

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE QUIMICA**



**DISEÑO DE UNA PRACTICA DE DESTILACION  
EN UNA TORRE DE PLATOS Y SU INSTRU-  
MENTACION AUTOMATICA.**

**T E S I S**  
Que Para Obtener el Título de:  
**I N G E N I E R O Q U I M I C O**  
P r e s e n t a

**Juan Manuel S. Alvarez Contreras**

**México, D. F.**

**1978**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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 TESIS 1978  
AÑO M. 29 ~~28~~ 29  
FOLIO \_\_\_\_\_  
FOLIO \_\_\_\_\_  
FOLIO \_\_\_\_\_



A MIS PADRES:

MIGUEL ALVAREZ TELLEZ E  
IMELDA CONTRERAS DE ÁLVAREZ.

A MIS HERMANOS:

MIGUEL, CARLOS, CRISTINA,  
DELIA Y ARACELI.

A MI NOVIA: MARIA.

A MIS MAESTROS Y EN ESPECIAL  
A MI ASESOR Y TODOS LOS QUE -  
CONTRIBUYERON A LA REALIZA-  
CION DE ESTA TESIS.



Jurado asignado originalmente para el tema:

Presidente, Prof. CUTBERTO RAMIREZ CASTILLO.

Vocal, Prof. LUCILA MENDEZ CHAVEZ.

Secretario, Prof. JESUS TORRES MERINO.

Ier. Suplante Prof. GRACIELA MARTINEZ ORTIZ.

2<sup>o</sup> . Suplante Prof. JESUS TAPIA PEREZ.

ESTA TESIS SE DESARROLLO EN EL LABORATORIO DE  
INGENIERIA QUIMICA DE LA FACULTAD DE QUIMICA  
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

Sustentante JUAN MANUEL S. ALVAREZ CONTRERAS.

Aesor del tema JESUS TORRES MERINO.

## I N D I C E

CAPITULO	I	INTRODUCCION
CAPITULO	II	SELECCION DE LA MEZCLA PARA DESTILAR
CAPITULO	III	PROPIEDADES FISICO-QUI MICAS DE LA MEZCLA
CAPITULO	IV	INSTRUMENTACION AUTOMA TICA DE LA TORRE
CAPITULO	V	PROPOSICION DE UNA --- PRACTICA EN DESTILACION
CAPITULO	VI	CONCLUSIONES
		BIBLIOGRAFIA

Handwritten signature and scribbles in the bottom left corner of the page.

## CAPITULO I

## INTRODUCCION.

La destilación es un proceso muy antiguo, que se ha utilizado en las operaciones de separación y purificación.

La variedad de columnas de destilación y sus aplicaciones es enorme. Las unidades mayores corresponden generalmente a la industria del petróleo, pero también se encuentran plantas de destilación muy grandes y complicadas en la purificación de disolventes y en procesos químicos en general.

Los equipos de destilación son diseñados usualmente para una separación en particular, concediéndoseles modestos márgenes de funcionamiento. El papel de los sistemas de control de la destilación es asegurar la pureza de los productos, que se desean.

Los elementos de los sistemas de control de la destilación--son el control de la composición, temperatura, presión, nivel y flujo.

El objetivo que persigue este trabajo es utilizar el equipo de control automático de la torre de destilación de laboratorio - de Ingeniería Química, en la separación de los componentes de una mezcla por rectificación, proporcionando un manual de instalación, operación y servicio del control automático y la información necesaria de la mezcla, mediante tablas y gráficas en un amplio intervalo de operación; para reducir el trabajo de investigación de propiedades de la mezcla y dedicar el mayor tiempo de la práctica a comprender los conceptos fundamentales de destilación.

## CAPITULO II

## SELECCION DE LA MEZCLA PARA DESTILAR.

Para facilitar el logro de los objetivos propuestos es -- conveniente que la mezcla reúna las siguientes características:

- 1) Que sea una mezcla binaria ideal.
- 2) Adecuada por sus propiedades Físico-Químicas para ser operable en la torre.
  - a) Con punto de ebullición menor de  $110^{\circ}\text{C}$ .
  - b) Con diferencia entre los puntos de ebullición de los componentes entre  $20^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$ .
  - c) No corrosiva.
- 3) Una mezcla que esté dentro de los límites de Higiene y Seguridad Industrial.

1) Que sea una Mezcla Binaria Ideal.

Una de las primeras mezclas que se estudian en destilación, son las mezclas binarias ideales, las cuales siguen el modelo -- establecido por la Ley de Raoult.

Mezcla Ideal: es aquella que obedece la Ley de Raoult en -- el intervalo completo de concentraciones y a todas las tempera-- turas a partir de constituyentes, que se mezclen en el estado -- líquido sin variación térmica y sin cambio de volumen.

La Ley de Raoult establece que la Presión Parcial  $P_i$  de --- cualquier componente en el vapor es igual a su Fracción-Mol en -- el líquido  $x_i$ , multiplicado por la Presión de Vapor  $P_i^0$  del compo-- nente puro a la misma temperatura.

$$P_i = x_i P_i^0 \quad (1)$$

Una colección de datos típicos para mezclas binarias idea-- les se encuentra en la tabla 13.2 del Manual del Ingeniero Quími-- co, 4<sup>a</sup> edición página 13.3.

Las mejores colecciones de datos experimentales de equili-- brio vapor-líquido, tanto ideales como no ideales son fácilmente encontradas en la literatura (1,2).

2) Propiedades Físico-Químicas de la Mezcla.

a) Temperatura de ebullición.

El punto de ebullición de la mezcla debe ser menor de - - - 110°C. Este requisito que debe reunir la mezcla se debe a que -- la torre de destilación fue diseñada para que se alimentara ---- vapor al herbidor a una presión de 2.8 Kg./cm.<sup>2</sup> (abs).

La diferencia de  $23.8^{\circ}\text{C}$  entre la temperatura del vapor de calentamiento y la temperatura de ebullición máxima de la mezcla es suficiente para garantizar la evaporación de la misma.

b) Con diferencia entre los puntos de ebullición entre  $20^{\circ}\text{C}$  y  $30^{\circ}\text{C}$ .

Las diferencias entre los puntos de ebullición de los --- componentes de la mezcla es otra limitante para su selección. Cuando la diferencia es GRANDE no se aprovecha bien la torre, o sea; la separación se podría hacer con menos platos de los - 20 con que cuenta la torre.

Por ejemplo:

La mezcla clorobenceno-tetracloruro de carbono tiene puntos de ebullición de:  $132.1^{\circ}\text{C}$  y  $76.8^{\circ}\text{C}$  respectivamente. La diferencia entre los puntos de ebullición es de  $55.3^{\circ}\text{C}$ .

Cuando la diferencia entre los puntos de ebullición es PEQUEÑA se necesitarían mayor número de platos.

Por ejemplo:

Etanol-Isopropanol que tienen puntos de ebullición de  $78.3^{\circ}\text{C}$  y  $82.3^{\circ}\text{C}$  y la diferencia entre ellos es de  $4^{\circ}\text{C}$ .

c) No corrosiva.

Se ha observado que en la torre y el equipo auxiliar que tienen contacto con la mezcla con facilidad se remueven ciertas porciones de óxido férrico de las tuberías y el tanque de ali-

mentación lo que se ha contrareestado dando mantenimiento a los filtros instalados en la línea de alimentación a la torre.

3) Una mezcla que esté dentro de los límites de Higiene y Seguridad Industrial.

Se hizo una investigación en el Instituto Mexicano del -- Seguro Social y en la Organización Internacional del Trabajo - para conocer la toxicidad de la mezcla.

Se presenta a continuación un resumen de la investigación hecha sobre el Benceno y el Tolueno para conocer los riesgos - que implican su uso y las medidas preventivas que se deben - - aplicar antes de iniciar una práctica.

#### B E N C E N O.

- El benceno es un componente del alquitrán. En la industria del petróleo se producen grandes cantidades de benceno - por reformado catalítico, desalquilación y deshidrogenación o por ciclización y aromatización de hidrocarburos parafínicos.

- En la industria, el benceno se utiliza como combustible, como reactivo químico y como disolvente.

- El benceno forma un vapor inflamable y tóxico lo cual - implica peligros para la salud. El benceno ejerce acción narcótica común a muchos hidrocarburos y desarrolla un efecto local irritante sobre la piel y las membranas mucosas, pero la característica sobresaliente del benceno es su aptitud para lesio--

nar los tejidos hematógenos que están crónicamente expuestos, incluso a bajas concentraciones.

- El inicio de la intoxicación crónica por benceno es extraordinariamente insidiosa y sus daños definitivos, potencialmente incurables. Los primeros síntomas no son, en modo alguno, específicos de la exposición al benceno síntomas vagos de fatiga anorexia, jaquecas, vértigos y un aspecto anémico, todos los cuales pueden ser comunes a otras muchas causas. Los análisis sanguíneos, en esta fase, pueden revelar únicamente una ligera anormalidad y la reacción inicial puede ser en realidad un aumento efectivo en el número de eritrocitos en lugar de la disminución que se espera. Posteriormente, sin embargo, el cambio más significativo en el cuadro sanguíneo se presenta de improviso en la forma de una disminución de los leucocitos totales polimorfonucleares a menos de 4000 por milímetro cúbico, - con linfocitosis relativa, anemia macrocítica, normocrómica o ligeramente hiperocrómica y trombocitopenia. Durante algún tiempo el aspecto de la médula ósea permanece virtualmente invariable, salvo en lo que se refiere a una disminución de los eritroblastos policromáticos, mielocitos y metamielocitos. En los casos graves, si no se ha terminado la exposición, puede desarrollarse una verdadera anemia aplásica con destrucción parcial o total de todos los elementos de la médula.

Las manifestaciones hemorrágicas son muy comunes. Du-

rante bastante tiempo, el estado general del paciente se mantiene bien aunque se observa palidez, hipotensión y ligero aumento de la temperatura, en algunos casos. En los últimos años se ha informado sobre el brote de leucemia que, posiblemente -- pueda atribuirse a la facultad de la médula de hiperregenerarse hasta un grado superfluo. Aún cuando la víctima sea retirada inmediatamente del contacto, la recuperación se retrasa y -- existe una incapacidad permanente de la función sanguínea. Las recaídas son corrientes y los casos graves fatales.

La principal transformación metabólica del benceno en el organismo es la oxidación con producción de fenol, pirocatecol-hidro-quinona e incluso 1, 2, 4 bencenotriol. Esta fase se centra en el hígado y va seguida de la fase de conjugación en la cual el fenol es fijado por el ácido sulfúrico y glucurónico -- y eliminado por la orina en forma de sales.

Desde un punto de vista biológico parece ser que los trastornos constitutivos de la sangre y de la médula, que se encuentran en la intoxicación crónica por benceno son atribuibles a -- la conversión en compuestos fenólicos.

- El benceno es un líquido inflamable cuyo vapor forma mezclas inflamables o explosivas con el aire en una amplia gama de concentraciones. El riesgo se hace más acusado cuando se produce un derrame o escape accidental.

- Las concentraciones atmosféricas máximas admisibles postuladas en la actualidad, por la Conferencia Americana de --

Higienistas Industriales Gubernamentales es de 25 ppm., y 80 - mg/m<sup>3</sup> y como una primera medida precautoria se puede utilizar la reacción cromática del benceno con reactivos de formaldehído sulfúrico, como un indicador del nivel del peligro. Las medidas descritas para garantizar que no existe un nivel tóxico resultan adecuadas para garantizar que no se formarán mezclas inflamables con el aire en circunstancias normales.

