg benceno}$$

$$\text{PASO 7.- } W_c(\text{total}) = W_c(\text{calentamiento}) + W_c(\text{pérdidas})$$

$$0.5050 = (0.32449 + 0.18051) \text{ Kg H}_2\text{O}$$

 Kg_{benc.}

EXPERIMENTO BENCENO-AGUA

Presión de entrada del vapor	<u>0.2 Kg/cm²</u>
Agua que queda al final del experimento en el calderín	<u>3100ml</u>
Presión total de trabajo	<u>586 mmHg</u>
Peso molecular del benceno	<u>78 gr/ grmol</u>

DATOS EXPERIMENTALES:

tiempo	vol. total	vol. H ₂ O	t _{salida}	t _{calderín}
hrs.	ml.	ml.	°C	°C
6:04	---	---	---	---
6:08	2000	219	24	62
6:12	2000	240	24	64
6:16	2000	242	30	64
6:20	2000	250	30	66
6:24	2000	282	30	66
6:29	1240	220	25	85

DATOS EXPERIMENTALES, DATOS DE TABLAS Y RESULTADOS.

tiempo	vol. total	vol. H ₂ O	t _{salida}	densidad _{salida}
min.	ml.	ml.	°C	gr/ml
4	2000	219	24	0.8725
4	2000	240	24	0.8725
4	2000	242	30	0.8660
4	2000	250	30	0.8660
4	2000	282	30	0.8660
<u>5</u>	<u>1240</u>	<u>220</u>	25	0.8725
25	11240	1453		

benceno gmol	agua gmol	t _{calderín} °C	P ^o _{benceno} mmHg	Eficiencia
19.922	12.166	62	420	0.866
19.687	13.333	64	450	0.776
19.518	13.444	64	450	0.771
19.429	13.888	66	480	0.712
19.074	15.666	70	550	0.585
11.409	12.222	85	860	0.329

BALANCE DE ENERGIA:

PASO 1.-

$$a = 19.518 \text{ gmol benceno}$$

$$b = 13.444 \text{ gmol agua}$$

$$H_s = 638.215 \text{ Kcal/Kg (del vapor a 14.145 psia)}$$

$$H_{\text{vap.}} = 624.116 \text{ Kcal/Kg (a } 64^\circ\text{C} = 147.2^\circ\text{F)}$$

$$H_{\text{liq.}} = 64 \text{ Kcal/Kg (a } 64^\circ\text{C)}$$

$$W_c(\text{práctico}) = 3 \text{ 100 gr.}$$

$$W_A(\text{práctico}) = 1 \text{ 453 gr.}$$

$$\lambda_{\text{benceno}} = 87.711 \text{ Kcal/Kg (a } 64^\circ\text{C)}$$

$$C_p(\text{benceno}) = 0.45 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{PASO 2.- } W_A(\text{práctico}) = 15.895 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg. benceno}$$

$$\text{PASO 3.- } Q_n = 10 \text{ 751.1 Kcal}/100 \text{ Kg de benceno}$$

$$\text{PASO 4.- } W_c(\text{teórico}) = 18.332 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg de benceno}$$

$$\text{PASO 5.- } W_c(\text{práctico}) = 36.2 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg de benceno}$$

$$\text{PASO 6.- } Q_p = 10 \text{ 260.073 Kcal}/100 \text{ Kg benceno ó}$$

$$102.600 \text{ Kcal/Kg. benceno}$$

$$\text{PASO 7.- } W_c(\text{total}) = W_c(\text{calentamiento}) + W_c(\text{pérdidas})$$

$$0.362 = (0.1833 + 0.1786) \text{ Kg H}_2\text{O}$$

$$\text{Kg}_{\text{benc.}}$$

EXPERIMENTO 2 METIL PENTANO-AGUA

Presión de entrada del vapor 0.1 Kg/cm²
 Agua que queda al final del experimento en el calderín 4420 ml
 Presión total de trabajo 586 mmHg
 Peso molecular del 2 metil pentano 86 gr/grmol

DATOS EXPERIMENTALES:

tiempo	vol. total	vol. H ₂ O	t _{salida}	t _{calderín}
hrs.	ml.	ml.	°C	°C
5:17	----	----	----	----
5:31	1000	54	21	41
5:44	1000	48	21	48
6:14	1000	83	22	46
6:21	500	27	21	47
6:25	500	31	21	48
6:28	500	19	21	48
6:31	500	20	21	48
6:35	500	19	21	49
6:37	500	17	21	49
6:41	500	18	21	49
6:44	500	18	21	49
6:49	500	20	21	49
6:55	500	25	21	49
6:58	500	19	21	51
7:00	500	14	21	51
7:02	500	15	20	52
7:06	500	19	20	54
7:09	300	17	20	57

DATOS EXPERIMENTALES, DATOS DE TABLAS Y RESULTADOS

tiempo min.	vol. total ml.	vol. H ₂ O ml.	t _{salida} °C	densidad gr/ml	salida
4	1000	54	21	0.653	
3	1000	48	21	0.653	
20	1000	83	21	0.653	
7	500	27	21	0.653	
4	500	31	21	0.653	
3	500	19	21	0.653	
3	500	20	21	0.653	
4	500	19	21	0.653	
2	500	17	21	0.653	
4	500	18	21	0.653	
3	500	18	21	0.653	
5	500	20	21	0.653	
6	500	25	21	0.653	
3	500	19	21	0.653	
2	500	14	21	0.653	
2	500	15	20	0.653	
4	500	19	20	0.653	
<u>3</u>	<u>300</u>	<u>17</u>	20	0.653	
82	10300	483			

2 metil pentano	agua	t _{calderín}	p ₂ ^o	metil pentano	E
gmol	gmol	°C		mmHg	
7.183	3.000	41		400	1.033
7.228	2.667	48		515	0.831
6.962	4.611	46		475	0.742
3.591	1.500	47		490	0.843
3.561	1.722	48		515	0.767
3.652	1.056	48		515	0.882
3.644	1.111	48		515	0.872
3.652	1.056	49		540	0.882
3.667	0.944	49		540	0.863
3.653	1.000	49		540	0.850
3.653	1.000	49		540	0.850
3.644	1.111	49		540	0.832
3.606	1.389	49		540	0.783
3.652	1.056	51		575	0.790
3.690	0.778	51		575	0.841
3.682	0.833	52		595	0.803
3.652	1.056	54		630	0.721
3.667	0.944	57		690	0.675

BALANCE DE ENERGIA:

PASO 1.-

a = 3.652 gmol 2 metil pentano

b = 1.056 gmol agua

H_s = 637.104 Kcal/Kg (del vapor a 12.722 psia)

H_{vap.} = 618.787 Kcal/Kg (a 51°C = 123.8°F)

H_{liq.} = 51 Kcal/Kg (a 51°C)

W_c (práctico) = 4 420 gr.

W_A (práctico) = 483 gr.

λ_{2 metil pentano} = 76.199 Kcal/Kg (a 51 °C)

$$C_p(2 \text{ metil pentano}) = 0.419 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{PASO 2.- } W_A(\text{práctico}) = 6.052 \text{ Kg H}_2\text{O} / 100 \text{ Kg de 2 metil pentano}$$

$$\text{PASO 3.- } Q_n = 9318.7 \text{ Kcal} / 100 \text{ Kg de 2 metil pentano}$$

$$\text{PASO 4.- } W_c(\text{teórico}) = 15.710 \text{ Kg H}_2\text{O} / 100 \text{ Kg de 2 met. Pent.}$$

$$\text{PASO 5.- } W_c(\text{práctico}) = 68.90 \text{ Kg H}_2\text{O} / 100 \text{ Kg de 2 met. pent.}$$

$$\begin{aligned} \text{PASO 6.- } Q_p &= 31\,174.871 \text{ Kcal} / 100 \text{ Kg de 2 metil pentano} \\ &= 311.748 \text{ Kcal} / \text{Kg de 2 metil pentano} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PASO 7.- } W_c(\text{total}) &= W_c(\text{calentamiento}) + W_c(\text{pérdidas}) \\ 0.689 &= (0.1571 + 0.5319) \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg}_{\text{met. pent.}}} \end{aligned}$$

EXPERIMENTO 2 METIL PENTANO-AGUA

Presión de entrada del vapor 0.15 Kg/cm²
 Agua que queda al final del experimento en el calderín 2300 ml
 Presión total de trabajo 586 mmHg.
 Peso molecular del 2 metil pentano 86 gr/grmol

DATOS EXPERIMENTALES:

tiempo	vol. total	vol. H ₂ O	t _{salida}	t _{calderín}
hrs.	ml.	ml.	°C	°C
4:55	----	----	----	----
5:00	2000	23	35	50
5:03	2000	32	35	50
5:07	2000	23	35	50
5:11	2000	25	32	50
5:15	2000	30	29	53
5:18	270	8	25	58

DATOS EXPERIMENTALES, DATOS DE TABLAS Y RESULTADOS:

tiempo	vol. total	vol. H ₂ O	t _{salida}	densidad salida
min.	ml.	ml.	°C	gr/ml
5	2000	23	35	0.640
3	2000	32	35	0.640
4	2000	23	35	0.640
4	2000	25	32	0.643
4	2000	30	29	0.646
<u>3</u>	<u>270</u>	<u>8</u>	<u>25</u>	<u>0.649</u>
23	10270	141		

2 met. pent.	H ₂ O	t _{calderín}	p ₂ ^o	met. pent.	Eficiencia
gmol	gmol	oC	mmHg.		
14.712	1.278	50	555		0.971
14.645	1.778	50	555		0.941
14.712	1.278	50	555		0.971
14.766	1.388	50	555		0.965
14.798	1.667	53	610		0.863
1.977	0.444	58	715		0.669

BALANCE DE ENERGIA:

a = 14.712 g mol de 2 metil pentano

b = 1.278 g mol de agua

H_s = 637.504 Kcal/Kg (del vapor a 13.434 psia)

H_{vap.} = 618.343 Kcal/ Kg (a 50°C = 122°F)

H_{liq.} = 50 Kcal/ Kg (a 50°C)

W_{c(práctico)} = 2 300 gr.

W_{A(práctico)} = 141 gr.

λ 2 metil pentano = 75.941 Kcal/ Kg (a 50°C)

C_p(2 metil pentano) = 0.55 Kcal/ Kg°C

PASO 2.- W_{A(práctico)} = 1.818 Kg H₂O/100 Kg de 2 met. pent.

PASO 3.- Q_n = 9244.1 Kcal/100 Kg de 2 metil pentano.

PASO 4.- W_{c(teórico)} = 15.675 Kg H₂O/100 Kg de 2 met. pent.

PASO 5.- W_{c(práctico)} = 35.479 Kg H₂O/100 Kg de 2 met. Pent.

PASO 6.- Q_p = 11 634.929 Kcal/ 100 Kg de 2 met. pent.
= 116.349 Kcal/Kg de 2 metil pentano

PASO 7.- W_{c(total)} = W_{c(calentamiento)} + W_{c(pérdidas)}
0.534 = (0.1567 + 0.198) Kg H₂O

Kg₂metpent.

EXPERIMENTO 2 METIL PENTANO-AGUA

Presión de entrada del vapor 0.2 Kg/cm²
 Agua que queda al final del experimento en el calderín 2000 ml.
 Presión total de trabajo 586 mmHg.
 Peso molecular del 2 metil pentano 86 gr/grmol.

DATOS EXPERIMENTALES:

tiempo	vol. total	vol.H ₂ O	t _{salida}	t _{calderín}
hrs.	ml.	ml.	°C	°C
5:51	----	----	----	----
5:53	2000	50	38	54
5:56	2000	42	40	54
5:59	2000	39	41	54
6:01	2000	40	41	54
6:03	1180	18	40	60

DATOS EXPERIMENTALES, DATOS DE TABLAS Y RESULTADOS

tiempo	vol. total	vol.H ₂ O	t _{salida}	densidad _{salida}
min.	ml.	ml.	°C	gr/ml
2	2000	50	38	0.638
3	2000	42	40	0.636
3	2000	39	41	0.635
2	2000	40	41	0.635
<u>2</u>	<u>1180</u>	<u>18</u>	40	0.636
12	9180	189		

2 met. pent	H ₂ O	t _{calderín}	P ₂ ^o	met. pent.	Eficiencia
gmol.	gmol	°C	mmHg.		
14.466	2.778	54	626		0.785
14.480	2.333	54	626		0.806
14.479	2.167	54	626		0.814
14.472	2.222	54	626		0.811
8.593	1.000	60	760		0.690

BALANCE DE ENERGIA:

PASO 1.-

a = 14.480 gmol de 2 metil pentano

b = 2.333 g mol de agua

H_s = 638.215 Kcal/Kg (del vapor a 14.145 psia)

H_{vap.} = 620.008 Kcal/Kg (a 54°C = 129.2°F)

H_{liq.} = 54 Kcal/Kg (a 54 °C)

W_c(práctico) = 2000 gr.

W_A(práctico) = 189 gr.

λ_{2 metil pentano} = 76.974 Kcal/Kg

C_p(2 metil pentano) = 0.55 Kcal/Kg°C

PASO 2.- W_A(práctico) = 3.372 Kg H₂O / 100 Kg 2 met.pent.

PASO 3.- Q_n = 9 567.4 Kcal/100 kg de 2 metil pentano

PASO 4.- W_c(teórico) = 16.271 Kg de H₂O/100 Kg de 2 met.pent.

PASO 5.- W_c(práctico) = 34.975 Kg H₂O/100 Kg de 2metil pent.

PASO 6.- Q_p = 10 927.157 Kcal/100 Kg de 2 metil pentano

= 109.271 Kcal/ Kg de 2 metil pentano

PASO 7.- W_c(total) = W_c(calentamiento) + W_c(pérdidas)

$$0.349 = (0.162 + 0.187) \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg}_{2\text{met.pent.}}}$$

EXPERIMENTO TOLUENO-AGUA

Presión de entrada del vapor	<u>0.12 Kg/cm²</u>
Agua que queda al final del experimento en el calderín	<u>11980 ml.</u>
Presión total de trabajo	<u>586 mmHg.</u>
Peso molecular del tolueno	<u>93 gr/grmol.</u>

DATOS EXPERIMENTALES:

tiempo hrs.	vol. total ml.	vol. H ₂ O ml.	t _{salida} °C	t _{calderín} °C
1:54	----	----	----	----
3:00	200	87	22	75
3:21	200	74	22	75
4:17	230	87	22	72
4:29	240	34	22	70
4:59	200	34	22	73

DATOS EXPERIMENTALES, DATOS DE TABLAS Y RESULTADOS:

tiempo min.	vol. total ml.	vol. H ₂ O ml.	t _{salida} °C	densidad _{salida} gr/ml
66	200	87	22	0.865
21	200	74	22	0.865
56	230	87	22	0.865
12	240	34	22	0.865
<u>30</u>	<u>200</u>	<u>34</u>	22	0.865
185	1070	316		

tolueno g mol.	H ₂ O gmol.	t _{calderín} °C	p _{tolueno} mmHg.	Eficiencia
1.051	4.833	75	245	0.427
1.171	4.111	75	245	0.530
1.537	4.833	72	220	0.642
1.916	1.889	70	210	1.400
1.544	1.889	73	235	1.120

BALANCE DE ENERGIA:

PASO 1.-

$$a = 1.537 \text{ gmol tolueno}$$

$$b = 4.833 \text{ gmol H}_2\text{O}$$

$$H_s = 637.326 \text{ Kcal/Kg (del vapor a 13.007 psia)}$$

$$H_{\text{vapor}} = 627.668 \text{ Kcal/Kg (a } 72^\circ\text{C} = 161.6^\circ\text{F)}$$

$$H_{\text{liq.}} = 72 \text{ Kcal/Kg (a } 72^\circ\text{C)}$$

$$W_c(\text{práctico}) = 11 \text{ 980 gr.}$$

$$W_A(\text{práctico}) = 316 \text{ gr.}$$

$$\lambda_{\text{tolueno}} = 75.493 \text{ Kcal/Kg (a } 72^\circ\text{C)}$$

$$C_p(\text{tolueno}) = 0.44 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{PASO 2.- } W_A(\text{práctico}) = 60.860 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg tolueno}$$

$$\text{PASO 3.- } Q_n = 9837.3 \text{ Kcal}/100 \text{ Kg de tolueno}$$

$$\text{PASO 4.- } W_c(\text{teórico}) = 16.361 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg. tolueno}$$

$$\text{PASO 5.- } W_c(\text{práctico}) = 1836.831 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg tolueno}$$

$$\text{PASO 6.- } Q_p = 1 \text{ 029 159.023 Kcal}/100 \text{ Kg tolueno}$$

$$= 10 \text{ 291.590 Kcal/Kg tolueno}$$

$$\text{PASO 7.- } W_c(\text{total}) = W_c(\text{calentamiento}) + W_c(\text{pérdidas})$$

$$18.368 = (0.1636 + 18.204) \text{ Kg H}_2\text{O}$$

Kg tolueno

EXPERIMENTO TOLUENO-AGUA

Presión de entrada del vapor 0.15 Kg/cm²
 Agua que queda al final del experimento en el calderín 4900 ml.
 Presión total de trabajo 586 mmHg.
 Peso molecular del tolueno 93 gr/grmol

DATOS EXPERIMENTALES:

tiempo	vol. total	vol.H ₂ O	t _{salida}	t _{calderín}
hrs.	ml.	ml.	°C	°C
6:07	---	---	--	--
6:20	2000	400	21	75
6:28	2000	440	21	75
6:36	2000	420	21	75
6:44	2000	430	21	75
6:53	2000	430	21	75
7:01	2000	440	21	75
7:04	600	136	21	75

DATOS EXPERIMENTALES, DATOS DE TABLAS Y RESULTADOS:

tiempo	vol. total	vol.H ₂ O	t _{salida}	densidad _{salida}
min.	ml.	ml.	°C	gr/ml
13	2000	400	21	0.865
8	2000	440	21	0.865
8	2000	420	21	0.865
8	2000	430	21	0.865
8	2000	430	21	0.865
8	2000	440	21	0.865
<u>3</u>	<u>600</u>	<u>136</u>	21	0.865
56	12600	2696		

EXPERIMENTO TOLUENO-AGUA

Presión de entrada del vapor	<u>0.2 Kg/cm²</u>
Agua que queda al final del experimento en el calderín	<u>3800 ml.</u>
Presión total de trabajo	<u>586 mmHg.</u>
Peso molecular del tolueno	<u>93 gr/grmol</u>

DATOS EXPERIMENTALES:

tiempo	vol. total	vol. H ₂ O	t _{salida}	t _{calderín}
hrs.	ml.	ml.	°C	°C
5:34	---	---	--	--
5:39	2000	400	22	75
5:44	2000	420	22	75
5:49	2000	440	22	75
5:54	2000	438	22	76
5:59	2000	440	22	76
6:05	2000	438	22	76
6:09	840	190	22	78

DATOS EXPERIMENTALES, DATOS DE TABLAS Y RESULTADOS:

tiempo	vol. total	vol. H ₂ O	t _{salida}	densidad _{salida}
min.	ml.	ml.	°C	gr/ml
5	2000	400	22	0.865
5	2000	420	22	0.865
5	2000	440	22	0.865
5	2000	438	22	0.865
5	2000	440	22	0.865
6	2000	438	22	0.865
<u>4</u>	<u>0840</u>	<u>190</u>	22	0.865
35	12840	2766		

tolueno	agua	t _{calderín}	p ^o _{tolueno}	Eficiencia
gmol	gmol	°C	mmHg	
14.881	22.222	75	245	0.959
14.695	23.333	75	245	0.924
14.509	24.444	75	245	0.890
14.528	24.333	76	250	0.876
14.509	24.444	76	250	0.873
14.528	24.333	76	250	0.876
6.045	10.556	78	275	0.776

BALANCE DE ENERGIA:

PASO 1.-

$$a = 14.509 \text{ gmol tolueno}$$

$$b = 24.444 \text{ gmol agua}$$

$$H_s = 638.215 \text{ Kcal/Kg (del vapor a 14.145 psia)}$$

$$H_{\text{vap.}} = 628.778 \text{ Kcal/Kg (a } 75^\circ\text{C} = 167^\circ\text{F)}$$

$$H_{\text{liq.}} = 75 \text{ Kcal/Kg (a } 75^\circ\text{C)}$$

$$W_c(\text{práctico}) = 3\,800 \text{ gr.}$$

$$W_A(\text{práctico}) = 2\,766 \text{ gr.}$$

$$\lambda_{\text{tolueno}} = 76.214 \text{ Kcal/Kg (a } 75^\circ\text{C)}$$

$$C_p(\text{tolueno}) = 0.44 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{PASO 2.- } W_A(\text{práctico}) = 32.608 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg tolueno}$$

$$\text{PASO 3.- } Q_n = 10\,041.4 \text{ Kcal}/100 \text{ Kg de tolueno}$$

$$\text{PASO 4.- } W_c(\text{teórico}) = 17.282 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg de tolueno}$$

$$\text{PASO 5.- } W_c(\text{práctico}) = 43.607 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg de tolueno}$$

$$\text{PASO 6.- } Q_p = 148.266 \text{ Kcal}/\text{Kg de tolueno}$$

$$= 14\,826.634 \text{ Kcal}/100 \text{ Kg de tolueno}$$

$$\text{PASO 7.- } W_c(\text{total}) = W_c(\text{calentamiento}) + W_c(\text{pérdidas})$$

$$0.4367 = (0.172 + 0.263) \text{ Kg H}_2\text{O}$$

Kg_{tolueno}

EXPERIMENTO TETRACLORURO DE CARBONO-AGUA

Presión de entrada del vapor 0.13 Kg/cm²Agua que queda al final del experimento en el calderín 5920 ml.Presión total de trabajo 586 mmHg.Peso molecular del tetracloruro de carbono 154 gr/gr mol

DATOS EXPERIMENTALES:

tiempo	vol. total.	vol. H ₂ O	t _{salida}	t _{calderín}
hrs.	ml.	ml.	°C	°C
5:29	---	---	---	---
5:59	200	9	23	58
6:34	500	100	24	58
6:45	500	55	23	58
7:00	500	60	23	58
7:12	500	57	23	58

DATOS EXPERIMENTALES, DATOS DE TABLAS Y RESULTADOS:

tiempo	vol. total	vol. H ₂ O	t _{salida}	densidad _{salida}
min.	ml.	ml.	°C	gr/ml
30	200	9	23	1.595
35	500	100	24	1.590
11	500	55	23	1.595
15	500	60	23	1.595
<u>12</u>	<u>500</u>	<u>57</u>	23	1.595
103	2200	281		

CCl ₄	H ₂ O	t _{calderín}	p ^o CCl ₄	Eficiencia
gmol	gmol	°C	mmHg	
1.978	0.500	58	410	1.140
4.129	5.556	58	410	0.609
4.608	3.056	58	410	0.859
4.557	3.333	58	410	0.825
4.588	3.166	58	410	0.845

BALANCE DE ENERGIA:

PASO 1.-

$$a = 4.608 \text{ gmol de } \text{CCl}_4$$

$$b = 3.056 \text{ gmol de } \text{H}_2\text{O}$$

$$H_s = 637.437 \text{ Kcal/Kg (a } 13.149 \text{ psia)}$$

$$H_{\text{vap.}} = 621.674 \text{ Kcal/Kg (a } 58^\circ\text{C} = 136^\circ\text{F)}$$

$$H_{\text{liq.}} = 58 \text{ Kcal/Kg (a } 58^\circ\text{C)}$$

$$W_{\text{c(práctico)}} = 5920 \text{ gr.}$$

$$W_{\text{A(práctico)}} = 281 \text{ gr.}$$

$$\lambda_{\text{CCl}_4} = 43.56 \text{ Kcal/Kg (a } 58^\circ\text{C)}$$

$$C_{\text{p(CCl}_4)} = 0.208 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{PASO 2.- } W_{\text{A(práctico)}} = 7.751 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}/100 \text{ Kg } \text{CCl}_4$$

$$\text{PASO 3.- } Q_n = 5 \text{ 146.4 Kcal}/100 \text{ Kg de } \text{CCl}_4$$

$$\text{PASO 4.- } W_{\text{c(teórico)}} = 8.670 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}/100 \text{ Kg } \text{CCl}_4$$

$$\text{PASO 5.- } W_{\text{c(práctico)}} = 193.413 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}/100 \text{ Kg de } \text{CCl}_4$$

$$\begin{aligned} \text{PASO 6.- } Q_p &= 107 \text{ 046.929 Kcal}/100 \text{ Kg de } \text{CCl}_4 \\ &= 1 \text{ 070.469 Kcal}/\text{Kg de } \text{CCl}_4 \end{aligned}$$

$$\text{PASO 7.- } W_{\text{c(total)}} = W_{\text{c(calentamiento)}} + W_{\text{c(pérdidas)}}$$

$$1.934 = (0.086 + 1.847) \frac{\text{Kg } \text{H}_2\text{O}}{\text{Kg } \text{CCl}_4}$$

EXPERIMENTO TETRACLORURO DE CARBONO-AGUA

Presión de entrada del vapor 0.15 Kg/cm²
 Agua que queda al final del experimento en el calderín 3660 ml.
 Presión total de trabajo 586 mmHg.
 Peso molecular del tetracloruro de carbono 154 gr/grmol.