- Los riesgos por derrames accidentales fugas o caídas de líquido sobrante pueden reducirse al limitar la superficie en la que podría formarse gran cantidad de vapores mediante la -- instalación de muros o bordes y una ventilación conveniente. - En los locales en lo<sup>s</sup> que se almacene o utilice el benceno deberán evitarse llamas y otras fuentes de ignición.

#### T O L U E N O.

El tolueno es uno de los constituyentes de aquellas fracciones de aceites ligeros del alquitrán raramente en estado puro y generalmente contiene una cierta proporción de benceno. - El tolueno puro se obtiene en cantidades cada día mayores mediante la ciclización y deshidrogenación de n-heptano, o tam-bien mediante la deshidrogenación del metil ciclohexano.

El tolueno posee una capacidad como solvente similar a -- la del benceno. Además es una importante materia prima para -- síntesis orgánicas. Este producto es un constituyente de las -

gasolinas de aviación y de los automóviles.

El tolueno libera vapores peligrosos, por su inflamabilidad. En todas las zonas donde existe este producto habrá que eliminar todas las llamas y demás fuentes de ignición que puedan inflamar los vapores del tolueno. Los edificios donde se realicen los procesos estarán contruidos de tal modo que se puedan prevenir la diseminación del líquido que escape.

Antes de aplicar calor para operaciones de soldadura o corte en un tanque que haya contenido tolueno, habrá que vaciarlo y purgarlo, con el fin de eliminar cualquier vestigio de líquido inflamable.

El tolueno que penetra en el organismo humano se metaboliza mediante oxidación del grupo metilo para formar ácido benzoico, que se conjuga con glicina en el hígado y se excreta en forma de ácido hipúrico con la orina.

El tolueno posee una toxicidad aguda algo más intensa -- que el benceno. Este producto cause irritación de la piel de la conjuntiva y de las mucosas de las vías respiratorias, y -- sus efectos sobre el sistema nervioso central se manifiestan por cefalalgias, vértigos, parestesias, incoordinación y coma.

El tolueno en estado puro no tiene los mismos efectos -- crónicos insidiosos sobre la médula osea y sobre la sangre -- que el benceno, lo cual se debe probablemente a diferencias -- fundamentales en el metabolismo de estos dos disolventes, no obstante, algunos toluenos comerciales, especialmente los que se han obtenido del alquitrán de hulla, pueden contener cantidade

des significativas de benceno, por lo que, a la vista de los graves efectos que ejerce esta sustancia sobre el tejido hematópoyético, se debe determinar su presencia en el tolueno.

La exposición prolongada a una concentración de 200 ppm. de tolueno provoca fatiga, náuseas, pérdida del apetito, vértigo, dolor de cabeza e intolerancia al alcohol.

Al igual que la mayoría de los solventes orgánicos, el tolueno ejerce una acción desengrasante sobre la superficie cutánea con el consiguiente riesgo de producir desecación, fisuración e infección secundaria. El contacto ocular puede causar quemaduras corneales, a menos que el líquido se elimine mediante el lavado con abundante cantidad de agua inmediatamente.

Todas las operaciones en las que sea preciso utilizar el tolueno se realizarán en zonas bien ventiladas y lo mejor será realizar los procesos en naves cerradas y con un adecuado sistema de extracción. La concentración de vapores de tolueno en la atmósfera habrá que determinarla a intervalos regulares con el fin de comprobar que las medidas preventivas adoptadas son eficaces. Así mismo habrá que realizar controles del tolueno, en algún momento antes de su uso, para garantizar que no contiene benceno y que de contenerlo, no está en una proporción superior al 1 por 100.

Las personas cuyas manos pueden estar expuestas al tolueno utilizarán guantes o cremas protectoras.

La concentración máxima tolerable en las atmósferas, para una exposición prolongada es de 200 ml/m<sup>3</sup>.

## CONDICIONES DE TOXICIDAD EN EL LABORATORIO.

Las prácticas de destilación que se imparten en el laboratorio actualmente son cuatro por semestre, y tienen una duración de 3 horas cada una.

Las toxicidades crónicas del benceno y del tolueno estudiadas anteriormente se aplican a personas, que laboran una jornada normal de trabajo, que varía en su duración según sea el país de que se trate, aunque para los fines de comparación en este estudio se podría considerar de 8 horas diarias y 45 horas a la semana.

Todo lo anterior demuestra que: las prácticas de destilación con benceno y tolueno, en cuanto a su duración, no se puede decir que tengan efectos de toxicidad crónica.

El equipo en condiciones normales no deja escapar vapores pues es un sistema cerrado, que no permite la vaporización de la mezcla y aunque está a presión atmosférica cuenta con un conducto que desemboca afuera del laboratorio.

El manejo de ésta mezcla, fuera del equipo de destilación entraña el mayor riesgo de intoxicación e inflamación en las prácticas, por lo que, se debe tener especial cuidado en evitar fugas en las válvulas y derrames de líquido cuando se toman muestras de la mezcla.

## RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE.

Renovar el aire del lugar de trabajo mediante la instala-

ción de un ventilador en el área de la torre de destilación.

Revisar periódicamente el sistema contra incendio, ya --- existente en el laboratorio y repararlo si es necesario.

La mezcla seleccionada es la de benceno-tolueno por cum--- plir con las anteriores características, o sea; por ser una -- mezcla binaria ideal; con propiedades físico-químicas adecua--- das; con punto de ebullición menor de  $110^{\circ}\text{C}$ ; con una diferencia entre los puntos de ebullición de  $29.83^{\circ}\text{C}$ ; por tener un bajo - poder corrosivo en el equipo en las condiciones actuales. y --- porque se puede operar dentro de los límites de seguridad e --- Higiene Industrial.

## CAPITULO III

## ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICO QUIMICAS DE LA MEZCLA.

Los datos físico-químicos de la mezcla benceno-tolueno fueron consultados en la literatura y corroborados experimentalmente.

En este capítulo se exponen los siguientes estudios:

A) Presión de vapor de los componentes puros en función de la temperatura.

B) Datos de equilibrio del sistema vapor-líquido.

1) Diagrama del punto de ebullición para el sistema -- benceno-tolueno a 586 mm. de Hg.

ii) Curva de equilibrio del sistema benceno-tolueno a -- 586 mm. de Hg.

C) ( $n_x$ ) Índice de refracción de la mezcla vs ( $x$ ) fracción-mol en el líquido a diferentes temperaturas.

D) ( $\bar{\rho}$ ) Densidad molar de la mezcla vs ( $x$ ) fracción-mol a diferentes temperaturas.

E) Entalpía de vaporización.

F) ( $C_p$ ) Calor específico de las mezclas vs ( $x$ ) fracción mol a diferentes temperaturas.

G) Calibración de los rotámetros.

A) ( $P_1^0$ ) Presión de vapor de los componentes puros.

La temperatura de ebullición de los componentes puros, para la presión atmosférica de la Ciudad de México (586 mm. de Hg.) se obtiene rearrreglando la ecuación No 1 ( 5 ) que se deriva de la ecuación de Clausius-Clapeyron teniendo parámetros de datos de presión y temperatura para ambos compuestos puros --- (5,4).

$$T_x = \frac{1}{\frac{1}{T_1} - \left( \frac{\log P_1^0 - \log P_x^0}{\log P_1^0 - \log P_2^0} \right) \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (4)$$

Datos de referencia para obtener la temperatura de ebullición del benceno a una presión total de 586 mm. de Hg.

Presión de vapor ( mm. de Hg.)	400	760
Temperatura ( °K.)	333.6	353.1

Sustituyendo estos datos en la ecuación 1.

$$T_x = \frac{1}{\frac{1}{333.6} - \left( \frac{\log 400 - \log 586}{\log 400 - \log 760} \right) \left( \frac{1}{333.6} - \frac{1}{353.1} \right)} \quad (1)$$

Por consiguiente la temperatura de ebullición de benceno a 586 mm. de Hg. es:

$$T_x = 344.93^{\circ}\text{K} = 71.93^{\circ}\text{C}.$$

Y para tolueno puro una presión de la Ciudad de México mediante el mismo procedimiento se obtiene que:

$$T_x = 101.76^{\circ}\text{C}.$$

La presión de vapor de benceno ( $P_b^0$ ) y la presión de va---

por de tolueno ( $P_t^0$ ) puros se pueden calcular sustituyendo los datos conocidos de presión de vapor y temperatura (3,4) en la ecuación 1.

$$\log_e P_x = \log_e P_1 - \frac{1/T_1 - 1/T_x}{1/T_1 - 1/T_2} (\log_e P_1 - \log_e P_2)$$

*Handwritten notes:*  
 400 above  $\log_e P_x$   
 333.6 above  $1/T_1$   
 352.1 below  $1/T_2$   
 400 above  $\log_e P_1$   
 760 above  $\log_e P_2$   
 T<sub>tolu</sub> next to  $1/T_x$

Estos datos de presión de vapor están enlistados en la -- tabla No. 1.

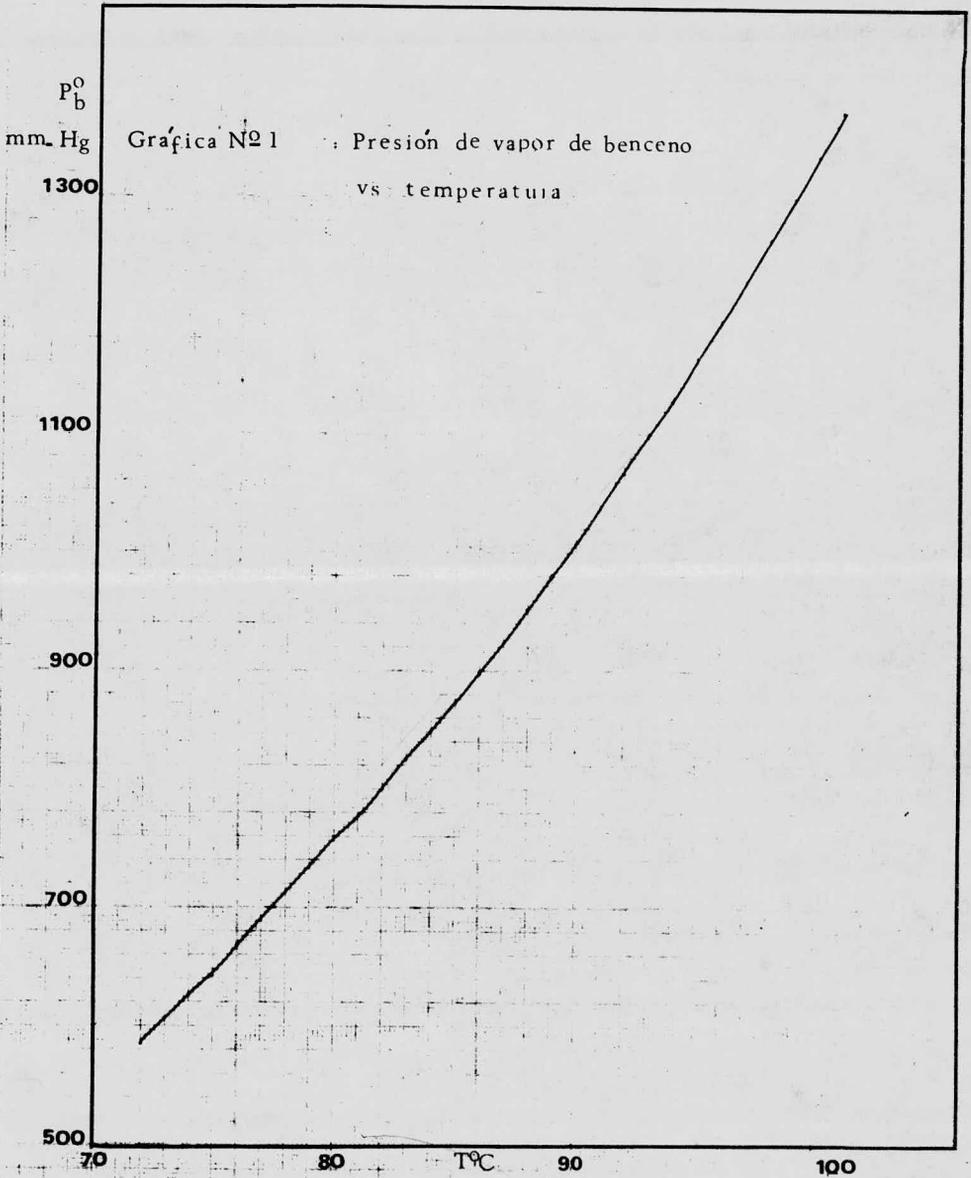
Tabla No. 1.