DATOS EXPERIMENTALES:

tiempo	vol. total.	vol. H ₂ O	t _{salida}	t _{calderín}
hrs.	ml.	ml.	°C	°C
4:58	---	---	---	---
5:14	2000	100	23	59
5:25	2000	100	23	59
5:31	2000	130	23	59
5:44	2000	120	23	59
6:47	1945	130	23	59

DATOS EXPERIMENTALES, DATOS DE TABLAS Y RESULTADOS:

tiempo	vol. total	vol. H ₂ O	t _{salida}	densidad _{salida}
min.	ml.	ml.	°C	gr/ml
16	2000	100	23	1.595
11	2000	100	23	1.595
6	2000	130	23	1.595
13	2000	120	23	1.595
<u>3</u>	<u>1945</u>	<u>130</u>	23	1.595
49	9945	580		

CCl ₄	H ₂ O	t _{calderín}	P ^o _{CCl₄}	Eficiencia
gmol.	gmol.	°C	mmHg.	
19.678	5.556	59	430	1.062
19.678	5.556	59	430	1.062
19.367	7.222	59	430	0.992
19.471	6.667	59	430	1.015
18.798	7.222	59	430	0.984

BALANCE DE ENERGIA:

PASO 1.-

$$a = 19.367 \text{ gmol CCl}_4$$

$$b = 7.222 \text{ gmol H}_2\text{O}$$

$$H_s = 637.504 \text{ Kcal/Kg (de vapor a 13.434 psia)}$$

$$H_{\text{vap.}} = 622.118 \text{ Kcal/Kg (a } 59^\circ\text{C} = 138.2^\circ\text{F)}$$

$$H_{\text{liq.}} = 59 \text{ Kcal/Kg (a } 59^\circ\text{C)}$$

$$W_c(\text{práctico}) = 3\ 660 \text{ gr.}$$

$$W_A(\text{práctico}) = 580 \text{ gr.}$$

$$\lambda_{\text{CCl}_4} = 43.707 \text{ Kcal/Kg (a } 59^\circ\text{C)}$$

$$C_p = 0.208 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$\text{PASO 2.- } W_A(\text{práctico}) = 78.454 \text{ Kg H}_2\text{O}/100\text{Kg CCl}_4$$

$$\text{PASO 3.- } Q_n = 5\ 181.9 \text{ Kcal}/100 \text{ Kg de CCl}_4$$

$$\text{PASO 4.- } W_c(\text{teórico}) = 6.87 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg CCl}_4$$

$$\text{PASO 5.- } W_c(\text{práctico}) = 24.502 \text{ Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg CCl}_4$$

$$\text{PASO 6.- } Q_p = 10\ 200.182 \text{ Kcal}/100 \text{ Kg CCl}_4$$

$$= 102 \text{ Kcal/Kg CCl}_4$$

$$\text{PASO 7.- } W_c(\text{total}) = W_c(\text{calentamiento}) + W_c(\text{pérdidas})$$

$$0.245 = (0.0687 + 0.1763) \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg CCl}_4}$$

EXPERIMENTO TETRACLORURO DE CARBONO-AGUA

Presión de entrada del vapor 0.2 Kg/cm²Agua que queda al final del experimento en el calderín 2620ml.Presión total de trabajo 586 mmHg.Peso molecular del tetracloruro de carbono 154 gr/gr mol

DATOS EXPERIMENTALES:

tiempo	vol. total.	vol. H ₂ O	t _{salida}	t _{calderín.}
hrs.	ml.	ml.	°C	°C
6:29	---	---	---	---
6:31	2020	160	26	59
6:35	2000	150	28	59
6:40	2000	145	29	59
6:44	2000	156	31	60
6:46	2000	246	32	65
6:47	90	25	32	70

DATOS EXPERIMENTALES, DATOS DE TABLAS Y RESULTADOS:

tiempo	vol. total.	vol. H ₂ O	t _{salida}	densidad _{salida}
min.	ml.	ml.	°C	gr/ml
2	2020	160	26	1.590
4	2000	150	28	1.585
5	2000	145	29	1.580
4	2000	156	31	1.575
2	2000	246	32	1.575
<u>1</u>	<u>90</u>	<u>25</u>	32	1.575
18	10110	882		

CCl_4	H_2O	$t_{\text{calderín}}$	$P_{\text{CCl}_4}^{\circ}$	Eficiencia.
gmol.	gmol.	$^{\circ}\text{C}$	mmHg.	
19.203	8.889	59	430	0.931
19.040	8.333	59	430	0.948
19.031	8.056	59	430	0.957
18.859	8.667	60	439	0.914
17.938	13.667	65	525	0.633
0.664	1.383	70	613.8	0.309

BALANCE DE ENERGIA:

PASO 1.-

$$a = 19.031 \text{ gmol } \text{CCl}_4$$

$$b = 8.056 \text{ gmol } \text{H}_2\text{O}$$

$$H_s = 638.215 \text{ Kcal/kg (de vapor a 14.145 psia)}$$

$$H_{\text{vap.}} = 622.118 \text{ Kcal/Kg (a } 59^{\circ}\text{C} = 138.2^{\circ}\text{F)}$$

$$H_{\text{liq.}} = 59 \text{ Kcal/Kg (a } 59^{\circ}\text{C)}$$

$$W_{\text{c(práctico)}} = 2\,620 \text{ gr.}$$

$$W_{\text{A(práctico)}} = 882 \text{ gr.}$$

$$\lambda_{\text{CCl}_4} = 43.707 \text{ Kcal/Kg (a } 59^{\circ}\text{C)}$$

$$c_p = 0.208 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\text{PASO 2.- } W_{\text{A(práctico)}} = 4.947 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}/100\text{Kg } \text{CCl}_4$$

$$\text{PASO 3.- } Q_n = 5\,181.9 \text{ Kcal}/100 \text{ Kg de } \text{CCl}_4$$

$$\text{PASO 4.- } W_{\text{c(teórico)}} = 8.808 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}/100 \text{ Kg } \text{CCl}_4$$

$$\text{PASO 5.- } W_{\text{c(práctico)}} = 18.026 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}/100 \text{ Kg } \text{CCl}_4$$

$$\text{PASO 6.- } Q_p = 5\,339.203 \text{ Kcal}/100 \text{ Kg } \text{CCl}_4$$

$$= 53.392 \text{ Kcal/ Kg } \text{CCl}_4$$

$$\text{PASO 7.- } W_{\text{c(total)}} = W_{\text{c(calentamiento)}} + W_{\text{c(pérdidas)}}$$

$$0.180 = (0.088 + 0.092) \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{Kg } \text{CCl}_4$$

e) GRAFICAS Y TABLAS DE DONDE FUERON TOMADOS ALGUNOS DATOS QUE SE NECESITAN PARA REALIZAR LOS CALCULOS.

B E N C E N O .

t	densidad	t	presión de vapor	t	C _p
°C	gr/ml	°C	mmHg.	°C	Kcal/ Kg°C
0	0.90006	0	26.54	6.84	0.39700
10	0.8895	10	45.19	16.21	0.41082
20	0.8790	20	74.13	21.800	0.41441
30	0.8685	30	117.45	27.25	0.41807
40	0.8576	40	180.20	36.57	0.42416
50	0.8466	50	268.30	45.76	0.43069
60	0.8357	60	388.51	54.81	0.43769
70	0.8248	70	548.16	63.73	0.44422
80	0.8145	80	755.00		
90	0.8041	90	1008.00		
100	0.7927	100	1335.00		
110	0.7809	110	1739.00		
120	0.7692	120	2230.00		
130	0.7568	130	2821.00		

2 M E T I L P E N T A N O .

t	densidad	t	presión de vapor	t	C _p
°C	gr/ml	°C	mmHg.	°C	Kcal/Kg°C
0	0.6712	12.758	124.66	10.03	0.52140
15	0.6580	16.820	149.42	20.17	0.53256
20	0.6536	20.584	175.90	30.11	0.54254
		25.617	217.18		
		30.237	261.75		
		35.810	324.93		
		41.567	402.44		
		47.714	500.70		

(continuación)

54.388 - 627.94
 59.099 - 732.09
 59.607 - 744.07
 60.074 - 755.26
 60.602 - 767.90
 61.066 - 779.37

T O L U E N O .

t	densidad	t	presión de vapor.	t	C _p
°C	gr/ml	°C	mmHg.	°C	Kcal/Kg ⁰ C
0	0.88545	13.72	15.3	12 a 99	0.44
34.50	0.85338	24.85	28.1		
46.10	0.84265	32.24	41.1		
46.30	0.84250	40.29	58.0		
56.40	0.83280	52.04	101.5		
80.00	0.81017	63.57	160.1		
100.25	0.78963	74.23	236.9		
126.85	0.76217	82.51	317.5		
		80.88	298.9		
		90.95	418.9		
		100.21	558.6		
		110.403	755.2		
		123.254	1074.6		
		129.646	1268.1		
		142.563	1741.0		
		149.089	2026.3		
		161.000	2926.0		

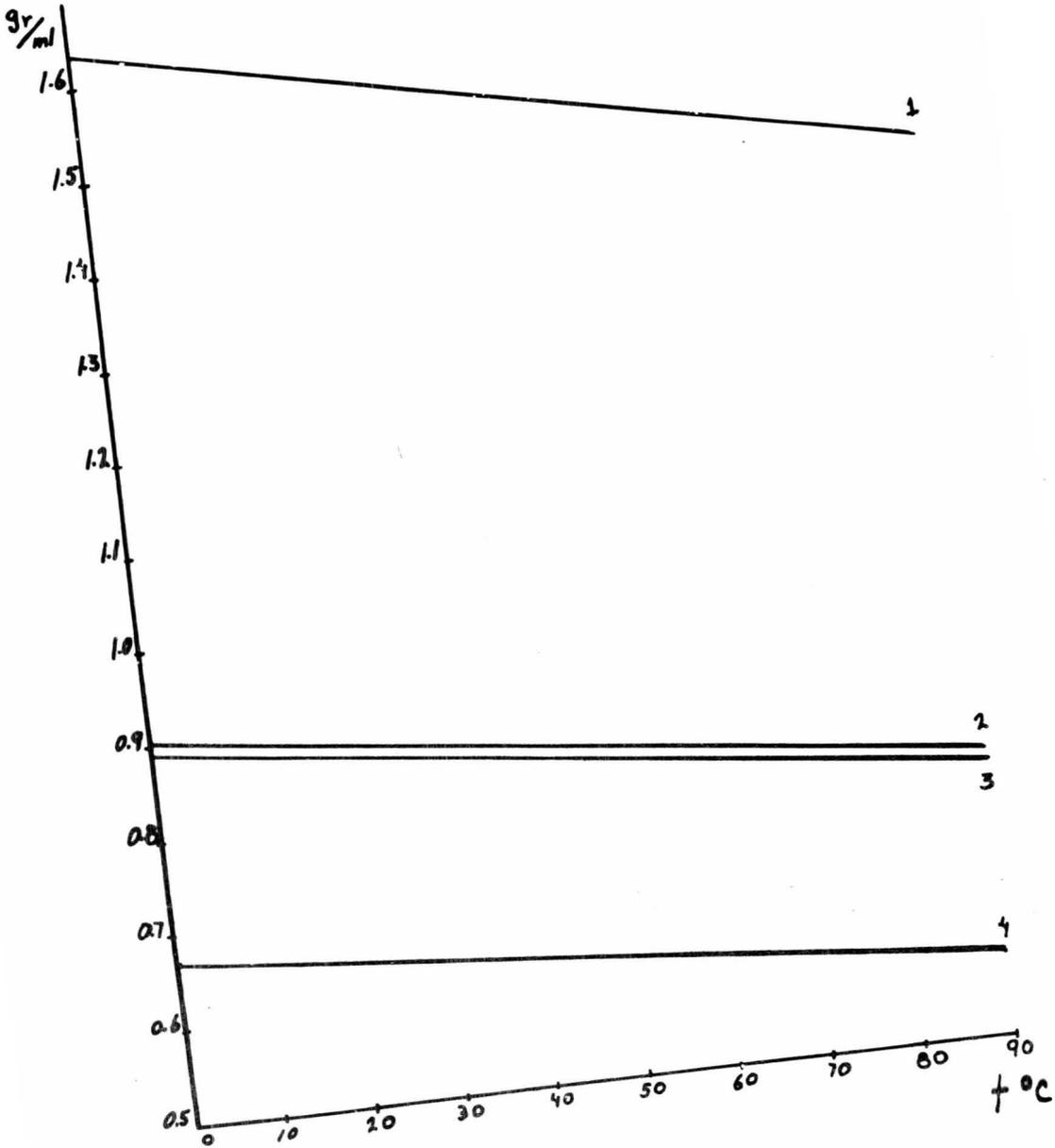
T E T R A C L O R U R O D E C A R B O N O .

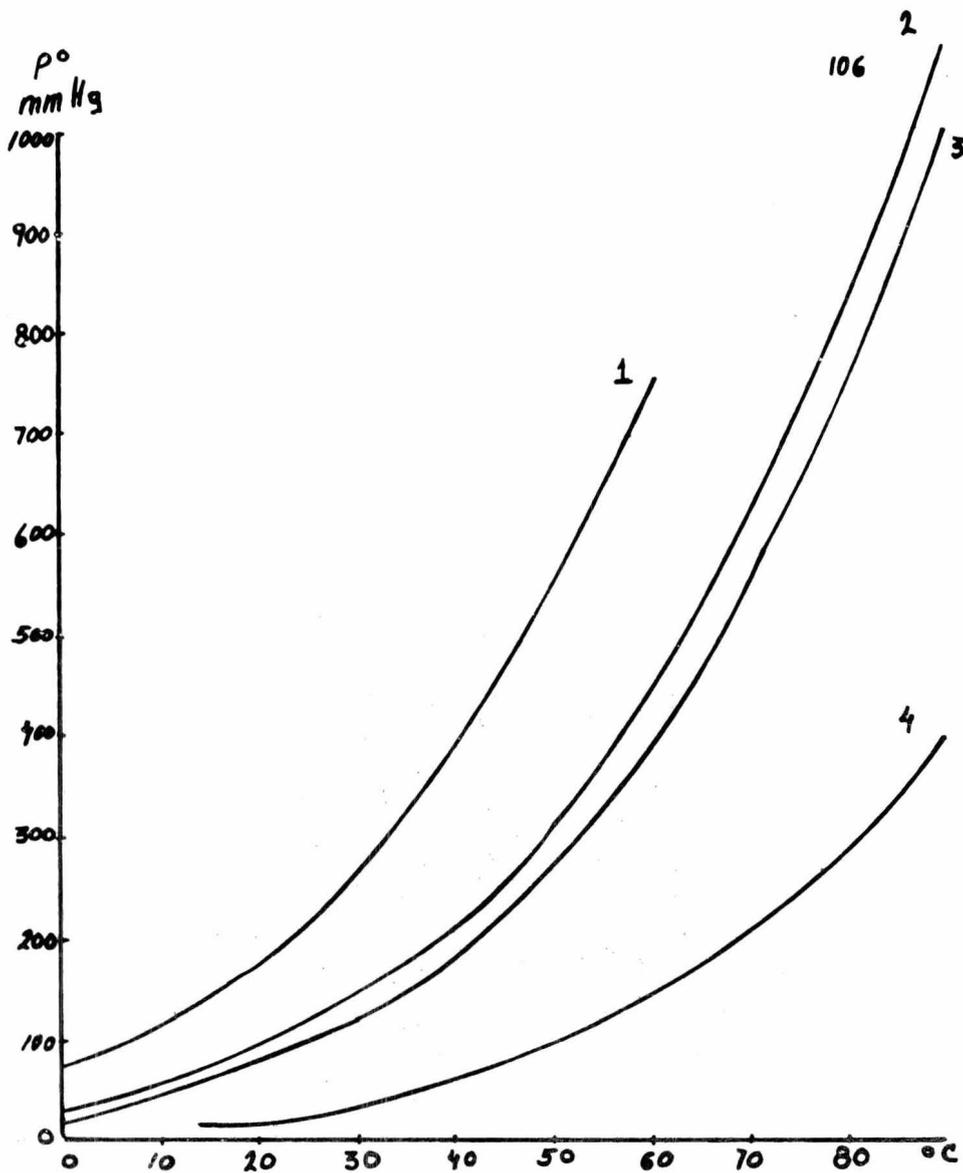
t	densidad	t	presión de vapor.	t	C _p
o	gr/ml	°C	mmHg.	°C	Kcal/Kg ⁰ C
50.00	1.53611	0	33.08	6.84	0.2041
60.00	1.5163	10	55.65	16.84	0.2054
70.00	1.4963	20	89.55	26.84	0.2063
80.00	1.4765	30	139.60	36.84	0.2067

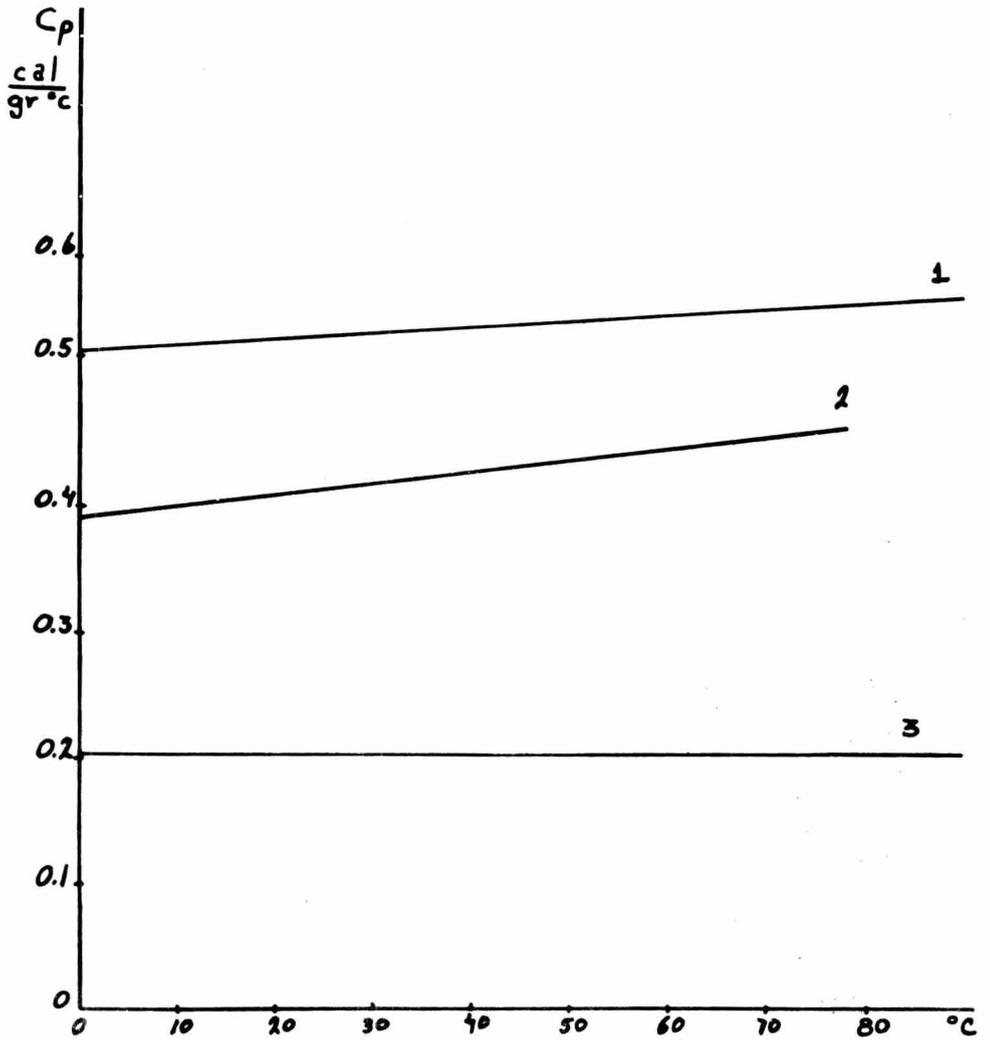
90.00 -- 1.4554	40 ---	210.90	46.84--0.2070
100.00 -- 1.4343	50 ---	309.00	
110.00 -- 1.4124	60 ---	439.00	
120.00 -- 1.3902	70 ---	613.80	
130.00 -- 1.3680	90 ---	1112.00	
	100 ---	1457.00	
	110 ---	1880.00	

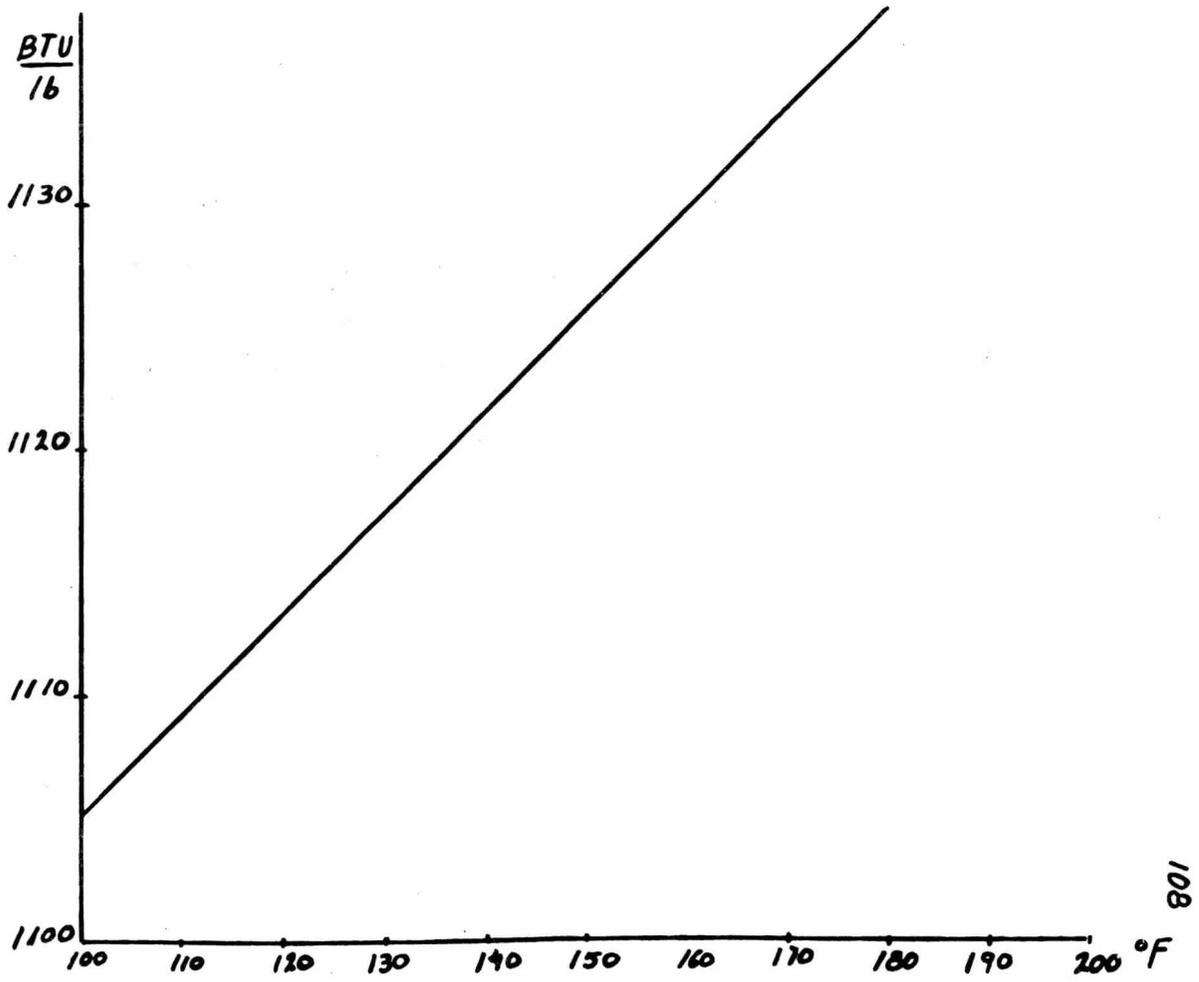
V A P O R D E A G U A S A T U R A D O

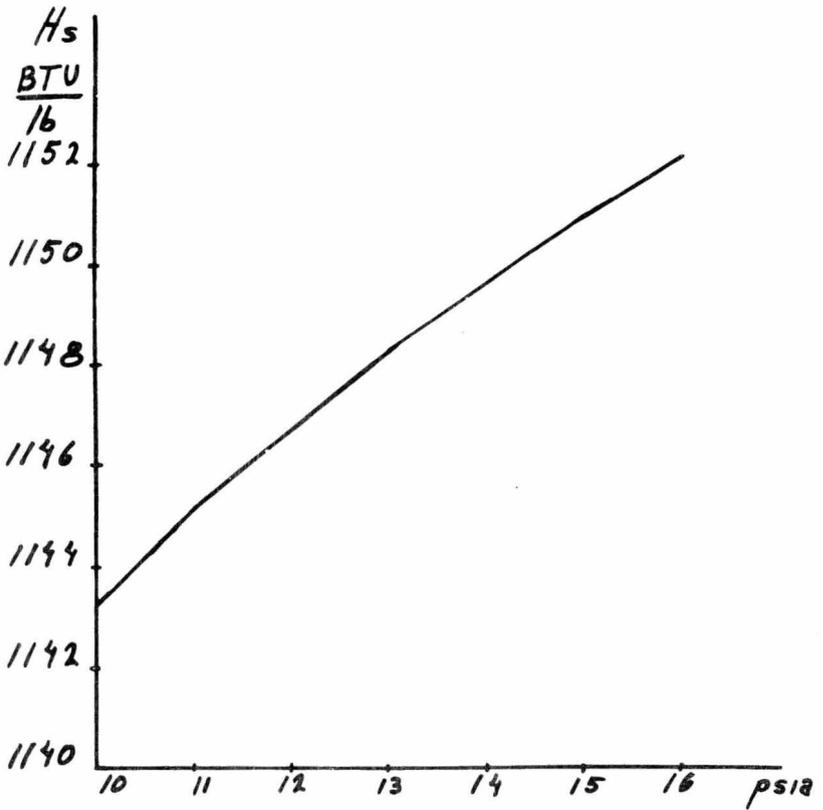
temperatura °F	entalpia BTU/lb	presión absoluta lb/in ²	entalpia BTU/lb
101.73 ---	1105.8	10 -----	1143.3
117.98 ---	1112.7	11 -----	1145.1
132.88 ---	1119.0	12 -----	1146.7
141.47 ---	1122.6	13 -----	1148.2
152.96 ---	1127.3	14 -----	1149.6
162.24 ---	1131.1	15 -----	1150.9
170.05 ---	1134.2	16 -----	1152.1
182.86 ---	1139.3		











Gráfica: presión de vapor vs. temperatura

- 1.- 2 metil pentano
- 2.- tetracloruro de carbono
- 3.- benceno
- 4.- tolueno

Gráfica: densidad vs. temperatura

- 1.- tetracloruro de carbono
- 2.- benceno
- 3.- tolueno
- 4.- 2 metil pentano

Gráfica: capacidad calorífica vs. temperatura

- 1.- 2 metil pentano
- 2.- benceno
- 3.- tetracloruro de carbono

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

J. Timmermans

Physico Chemical Constants of Pure Organic Compounds.