T <sup>o</sup> C	P <sub>b</sub>	P <sub>t</sub>
72	586	219
73	606.67	227.29
74	626.58	235.39
75	647.03	243.93
76	667.96	252.73
77	689.68	280.73
78	711.68	271.12
79	734.36	280.73
80	760	300.
81	778.18	300.08
82	801.04	311.28
83	825.17	322.06
84	849.51	333.15
85	874.43	344.56
86	899.83	356.29
87	926.03	368.35
88	952.73	380.75
89	980.05	393.50
90	1008.00	406.48
91	1037.44	419.70
92	1067.58	433.28
93	1098.00	447.22
94	1129.97	461.53
95	1162.25	476.21
96	1195.27	491.28
97	1229.05	506.74
98	1263.58	522.60

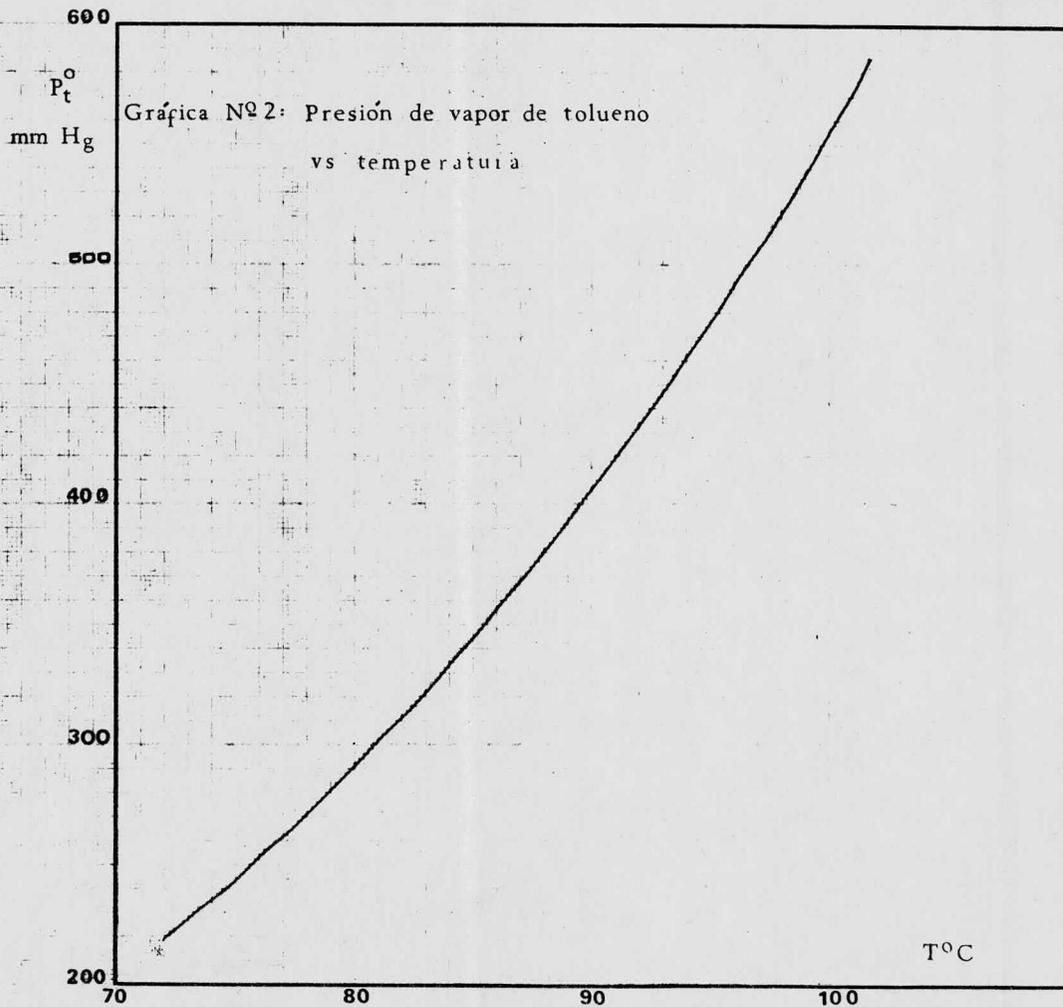
$T^{\circ}\text{C}$	$P_b$	$P_t$
99	1298.90	538.86
100	1335.00	555.54
101	1371.72	572.65
101.76	?	586.

Los datos de la tabla No. 1 concuerdan con los reportados en las gráficas de Cox (6).

La presión de vapor de benceno puro está representada en la gráfica No. 1.



La presión de vapor de tolueno puro está representada en la gráfica No. 2.



B) Los datos anteriores de presión de vapor sirven para obtener las curvas de equilibrio de la mezcla, para esto se obtienen los datos de fracción-mol a una temperatura, mediante las siguientes ecuaciones:

$$x_b = \frac{P - P_t^0}{P_b^0 - P_t^0} \quad 2$$

$$y_b = \frac{P_b^0 x_b}{P} \quad 3$$

$$x_t = 1 - x_b \quad 4$$

$$y_t = 1 - y_b \quad 5$$

1) En la tabla No. 2 aparecen los datos calculados de fracción-mol vs la temperatura para el componente más volátil de la mezcla (benceno), mediante ese procedimiento.

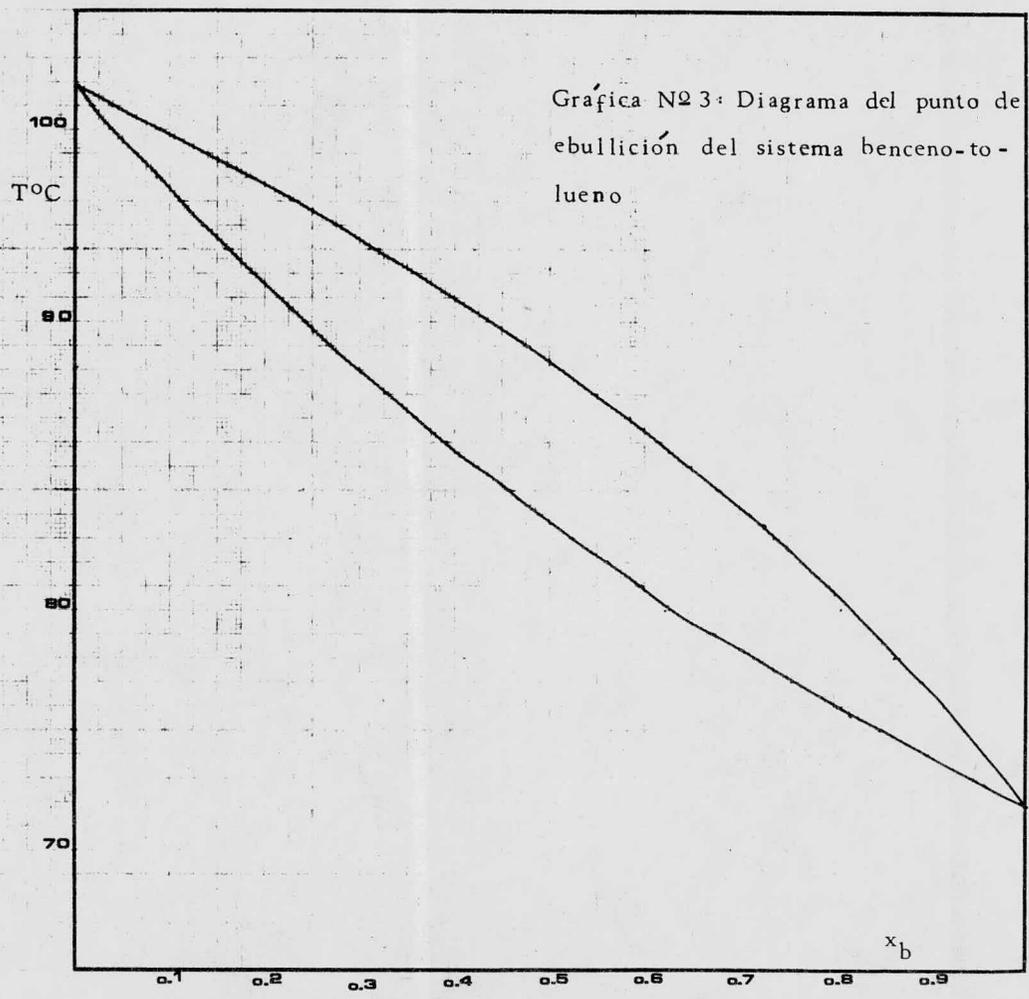
Tabla No. 2

$T^{\circ}C$	$x_b$	$y_b$
72	1.0	1.0
73	0.945516	0.978867
74	0.896265	0.958330
75	0.848598	0.936976
76	0.802615	0.914872
77	0.757889	0.891839
78	0.714727	0.868015
79	0.672949	0.843322
80	0.621739	0.806353
81	0.597427	0.793355
82	0.560516	0.766545
83	0.524616	0.738733
84	0.489648	0.709873
85	0.455659	0.679935
86	0.422541	0.648903
87	0.390238	0.616739
88	0.358841	0.583411

$T^{\circ}\text{C}$	$x_b$	$y_b$
89	0.328190	0.548878
90	0.298444	0.513364
91	0.269207	0.476597
92	0.240769	0.438635
93	0.213114	0.399469
94	0.186240	0.358814
95	0.160034	0.317405
96	0.134547	0.274437
97	0.109731	0.230145
98	0.085562	0.184496
99	0.062023	0.137477
100	0.039068	0.089026
101	0.016707	0.039108
101.76	0.000000	0.000000

Los datos de la tabla No. 2 se representan en la gráfica No. 3, que se conoce como diagrama del punto de ebullición.

Gráfica N° 3: Diagrama del punto de ebullición del sistema benceno-tolueno



ii) La curva de equilibrio de  $x_b$  frente a  $y_b$  se obtiene a partir de los mismos datos de la tabla No. 2 y se representa en la gráfica No. 4.

0.9

Gráfica N°4: Curva de equilibrio del sistema

benceno - tolueno a 586 mm. Hg.

$y_b$

0.7

0.5

0.3

0.1

0.1

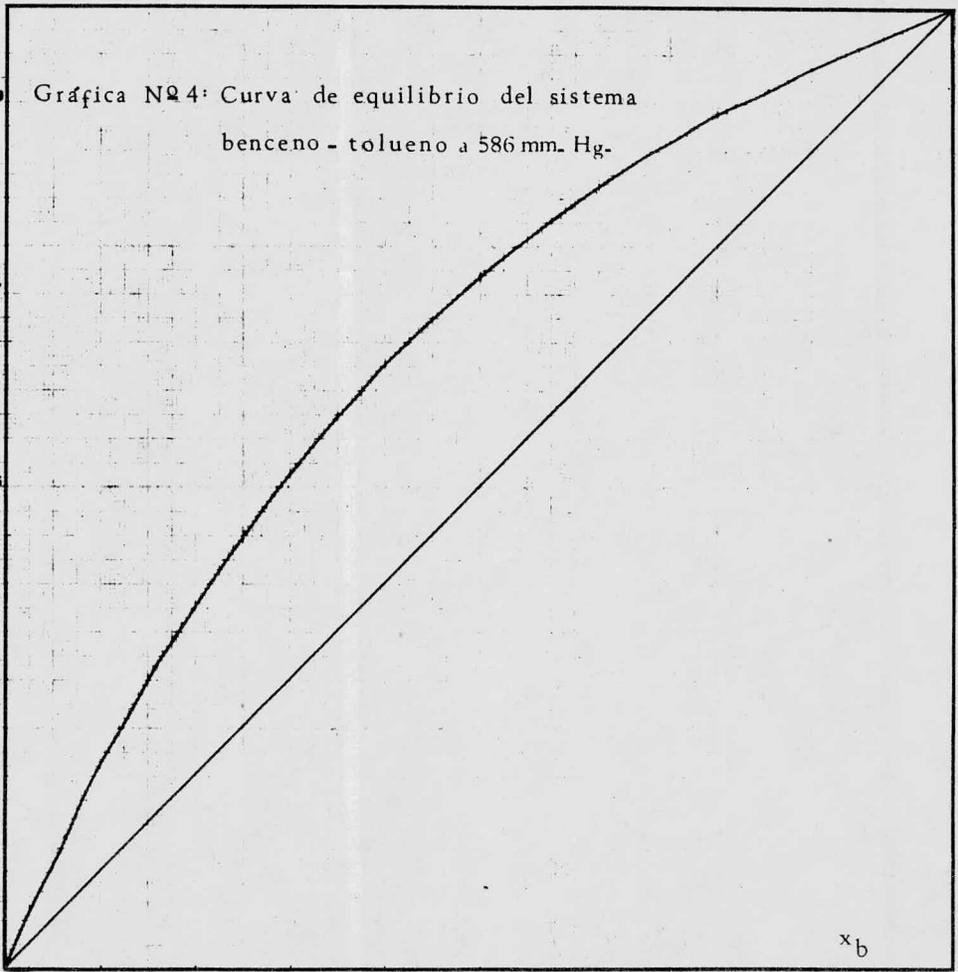
0.3

0.5

0.7

0.9

$x_b$



C) Índice de refracción de la mezcla ( $I_r$ ).

El índice de refracción es el método práctico para conocer la composición de una mezcla y aplicable a la solución de benceno-tolueno, se encuentran en la literatura (2) y se resume en la tabla No. 3.

Mitsukuri ande Makatsuchi (1926) reportan el  $I_r$  a 20°C.

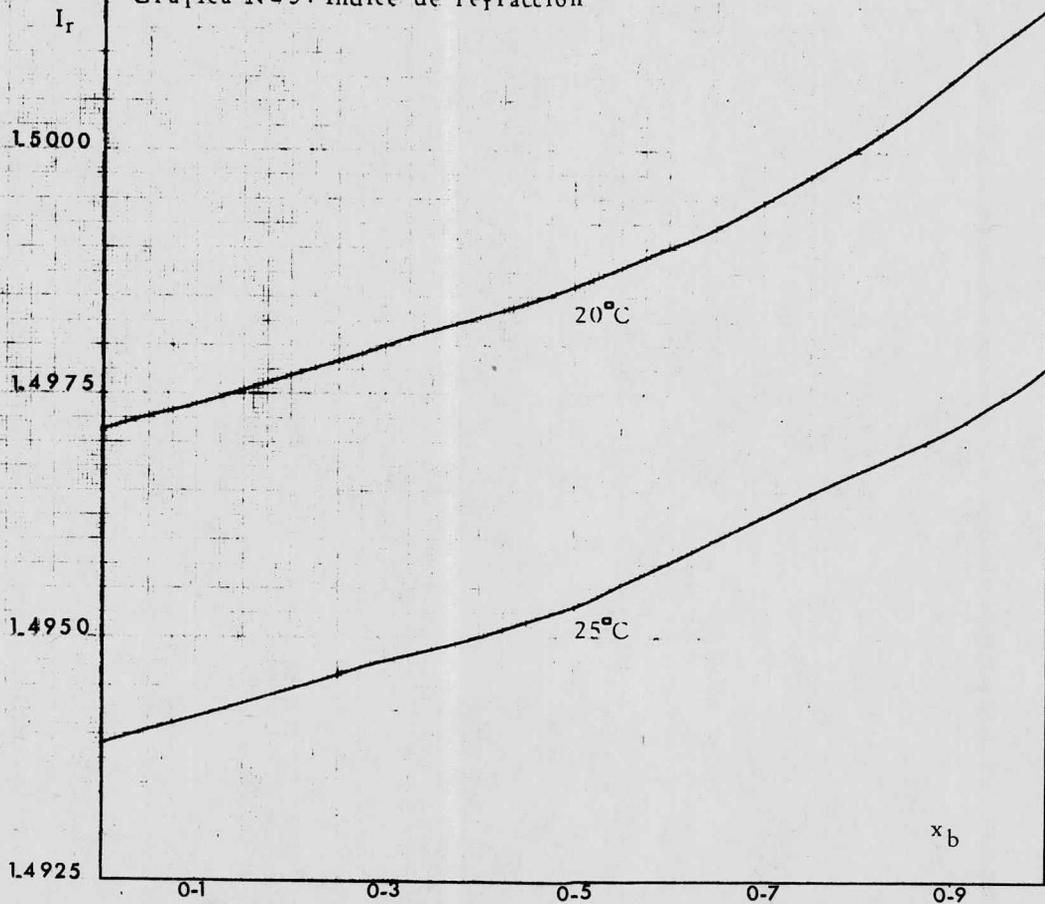
% (peso) Tolueno	% (Mol) benceno	$I_r$
0.0	100.	1.50153
8.67	92.55	1.50097
19.53	82.94	1.50022
46.85	57.22	1.49892
74.96	28.26	1.49796
100.00	0.0	1.49712

Y Williams And Krichma (1927) a 25°C.

% (Mol) Tolueno	% (Mol) Benceno	$I_r$
0.0	100.0	1.49780
8.5	91.5	1.49724
25.0	75.0	1.49649
50.0	50.0	1.49530
75.0	25.00	1.49460
100.0	0.0	1.49392

Estos datos son graficados para tener los valores intermedios en la gráfica No. 5, para cada una de las temperaturas.

Gráfica N<sup>o</sup> 5: Índice de refracción



El índice de refracción se determinó experimentalmente con un refractómetro y la mezcla de benceno-tolueno con que cuenta el laboratorio de Ingeniería Química.

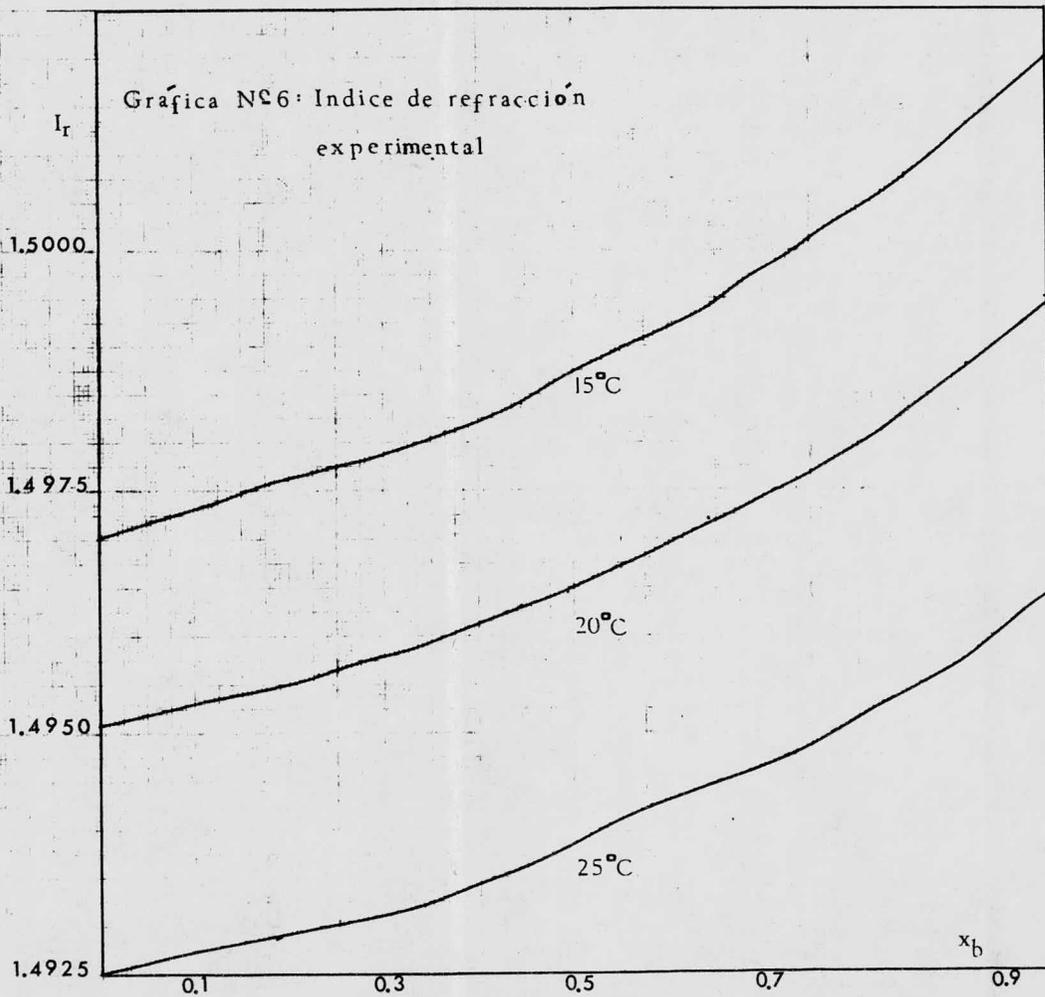
Los datos de índice de refracción experimentales están --- reportados en la tabla No. 4 para las siguientes temperaturas - 15°C, 20°C y 25°C.

Tabla No. 4.