Ed. Elsevier

benceno: presiones de vapor vs. temperaturas pag. 142

densidades vs. temperatura pag. 141

capacidades caloríficas vs. temperaturas pag.149

2 metil pentano:

presiones de vapor vs. temperaturas pag. 47

densidades vs. temperaturas pag.48.

capacidades caloríficas vs. temperaturas pag. 49

tolueno: presiones de vapor vs. temperaturas pag. 150-151

densidades vs. temperatura pag 152

capacidades caloríficas vs. temperaturas pag.153

tetracloruro de carbono:

presiones de vapor vs. temperaturas pag.224-225

densidades v. temperaturas pag. 224

capacidades caloríficas vs. temperaturas pag.228

John H. Perry

Manual del Ingeniero Químico

Traducción al español de la tercera edición en inglés

Tomo I, Ed. UTEHA

tolueno: capacidades caloríficas vs. temperaturas pag.329

David M. Himmelblau

Principios y cálculos básicos de la Ingeniería Química

3a. Edición.

Ed. C.E.C.S.A.

Ecuación de Kistyakowsky .- cálculo del calor latente -
de ebullición de los componentes mencionados. pag.295.

CRANE

Flow of Fluids through valves, fittings, and pipe
temperaturas vs. entalpias y presiones absolutas vs.
entalpias del vapor saturado. Tabla A-12

DISCUSION DE RESULTADOS .

En éste capítulo se comentará cada uno de los experimentos por separado y después se compararán los tres experimentos realizados para cada sustancia y finalmente se sugerirá un experimento en particular con la sustancia adecuada y las condiciones de operación optimas.

EXPERIMENTO BENCENO-AGUA A UNA PRESION DE ENTRADA - DEL VAPOR DE AGUA DE 0.1 Kg/cm^2 .

El vapor de agua entra con una presión total de 12.722 psia y a una temperatura de 96°C (205°F), para calentar - un volumen de 10 litros de benceno que se encuentran dentro del calderín.

La temperatura de ebullición del benceno en la ciudad de México es de 72°C pero con la disminución de la presión parcial se obtiene una disminución en su temperatura de ebullición a 62°C dentro del sistema.

Se destilan aproximadamente 6.595 litros de benceno en un lapso de dos horas lo cual nos indica una velocidad de destilación de 3.3 litros por hora, con una eficiencia promedio de 0.814 la cual consideramos buena y más o menos constante.

La destilación se lleva a cabo tomando lecturas cada vez que se han destilado 500 ml. totales en lapsos de 6 o 7 minutos en los cuales encontramos aproximadamente 4.93 moles de benceno por 3.333 moles de agua. En todos los procesos vamos a observar que desde el tiempo cero (cuando cae la primera gota de destilado) hasta el primer tiempo registrado, habrá aparentemente un aumento en la temperatura que nos lo va a marcar el termómetro situado en la parte superior del calderín. Este cambio de temperaturas no se tomará en cuenta para el primer cálculo sino la temperatura a la cual tomamos la primer lectura, es decir al tiempo uno, porque se debe considerar que la carga ya-

ha llegado a su temperatura de ebullición, pero debido a la distancia a la que se encuentra el termómetro, éste tarda en registrar la temperatura verdadera del sistema.

Tomando en cuenta que la presión total de el sistema es constante y que la entrada del vapor de agua tiene una presión de entrada constante, lo cual indica que la presión parcial también será constante, la presión parcial del volátil tenderá que ser constante para que se cumpla la ecuación $p_t = \bar{p}_a + \bar{p}_b$.

Por otro lado, considerando que la concentración del material volátil va disminuyendo conforme progresa la destilación, trae como consecuencia la disminución de la presión parcial del componente "a" y de éste modo la presión total no podrá mantenerse constante a menos que exista un aumento en la temperatura y consecuentemente un aumento en la presión de vapor del volátil, es decir:

$$\bar{p}_a = x_a p_a^0 E = \text{constante}$$

Si x_a disminuye, para que \bar{p}_a siga siendo constante, p_a^0 tiene que aumentar y para ello se requiere de un aumento en la temperatura la cual se va a hacer presente en todos los casos a tratar.

EXPERIMENTO BENCENO-AGUA A UNA PRESION DE ENTRADA DEL VAPOR DE AGUA DE 0.15 Kg/cm².

La presión total de entrada del vapor es de 13.434 psia y su temperatura es de 96.7°C (206°F). La temperatura de ebullición del sistema es de 62°C es decir 10°C menos que la temperatura de ebullición del benceno. Se destilan 9.957 litros de una carga de 10 litros en total en un lapso de 0.8 hr. es decir, la destilación se lleva a cabo a una velocidad de 12.44 litros por hora, más rápido que el anterior, sin embargo las eficiencias no mantienen un valor constante sino que hay variaciones desde 0.9 hasta 0.34 al final del experimento, por lo que podemos tomar como eficiencia promedio 0.750.

Se destilan 1000 ml. totales en cada 3 ó 4 minutos, lo cual quiere decir que la velocidad de destilación es - más o menos constante y en cada lapso se obtienen 9.8 grmol de benceno constantes por una variación de grmol de - agua que va desde 5.444 hasta 8.333 gr mol, lo cual influye directamente en la variación de la eficiencia ya mencionada.

EXPERIMENTO BENCENO-AGUA A UNA PRESION DE ENTRADA DEL VAPOR DE AGUA A 0.2 Kg/cm^2 .

El vapor entra a 98.6°C (209.56°F) con una presión total de 14.145 psia y la temperatura de ebullición del sistema es de 66°C como promedio ya que no fué constante durante la destilación.

Se destilan 9.787 litros de benceno de una carga de - 10 litros en un tiempo de 0.4166 hr. es decir 23.492 litros por hora, teniendo como eficiencia promedio 0.673 la cual no es constante.

Cada 4 minutos se destilan 2000 ml. en total en forma constante, de los cuales 19 grmol son de benceno y hay una variación entre 12 y 15.2 grmol de agua.

COMPARACION DE LOS EXPERIMENTOS BENCENO-AGUA A DIFERENTES PRESIONES DE ENTRADA DEL VAPOR DE AGUA.

P_{entrada} Kg/cm^2	tiempo hr.	E	Q_p Kcal/Kg _{benc.}	$W_c(\text{pract})$ gramos de agua	$W_A(\text{pract})$
0.1	2.03	0.814	440.201	5460	945
0.15	0.80	0.750	186.745	4400	1443
0.2	0.416	0.673	102.600	3100	1453

$(W_c + W_A)_{\text{prac.}}$ gr. de agua	temperatura promedio. $^\circ\text{C}$	velocidad de destilación lt/hr.	% de la <u>car</u> <u>ga</u> recuperado.
6405	62	3.30	65.95

(continuación)

5843	65.25	12.44	99.57
4553	68.50	23.49	97.87

En la tabla anterior :

P_{entrada} = presión de entrada del vapor de agua

\bar{E} = eficiencia promedio

Q_p = pérdidas de calor

$W_c(\text{pract})$ = Cantidad de agua de calentamiento práctica.

$W_A(\text{pract})$ = Cantidad de agua de arrastre práctica.

$(W_c + W_A)_{\text{pract.}}$ = Cantidad total de agua práctica.

Se deduce que a mayor presión de entrada, el tiempo para completar la destilación es menor pero la eficiencia promedio también va disminuyendo así como las pérdidas de calor y la cantidad de agua total, en cambio la temperatura y la velocidad de destilación van siendo cada vez mayores.

Al aumentar la presión de entrada el vapor no alcanza a saturarse de volátil, dicho de otra manera, alcanza cada vez menos a saturarse de benceno y por lo tanto la relación b/a (gr mol de agua a gr mol de benceno) aumenta lo que trae como consecuencia la disminución de la eficiencia como se verá después en las gráficas.

El experimento realizado con una presión de entrada de 0.15 Kg/cm^2 tiene la ventaja de que la eficiencia es buena y no tiene una gran diferencia con la eficiencia obtenida en el experimento realizado a 0.1 Kg/cm^2 de presión de entrada del vapor, además de que se obtienen un mayor número de datos y de cálculos que nos describen en una forma más completa el comportamiento de la destilación desde su inicio hasta el final y en un tiempo razo-

nable para efectuarla.

El % de la carga recuperado tiene un valor mayor - cuando la presión de entrada es de 0.15 Kg/cm^2 porque cuando la presión de entrada es de 0.1 Kg/cm^2 , el proceso es - tan lento y se necesita más tiempo para calentar la carga hasta su temperatura de ebullición de tal manera que cuando la alcanza, la carga ya está muy "diluida" y el vapor ya no arrastra gran cantidad de volátil, entonces la relación b/a (gr mol de agua a gr mol de volátil) aumenta y E disminuye.

Si la presión de entrada del vapor es de 0.2 Kg/cm^2 , el tiempo para alcanzar su temperatura de ebullición es - menor y no se acumula demasiada cantidad de agua de calentamiento pero en cambio el vapor tiene menor tiempo de es tancia en el calderín lo cual hace que haya menor oportunidad para saturarse antes de salir junto con el volátil hacia el condensador.

Cuando la eficiencia tiene un valor igual a la unidad, la relación b/a tiene un valor mínimo, el cual depende de la presión de vapor del componente volátil. Si la eficiencia es mayor que la unidad, se obtendrá un valor menor -- de b/a que el mínimo, esto quiere decir que "b" (gr mol de agua) es menor que el mínimo y que por lo tanto el condensador no alcanza a transformar todo el vapor que sa le del calderín en líquido y que se está escapando cierta cantidad de vapor de agua que no se está recibiendo en la probeta y consecuentemente no se está tomando en cuenta - para los cálculos.

Ejemplo del cálculo de b/a mínima cuando $a = 4.936$ - g mol de benceno a una temperatura de 62°C y con una presión de entrada del vapor de 0.1 Kg/cm^2 .

$$E = \frac{p_t (a - a'_2)}{p_a^0 (b + (a - a'_2))}$$

$$1 = \frac{586 (4.936)}{420 (b + 4.936)}$$

despejando b:

$$b = 1.95$$

$$\frac{b}{a} = \frac{1.95}{4.936} = 0.395$$

$$a = 4.936$$

Entonces: b/a mínima = 0.395 para una E máxima de 1.00

En la tabla siguiente se encuentran los valores de b/a con sus respectivas eficiencias a diferentes presiones de vapor y a las diferentes presiones de entrada del vapor de agua.

En ésta tabla se puede apreciar claramente que existe un valor mínimo para b/a para una eficiencia igual a la unidad, el cual es el mismo independientemente de la presión de entrada del vapor y sólo depende de la presión de vapor del volátil (benceno), por ejemplo: si la presión de vapor del benceno es de 420 mmHg., la relación b/a mínima es de 0.395 para los tres diferentes casos en donde la presión de entrada no es la misma.

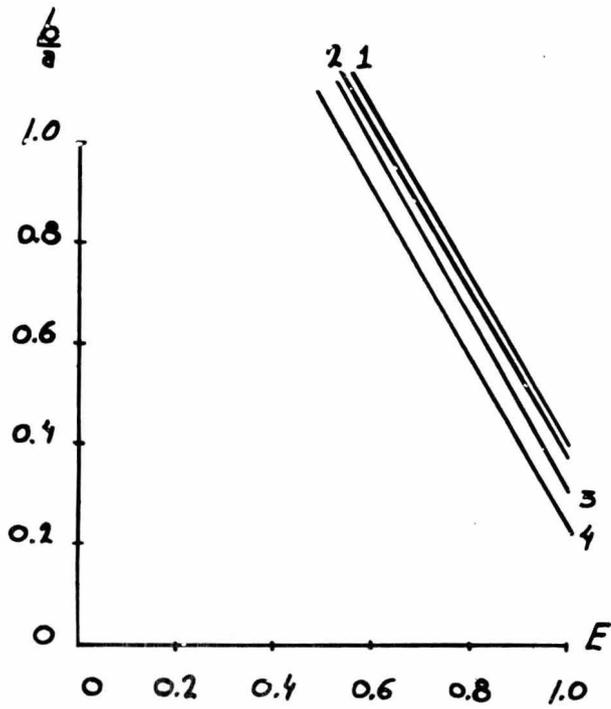
Si se grafica b/a vs. E , se obtendrán puntos que forman una línea recta para cada presión de vapor sin importar cual fué la presión de entrada del vapor de agua.

También en esta gráfica se puede apreciar que la eficiencia no esté en función de la presión de entrada puesto que podemos encontrar los mismos valores de eficiencias a diferentes presiones de entrada, lo mismo sucede con la relación b/a , la cual no es una función de la presión de entrada del vapor, por otro lado la eficiencia y la relación b/a son inversamente proporcionales a una presión de vapor constante del volátil.

Podemos concluir que al aumentar la temperatura de ebullición del sistema, la presión de vapor va a aumentar y si la relación b/a permanece constante la eficiencia -

disminuirá. Lo que interesa mantener constante es la eficiencia y en un valor elevado para lo cual se pueden tomar las muestras durante la destilación y determinar en ese momento la relación b/a de tal manera que se ésta aumenta, - se tendrá que disminuir la temperatura de ebullición para que también disminuya la presión de vapor del volátil y de ésta forma la eficiencia permanezca constante, esto se puede resolver al disminuir la presión de entrada del vapor de agua.

420 mmHg.		430 mmHg.		450 mmHg.		
62°C		63°C		64°C		
b/a	E	b/a	E	b/a	E	Pent.
0.701	-- 0.820	0.675	-- 0.813	0.971	-- 0.650	0.1
0.713	-- 0.814	0.675	-- 0.813	0.302	-- 1.000	Kg/cm ²
0.675	-- 0.833	0.753	-- 0.777			
0.675	-- 0.833	0.362	-- 1.000			
0.649	-- 0.845					
0.713	-- 0.814					
0.675	-- 0.833					
0.675	-- 0.833					
0.675	-- 0.833					
0.395	-- 1.000					
<hr/>						
0.538	-- 0.907			0.701	-- 0.765	0.15
0.759	-- 0.792			0.740	-- 0.748	Kg/cm ²
0.662	-- 0.839			0.302	-- 1.000	
0.662	-- 0.839					
0.688	-- 0.828					
0.675	-- 0.832					
0.675	-- 0.832					
0.395	-- 1.000					

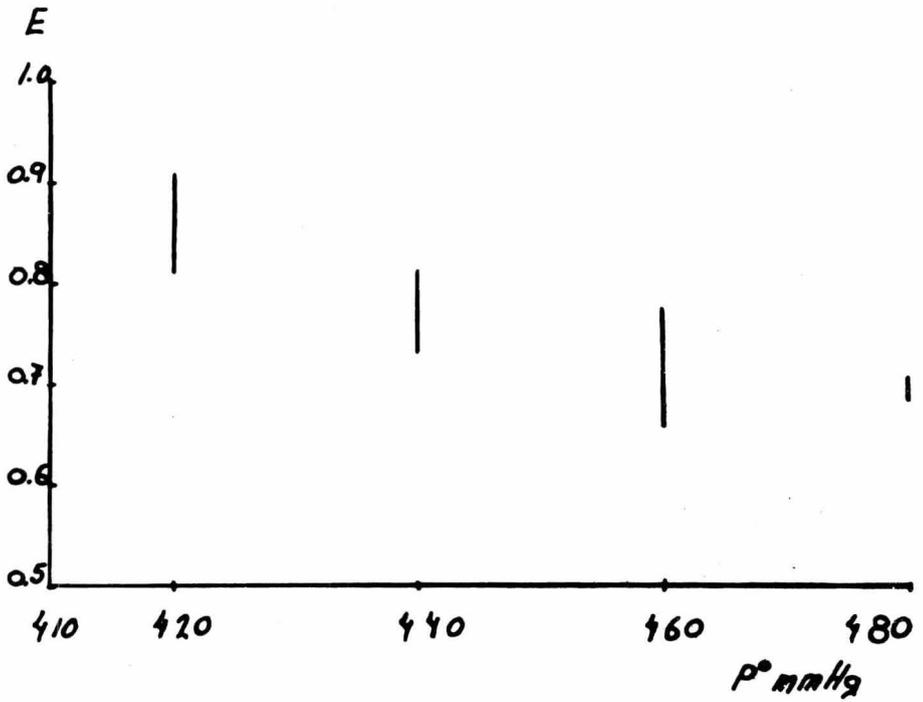
Benceno - Agua

1. - 420 mm Hg

2. - 430 mm Hg

3. - 450 mm Hg

4. - 480 mm Hg

Benceno - Agua

(continuación)

0.610 -- 0.866	0.688 -- 0.771	0.2
0.395 -- 1.000	0.677 -- 0.776	Kg/cm ²
	0.302 -- 1.000	

480 mm Hg.

66°C

b/a

E

0.1

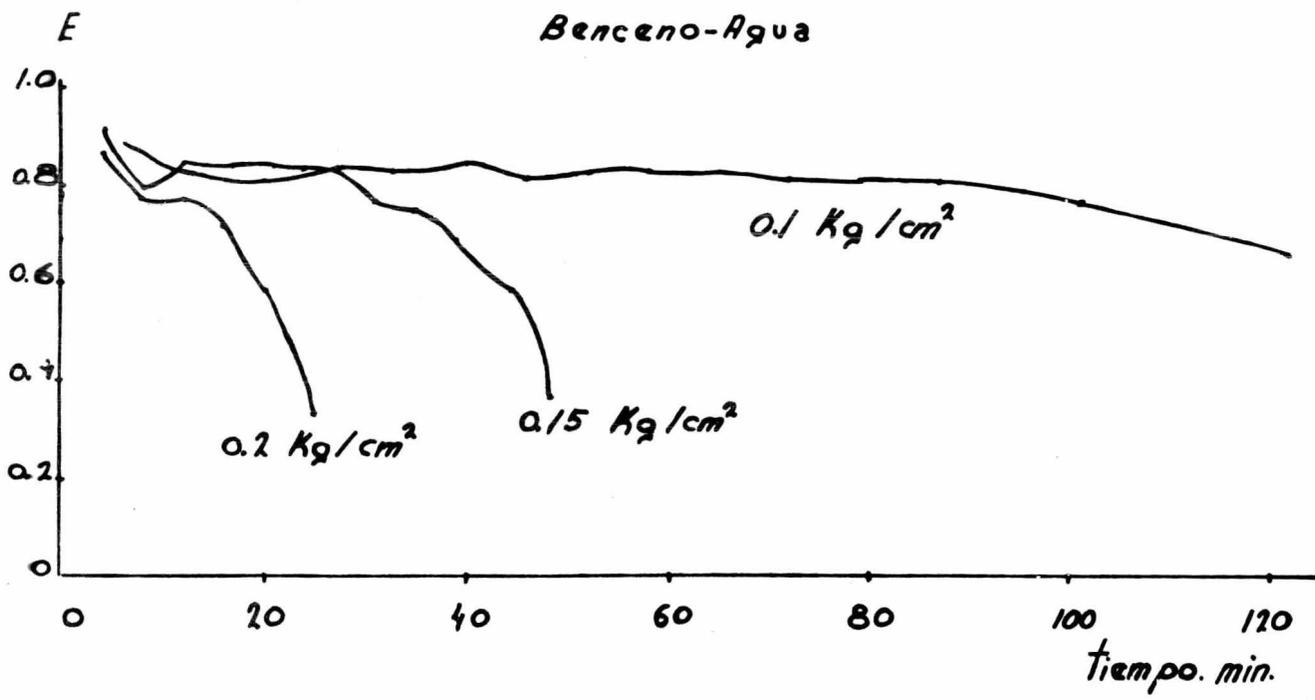
Kg/cm²

0.772 -- 0.688	0.15
0.222 -- 1.000	Kg/cm ²
0.714 -- 0.712	0.2
0.222 -- 1.000	Kg/cm ²

b/a promedio a 0.1 Kg/cm² = 0.707
 a 0.15Kg/cm² = 0.687
 a 0.2 Kg/cm² = 0.672

Para construir la gráfica Eficiencia Vs. tiempo se usan los datos siguientes:

0.1 Kg/cm ²		0.15 Kg/cm ²		0.2 Kg/cm ²	
tiempo	E	tiempo	E	tiempo	E
min.		min.		min.	
6	-- 0.879	4	-- 0.907	4	-- 0.866
13	-- 0.820	8	-- 0.792	8	-- 0.776
20	-- 0.814	12	-- 0.839	12	-- 0.771
27	-- 0.833	17	-- 0.839	16	-- 0.712
33	-- 0.833	21	-- 0.828	20	-- 0.585
40	-- 0.845	24	-- 0.832	25	-- 0.329
46	-- 0.814	27	-- 0.832		



(continuación)

52 -- 0.833	31 -- 0.765
58 -- 0.833	35 -- 0.748
65 -- 0.833	39 -- 0.628
72 -- 0.813	44 -- 0.590
79 -- 0.813	48 -- 0.345
87 -- 0.813	
101 -- 0.777	
122 -- 0.660	

El proceso que se mantiene con una eficiencia elevada y constante es el de 0.1 Kg/cm² de presión de entrada del vapor, le sigue el de 0.15 Kg/cm² y por último es de 0.2 Kg/cm², para los fines que se persiguen, el más aconsejable es el segundo, el cual se realiza en menos de una hora y alcanza eficiencias razonablemente buenas en la primera mitad del experimento.