% Mol Benceno	$I_r$ (20°C)	$I_r$ (20°C)	$I_r$ (25°C)
0.0	1.49705	1.49510	1.49250
11.75	1.49735	1.49535	
23.04	1.49770	1.49560	
33.90	1.49800	1.49590	1.49320
44.4	1.49840	1.49630	
54.5	1.49895	1.49670	
64.2	1.49940	1.49720	1.49445
73.6	1.50000	1.49760	
82.7	1.50060	1.49810	1.49530
91.5	1.50130	1.49880	
100.0	1.50200	1.49950	1.49640

Los datos de la tabla No. 4 están trazados en la gráfica - No. 6.

Gráfica N°6: Índice de refracción experimental



Las diferencias entre los valores de índice de refracción de la literatura y los datos experimentales se deben fundamentalmente a las impurezas de la materia prima y desviación en el refractómetro.

D) Densidades molares.

Las densidades molares de la mezcla son útiles en la operación de destilación, cuando se necesita calcular el flujo -- en masa.

La densidad molar se reporta en la literatura (2) para diferentes temperaturas y se encuentra en la tabla No. 5.

Merck Sample a 15°C.

%(Mol) benceno.	Kg-mol./lt.
100.0	0.011315
90.8	0.011109
72.8	0.010741
51.4	0.010313
34.6	0.010011
30.6	0.009942
24.5	0.009838
0.0	0.009446

Schulze 20°C.

%(Mol.) Benceno.	Kg-Mol./lt.
100.0	0.011237
90.0	0.011005
80.0	0.010789
70.0	0.010580
60.0	0.010383
50.0	0.010193
40.0	0.010019
30.0	0.009837
20.0	0.009669
10.0	0.009508
0.0	0.009352

Trew and Spencer 25°C.

% (Mol.) Benceno.	Kg-Mol./lt.
100.0	0.011166
93.60	0.011024
84.65	0.010829
65.83	0.010455
54.56	0.010226
47.42	0.010095
40.20	0.009972
32.23	0.009833
0.0	0.009318

Fremann and Meisinger 30°C y 40°C.

% (Mol.) Benceno.	Kg-Mol./lt. a 30°C.
100.0	0.011099
0.0	0.009296
% (Mol.) Benceno.	Kg-Mol./lt. a 40°C.
100.0	0.010962
50.0	0.009991
0.0	0.009194

Kerz (1914) Pag. 132 de Timmermans reporta a 50°C.

% (Mol.) Benceno.	Kg-Mol./lt.
100.0	0.010838
70.44	0.010230
37.34	0.009665
0.0	0.009097

Los datos de la literatura no cubren todos los intervalos de concentración por lo que estos datos se corroboraron experimentalmente en el laboratorio con ayuda de una balanza analítica, un pignómetro y un baño de agua a temperatura controlada - automáticamente.

Estos datos de densidad molar se reportan en la tabla No.

Estos datos de densidad molar se reportan en la tabla N<sup>o</sup> 6.

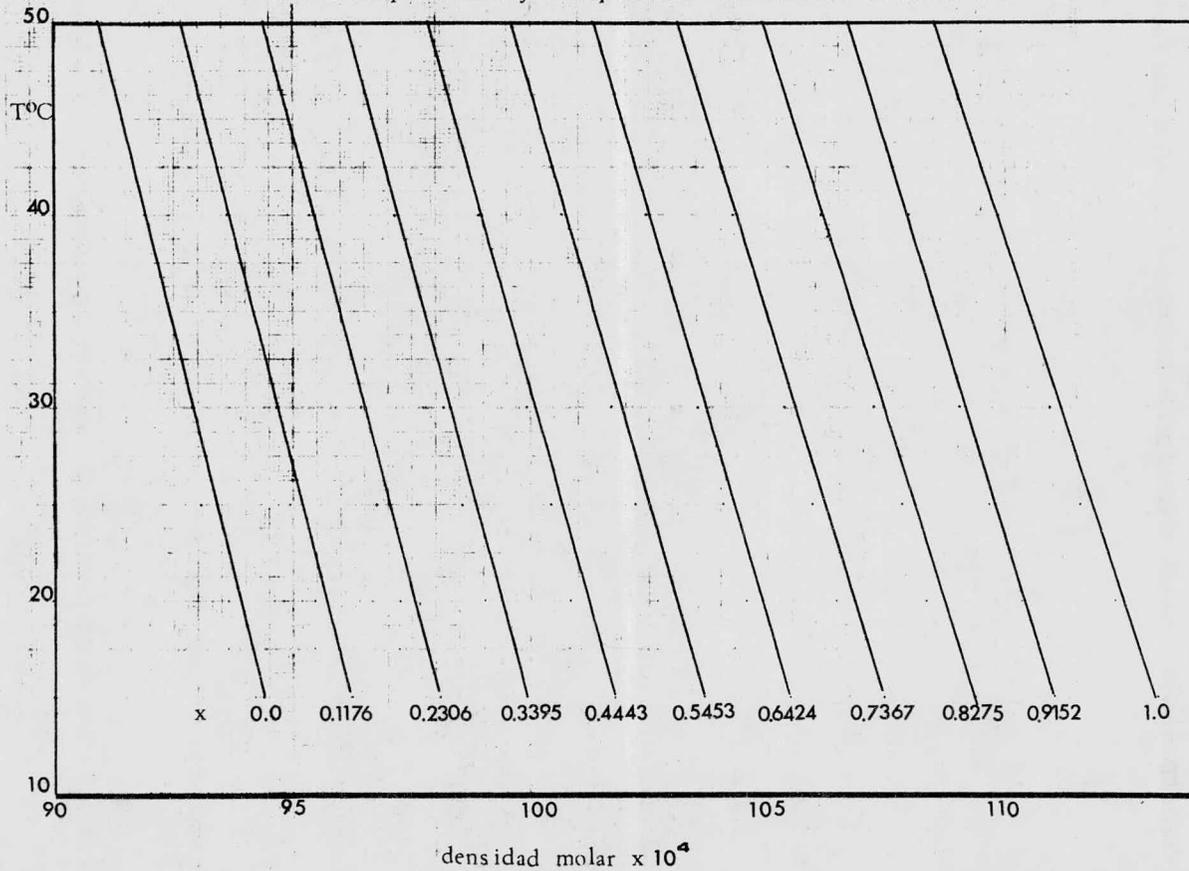
% Mol Benceno	Kg-mol/lt.	Kg-mol/lt.
	15 <sup>o</sup> C	20 <sup>o</sup> C
0.0	0.009439	0.009363
11.76	0.009809	0.009542
23.06	0.009623	0.009723
33.95	0.009993	0.009902
44.43	0.010179	0.010084
54.53	0.010367	0.010268
64.27	0.010549	0.010456
73.67	0.010745	0.010646
82.75	0.010936	0.010838
91.52	0.011002	0.011032
100.00	0.011322	0.011230

% Mol Benceno	Kg-mol/lt.	Kg-mol/lt.
	25 <sup>o</sup> C	30 <sup>o</sup> C
0.0	0.009304	0.009280
11.76	0.009495	0.009466
23.06	0.009675	0.009643
33.95	0.009855	0.009818
44.43	0.010043	0.009993
54.53	0.010221	0.010171
64.27	0.010407	0.010351
73.67	0.010593	0.010535
82.75	0.010781	0.010721
91.52	0.010968	0.010905
100.00	0.011159	0.011093

% Mol Benceno	Kg-mol/lt.	Kg-mol/lt.
	40 <sup>o</sup> C	50 <sup>o</sup> C
0.0	0.009188	0.009092
11.76	0.009362	0.009264
23.06	0.009537	0.009439
33.95	0.009713	0.009611
44.43	0.009891	0.009785
54.53	0.010668	0.009957
64.27	0.010247	0.010132
73.67	0.010428	0.010310
82.75	0.010713	0.010488
91.52	0.010799	0.010767
100.00	0.010987	0.010850

Los datos de la tabla No. 6 se encuentran dibujados en la gráfica No. 7 que representa la densidad molar a diferentes fracciones-mol y a diferentes temperaturas para el sistema benceno-tolueno.

Gráfica N<sup>o</sup> 7: Densidad molar experimental del sistema benceno - tolueno  
vs Temperatura y a diferentes Fracciones molares.



E) Entalpía de vaporización ( $Q_{vap.}$ )

La entalpía de vaporización de una mezcla es poco común en la literatura, sin embargo, una tabla rica en datos a  $20^{\circ}\text{C}$  y  $40^{\circ}\text{C}$  se encontró en la literatura (2) y fue corroborada con los datos de las Tablas Críticas Internacionales (7).

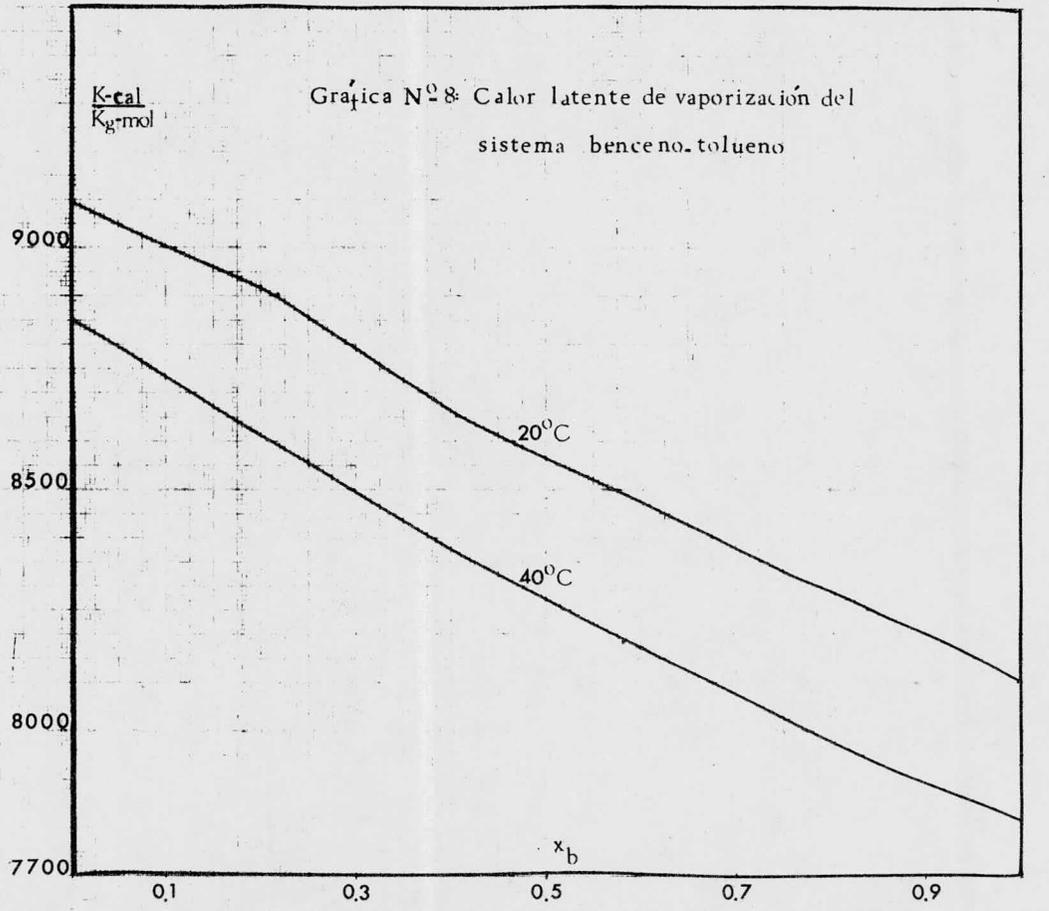
En la tabla No. 7 se reportan los datos de entalpía de vaporización para la mezcla benceno-tolueno.