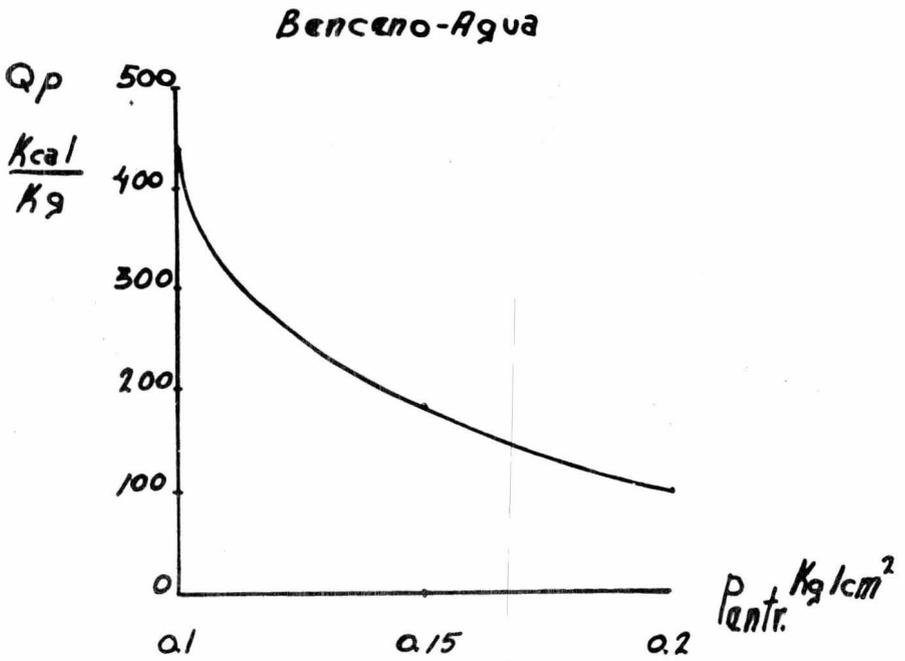
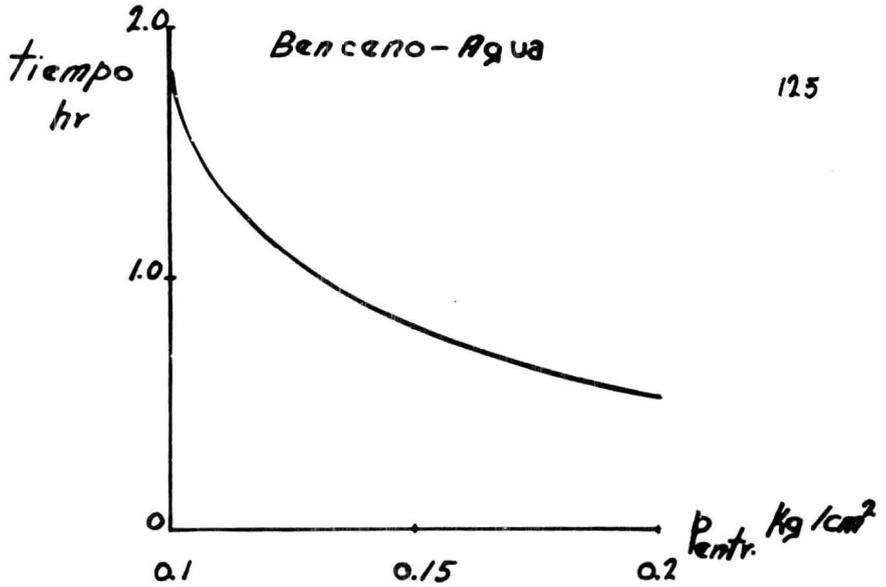
Para graficar el tiempo vs. la presión de entrada -- se utilizan los datos:

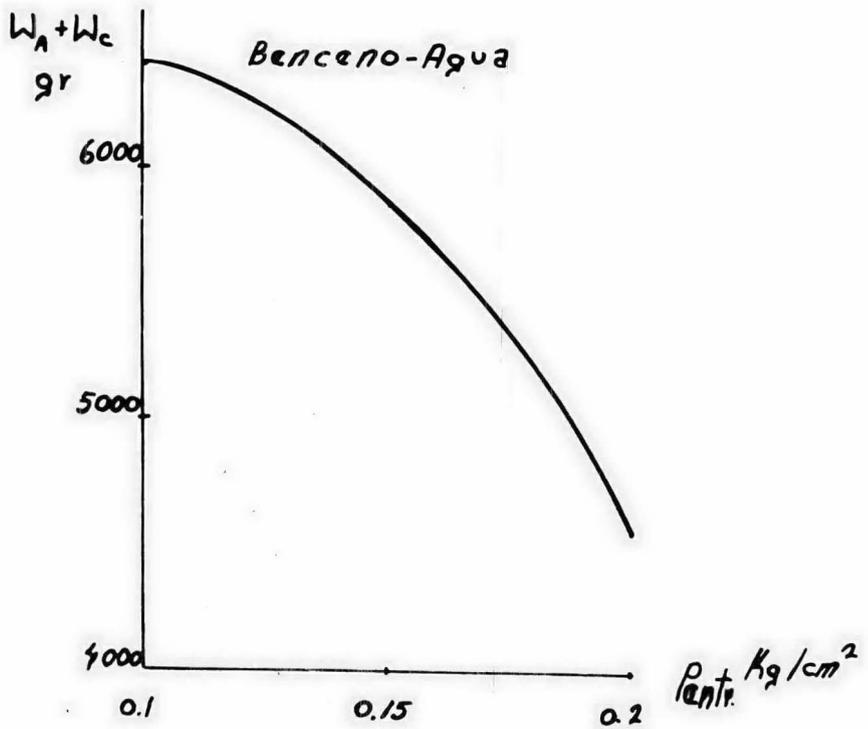
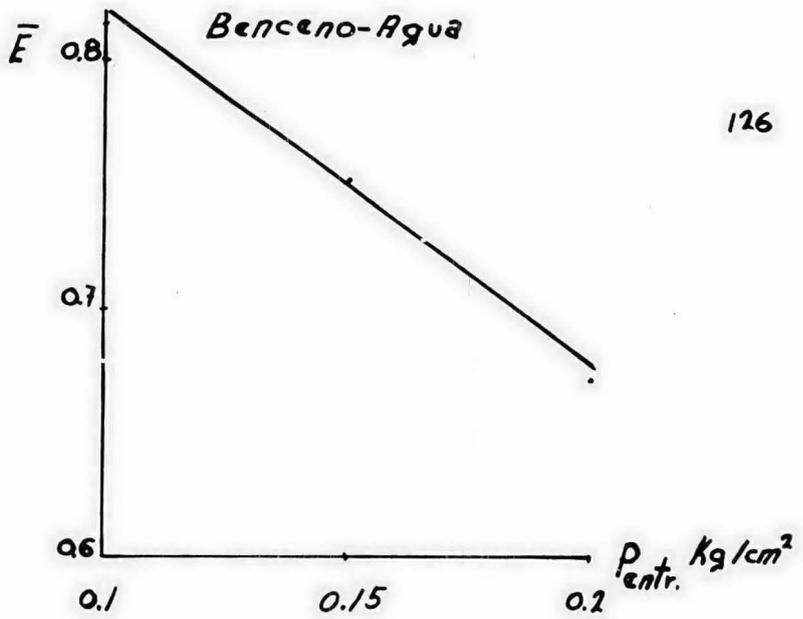
Presión de entrada Kg/cm ²	tiempo hr.
0.1	2.00000
0.15	0.8000
0.2	0.4166

El tiempo en el cual se lleva a cabo la destilación completa de 10 litros de benceno está en función de la presión de entrada el cual resulta ser comparativamente -- mucho mayor a presiones menores de 0.15 Kg/cm².

Si graficamos las pérdidas de calor vs. la presión -- de entrada, los datos serán:

Presión de entrada Kg/cm ²	pérdidas de calor Kcal/Kg de benceno
0.1	440.201
0.15	186.745
0.2	102.600





Al aumentar la presión de entrada del vapor de agua, las pérdidas de calor van siendo menores debido a que el tiempo de calentamiento es menor. Por lo tanto la transferencia de calor de el calderín hacia los alrededores es menor.

La eficiencia promedio vs. la presión de entrada se grafica con los datos:

Presión de entrada Kg/cm ²	E _{promedio}
0.1	0.814
0.15	0.750
0.2	0.673

La relación que guarde la eficiencia promedio con respecto a la presión de entrada del vapor es una proporcionalidad inversa en donde la eficiencia promedio será menor cuanto mayor sea la presión de entrada del vapor.

La cantidad de agua total utilizada en el proceso será la utilizada para calentar la carga a su temperatura de ebullición más la utilizada para arrastrar el benceno, es decir ($V_C + W_A$) la cual se graficará contra la presión de entrada del vapor con los siguientes datos:

Presión de entrada Kg/cm ²	$W_C + W_A$ gr.
0.1	6 405
0.15	5 843
0.2	4 553

Al aumentar la presión de entrada del vapor, la cantidad total de agua disminuye, no en forma proporcional - sino más bien como una función de la presión de entrada - del vapor.

Es importante conocer la velocidad de destilación - para saber en cuanto tiempo podemos recuperar toda la carga existente en el calderín, ésta velocidad también varía

con el aumento de la presión de entrada del vapor en una forma directamente proporcional lo cual se puede apreciar en la gráfica donde se localizan los puntos:

Presión de entrada Kg/cm ²	velocidad de destilación lt/hr.
0.1	3.30
0.15	12.44
0.2	23.49

La relación b/a promedio guarda también una proporcionalidad con respecto a la presión de entrada del vapor de agua, la cual disminuye al aumentar esta última.

Los puntos graficados son:

Presión de entrada Kg/cm ²	b/a promedio grmol agua/ grmol benc.
0.1	0.707
0.15	0.687
0.2	0.672

La eficiencia no es una función de la presión de vapor, pues pueden haber un número infinito de valores para la eficiencia a una misma presión de vapor por lo tanto, ésta es independiente.

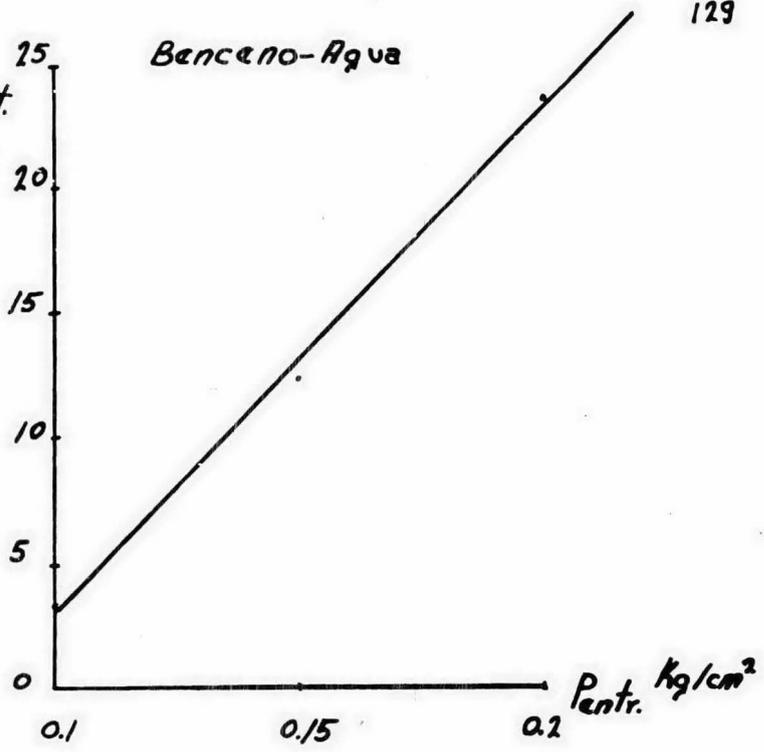
Al relacionar el % recuperado de la carga total con la presión de entrada con los datos:

Presión de entrada Kg/cm ²	% de la carga recuperado
0.1	65.95
0.15	99.57
0.2	97.87

encontramos la posibilidad de que exista un % máximo de recuperación entre 0.16 y 0.17 Kg/cm².

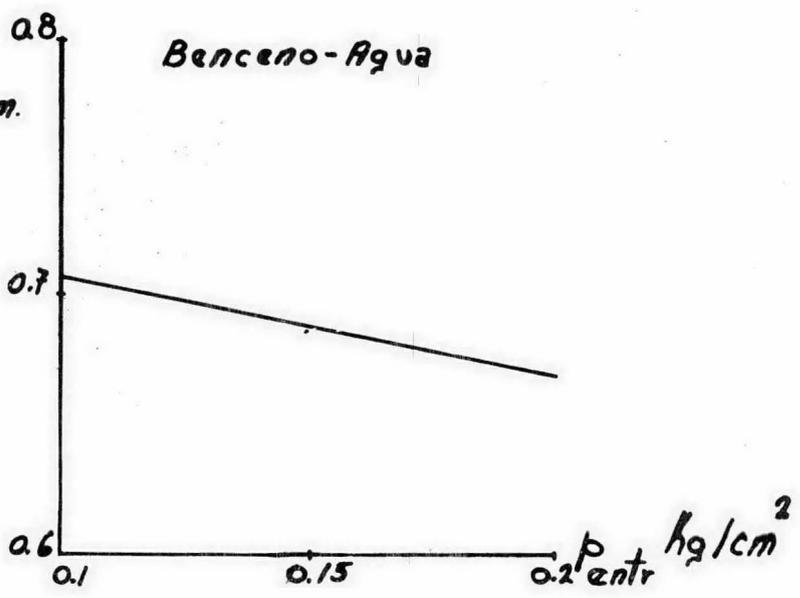
vel. dest.
lt/hr

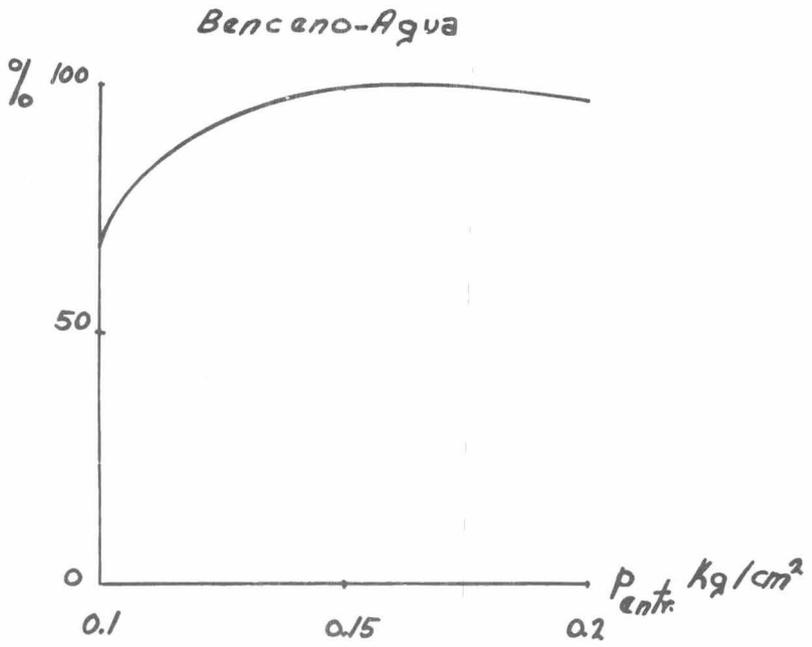
Benceno-Agua



$\frac{b}{a}$ prom.

Benceno-Agua





EXPERIMENTO 2 METIL PENTANO-AGUA A UNA PRESION DE ENTRADA DEL VAPOR DE AGUA DE 0.1 Kg/cm^2 .

El vapor entra a 96°C (205°F) a una presión total de 12.722 psia , para calentar y arrastrar una carga de 10 -- litros de 2 metil pentano cuyo punto de ebullición en la ciudad de México es de 60°C el cual se abate hasta los 49°C empleando este tipo de destilación.

Se destilan 9.817 litros en un tiempo de 1.367 hrs. lo que significa una velocidad de destilación de 7.181 li tros por hora y obteniendo como una eficiencia promedio 0 0.826 más o menos constante y buena.

Este compuesto es más volátil que el benceno por que no es aromático y es de cadena abierta, entonces la concentración disminuye más rápidamente lo cual implica cambios constantes en la velocidad de destilación, pues para destilar fracciones de 500 ml. totales, se necesitaban de 2 a 7 minutos. De estos 500 ml. totales, 3.6 g mol son de 2 metil pentano y de 0.94 a 1.00 g mol de agua, como ya se ha visto, ésta última variación origina un cambio en la - eficiencia.

EXPERIMENTO 2 METIL PENTANO-AGUA A UNA PRESION DE ENTRADA DEL VAPOR DE AGUA DE 0.15 Kg/cm^2 .

La presión total de entrada del vapor de agua es de 13.434 psia y su temperatura es de 97.6°C (206°F). Como la presión de entrada es mayor, entonces significa que la presión parcial del vapor de agua es mayor para mantener la presión total constante, implica que la presión parcial del volátil es menor, por lo tanto la temperatura de ebullición es menor teniendo un valor de 50°C .

En un periodo de 0.383 hr. se destila toda la carga que en este caso fué de 10.129 litros que expresando éstos datos en términos de velocidad de destilación, resulta ser 26.446 lt/hr con una eficiencia promedio de 0.897 más o - menos constante y muy buena.

Se destilan 2000 ml. cada 4 minutos en forma uniforme de los cuales 14.7 gr mol corresponden a el 2 metil - pentano y se nota una variación de 1.2 a 1.7 gr mol de - agua.

EXPERIMENTO 2 METIL PENTANO AGUA A UNA PRESION DE ENTRADA DEL VAPOR DE AGUA DE 0.2 Kg/cm².

El vapor de agua entra a 98.6°C (209.56°F) con una presión total de 14.145 psia para calentar una carga de - 10 litros para llegar a la temperatura de ebullición del sistema de 54°C a la cual se destilan 8.991 litros en 0.2 horas, es decir 44.995 litros por hora con una eficiencia promedio de 0.8 considerándola constante y buena.

La velocidad de destilación también es bastante constante puesto que cada 2 ó 3 minutos se destilan 2000 ml. totales de los cuales 14.4 gr mol son de 2 metil pentano en forma muy uniforme y una variación de 2.1 a 2.7 gr mol de agua.

COMPARACION DE LOS TRES EXPERIMENTOS 2 METIL PENTANO AGUA A LAS DIFERENTES PRESIONES DE ENTRADA DEL VAPOR.

P _{entrada} Kg/cm ²	tiempo hr.	\bar{E}	Q _p Kcal/Kg _{2mp}	W _c (prác). gramos de agua.	W _A (prác)
0.1	1.367	0.826	311.74	4420	483
0.15	0.383	0.897	116.349	2300	141
0.2	0.200	0.800	109.271	2000	189

(W _c + W _A) _{prác} gr. de agua	temperatura promedio °C	velocidad de destilación lt/hr	% de la car ga recuperado
4903	49	7.181	98.17
2441	51.8	26.446	100.00
2189	55	44.955	89.91

De la tabla anterior se deduce que a mayor presión de entrada del vapor, el tiempo para completar la destilación es menor así como las pérdidas de calor y la cantidad de agua total, por el contrario, la velocidad de destilación aumenta junto con el aumento de la temperatura.

La eficiencia máxima y el % recuperado se encuentran en una presión de entrada de vapor intermedia que puede ser a 0.15 Kg/cm^2 ó entre ésta presión y 0.2 Kg/cm^2 , éste fenómeno se puede explicar porque cuando la presión de entrada es muy grande (0.2 Kg/cm^2) el vapor no alcanza a saturarse de volátil y la relación b/a aumenta con la consecuente disminución en la eficiencia, ahora bien, si la presión de entrada es muy pequeña (0.1 Kg/cm^2) el tiempo de calentamiento es grande y la disminución en la concentración del volátil es rápida lo cual produce el mismo fenómeno anterior, como se puede observar, debemos nivelar la presión de entrada de tal manera que no sea tan grande que no alcance a saturarse de volátil, ni tan pequeña que pueda disminuir demasiado la concentración del volátil en el calderín.

Las pérdidas de calor disminuyen con el aumento en la presión de entrada del vapor por las mismas razones ya expuestas.

La presión de entrada de vapor aceptable es a 0.15 Kg/cm^2 porque la eficiencia alcanza el valor mayor entre los tres experimentos y el tiempo para completar la destilación es mucho menor que a 0.1 Kg/cm^2 y no mucho mayor que a 0.2 Kg/cm^2 . Se puede recuperar la carga en sólo 23 minutos y las pérdidas de calor así como la cantidad de agua total se reducen a la mitad del experimento con presión de entrada de 0.1 Kg/cm^2 y sin embargo no llegan a ser el doble del valor que alcanza cuando la presión de entrada es de 0.2 Kg/cm^2 .

De la gráfica b/a vs. E se aprecia que la relación es proporcional, sin embargo los intervalos de valores --

para b/a son diferentes para cada presión de entrada del vapor de agua debido a que cada uno de los experimentos - tiene una temperatura de ebullición muy particular, cosa que no sucede por ejemplo si utilizamos benceno como se - vió anteriormente.

		b/a		
a 0.1 Kg/cm ²			0.257	0.483
a 0.15 Kg/cm ²	0.086--0.121			
a 0.2 Kg/cm ²	-----0.149-- 0.152			

Los valores de las eficiencias no están tan seleccionados, es decir que pueden existir los mismos valores a - diferentes presiones de entrada del vapor y a diferentes temperaturas de ebullición.

		E		
a 0.1 Kg/cm ²		0.767		0.882
a 0.15 Kg/cm ²				0.941-0.971
a 0.2 Kg/cm ²		0.785--0.814		

En el diagrama anterior se muestra que el intervalo de eficiencias a 0.2 Kg/cm² y el intervalo de eficiencias a 0.15 Kg/cm² no se encuentran uno dentro del otro en - cambio, el intervalo de eficiencias de 0.2 Kg/cm² está - dentro del intervalo de eficiencias a 0.1 Kg/cm².

El intervalo de 0.15 Kg/cm² no está dentro de los -- anteriores porque el proceso es muy rápido y no alcanza a disminuir la eficiencia, es decir que en éste caso el --- factor dominante es el tiempo y no la presión de entrada o la temperatura de ebullición,. Esto último podrá com--- probarse si se carga el calderín con un volumen mayor de material volátil (2 metil pentano) para que se realice en un tiempo mayor y de éste modo poder observar el cambio en eficiencias hasta encontrarse dentro de los intervalos anteriores.

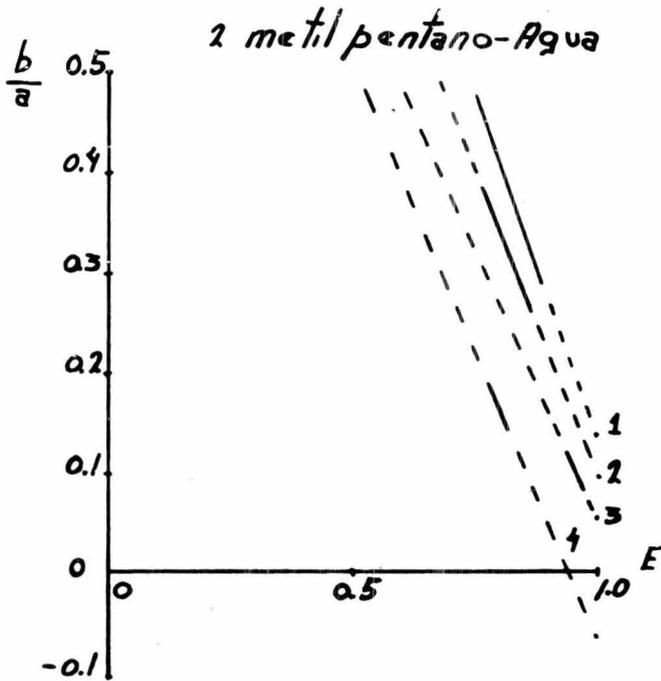
La eficiencia no es función de la presión de vapor - como se puede apreciar en la gráfica en donde puede haber muchos valores de E para un sólo valor de la presión de vapor.

Estas gráficas se construyen a partir de la siguiente tabla:

515 mm Hg. 48°C	540 mmHg. 49°C	555 mmHg. 50°C	626 mmHg. 54°C	Kg/cm ²
b/a --- E	b/a --- E	b/a --- E	b/a --- E	
0.369--0.831	0.289--0.882			0.1
0.483--0.767	0.257--0.863			
0.289--0.882	0.273--0.850			
0.137--1.000	0.304--0.832			
	0.385--0.783			
	0.085--1.000			
<hr/>				
		0.086--0.971		0.15
		0.121--0.941		
		0.086--0.971		
		0.093--0.965		
		0.055--1.000		
<hr/>				
			0.192--0.785	0.2
			0.161--0.806	
			0.149--0.814	
			0.153--0.811	
			- 0.063--1.000	
<hr/>				

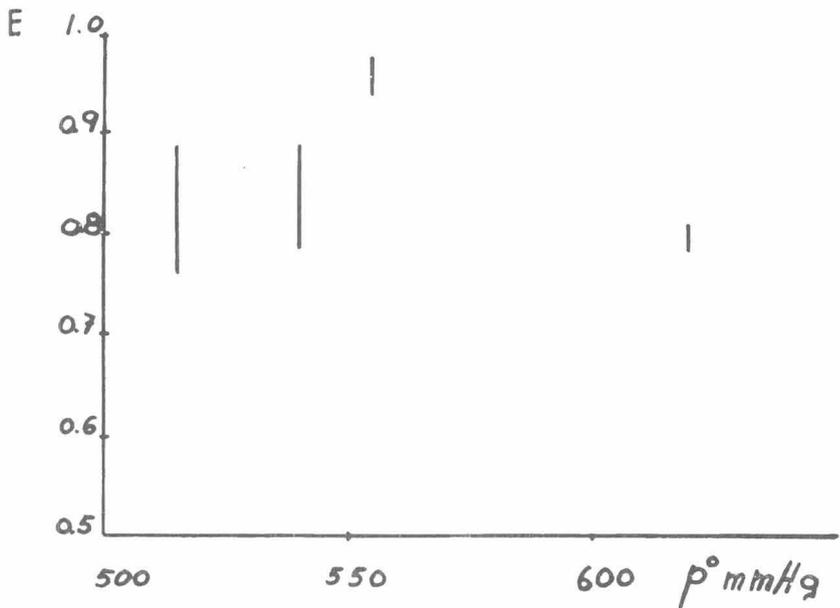
Cuando la presión de vapor del volátil es de 626 mmHg. encontramos un valor de b/a mínimo negativo para obtener la máxima eficiencia, eso nos indica que teóricamente es imposible llegar a ésta eficiencia si la temperatura es de 54°C y la presión de entrada del vapor es de 0.2 Kg/cm².

Si se desea mantener la eficiencia con valores más o menos constantes y elevados, la presión de entrada deberá mantenerse en 0.15 Kg/cm² pues como ya se explicó, la presión de entrada del vapor ejerce influencia sobre la relación b/a y consecuentemente en E.