Tabla No. 7.

% (Mol.) Benceno.	$Q_{vap.}$ ( $20^{\circ}\text{C}$ ).	$Q_{vap.}$ ( $40^{\circ}\text{C}$ ).
0.00	90.95	88.52
21.63	89.03	85.92
40.41	86.55	83.71
60.22	84.71	81.70
80.38	82.84	79.70
100.00	81.00	78.15

Estos datos para que se utilicen más fácilmente en las prácticas de destilación son esquematizados en la gráfica - - -

No. 8.



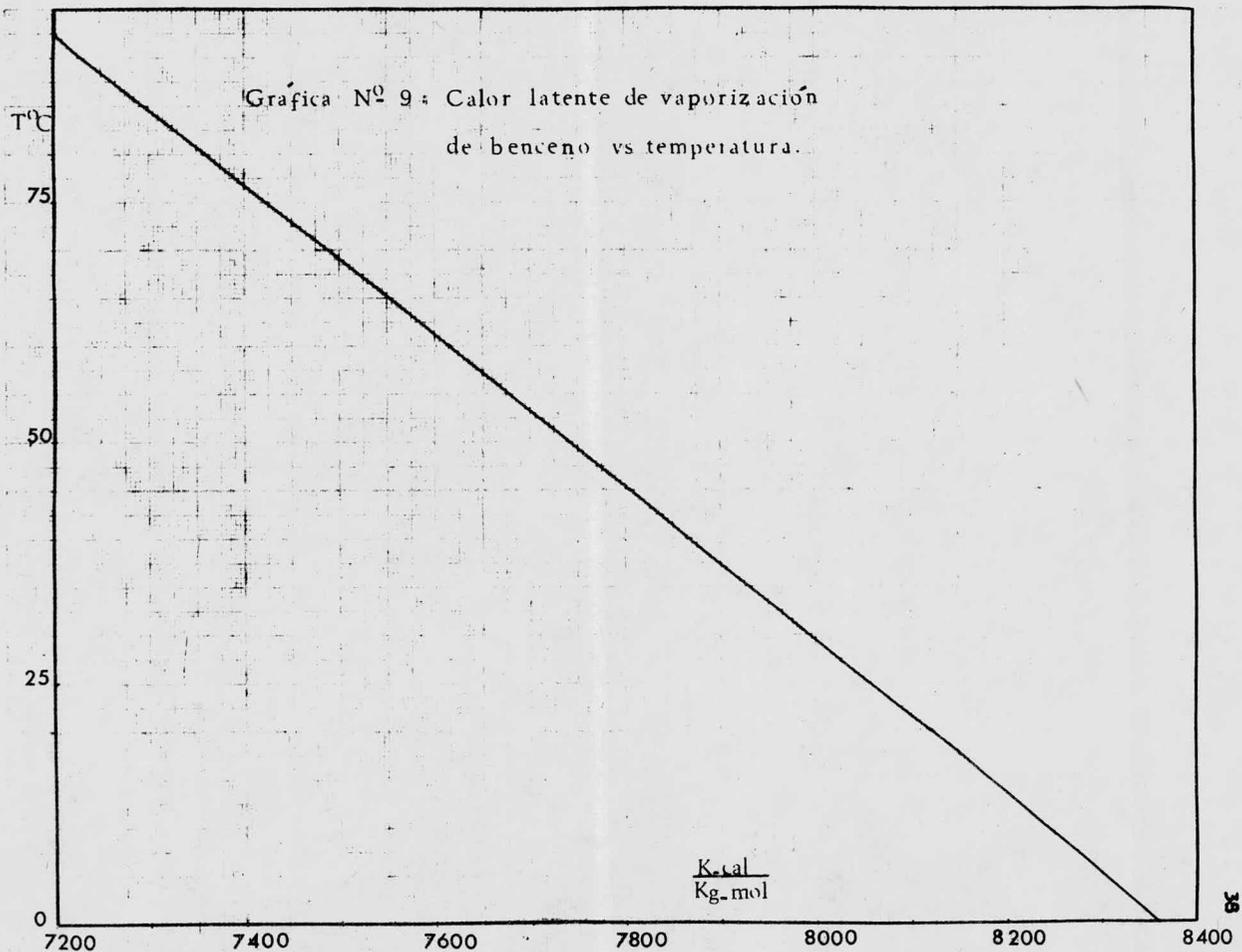
En la tabla No. 8 se reportan las entalpias de vaporización de benceno puro (7) a diferentes temperaturas.

Tabla No. 8.

T <sup>o</sup> C	cal./g-mol
0.0	8358.3
20.0	8108.2
40.0	7865.5
60.0	7615.4
80.0	7357.8
80.2	7369.3
100.0	7076.0
120.0	6771.7
140.0	6452.6
160.0	6131.5
180.0	5788.1
200.0	5349.5
220.0	4851.0
240.0	4225.8
260.0	3421.3
280.0	2140.9
288.5	0.0

Estos datos son esquematizados en la gráfica No. 9.

Gráfica N<sup>o</sup> 9: Calor latente de vaporización  
de benceno vs temperatura.



## F) Calor específico de las mezclas.

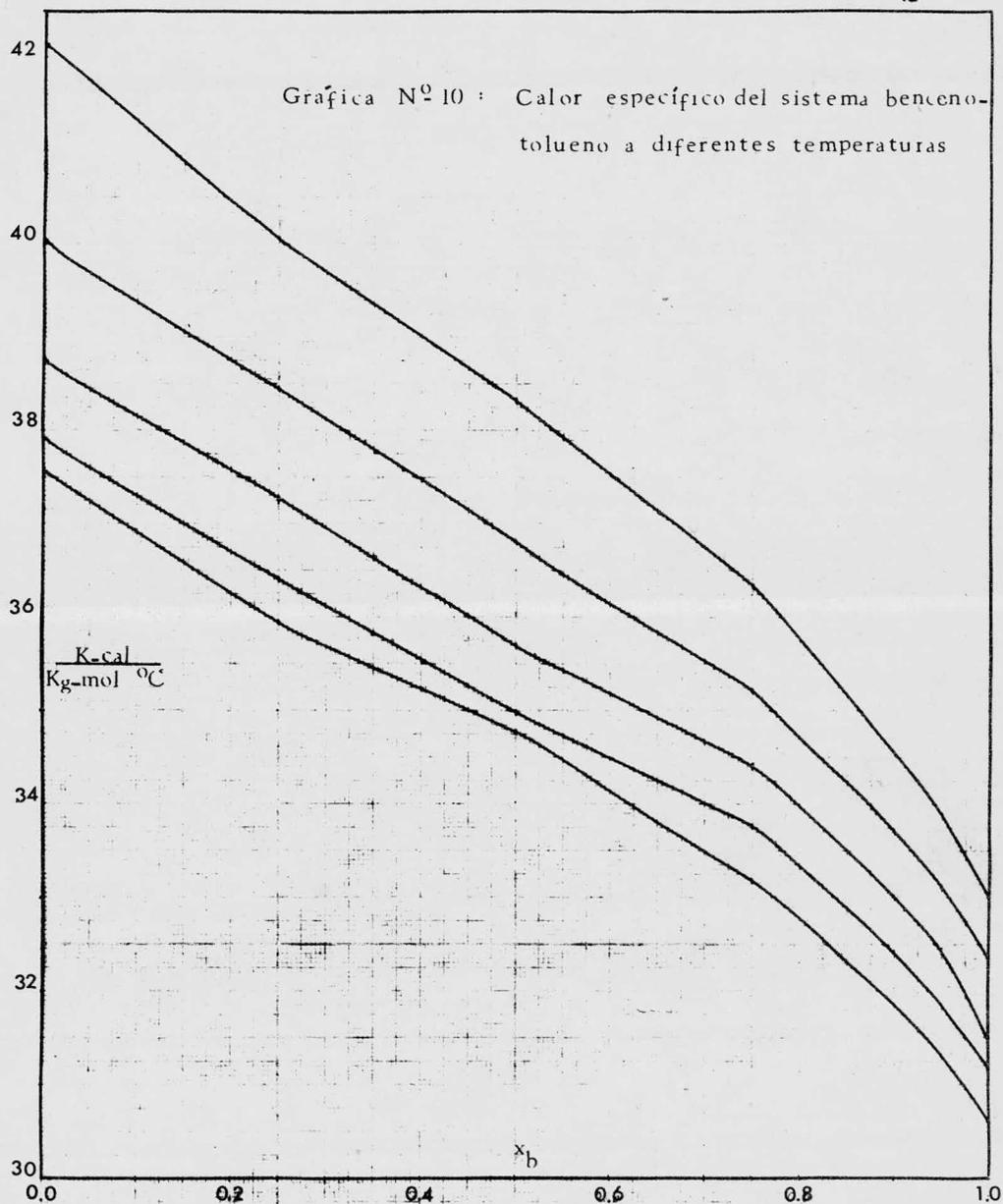
El calor específico se encuentra en la literatura (8,2) para un amplio rango de temperaturas. Estos datos se reportan en la tabla No. 9.

% Mol.	Calorias/g-mol.		
	20°C	30°C	40°C
Benceno.			
0.0	37.5563	37.0156	38.7909
2.5	35.9675	36.4106	37.2615
50.0	34.7999	34.9872	35.7108
75.0	33.1869	33.7909	34.4439
87.5	32.1066	32.6657	33.2807
95.0	31.3133	31.8729	32.4719
100.0	30.6207	31.1831	31.7533

% Mol.	Calorias/g-mol.	
	50°C	60°C
Benceno.		
0.0	40.1454	42.1540
2.5	38.4669	40.0623
50.0	36.8259	38.3497
75.0	35.2356	36.3619
87.5	33.9835	34.8621
95.0	33.1340	33.9063
100.0	32.3783	33.0578

Estos datos son esquematizados en la gráfica No. 10.

Grafica N<sup>o</sup> 10 : Calor específico del sistema benceno-tolueno a diferentes temperaturas



## G) Calibración de los rotámetros.

## ROTAMETRO DE LA LINEA DE ALIMENTACION.

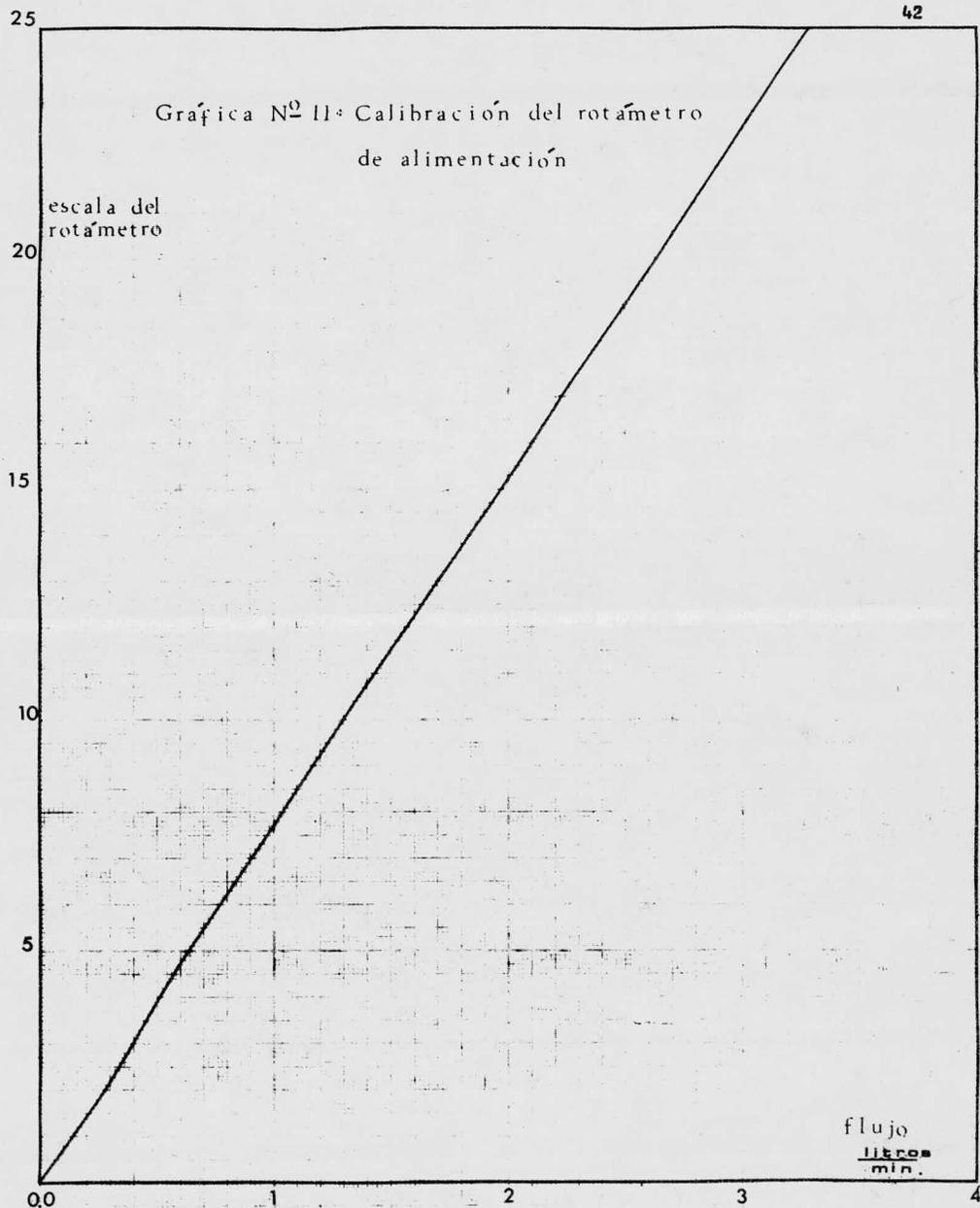
Este rotámetro tiene una escala de 0 a 25 y los datos de la calibración están en la tabla No. 10.

Escala.	Flujo: l./min.
2.0	0.2800
4.0	0.5120
6.4	0.8210
10.0	1.3090
14.3	1.8810
17.0	2.2220
20.0	2.6375
23.0	3.0150
24.5	3.2210

Los datos de la tabla No. 10 se reportan en la gráfica --  
No. 11.

Grafica N<sup>o</sup> 11: Calibración del rotámetro  
de alimentación

escala del  
rotámetro



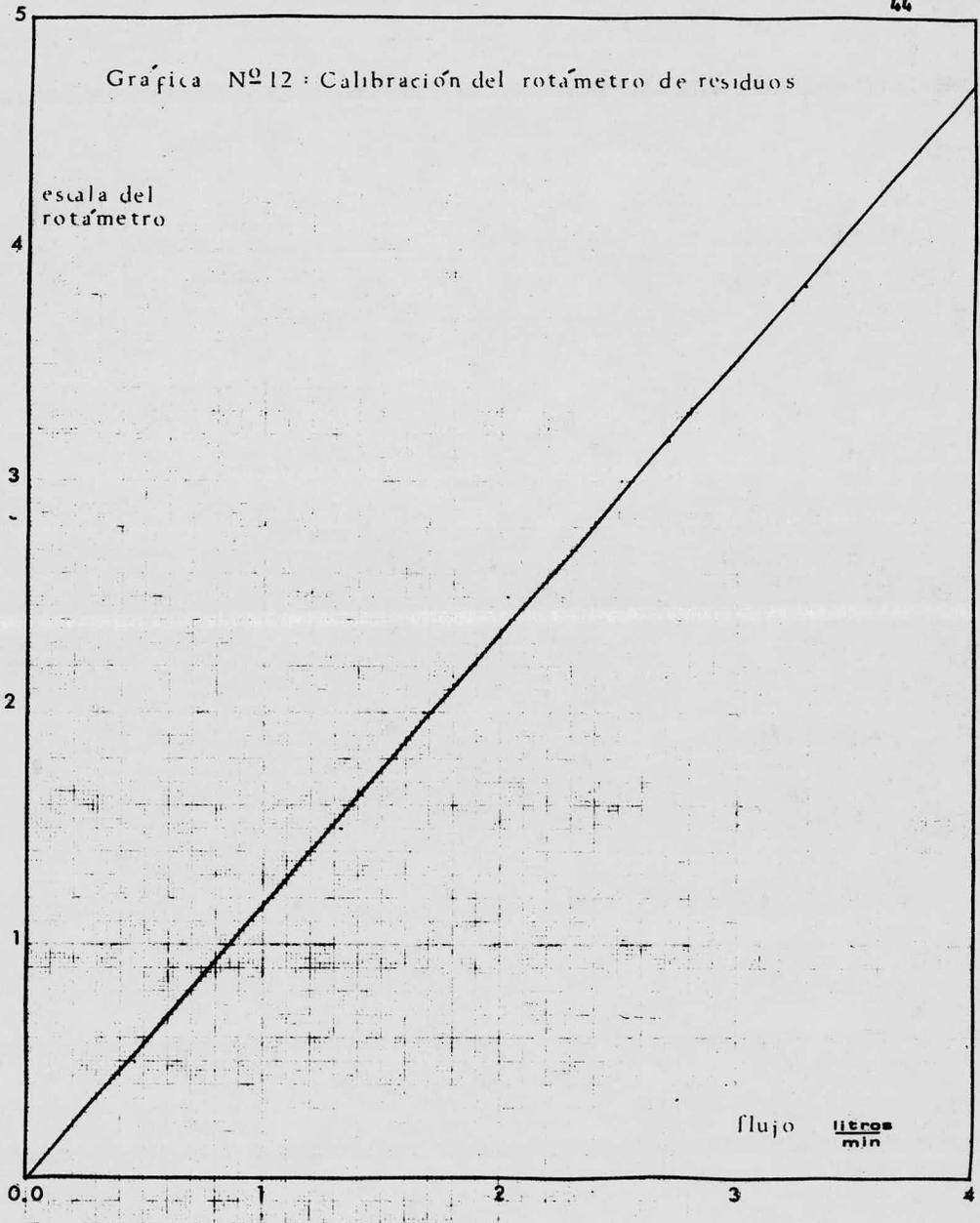
## ROTAMETRO DE RESIDUOS.

Este rotámetro tiene una escala de 0 a 5 y los datos de su calibración se encuentran en la tabla No. 11.

Escala.	Flujo: l./min.
0.5	0.460
1.0	0.870
1.5	1.335
2.0	1.683
2.5	2.090
3.0	2.505
3.5	2.940
4.0	3.390
4.5	3.820

Los datos de la tabla No. 11 están dibujados en la gráfica No. 12.

Gráfica N<sup>o</sup> 12 : Calibración del rotámetro de residuos



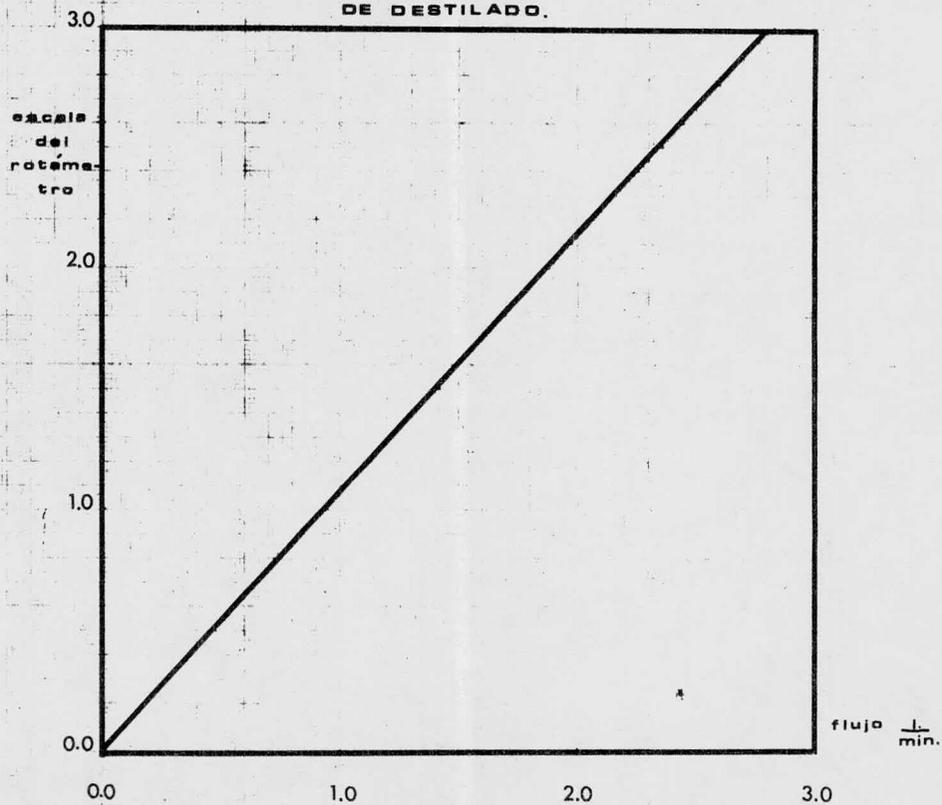
## ROTAMETRO DE DESTILADO.

Este rotámetro tiene una escala de 0 a 3 y los datos de su calibración están en la tabla No. 12.

Escala.	Flujo: l./min.
0.50	0.478
0.75	0.709
1.00	0.947
1.50	1.419
2.00	1.878
2.50	2.358
3.00	2.830

Los datos de la tabla No. 12 se representan en la gráfica No. 13.

GRÁFICA N° 13: CALIBRACIÓN DEL ROTÁMETRO  
DE DESTILADO.