- 1.- $0.1 \text{ Kg/cm}^2 - 515 \text{ mmHg}$
- 2.- $0.1 \text{ Kg/cm}^2 - 540 \text{ mmHg}$
- 3.- $0.15 \text{ Kg/cm}^2 - 555 \text{ mmHg}$
- 4.- $0.2 \text{ Kg/cm}^2 - 626 \text{ mmHg}$

2 metil pentano-Agua

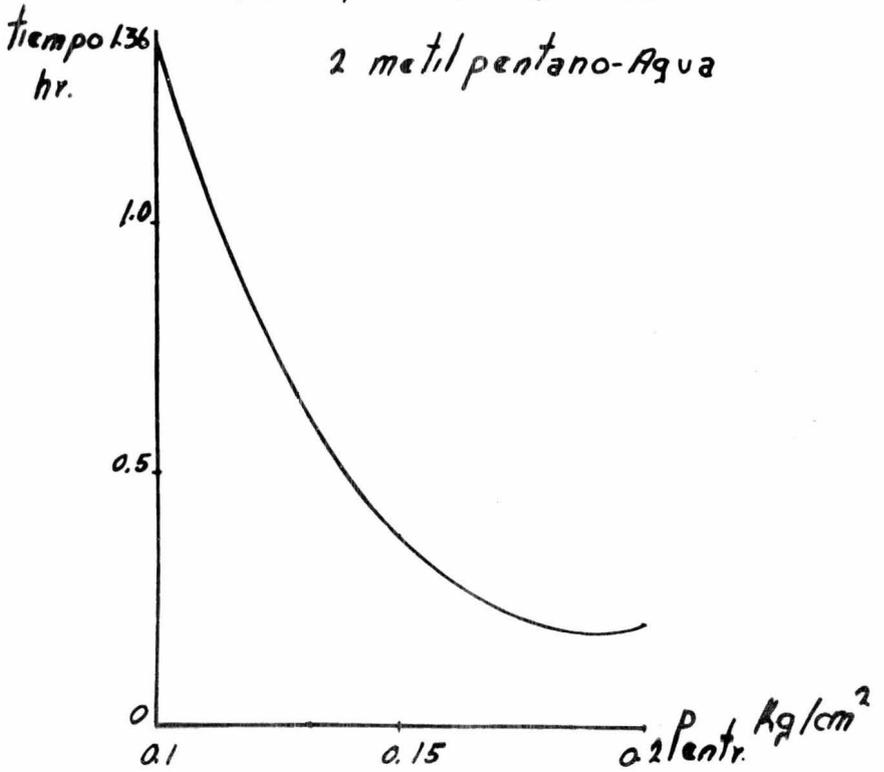
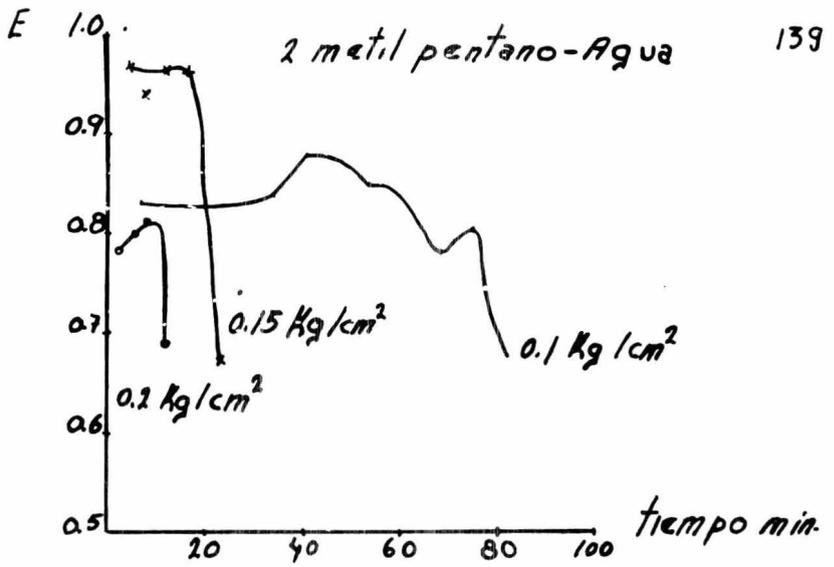


Las gráficas eficiencia vs. tiempo tienen como puntos:

a 0.1 Kg/cm ²		a 0.15 Kg/cm ²		a 0.2 Kg/cm ²	
tiempo	E	tiempo	E	tiempo	E
min.		min.		min.	
4	1.033	5	0.971	2	0.785
7	0.831	8	0.941	5	0.806
27	0.742	12	0.971	8	0.814
34	0.843	16	0.965	10	0.811
38	0.767	20	0.863	12	0.690
41	0.882	23	0.669		
44	0.872				
48	0.882				
50	0.863				
54	0.850				
57	0.850				
62	0.832				
68	0.783				
71	0.790				
73	0.841				
75	0.803				
79	0.721				
82	0.675				

La eficiencia es muy buena y constante cuando se trabaja a 0.1 Kg/cm² sin embargo es mucho tiempo para desarrollar la práctica. En la gráfica se toman algunos puntos como errores experimentales porque es difícil mantener en 0.1 Kg/cm² como ya se ha explicado anteriormente y se tiene que estar ajustando constantemente el manómetro entonces si se toman en cuenta, la curva nos mostraría un comportamiento muy caótico intrínseco y no debido a problemas exteriores.

Si relacionamos el tiempo en el cual se destilan 10 litros de carga con la presión de entrada del vapor de agua, se podrá construir una gráfica con los puntos:



Presión de entrada Kg/cm ²	tiempo hr.
0.1	1.367
0.15	0.383
0.2	0.200

En la cual el tiempo resulta estar en función de la presión de entrada de vapor y éste disminuye grandemente con un pequeño aumento en la presión desde 0.1 hasta 0.15 Kg/cm² con un comportamiento asintótico, entonces se necesitaría una presión de entrada infinita para reducir el tiempo de destilación a cero.

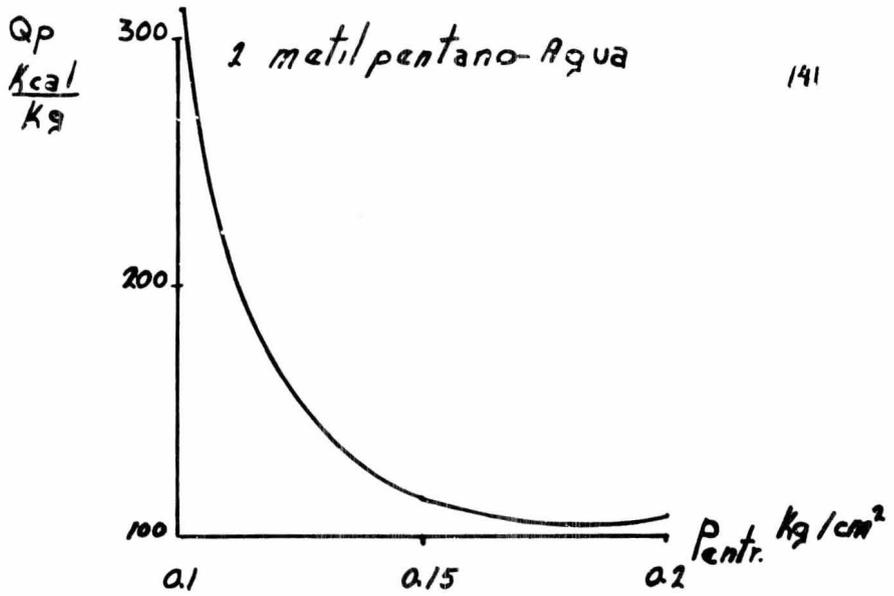
Este mismo comportamiento se observa si graficamos las pérdidas de calor contra la presión de entrada del vapor:

Presión de entrada Kg/cm ²	pérdidas de calor Kcal/Kg de 2mp.
0.1	311.740
0.15	116.349
0.2	109.271

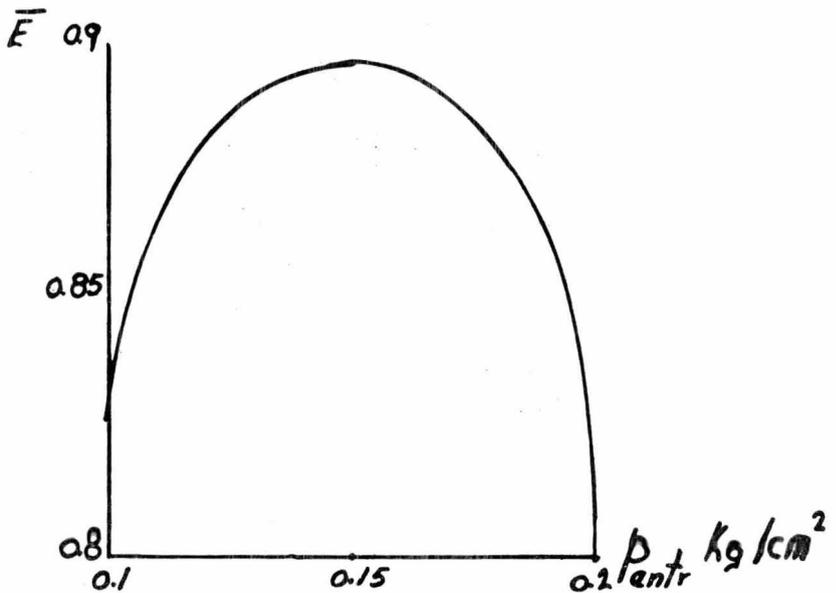
Si tomamos en cuenta las eficiencias promedio alcanzadas a las diferentes presiones de entrada del vapor --- encontraremos la existencia de un valor máximo posiblemente entre 0.15 y 0.16 Kg/cm².

Presión de entrada Kg/cm ²	eficiencia promedio
0.1	0.826
0.15	0.897
0.2	0.800

La cantidad de agua total utilizada en el experimento también tiene gran relación con la presión de entrada del vapor de agua la cual tiende a ser cero si la presión de entrada tiende a ser infinita:



2 metil pentano-Agua



Presión de entrada	$W_c + W_A$
Kg/cm ²	gr. de agua
0.1	4903
0.15	2441
0.2	2189

Si se trabaja entre 0.15 y 0.2 Kg/cm², puede tomarse como línea recta esta parte de la gráfica.

La velocidad de destilación y la presión de entrada del vapor de agua son directamente proporcionales porque los tres puntos se encuentran sobre una misma línea recta:

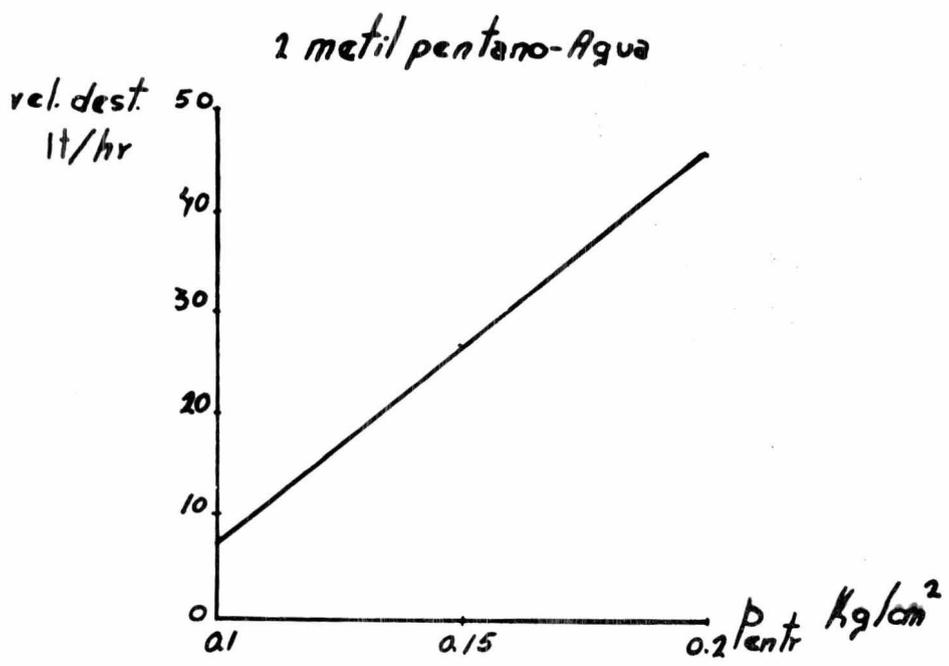
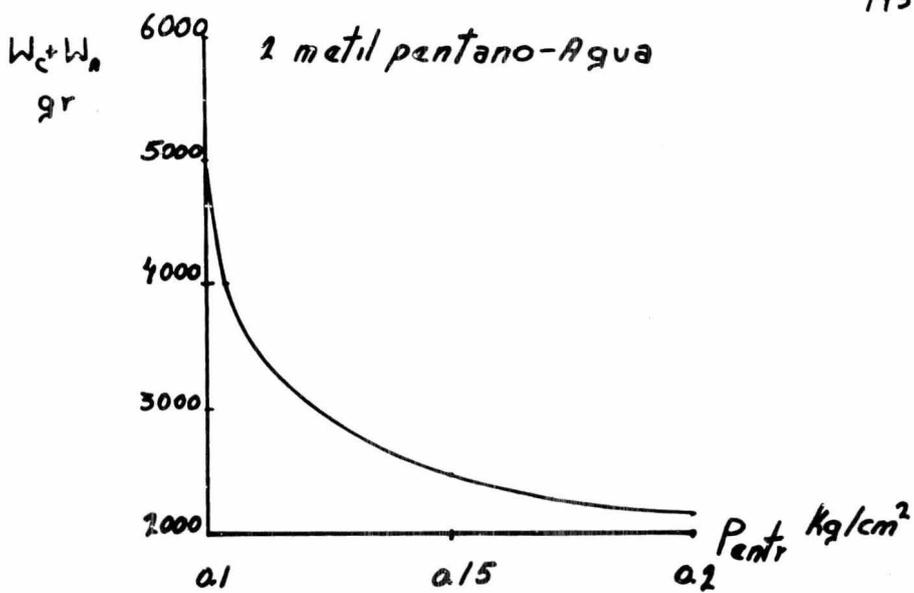
Presión de entrada	velocidad de destilación
Kg/cm ²	lt/hr.
0.1	7.181
0.15	26.446
0.2	44.955

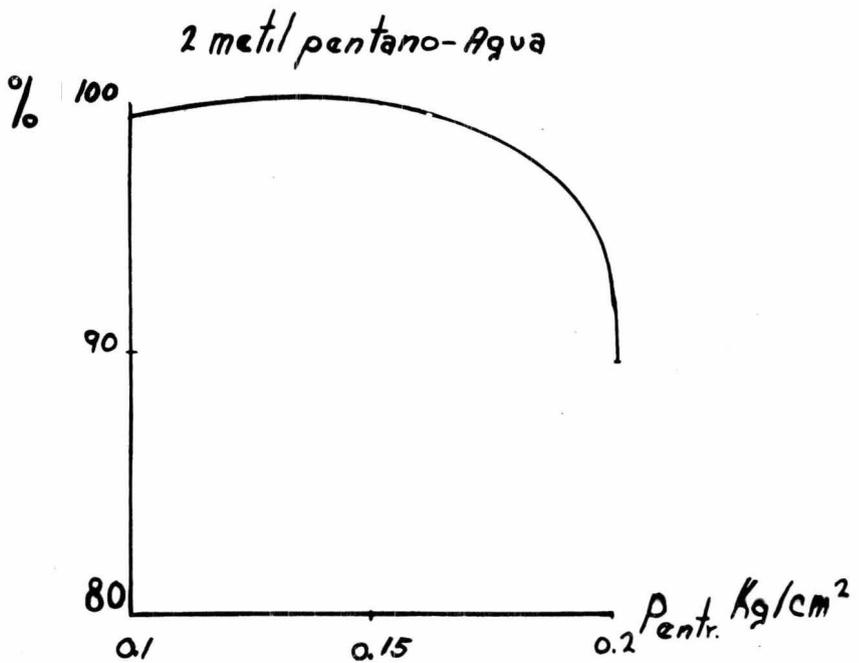
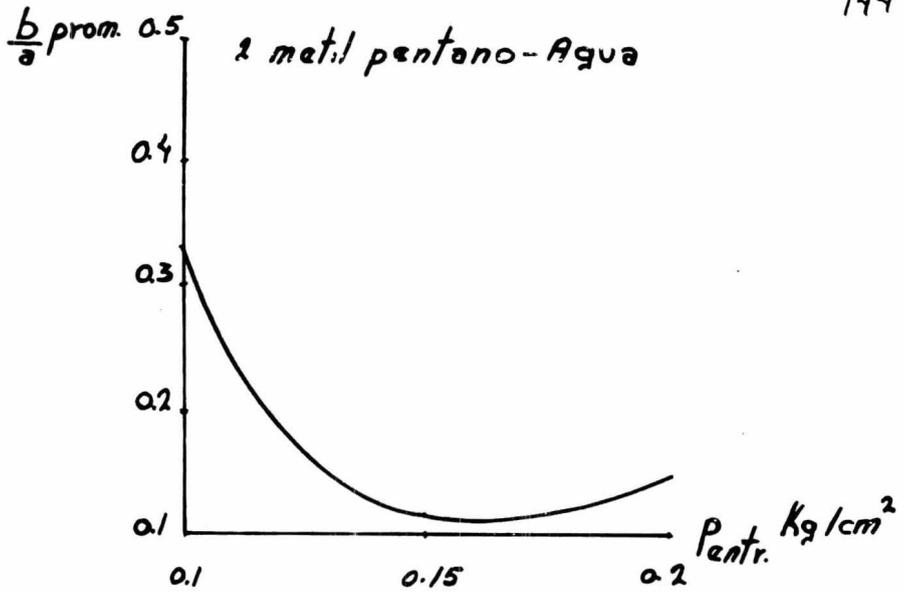
Como ya se expuso anteriormente, la presencia de un valor máximo en la eficiencia nos conduce a la presencia de un mínimo en la relación b/a.

Presión de entrada	b/a promedio
Kg/cm ²	gmol agua/gmol 2mp.
0.1	0.333
0.15	0.120
0.2	0.154

El % de carga recuperada tiene un valor casi constante entre 0.1 y 0.15 Kg/cm² y disminuye entre este último valor y 0.2 Kg/cm². La gráfica se construye con los datos:

Presión de entrada	% de la carga recuperada.
Kg/cm ²	
0.1	98.17
0.15	100.00
0.2	89.91





EXPERIMENTO TOLUENO-AGUA A UNA PRESION DE ENTRADA DEL VAPOR DE AGUA DE 0.12 Kg/cm^2 .

El vapor entra a 96.6°C (205.88°F) con una presión total de entrada de 13.007 psia para calentar una carga de 10 litros hasta la temperatura de ebullición de el sistema que en promedio es de 71.167°C , siendo muy variante durante el proceso, pero siempre menor a la temperatura de ebullición del tolueno en la ciudad de México que es de 102°C .

Se destilan 754 ml. de tolueno en 3.083 hr. lo que implica una velocidad de destilación de 0.244 litros por hora, muy baja y la eficiencia promedio también muy variable que es de 0.56 sin tomar en cuenta las dos últimas lecturas porque tienen error que más tarde se comentará.

La velocidad de destilación también es muy variable, pues el tiempo en que se destilan aproximadamente 200 ml. es de 21 minutos hasta 56 minutos. En cada lapso de tiempo se recuperan 200 ml. totales de los cuales desde 1.051 hasta 1.916 gr mol son de tolueno y desde 1.889 hasta 4.833 gr mol son de agua, como se puede ver, la variación también es muy notoria.

Las dificultades presentadas en este experimento se deben a que la temperatura de entrada del vapor de agua (96.6°C) y la temperatura de ebullición del sistema (75°C) están muy cercanas una de otra, por lo que el vapor de entrada a ésta presión, solamente alcanza a calentar el calderín hasta 71°C y mantenerlo con mucho trabajo a ésta temperatura, en un tiempo de calentamiento de aproximadamente 3 horas que es realmente exagerado, puesto que al utilizar por ejemplo benceno o 2 metil pentano, el tiempo de calentamiento estaba entre 15 y 30 minutos como máximo.

La presión de entrada mínima para éste compuesto utilizada fué de 0.12 Kg/cm^2 porque a 0.1 Kg/cm^2 el problema era más grande y no alcanzaba a destilar una sola gota.

Siendo el tiempo de calentamiento tan grande, la ---

cantidad de agua de calentamiento lo fué también y disminuyó mucho la concentración dentro del calderín por lo que la relación b/a resultaba ser grande y la eficiencia muy pequeña.

La falta de sensibilidad en el manómetro a esta presión de entrada, contribuyó a que el problema fuera mayor, pues cuando la válvula se encontraba totalmente cerrada, el manómetro seguía marcando la misma presión y la temperatura del calderín bajo a 70°C y la destilación se detuvo por lo que se recibieron 230 ml. totales en 56 minutos.

Al tratar de normalizar el proceso constantemente y variar la presión de entrada ocasiona lecturas falsas, -- como las últimas.

EXPERIMENTO TOLUENO-AGUA A UNA PRESION DE ENTRADA DEL VAPOR DE AGUA A 0.15 Kg/cm^2 .

La temperatura de entrada del vapor no es mucho mayor que la anterior (96.7°C ó 206°F) y la presión de entrada total es de 13.434 psia con lo cual es suficiente para vencer el problema anterior y alcanza muy bien a llegar a la temperatura de ebullición del sistema de 75°C en una forma notablemente constante. Se destilan 9.904 litros de un total de 10 litros en la carga en 0.933 horas, es decir -- 10.6 litros por hora y una eficiencia promedio de 0.906 -- también muy constante.

Cada 8 minutos se reciben 2000 ml. totales de líquido en donde se encuentran 14.6 gr mol de tolueno y 23 g mol -- de agua.

El tiempo de calentamiento se ve reducido a únicamente media hora con lo cual el tolueno mantiene una buena -- concentración y consecuentemente se obtiene una eficiencia bastante buena.

EXPERIMENTO TOLUENO-AGUA A UNA PRESION DE ENTRADA DE EL VAPOR D AGUA DE 0.2 Kg/cm^2 .

El vapor entra con una presión total de 14.145 psia

y con una temperatura de 98.6°C (209.56°F) teniendo un poco de variación en la temperatura de ebullición, considerándose como promedio 75.5°C , la destilación se lleva a cabo totalmente en 0.583 hr. lasso en el cual se reciben los 10.074 litros cargados en el calderín, ésto indica una velocidad de destilación de 12.279 litros por hora y con una eficiencia promedio de 0.892 constante.

Cada 5 minutos se reciben un total de 2000 ml. en donde 14.5 gr mol corresponden a tolueno y 24.4 gr mol de agua.

COMPARACION DE LOS TRES EXPERIMENTOS TOLUENO-AGUA A LAS DIFERENTES PRESIONES DE ENTRADA.

P_{entrada} Kg/cm ²	tiempo hr.	\bar{E}	Q_p Kcal/Kg _{Tol.}	W_A gramos	W_C de agua
0.12	3.083	0.560	10291	316	11980
0.15	0.933	0.906	224	2696	4900
0.2	0.583	0.882	148	2766	3800

$W_A + W_C$ gr. agua	temperatura promedio $^{\circ}\text{C}$	velocidad de destilación lt/hr.	% de la carga recuperado
12296	71.167	0.224	7.54
7596	75.000	10.600	99.04
6566	75.500	12.279	100.00

La tabla anterior muestra que con el aumento en la presión de entrada del vapor, el tiempo necesario para destilar la misma cantidad de tolueno es menor con menos pérdidas de calor y menos cantidad de agua total necesaria y la velocidad de destilación y el % recuperado aumentan.

En éste caso no podemos comparar los tres experimentos en cuanto a la cantidad total de agua, tiempo total y % recuperado porque éstos tres datos se obtienen al destilar

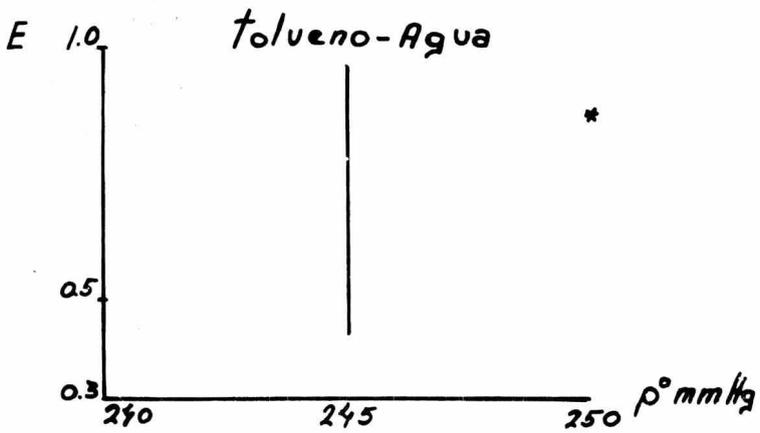
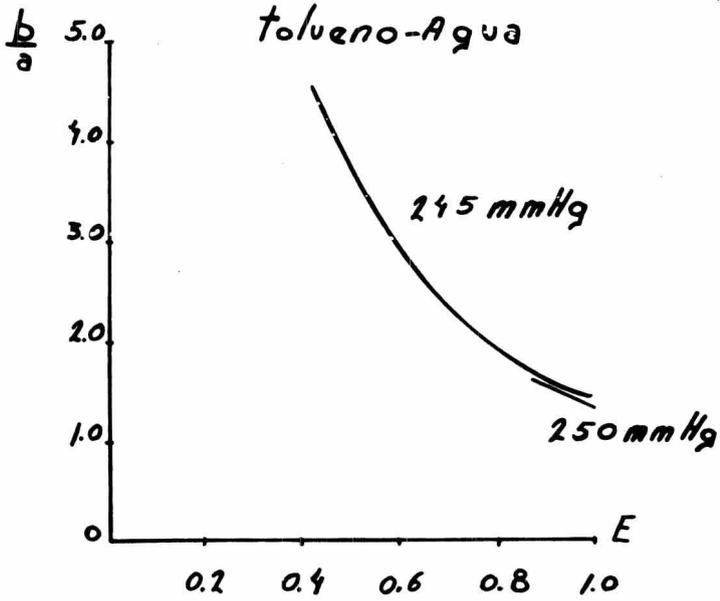
toda la carga, lo cual no fué posible realizar en el primer experimento por las razones ya mencionadas.

Nuevamente se presenta el caso de encontrar una eficiencia promedio máxima, la que se discutirá más tarde.

Para éste caso son recomendables cualquiera de las dos últimas presiones de entrada, porque los resultados son buenos y no tienen gran diferencia unos con otros. Si no se dispone de mucho tiempo, por ejemplo porque la práctica previa a la práctica se haya prolongado más de lo programado, se puede escoger el experimento a 0.2 Kg/cm^2 de presión de entrada con la cual, en una media hora quedará terminado el experimento, si se dispone de más tiempo se puede optar por el de 0.15 Kg/cm^2 para realizar la práctica en una hora teniendo la ventaja de obtener mejores resultados y mayor número de datos, aunque la diferencia con el anterior no es muy grande.

La gráfica b/a vs. E se construye con los datos:

245 mmHg. 75°C		250 mmHg. 76°C		Kg/cm ²	
b/a	E	b/a	E		
4.598	0.427			0.12	
3.510	0.530				
1.391	1.000				
<hr/>					
1.498	0.957			0.15	
1.684	0.890				
1.587	0.924				
1.636	0.907				
1.636	0.907				
1.684	0.890				
1.751	0.869				
1.391	1.000				
<hr/>					
1.493	0.959	1.675	0.876		0.2
1.587	0.924	1.684	0.873		



(continuación)

1.684---	0.890	1.675---	0.876
1.391---	1.000	1.344---	1.000

La relación b/a es una función de la eficiencia teniendo un valor mínimo para la eficiencia máxima igual a la unidad.

La eficiencia no está en función de la presión de entrada de el vapor sino que es un valor totalmente independiente a éste último.

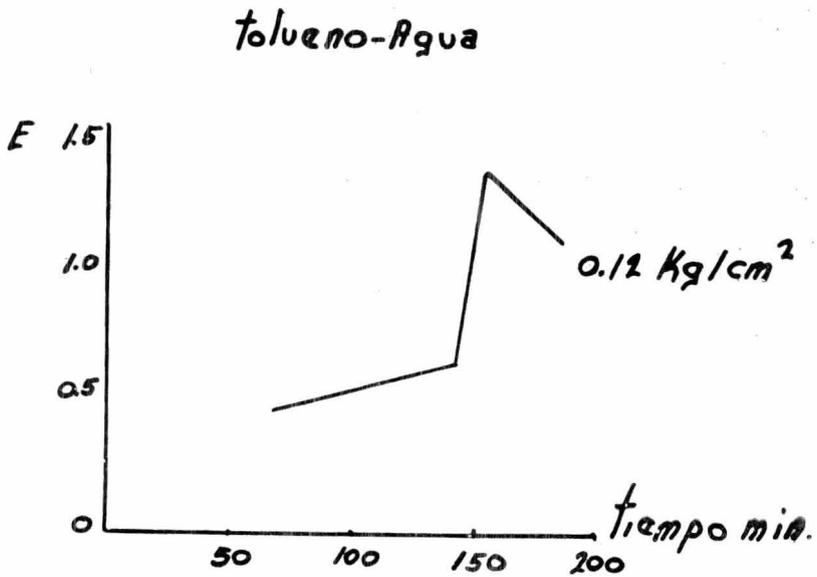
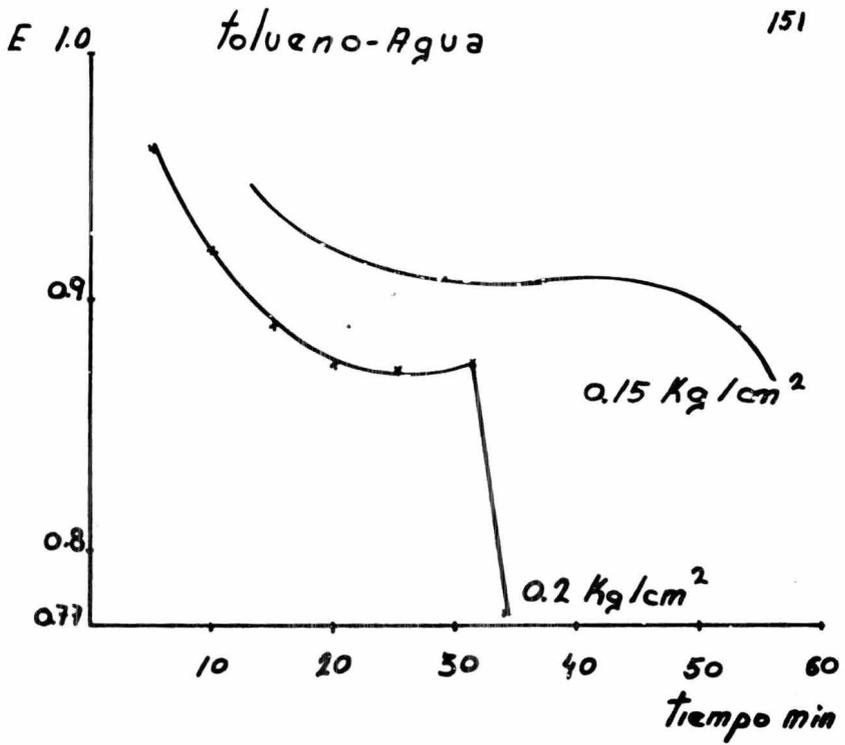
Las eficiencias promedio en cambio si pueden tener alguna relación con la presión de entrada.

La relación b/a mínima no depende de las presiones de entrada sino que solamente depende de la temperatura de ebullición del sistema, entonces a 75°C la relación b/a mínima es de 1.391 sin importar la presión de entrada del vapor de agua.

Como la diferencia en las temperaturas de ebullición no es muy grande al cambiar las presiones de entrada, las líneas en la gráfica se encuentran muy cercanas.

Las gráficas eficiencia vs. tiempo se construyen con los datos:

0.12 Kg/cm ²		0.15 Kg/cm ²		0.2 Kg/cm ²	
tiempo	E	tiempo	E	tiempo	E
min.		min.		min.	
66	0.427	13	0.957	5	0.959
87	0.530	21	0.890	10	0.924
143	0.642	29	0.924	15	0.890
155	1.400	37	0.907	20	0.876
185	1.120	45	0.907	25	0.873
		53	0.890	31	0.876
		56	0.869	35	0.776



El comportamiento de la curva en la gráfica E vs. -- tiempo es muy caótico para 0.12 Kg/cm^2 mientras que para 0.15 y 0.2 Kg/cm^2 su disminución es paulatina a excepción de los últimos 4 minutos a 0.2 Kg/cm^2 en donde el descenso fué muy notorio.

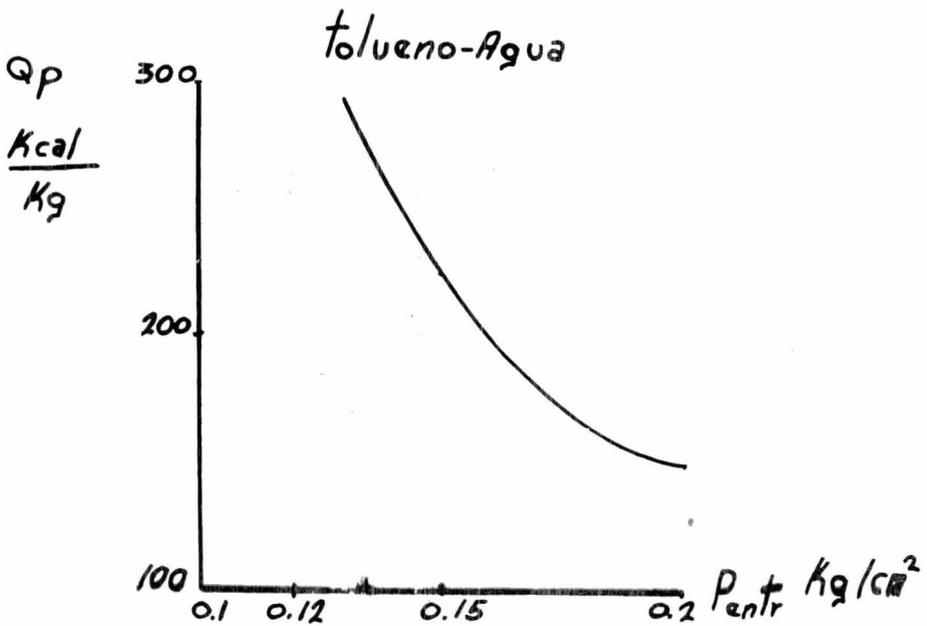
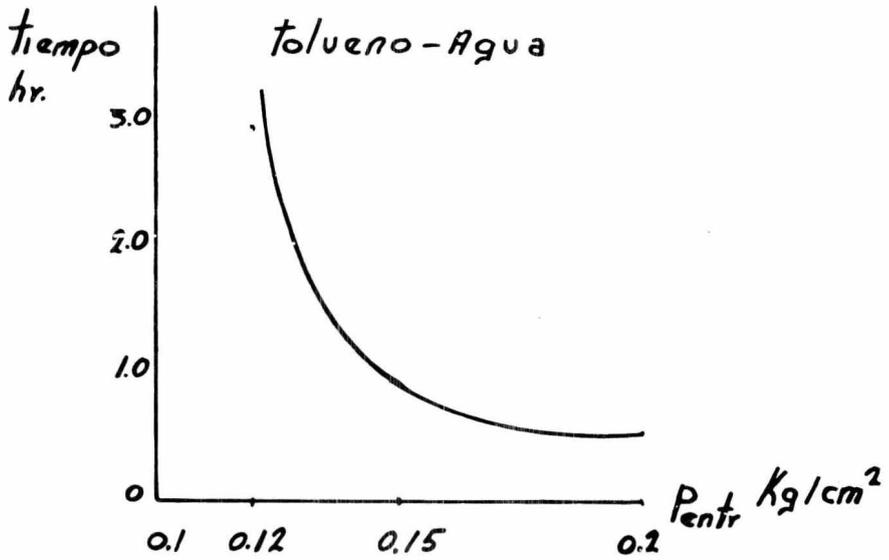
La relación de el tiempo total necesario para destilar 10 litros de carga con la presión de entrada se deduce con los datos:

Presión de entrada Kg/cm^2	tiempo hr.
0.12	3.083
0.15	0.933
0.2	0.583

El punto (0.12 , 3.083) queda fuera de la línea - porque como ya se comentó anteriormente, éste experimento no se terminó hasta que destilara toda la carga posible - porque el tiempo necesario era muy grande, de tal manera que si se trabaja a 0.1 Kg/cm^2 éste tiempo sería infinito como se puede apreciar en la gráfica.

Las pérdidas de calor relacionadas a la presión de - entrada, no se grafican los tres puntos, por que en primer lugar la línea no deberá tocar el primer punto como ya - se expuso anteriormente y en segundo lugar porque es lógico pensar que si se necesita un tiempo enorme para destilar toda la carga, también se tendrán pérdidas de calor - muy grandes, Si sólo se grafican dos puntos, no se puede apreciar si la variación es proporcional o si resulta ser una función de la presión de entrada, para éste caso se - tendrían que hacer otros experimentos o por lo menos otro a 0.17 Kg/cm^2 , Se deduce que las pérdidas de calor están en función de la presión de entrada porque los experimentos realizados con otras sustancias así ha sido y además porque si a una presión menor de 0.12 Kg/cm^2 el tiempo - para completar la destilación es infinito, indica que las pérdidas de calor deberán ser también infinitas.

Los datos obtenidos para graficar son:



Presión de entrada Kg/cm ²	pérdidas de calor Kcal/Kg de tolueno
0.12	10291
0.15	224
0.2	148

La gráfica eficiencia promedio vs. presión de entrada nos muestra la posibilidad de encontrar un valor máximo aproximadamente entre 0.17 y 0.18 Kg/cm².

Presión de entrada Kg/cm ²	E _{promedio}
0.12	0.560
0.15	0.906
0.2	0.882

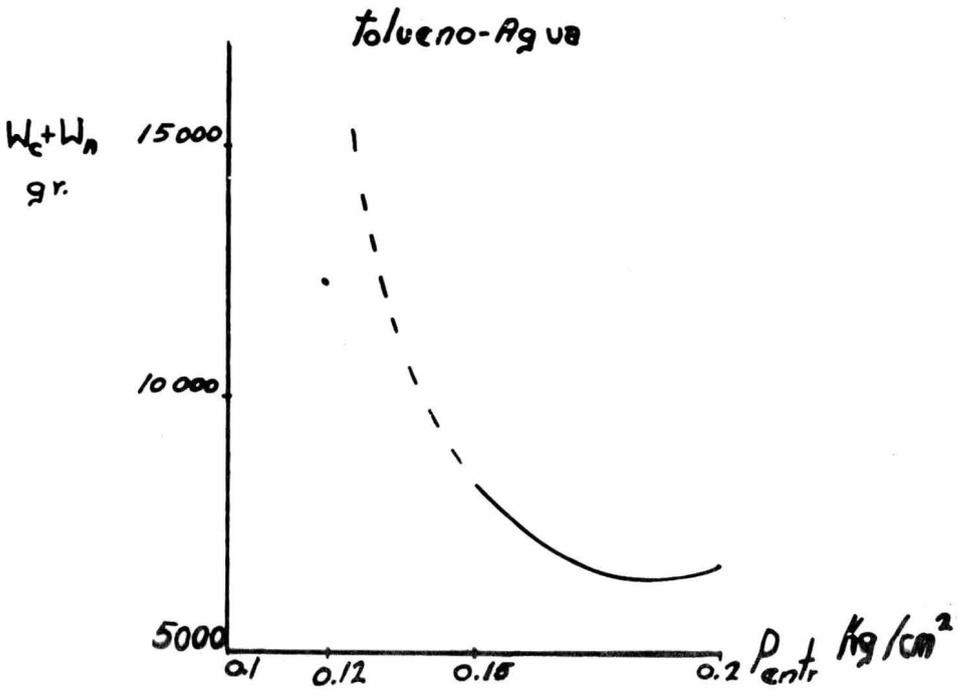
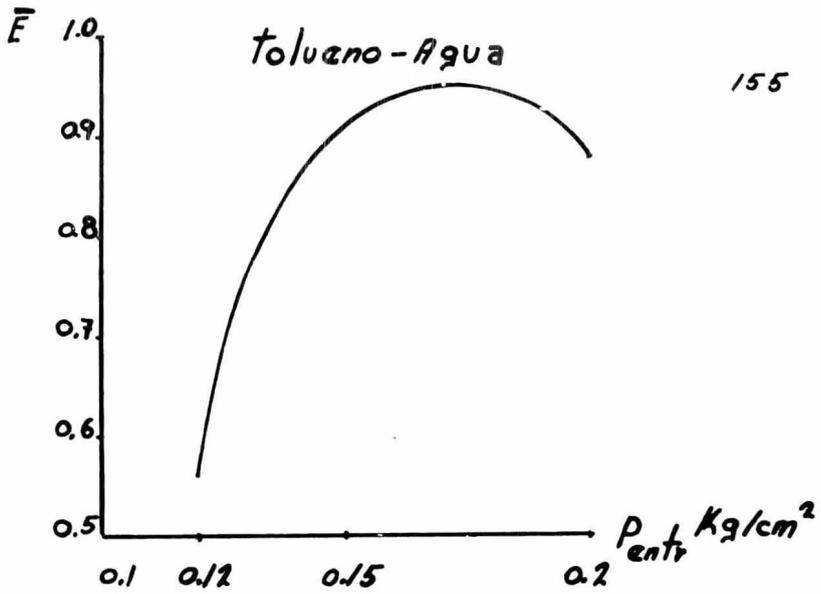
Nuevamente en la gráfica $w_c + w_A$ quedará fuera de -- la línea el primer punto y sólo ésta pasará por los dos -- puntos siguientes, es decir que si la presión de entrada es menor de 0.2 Kg/cm² la cantidad de agua será infinita.

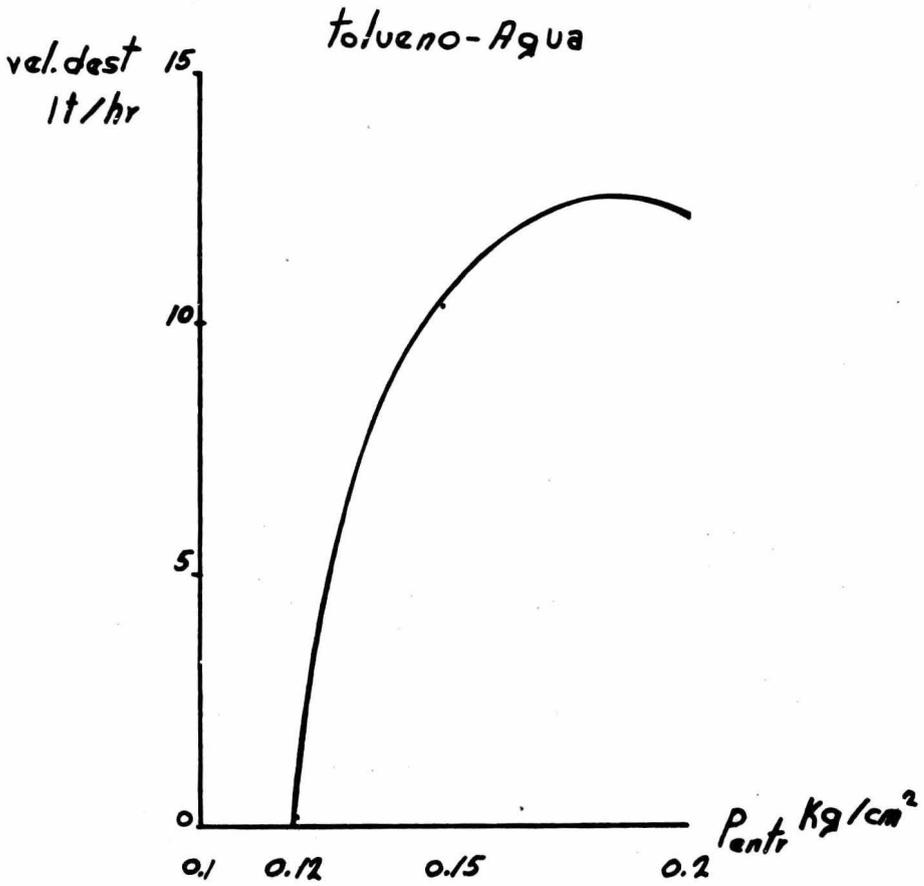
Presión de entrada Kg/cm ²	$w_c + w_A$ gr. de agua
0.12	12296
0.15	7596
0.2	6566

Si la presión de entrada del vapor es de 0.115 la velocidad de destilación se reduce a cero, es decir que -- el aparato no destilará.

Presión de entrada Kg/cm ²	velocidad de destilación lt/hr
0.12	0.224
0.15	10.600
0.2	12.279

Siguiendo la inclinación de ésta curva es posible la existencia de una velocidad mayor a las obtenidas experi





mentalmente si la presión de entrada es de 0.19 Kg/cm^2 .

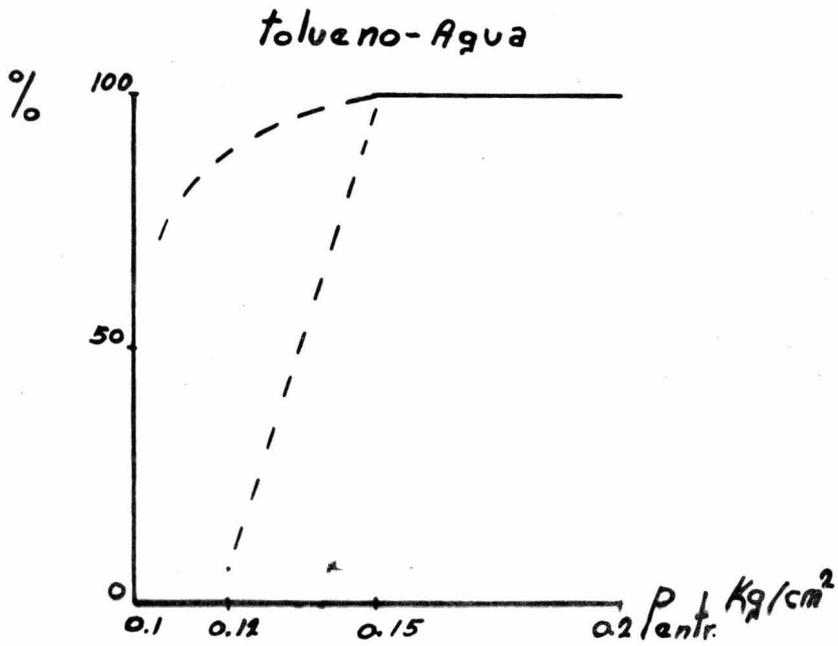
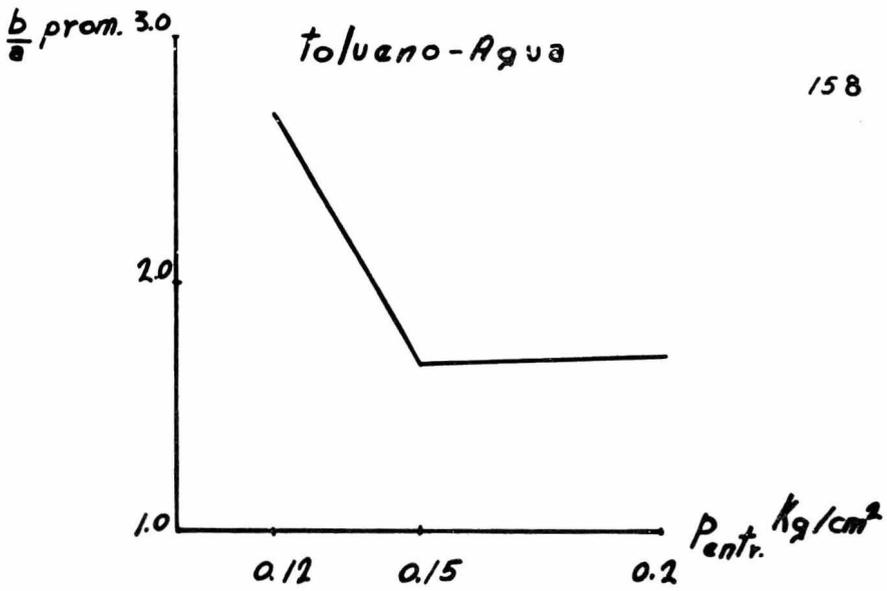
La disminución de b/a promedio es muy notoria si la presión de entrada es de 0.12 ó de 0.15 Kg/cm^2 en cambio desde ésta última presión hasta 0.2 Kg/cm^2 se puede considerar constante, como lo muestra la gráfica b/a vs. Presión de entrada.

Presión de entrada, Kg/cm^2	b/a promedio grmol agua/grmol tolueno
0.12	2.692
0.15	1.639
0.2	1.649

Al graficar el % de carga recuperada vs. la presión de entrada del vapor con los datos:

Presión de entrada Kg/cm^2	% de la carga recuperada
0.12	7.54
0.15	99.04
0.2	100.00

Encontramos que se puede considerar constante entre 0.15 y 0.2 Kg/cm^2 sin embargo no se puede determinar como es la relación entre éstas dos variables pues sólo se tienen dos puntos bien definidos.



EXPERIMENTO TETRACLORURO DE CARBONO-AGUA A UNA PRESION DE ENTRADA DEL VAPOR DE AGUA DE 0.13 Kg/cm^2 .

El vapor de entrada tiene una presión de 13.149 - psia y una temperatura de 96.7°C . El sistema tiene una - temperatura de ebullición de 58°C lo que significa 10°C - menos que la temperatura de ebullición del tetracloruro - de carbono (CCl_4) que es de 68°C en la ciudad de México.

La destilación es muy lenta, pues se obtienen 1.919 litros de CCl_4 en 1.716 hr. es decir: 1.118 litros por - hora, lo que significa que para destilar toda la carga de 10 litros, se necesitaría un tiempo aproximado de 9 horas con grandes pérdidas de calor y gran cantidad de agua total. La eficiencia promedio tomada hasta el último tiempo registrado fué de 0.784 sin tomar en cuenta la primer lec - tura la cual es considerada con error debido a que hubo - una variación en el manómetro.

El tiempo necesario para destilar 500 ml. totales fué muy variable, sobre todo al principio de la destila - ción el cual poco a poco fué encontrando su estabilidad, sin llegar a ella totalmente porque el proceso no se ter - minó.

En éstos 500 ml. totales se encontraron 4.5 ó 4.6 gr mol de CCl_4 por 3 a 5 gr mol de agua.

EXPERIMENTO TETRACLORURO DE CARBONO-AGUA A UNA PRESION DE ENTRADA DEL VAPOR DE AGUA DE 0.15 Kg/cm^2 .

La presión total de entrada del vapor de agua es de 13.434 psia con una temperatura de 96.7°C (206°F).

En este caso la temperatura de ebullición del siste - ma fué de 59°C destilándose un total de 9.365 litros de - CCl_4 en 0.816 hr. obteniéndose una velocidad de destilación de 11.476 lt/hr, la cual se considera buena para realizar la práctica, además de que se recuperó un 93% de la carga.

La eficiencia promedio es de 1.023, valor mayor al - posible que puede deberse por ejemplo, a que el refrige - rante sea insuficiente y no condense toda el agua que vie

ne en forma de vapor desde el calderín, entonces en lugar de que sean 120 ml. de agua, en realidad sean unos 130 ml. de agua, lo cual nos indica que se escapan en forma de vapor 10 ml de agua. Se dice que se está escapando únicamente agua porque: en primer lugar la relación b/a resulta ser menor que la mínima, luego entonces b es menor que el mínimo, y en segundo lugar porque la capacidad calorífica del tetracloruro de carbono es muy baja ($0.208 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$) comparada con la del agua ($1 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$) por lo tanto, aunque el vapor de CCl_4 -agua salga a la misma temperatura, el agua trae consigo mayor cantidad de calor que debe liberarse para cambiar a la fase líquida.

La velocidad de destilación no es constante, pues se reciben 2000 ml. totales en períodos de tiempo que varían desde 6 a 16 min. trayendo 19.5 gr mol de CCl_4 y entre 5.556 a 7.222 gr mol de agua que hace que la variación de la eficiencia sea muy grande.

EXPERIMENTO TETRACLORURO DE CARBONO-AGUA A UNA PRESION DE ENTRADA DEL VAPOR DE AGUA DE 0.2 Kg/cm^2 .

La temperatura de entrada del vapor de agua es de 98.6°C (209.56°F) y una presión total de 14.145 psia. La temperatura del sistema es de 62°C destilándose 9.229 litros en sólo 0.3 hr, lo cual nos indica una velocidad de destilación de 30.76 litros por hora con una eficiencia promedio de 0.782 debido a que los dos últimos valores de eficiencia resultaron ser muy bajos. Si despreciamos éstos últimos, nos resulta una eficiencia de 0.94, pero tomando en cuenta la experiencia anterior debemos suponer que en realidad la eficiencia promedio es un poco menor de 0.94 y que todas las lecturas tomadas tendrán un cierto error en cuanto a gr mol de agua líquida recibida en la probeta.

Se destilan 2000 ml en lapsos de 2 a 5 minutos en donde 19 gr mol son de CCl_4 por 8 gr mol de agua más o menos constantes.

COMPARACION DE LOS TRES EXPERIMENTOS TETRACLORURO DE CARBONO-AGUA A DIFERENTES PRENSIONES DE ENTRADA DEL VAPOR DE AGUA.

P_{entrada} Kg/cm ²	tiempo hr.	\bar{E}	Q_p Kcal/Kg _{CCl₄}	$W_c(\text{prac})$ gr. de agua	$W_A(\text{prac})$
0.13	1.716	0.784	1070.469	5920	281
0.15	0.816	1.023	102.000	3660	580
0.2	0.300	0.782	53.392	2620	882

$(W_c + W_A)_{\text{prac.}}$ gr. de agua	temperatura promedio °C	velocidad de destilación lt/hr	% recuperado de la carga
6201	58	1.118	19.19
4240	59	11.476	93.65
3502	62	30.760	92.28

Cuando la presión de entrada aumenta, existe una disminución en el tiempo total, pérdidas de calor y agua total necesaria y un aumento en la temperatura y la velocidad de destilación. La eficiencia y el % de carga recuperado tienen un valor mayor a 0.15 Kg/cm² de presión de entrada.

La presión de entrada recomendable entonces será de 0.15 Kg/cm² con la sugerencia de un cambio de condensador por otro que tenga mayor superficie de contacto ó bien -- trabajar a 0.2 Kg/cm² con la desventaja de que unicamente los primeros 15 minutos se obtendrán eficiencias buenas a menos que el calderín sea cargado con mayor volúmen de CCl₄-

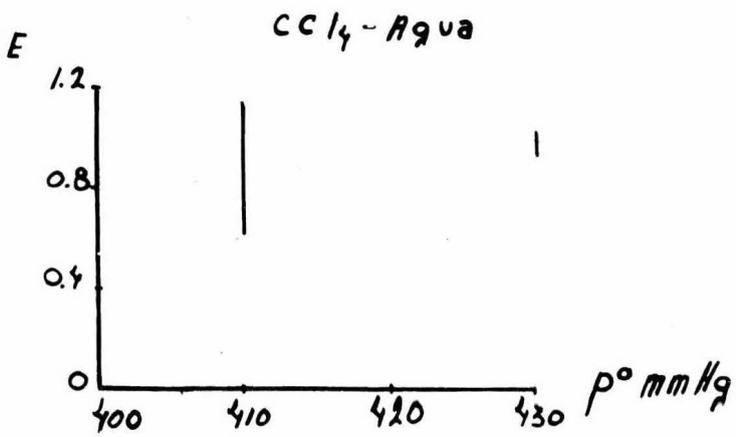
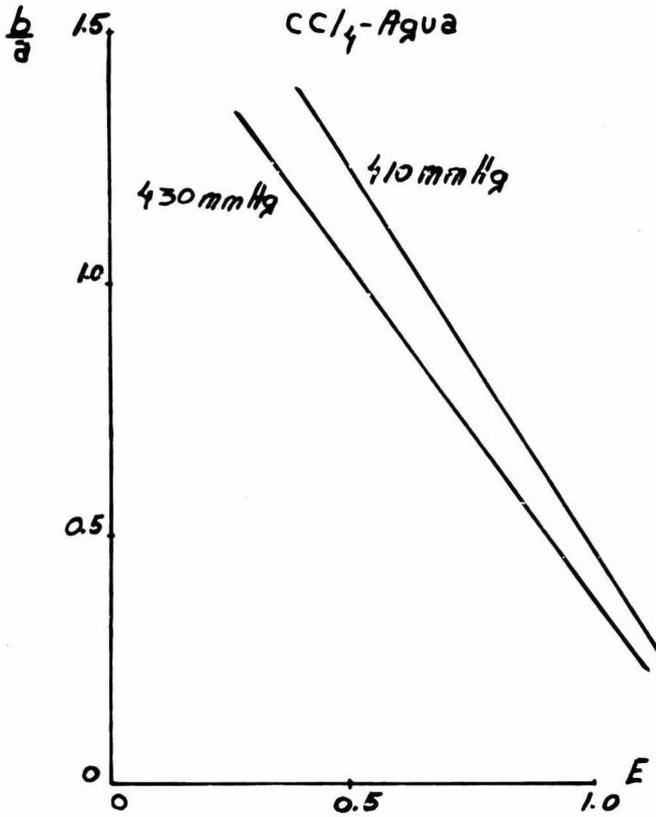
Estos dos experimentos tienen una ventaja sobre cualquiera de los experimentos anteriores, y ésta es que el - CCl₄ no es inflamable, en cambio todos los anteriores ya mencionados sí lo son. Esto representa una medida de seg

ridad para los alumnos así como para el propio laboratorio.

Las gráficas b/a vs. E y E vs. p^0 de "a" se construyen con los datos:

410 mmHg. 58°C		430 mmHg. 59°C		Kg/cm ²	
b/a	E	b/a	E		
0.252	--	1.140		0.13	
1.340	--	0.609			
0.663	--	0.859			
0.731	--	0.825			
0.690	--	0.845			
0.429	--	1.000			
<hr/>					
		0.282	--	1.062	0.15
		0.282	--	1.062	
		0.372	--	0.992	
		0.342	--	1.015	
		0.384	--	0.984	
		0.362	--	1.000	
<hr/>					
		0.462	--	0.931	0.2
		0.437	--	0.948	
		0.423	--	0.957	
		0.362	--	1.000	

La relación b/a vs. E es proporcional, pues todos los puntos graficados forman una línea recta si tienen una misma presión de vapor, sin embargo la inclinación de cada una de estas líneas es diferente, En la tabla encontramos el valor de b/a mínimo que nuevamente es independiente a las presiones de entrada y solamente está en función de la temperatura de ebullición y de la presión de vapor como en casos anteriores. La eficiencia no está en función de la presión de vapor como se aprecia en la grafica E vs. p^0



Conforme la destilación avanza, la relación b/a - aumenta por lo tanto si se quiere mantener una buena eficiencia, se deberá ir disminuyendo la presión de entrada por ejemplo si se comienza a 0.2 Kg/cm^2 , irle disminuyendo hasta llegar a 0.13 Kg/cm^2 para que la presión de vapor y la temperatura de ebullición aumenten y no haya variación grande de la eficiencia.

Comparando la eficiencia con el tiempo necesario para la destilación tenemos:

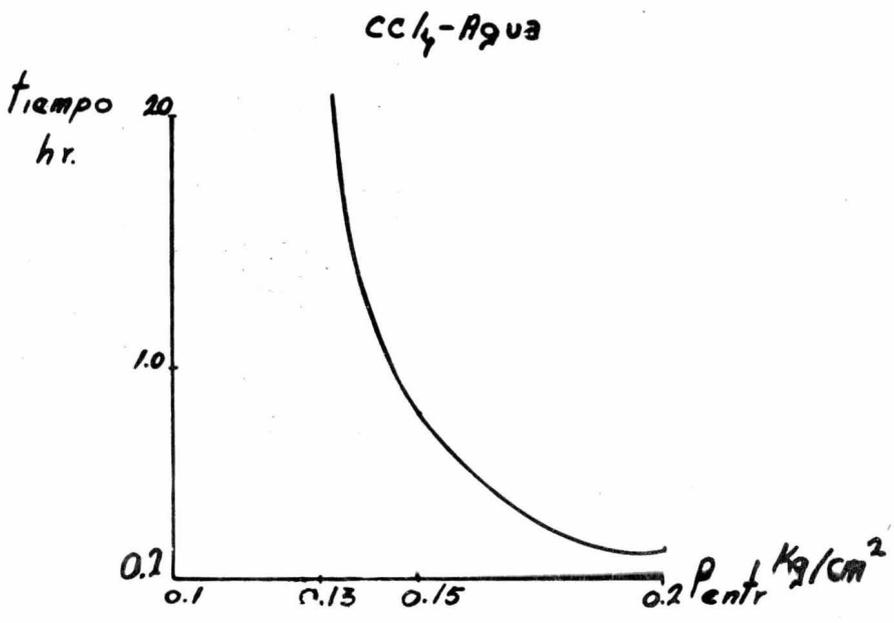
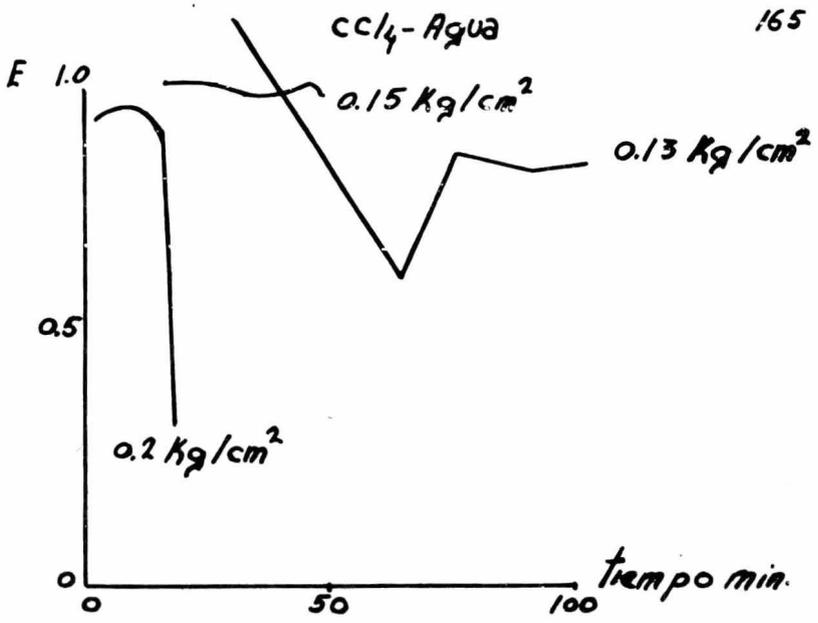
0.13 Kg/cm^2		0.15 Kg/cm^2		0.2 Kg/cm^2	
tiempo	E	tiempo	E	tiempo	E
min		min.		min.	
30	-- 1.140	16	-- 1.062	2	-- 0.931
65	-- 0.609	27	-- 1.062	6	-- 0.948
76	-- 0.859	33	-- 0.992	11	-- 0.957
91	-- 0.825	46	-- 1.015	15	-- 0.914
103	-- 0.845	49	-- 0.984	17	-- 0.633
				18	-- 0.309

Si la presión es de 0.13 Kg/cm^2 el comportamiento es muy caótico, en cambio a 0.15 Kg/cm^2 es más estable y con un tiempo de duración razonable y por último a 0.2 Kg/cm^2 las eficiencias son buenas pero su duración es muy baja.

Al relacionar el tiempo con la presión de entrada -- y graficarlo con los puntos:

Presión de entrada	tiempo
Kg/cm^2	hr.
0.13	1.716
0.15	0.816
0.2	0.300

Se queda un punto fuera de la curva, lo cual quiere decir que para una presión de entrada de 0.13 Kg/cm^2 el tiempo es mayor que el calculado puesto que la destilación no se llevó a cabo en su totalidad.



Si la presión de entrada es menor que 0.13 Kg/cm^2 - es posible que el tiempo tenga un valor infinito por el comportamiento asintótico que indica la curva .

Si el tiempo tiende ser infinito al disminuir la presión de entrada del vapor, es de suponerse que las pérdidas de calor serán también infinitas, lo cual podemos comprobar con la gráfica Q_p vs. Presión de entrada con:

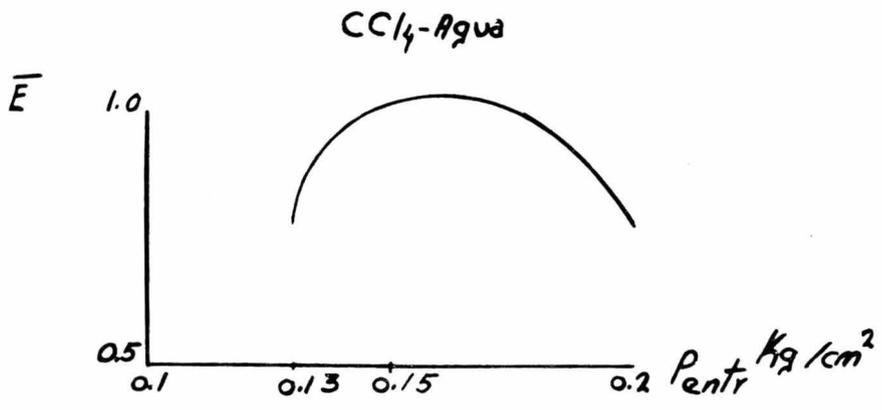
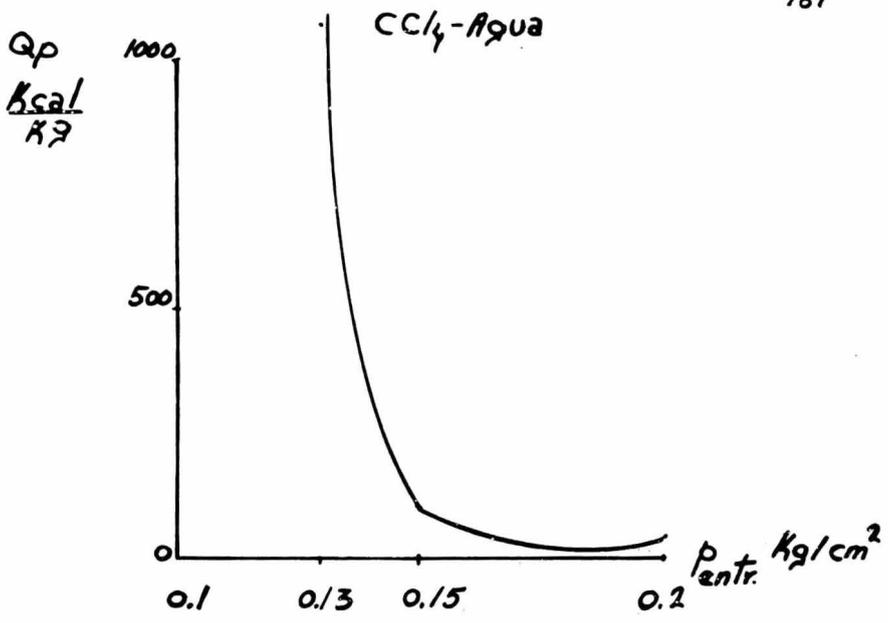
Presión de entrada Kg/cm^2	Pérdidas de calor $\text{Kcal/Kg de } \text{CCl}_4$
0.13	1070.469
0.15	102.000
0.2	53.392

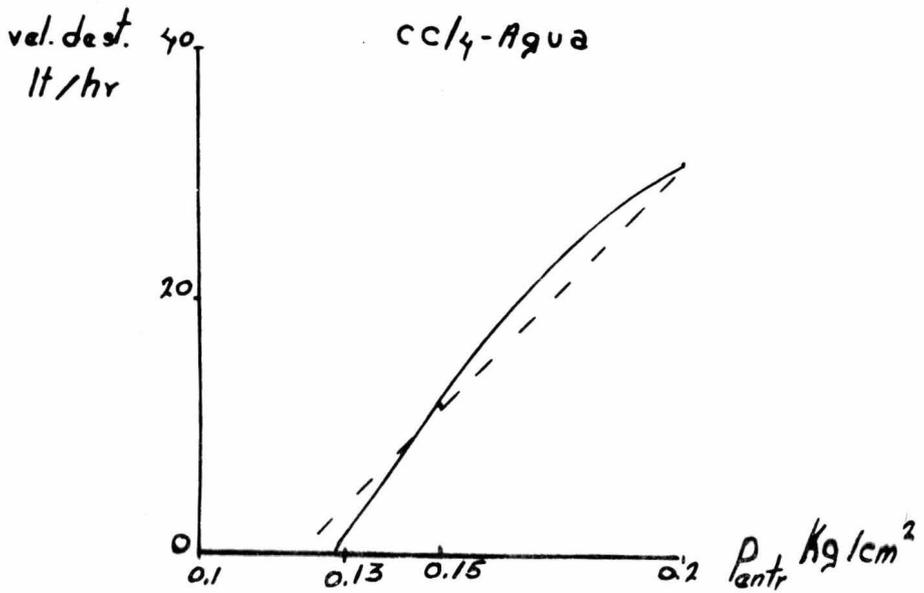
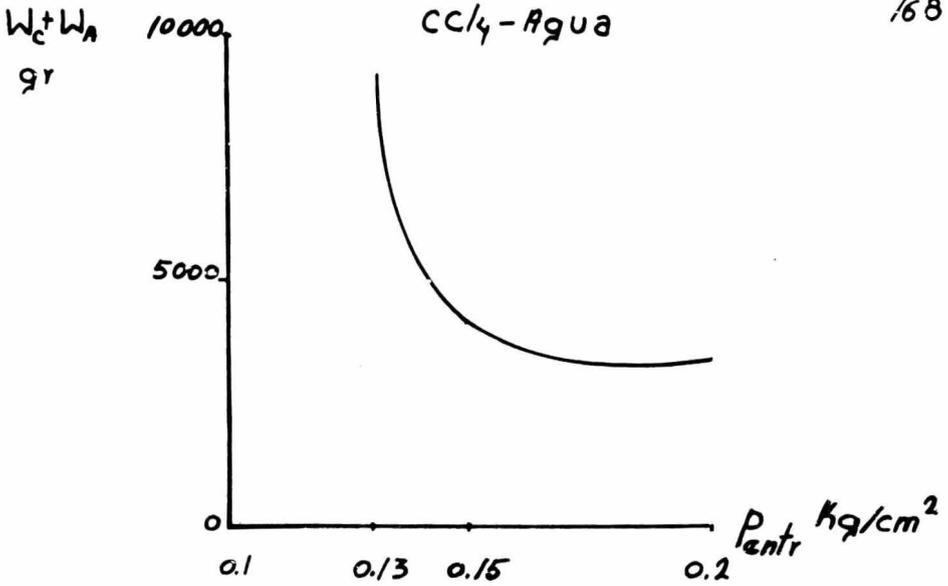
Es posible que exista una eficiencia promedio mejor que la calculada a 0.15 Kg/cm^2 y ésta puede encontrarse a 0.16 Kg/cm^2 como lo muestra la curva en la gráfica E prom. vs. presión de entrada.

Presión de entrada Kg/cm^2	eficiencia promedio
0.13	0.784
0.15	1.023
0.2	0.782

Nuevamente existe el problema de quedar un punto fuera de la curva cuando relacionamos la cantidad de agua total empleada a la presión de entrada, por las razones ya expuestas. Esta cantidad de agua también deberá tener un valor tendiente al infinito si la presión de entrada tiende a ser cero.

Presión de entrada Kg/cm^2	$(W_c + W_A)$ prac. gr. de agua
0.13	6201
0.15	4240
0.2	3502





Aparentemente la velocidad de destilación es proporcional a la presión de entrada. En la gráfica se muestra con guiones una línea recta para hacer la comparación con la línea real, la cual es casi recta. Para los fines que aquí se persiguen, se puede emplear la línea recta, pues el error no es muy grande por ejemplo, si se trabaja a 0.17 Kg/cm^2 la velocidad real sería de 20 litros por hora pero si consideramos en la gráfica la línea con guiones, se encontrará que son 18.8 litros por hora, lo que significa un error de 6%.

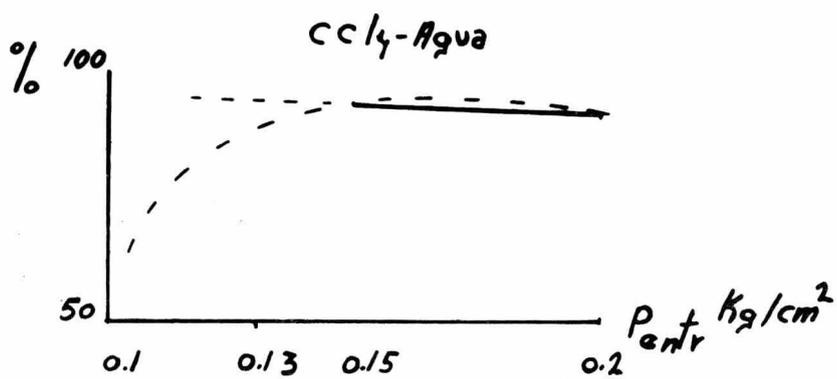
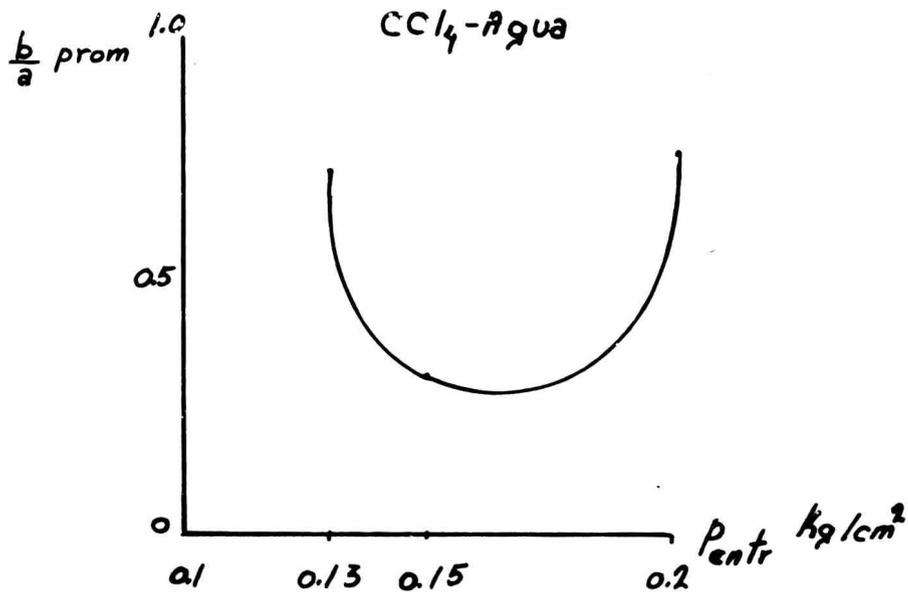
Presión de entrada Kg/cm^2	velocidad de destilación lt/hr.
0.13	1.118
0.15	11.476
0.2	30.760

Como en la gráfica de eficiencia promedio vs. presión de entrada se localiza un valor máximo, se espera que en la gráfica de b/a se encuentre un valor mínimo, lo cual se comprueba tomando como puntos los datos:

Presión de entrada Kg/cm^2	b/a promedio gmol agua/gmol CCl_4
0.13	0.735
0.15	0.333
0.2	0.766

Por último, si consideramos el % recuperado de la carga vs. la presión de entrada, no podremos encontrar ninguna relación puesto que sólo se tienen dos puntos con los cuales no se define el comportamiento real del experimento.

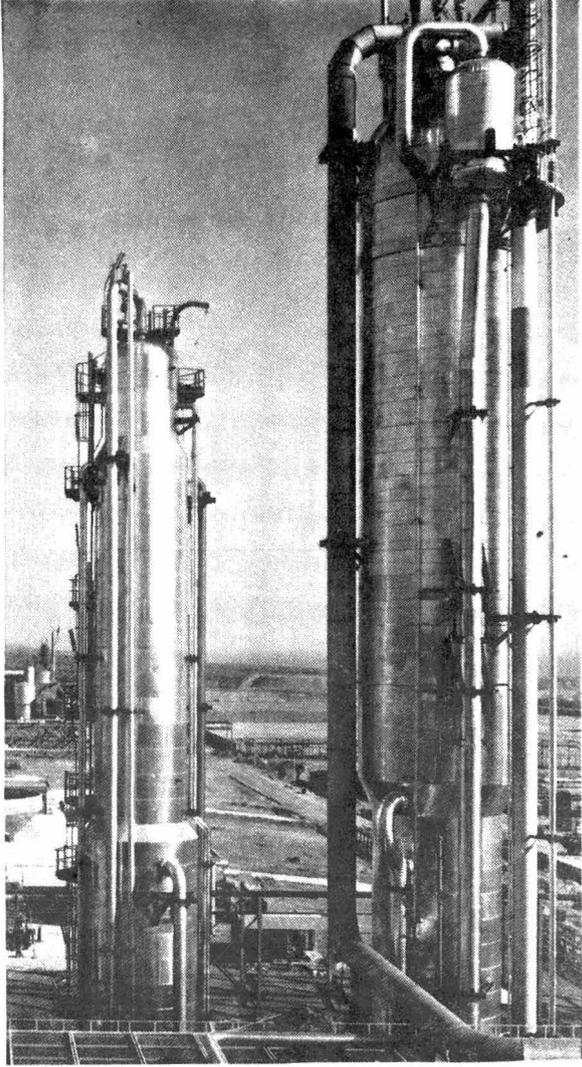
Presión de entrada Kg/cm^2	% de la carga recuperado.
0.15	93.65
0.2	92.28



SUGERENCIA:

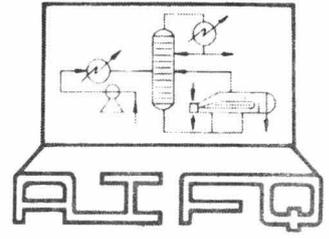
El experimento que se recomienda llevar a cabo como práctica de laboratorio es a una presión de entrada de 0.2 Kg/cm^2 (ó 0.15 Kg/cm^2 si se cambia el condensador) y utilizando como material volátil para cargar el calderín el tetracloruro de carbono, que como ya se comentó no es inflamable y se obtienen resultados satisfactorios.

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA



DESTILACION **P**OR

ARRASTRE **C**ON **V**APOR



FACULTAD DE QUIMICA
DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES

Area de Ingenieria



UNIVERSIDAD NACIONAL
AV. PUNTA

PRESENTACION DE LA PRACTICA A LOS ALUMNOS.

DESTILACION POR ARRASTRE CON VAPOR.

INTRODUCCION:

Ciertos problemas de destilación se presentan cuando el punto de ebullición del material es tan alto, que la sustancia se descompone a su punto normal de ebullición (frecuente en las sustancias orgánicas) o bien, cuando la temperatura de ebullición es tan alta que no puede obtenerse calentando con vapor, o el uso de fuego directo es peligroso para la calidad del producto.

La destilación de sustancias tales como glicerina, aceites lubricantes, ácidos grasos, anilina, etc. no puede hacerse directamente y para librarlos de impurezas es necesario bajar la temperatura de destilación a un punto en el cual puedan evaporarse sin alcanzar temperaturas excesivas. Uno de los métodos es operar al vacío. Un proceso más antiguo es la destilación con vapor.

Para hacer la destilación por arrastre con vapor, se carga el material a un calderín equipado con línea de vapor, un condensador, un recibidor de condensados y un separador decantador.

El vapor se pasa através de una tubería perforada colocada en el fondo del calderín, haciéndolo burbujear directamente en el líquido que se quiere destilar y logrando así un contacto íntimo entre las dos fases. El proceso puede operarse en dos formas:

1.- La energía es suministrada con el mismo vapor que entra en el calderín, el cual se condensa proporcionando el calor de vaporización y compensando las pérdidas de calor hasta llegar a la temperatura de ebullición del sistema, y después el vapor entrante, pasa por el líquido saturándose de volátil para salir hacia el condensador.

2.- Se suministra calor por medio de una chaqueta o serpentín para eliminar la posibilidad de formación de lí

quido (agua líquida) en el calderín, de manera que todo el vapor que pasa por el líquido volátil sale como -- producto.

En estos dos métodos, cuando la suma de las presiones parciales del vapor y el material volátil igualan la presión total se alcanza la ebullición.

En la destilación por vapor, las burbujas de vapor - suben através de la carga líquida, enriqueciéndose con el componente más volátil y escapando de la superficie del líquido.

En líquidos insolubles o cuando la solubilidad mutua es pequeña. como sucede entre los hidrocarburos y el agua, la presión de vapor de cada componente no se influencia - por la presencia del otro y cada uno ejerce su presión de vapor a la temperatura de equilibrio del sistema, la cual es menor que la temperatura de ebullición de la sustancia que arrastra al volátil, en éste caso será menor de 100°C que es la temperatura normal de ebullición del agua.

Para disminuir la presión parcial del volátil puede usarse también un gas químicamente inerte; sin embargo el uso de otros gases o vapores introduce problemas adicionales en la condensación y recuperación del destilado así - como del gas.

FUNDAMENTOS:

La presión total del sistema será igual a la suma de todas las presiones parciales.

$$P_t = \bar{P}_a + \bar{P}_b + \bar{P}_o \quad \dots\dots (1)$$

donde: a = material volátil

b = agua

o = material pesado o no volátil (impurezas)

Si suponemos que se aplica la ley de Raoult, la presión parcial de cada componente será igual a su presión - de vapor por la fracción mol respectiva:

$$\bar{P}_a = P_a^o x_a; \quad \bar{P}_b = P_b^o x_b; \quad \bar{P}_o = P_o^o x_o \quad \dots\dots (2)$$

entonces la presión total se expresaría como:

$$P_t = P_a^0 x_a + P_b^0 x_b + P_o^0 x_o \quad \dots\dots\dots (3)$$

La expresión anterior es teórica únicamente, pues - debido a la existencia de resistencias a la transferencia de masa y energía:

$$P_t \neq P_a^0 x_a + P_b^0 x_b + P_o^0 x_o \quad \dots\dots\dots (4)$$

Para igualar nuevamente los dos miembros de la ecuación, es necesario introducir un factor E que le denominamos EFICIENCIA entonces:

$$P_t = E p_a^0 x_a + E p_b^0 x_b + E p_o^0 x_o \quad (5)$$

La cantidad necesaria de vapor será:

$$b = \frac{p_t (a_1 - a_2)}{E p_a^0} - (a_1 - a_2) + \frac{p_t^0}{E p_a^0} \ln \frac{a_1}{a_2} \quad \dots (6)$$

en donde: b = gr mol de agua condensada

a_1 = gr mol de "a" en el calderín al tiempo cero

a_2 = gr mol de "a" en el calderín al tiempo uno

$a_1 - a_2$ = gr mol de "a" recibidos o destilados en éste intervalo de tiempo.

E = eficiencia (menor que la unidad)

Q = gr mol de material no volátil (impureza)

p_t = Presión total (586 mmHg)

p_a^0 = Presión de vapor de "a" en mmHg.

Si el calderín es cargado con material volátil puro:

$$b = \frac{p_t (a_1 - a_2)}{E p_a^0} - (a_1 - a_2) \quad \dots\dots (7)$$

Y de aquí se despeja E:

$$E = \frac{p_t (a_1 - a_2)}{p_a^0 (b + (a_1 - a_2))} \quad \dots\dots\dots (8)$$

Para calcular las pérdidas de calor; los datos serán:

H_{vap} = entalpia del vapor de agua a la temperatura de ebullición. Kcal/Kg.

$H_{\text{liq.}}$ = entalpia del agua líquida a la temperatura de ebullición del sistema. Kcal/Kg.

H_s = entalpia del vapor saturado a la presión total de entrada, Kcal/Kg.

a = gramos mol de "a" destilados al tiempo t .

b = gramos mol de "b" de arrastre al tiempo t .

$W_c(\text{práctico})$ = cantidad de agua de calentamiento, Kg.
(la que queda al final en el calderín)

$W_A(\text{práctico})$ = cantidad de agua total de arrastre, Kg.

C_p = capacidad calorífica del volátil Kcal/Kg $^{\circ}$ C.

λ_a = calor latente de ebullición a la temperatura del sistema (del componente volátil). Se - puede calcular con la ecuación de Kistiakowsky

$$\lambda = \frac{(8.75 + 4.571 \log T_b) T_b}{P.M._a} \text{ Kcal/Kg.}$$

donde: T_b = temperatura de ebullición del sistema . $^{\circ}$ K.

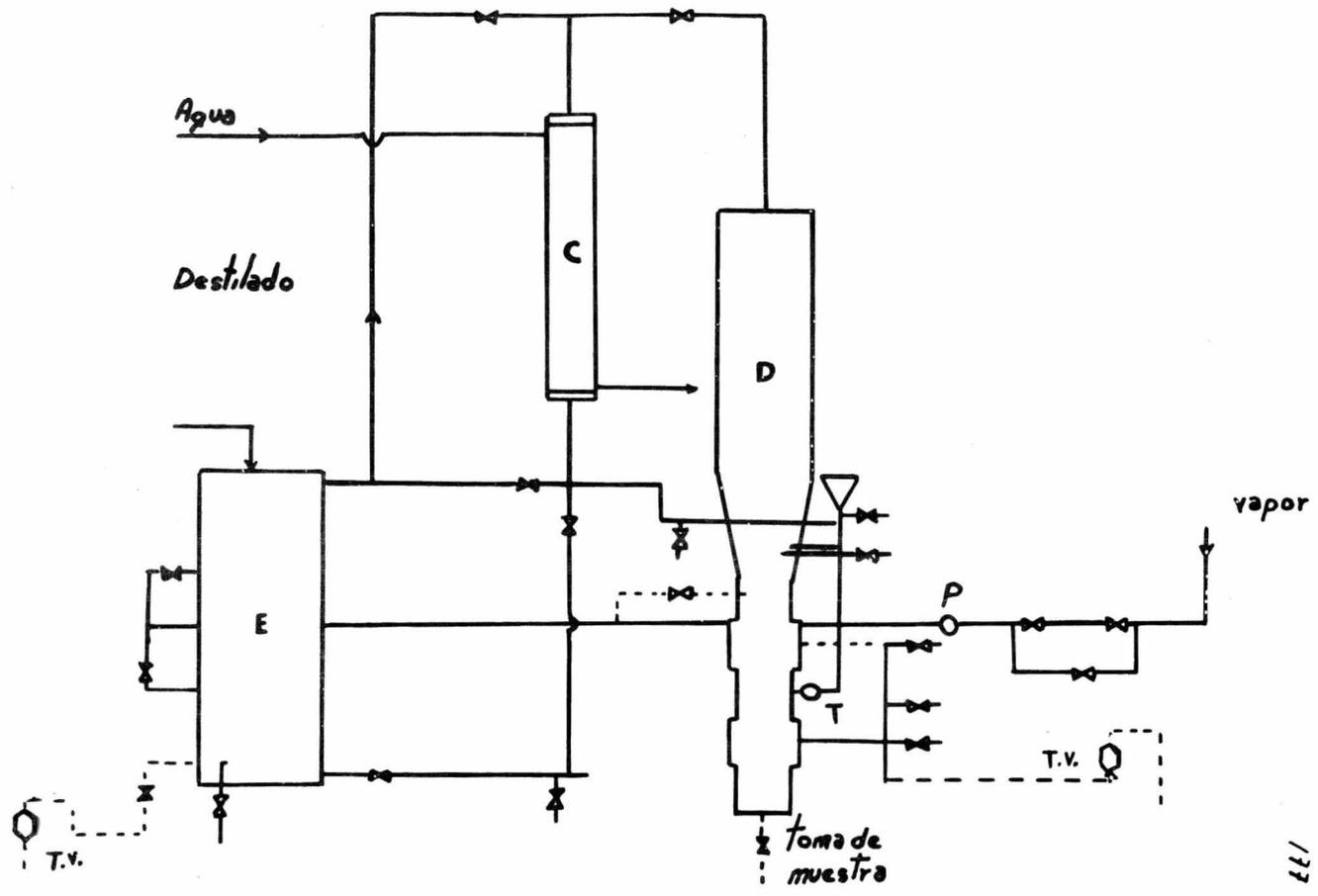
$P.M._a$ = peso molecular de "a".

$$W_A(\text{prác}) = \frac{b}{a} \times \frac{P.M._b}{P.M._a} \times \frac{100}{100} = \frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{100 \text{ Kg "a"}}$$

Calor necesario Q_n :

$$Q_n = m C_p \Delta t + m \lambda = \text{Kcal/100 Kg "a"}$$

$$W_c(\text{teórica}) = \frac{Q_n - W_A(\text{prác})(H_s - H_{\text{vap.}})}{(H_s - H_{\text{liq.}})} = \frac{\text{Kg H}_2\text{O cond.}}{100 \text{Kg "a"}}$$



$$W_c(\text{prác}) = \frac{W_c(\text{total}) \times 100}{(\text{vol. total.} - \text{vol. H}_2\text{O}_{\text{total}}) \text{ densidad de "a"}}$$

$$= \text{Kg H}_2\text{O} / 100 \text{ Kg "a"}$$

Pérdidas de calor Q_p :

$$Q_p = \Delta W_c (H_g - H_{\text{liq}}) = \text{Kcal} / 100 \text{ Kg "a"}$$

$$W_c(\text{total=práctico}) = W_c(\text{calentamiento=teórico}) + W_c(\text{pérdidas}=\Delta W_c)$$

EQUIPO UTILIZADO PARA LA DESTILACION POR ARRASTRE CON VAPOR.

El equipo utilizado para ésta destilación es de cobre de la marca Brighton Copper Works y consta de:

I.- Partes principales

- 1.- Calderín (E)
- 2.- Condensador (C)
- 3.- Destilador (D)

II.- Equipo auxiliar.

- 1.- trampas de vapor
- 2.- Línea de vapor
- 3.- Línea de destilado
- 4.- Línea de agua
- 5.- Decantador (embudo de separación)

III.- Instrumentación

- 1.- Manómetros
- 2.- Termómetros
- 3.- Medidores de nivel.

TECNICA DE OPERACION.

- 1.- Se colocan en el calderín 10 litros de tetracloruro de carbono.
- 2.- Se cierra el calderín herméticamente.
- 3.- Se alinean las tuberías.

- 4.- Se hace pasar el vapor vivo hacia el calderín y se abre el agua de enfriamiento en el condensador.
- 5.- La presión de entrada del vapor se mantiene en 0.2 Kg/cm^2 . El líquido se calentará hasta su temperatura de ebullición y entonces el vapor arrastrará al CCl_4 .
- 6.- Se recoge el destilado en una probeta, tomándose muestras de 2 litros y se miden las cantidades de agua y tetracloruro de carbono así como el tiempo y las temperaturas del calderín y la de salida del líquido.
- 7.- Una vez que se han destilado aproximadamente 9 litros de tetracloruro de carbono, la temperatura empezará a aumentar y dejará de salir el condensado, en éste momento se para la operación cerrando el vapor y el agua de enfriamiento.
- 8.- Se drena el calderín recibiendo el líquido en una ó más probetas y se mide la cantidad de agua que quedó dentro de éste.

CALCULOS.

- 1.- Anotar la temperatura de destilación y compararla con la de ebullición del tetracloruro de carbono.
- 2.- Anotar las cantidades de agua y tetracloruro de carbono, tiempos y temperaturas en el calderín y de salida del destilado.
- 3.- Obtener la eficiencia de destilación, cantidades de agua de arrastre práctica y de calentamiento teórica y práctica y por último las pérdidas de calor y la cantidad de agua de calentamiento por pérdidas.

BIBLIOGRAFIA;

- Ocón y Tojo.- Problemas de Ing. Química, Tomo I. - Aguilar 1968.
- J. Timmermans.- Physicochemical constants of pure -

ganic compounds. Elsevier.

CRANE.- Flow of fluids through valves, fittings and pipe.

GUIA DE ESTUDIO.

1.- Describa el fenómeno que se lleva a cabo en la destilación por arrastre con vapor.

2.- ¿ En que procesos industriales se utiliza este tipo de destilación?.

3.- En lugar de usar vapor para llevar a cabo la destilación ¿ que otro medio se podría utilizar?

4.- ¿ Cuales son las principales razones por las cuales se utiliza una destilación por arrastre con vapor?

5.- ¿ En líquidos insolubles se ve afectada la presión de vapor de un componente por el otro?

6.- ¿ De qué es función la presión de vapor?

7.- ¿ Que diagramas proporcionan las presiones de vapor de las sustancias y que nombre reciben?

8.- Explique cómo se calcularía teóricamente la temperatura de destilación del sistema a trabajar.

9.- ¿ Es menor o mayor la temperatura de destilación del sistema que la temperatura de ebullición de la sustancia que sirve para arrastrar?

10.- ¿ Que sucede cuando la suma de las presiones parciales del vapor y del material que se va a arrastrar es igual a la presión total?

11.- ¿ Influye el tamaño de las burbujas de vapor en la destilación?

12.- ¿ Que sucedería si la presión del vapor se aumentara considerablemente?

13.- ¿ Se puede considerar despreciable para los cálculos la presión de vapor de la impureza?

14.- El producto obtenido al haber hecho la destilación ¿ cómo se separa?.

15.- En la práctica, en el destilado se tendrán dos fases, la del tetracloruro de carbono y la del agua, si

se observa que la del tetracloruro de carbono es turbia, ¿ a que cree que se deba? y ¿ cómo se podría quitar ésta turbidez?

16.- ¿ Que factores tendrían influencia considerable en la eficiencia de la destilación?

17.- Qué instrumentación considera básicamente importante para la realización de la práctica y porqué?

18.- Describa la técnica de operación del equipo.

TABLAS DE DATOS;

EXPERIMENTO TETRACLORURO DE CARBONO-AGUA

Presión de entrada del vapor de agua _____

Agua que queda al final del experimento en el calderín _____

Presión total de trabajo _____

Peso molecular del tetracloruro de carbono _____

CAICULO DE LA EFICIENCIA

TABLA DE DATOS EXPERIMENTALES:

tiempo min.	vol. total ml.	vol. H ₂ O ml.	t _{salida} °C	t _{calderín} °C

DATOS BIBLIOGRAFICOS

CALCULOS

densidad salida	P _{CCl₄}	gmol H ₂ O	gmol CCl ₄	eficiencia

CAICULO DE LAS PERDIDAS DE CALOR

DATOS EXPERIMENTALES:

(continuación)

$$W_A(\text{prác}) =$$

$$W_c(\text{prác.}) =$$

$$a =$$

$$b =$$

DATOS BIBLIOGRAFICOS.

$$H_{\text{vap.}} =$$

$$H_{\text{liq.}} =$$

$$H_s =$$

$$C_p =$$

$$\lambda_a =$$

DATOS CALCULADOS:

$$W_A(\text{prác}) = \text{Kg H}_2\text{O}/100 \text{ Kg "a"}$$

$$Q_n =$$

$$W_c(\text{teórico}) =$$

$$W_c(\text{prác.}) = \text{Kg. H}_2\text{O}/100 \text{ Kg de CCl}_4$$

RESULTADOS:

$$Q_p =$$

$$V_c(\text{pérdidas})$$

VII

CONCLUSIONES

Para obtener resultados favorables en la práctica se deberá utilizar tetracloruro de carbono porque es una sustancia que tiene una ventaja muy grande sobre las demás utilizadas y ésta es que no es inflamable, lo cual significa que la solución es uno de los más grandes riesgos a los que está expuesto el laboratorio de ingeniería química y en forma más directa a las personas que se encuentran dentro de él. Por otra parte debido a que su densidad es mayor que la unidad, al recibirse en la probeta, esta sustancia quedará en la parte inferior, lo cual facilita la decantación de el agua que se queda en la parte superior para medir su volumen en una probeta con capacidad para 100 ml. en el caso de que la cantidad de agua sea menor que ésta y cuando es mayor que 100 ml, se puede leer muy fácilmente en la misma probeta en la que se recibió el destilado por una simple diferencia de lecturas entre el total destilado y la cantidad de tetracloruro de carbono recibida, lo cual nos dará la cantidad de agua recibida.

La presión de entrada del vapor de agua deberá ser de 0.2 Kg/cm^2 para que en un lapso de 20 minutos la destilación quede completada y después se proceda a medir la cantidad de agua que quedó en el calderín al final de la operación, la cual fué utilizada para el calentamiento de la carga desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de ebullición del sistema.

La temperatura en el calderín deberá ser de 59°C en el sistema sabiendo que la temperatura de ebullición del tetracloruro de carbono en la Ciudad de México es de 68°C la cual es suficientemente baja y buena para realizar la operación.

INDICE DE FIGURAS.

CAPITULO I.- GENERALIDADES.

	fig.	pag.
-Columna intermitente y torre.	1	4
-Destilación por arrastre con vapor a - contracorriente y corrientes paralelas	2	14

CAPITULO II.- DESCRIPCION DEL EQUIPO.

-Vista frontal y lateroposterior del - calderín.	7	35
-Vista frontal del destilador.	8	37
-Vista frontal del destilador y <u>conden</u> sador.	9	39
-Diagrama de todo el equipo	10	40

CAPITULO III.- APARATOS DE DESTILACION POR ARRASTRE CON VAPOR UTILIZADOS EN LA - INDUSTRIA.

-Aparato de destilación de agua sobre- fuego directo.	11	43
-Aparato de destilación con calefacción con vapor.	12	44
-Refrigerantes tubulares verticales .	13	45
-Refrigerantes tubulares verticales -	14	45
-Refrigerante tubular horizontal. . .	15	46
-Alambique calentado mediante un do - ble fondo.	16	46
-Probeta	17	48
-Probeta con recipiente de dos pisos	18	49
-Probeta con contador de litros. . .	19	50
-Aparato de destilación con baño Ma- ría y cesto para semillas.	20	53
-Vaso florentino (separador de agua)	21	55
-Aparato de destilación para <u>gliceri</u> na.	22	59

-Aparato de destilación de acidos -- grasos.	23	60
-Destilación por arrastre con vapor de alquitrán, trementina y otras re sinas como se hizo en 1935.	24	61
CAPITULO VI.- PRESENTACION DE LA PRACTI- CA A LOS ALUMNOS.		
-Diagrama de todo el equipo.		177

INDICE DE GRAFICAS.

CAPITULO I.- GENERALIDADES

	pag.
-Presión de vapor vs. temperatura del agua y la anilina.	23
-Temperatura de ebullición	24
-b/a vs. presión total con agua y sin agua líquida en la caldera.	27
-b/a vs. temperatura	28

CAPITULO IV.- EXPERIMENTACION Y CALCULOS

-Densidad vs. temperatura del benceno, 2 metil pentano, tolueno y tetracloruro de carbono.	105
-Presión de vapor vs. temperatura del benceno, 2 metil pentano, tolueno y tetracloruro de carbono.	106
-Capacidad calorífica vs. temperatura del benceno, 2 metil pentano, tolueno y tetracloruro de carbono.	107
-Entalpia del vapor de agua vs. temperatura	108
-Entalpia del vapor de agua saturado vs. presión absoluta.	109

CAPITULO V.- DISCUSION DE RESULTADOS

-Sistema benceno-agua	
b/a vs. eficiencia	120
eficiencia vs. presión de vapor. . .	121
eficiencia vs. tiempo	123
tiempo vs. presión de entrada. . . .	125
pérdidas de calor vs. presión de entrada.	125
eficiencia promedio vs. presión de entrada.	126
cantidad de agua total vs. presión de entrada.	126

velocidad de destilación vs. presión de entrada.	129
b/a promedio vs. presión de entrada	129
%recuperado vs. presión de entrada.	130
-Sistema 2 metil pentano-agua	
b/a vs. eficiencia.	136
eficiencia vs. presión de vapor . .	137
eficiencia vs. tiempo.	139
tiempo vs. presión de entrada. . .	139
Pérdidas de calor vs. presión de -- entrada.	141
eficiencia promedio vs. presión de entrada.	141
cantidad de agua total vs. presión de entrada.	143
velocidad de destilación vs. presión de entrada.	143
b/a promedio vs. presión de entrada	144
% de la carga recuperado vs. presión de entrada.	144
-Sistema tolueno-agua	
b/a vs. eficiencia.	149
eficiencia vs. presión de vapor . .	149
eficiencia vs. tiempo.	151
tiempo vs. presión de entrada. . .	153
pérdidas de calor vs. presión de en- trada.	153
eficiencia promedio vs. presión de entrada.	155
cantidad de agua total vs. presión de entrada.	155
velocidad de destilación vs. presión de entrada.	156
b/a promedio vs. presión de entrada	158
% de la carga recuperado vs. presión de entrada.	158

-Sistema tetracloruro de carbono-agua	
b/a vs. eficiencia.	163
eficiencia vs. presión de vapor . .	163
eficiencia vs. tiempo	165
tiempo vs. presión de entrada. . .	165
Pérdidas de calor vs. presión de - entrada.	167
eficiencia promedio vs. presión de entrada.	167
cantidad de agua total vs. presión de entrada.	168
velocidad de destilación vs. pre - sión de entrada.	168
b/a promedio vs. presión de entrada	170
% de la carga recuperado vs. presión de entrada.	170

INDICE BIBLIOGRAFICO.

CAPITULO I.- GENERALIDADES

John H. Perry
Manual del Ingeniero Químico
Tomo I
Traducción de la 3^a Edición.
pags. 892 a 896.

Dr. H. Sawitowski, Dr. W. Smith.
Métodos de cálculo en los procesos de transferencia
de masa.
Pags. 174 a 185.

Walker Lewis & Mc. Adams.
Principles of Chemical Engineering.
Pags. 566, 568, 569, 579, 580, 581.

Robinson & Gilliland.
Elements of Fractional Distillation.
pag. 251, 252.

CAPITULO III.- APARATOS DE DESTILACION POR ARRASTRE CON VAPOR UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA.

Dr. Fritz Ullmann
Enciclopedia de Química Industrial.
Sección I.
Editorial Gustavo Gili, S.A.
pags. 229 a 237.

Chemical Engineering
march 2, 1974
pag. 105, 110.

CAPITULO IV.- EXPERIMENTACION Y CALCULOS

J. Timmermans.

Physico Chemical Constants of Pure Organic Compounds.
Ed. Elsevier.

John W. Perry.

Manual del Ingeniero Químico
Traducción al español de la 3ª edición en inglés.
Tomo I, Ed. UTEHA.

David M. Himmelblau.

Principios y cálculos básicos de la Ingeniería Química
3a. Edición.
Ed. C.E.C.S.A.

CRANE

Flow of fluids through valves, fittings, and pipe.

Ocón y Tojo.

Problemas de Ingeniería Química.

Tomo I

Aguilar 1968.