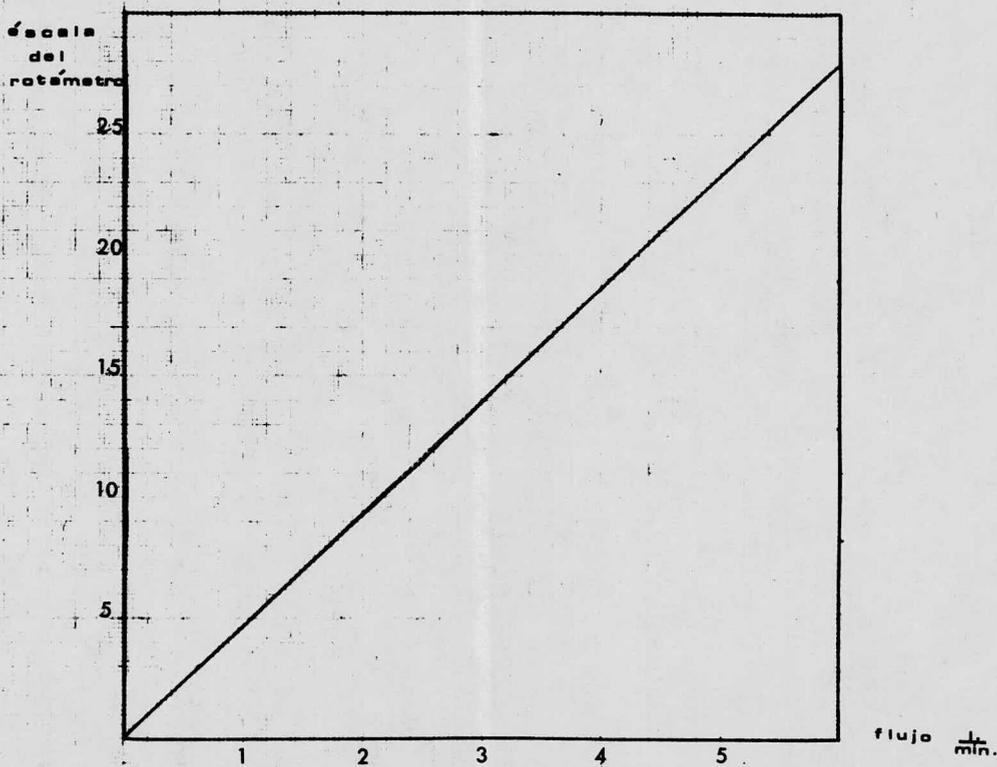
## ROTAMETRO DE REFLUJO.

Este rotámetro tiene una escala de 0 a 25 y los datos de su calibración están en la tabla No. 13.

Escala.	Flujo: l./min.
0	0.000
3	0.621
5	1.730
8	1.820
11	2.390
14	3.050
17	3.680
20	4.320
23	4.980
25	5.410

Los datos de la tabla No. 13 se representan en la gráfica No. 14.

GRÁFICA Nº 14: CALIBRACIÓN DEL ROTÁMETRO DE REFLUJO.



## CAPITULO IV

## INSTRUMENTACION AUTOMATICA DE LA TORRE.

El equipo automático moderno de las torres de destilación, a escala industrial básicamente tiende a controlar variables de proceso como: composición, temperatura, flujo, nivel, presión y otras, tanto en la torre como en las corrientes que entran o salen de ella, utilizando algunas veces equipos muy sofisticados de control.

La instrumentación automática de la torre del laboratorio de Ingeniería Química consta únicamente de un controlador, que regula la temperatura de la mezcla alimentada a la torre para las condiciones de calentamiento que se deseen.

Uno de los objetivos de esta tesis, es que la alimentación de la mezcla se lleve a efecto a una temperatura de calentamiento controlada automáticamente, esto se puede lograr haciendo -- las reparaciones necesarias del controlador, proporcionando información sobre el funcionamiento de las partes del control y dando un manual de operación, para el manejo y buen uso del instrumento.

Se contrató una compañía especializada para reparar el mecanismo del controlador, que tenía un fuelle roto, para hacerle

una revisión general y para cambiar las escalas a un intervalo adecuado a la operación más común de la torre.

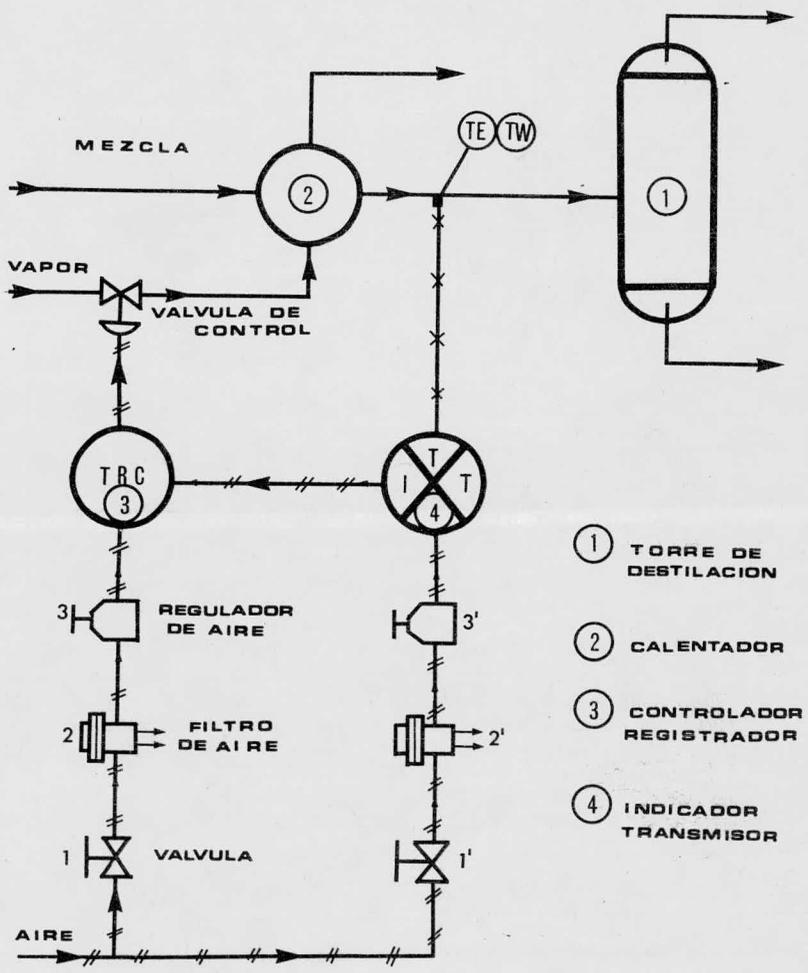
El cambio de las escalas se hizo para dar mayor precisión al aparato, pues las escalas anteriores tenían una amplitud de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $400^{\circ}\text{C}$  con precisión de  $5^{\circ}\text{C}$  y las escalas actuales van de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $160^{\circ}\text{C}$  con una precisión de  $2^{\circ}\text{C}$ .

Al hacer la reparación del controlador se encontró que éste estaba sucio de aceite y material que se utiliza en otros equipos del laboratorio, por lo que se instalaron filtros de aire en las líneas, antes de reinstalar el aparato, que trabaja neumáticamente.

Para llevar a cabo la alimentación a temperatura constante el calentamiento se puede realizar con un cambiador de calor, en el que el vapor de servicio cede su calor latente de condensación a la mezcla; un sensor que mide la temperatura con un elemento primario; un transmisor, que cambia el valor térmico por el equivalente neumático; un receptor que contiene el controlador y que al recibir la señal del transmisor la compara con el valor de temperatura deseado y ordena realizar la respuesta correspondiente de control enviando presión de aire a una válvula neumática que efectúa la acción ordenada al impedir o dejar pasar el vapor de calentamiento que va al cambiador.

En el diagrama No. 1 se pueden apreciar las interconexiones entre la torre de destilación, el elemento primario de medición el transmisor, el receptor, la válvula neumática, el --

DIAGRAMA N° 1



- ① TORRE DE DESTILACION
- ② CALENTADOR
- ③ CONTROLADOR REGISTRADOR
- ④ INDICADOR TRANSMISOR

cambiador de calor y los equipos auxiliares del controlador que son: filtros de aire, reguladores y válvulas de bloqueo. Estos aparatos tienen la función de suministrar aire limpio y seco a 20 psi.

#### 1.- Elemento primaria de medición.

La medición de la temperatura de la mezcla se hace con un sistema conocido como: sistema: térmico de llenado. Este sistema consta de un elemento helicoidal de presión ( $N^{\circ}2$ , figura 2), que está conectado a una cámara metálica o bulbo por un tubo capilar flexible. El bulbo, el tubo y el elemento de presión forman un sistema de presión sellado que fue llenado por el proveedor del instrumento con nitrógeno.

Este termómetro según las clasificaciones publicadas por la Scientific Apparatus Makers Association corresponde a la clase 33 para sistemas que se llenan con gas.

El bulbo del sistema está protegido por un termoposo, que evita la corrosión, protege al bulbo de cualquier daño mecánico o altas presiones y permite desconectar el bulbo sin interrumpir el proceso.

Estos sistemas sellados a presión no deben abrirse debido a que el gas escaparía haciendo inoperante el sistema.

Los cambios de presión o expansión del gas de llenado ocurren cuando cambian las temperaturas del bulbo. Estos cambios son transmitidos por el tubo capilar al elemento de presión, originando que el elemento se enrolle o desenrolle, moviendo la pluma o puntero ( $N^{\circ}.1$ , figura 2) a través del brazo de unión.

## 2.- Válvula de control automático.

El instrumento final del control encargado de efectuar la acción correctiva de temperatura, es la válvula de control automático, que permite el paso de vapor cuando hay que calentar la mezcla o restringe el paso del vapor cuando la mezcla tiene la temperatura deseada.

Esta válvula al recibir aire del receptor presiona un resorte permitiendo el paso del vapor y cuando la presión del aire del receptor disminuye, el resorte vuelve a su lugar ocasionando un cierre total o parcial de la válvula.

La válvula de control es un dispositivo que permite la regulación del flujo de vapor y la temperatura de la mezcla que depende de ello y se define como un sistema de posición variable que permite la regulación de un flujo o también como el elemento final de control de un sistema.

La válvula de control se divide en dos grandes porciones: cuerpo y actuador.

a) El cuerpo de la válvula de control es un ensamble cuya función es contener el fluido y hacerlo pasar a través de un orificio variable, usando un vástago deslizante que va conectado a la línea. Consta de dos partes: ensamble de cuerpo y ensamble del bonete.

El ensamble del cuerpo consta del cuerpo en sí y sus partes internas, asiento, árbol o tapón y guías.

El ensamble del bonete tiene como función prevenir cual-

quier fuga de fluido a través del vástago y proporcionar una base sobre la que pueda instalarse el actuador, consta básicamente de un estopero, que contiene los empaques a través - de los cuales se desliza el vástago.

El actuador es la parte de la válvula que recibe la señal del instrumento y la transforma en una acción mecánica - por medio de un vástago deslizable cuya función es operar -- los mecanismos del cuerpo para variar el área del orificio.

La válvula tiene un actuador neumático que consta de -- un diafragma sobre el cual se ejerce la presión del aire y - un resorte contraponiéndose a la acción del diafragma.

Las especificaciones de la válvula de control automático son las siguientes:

Marca:	Mason-Neilan.
Acción:	Aire para abrir o de actuador inverso
Rango:	0.2-1.0 Kg./cm <sup>2</sup> o 3-15 psig.
Modelo:	38-20331.
Tamaño:	12 mm.
Orificio:	12 mm.
Materiales de construcción.	
Cuerpo:	Acero.
Partes internas:	AI-316.
Presión de régimen:	10.5 Kg./cm <sup>2</sup> .

La presión de régimen implica que una presión de vapor - de servicio mayor de 10.5 Kg./cm<sup>2</sup> vencería el resorte y la - válvula se abriría.

En la figura No. 1 se presenta una vista en corte de la válvula de control.

## VALVULA NEUMATICA DE CONTROL

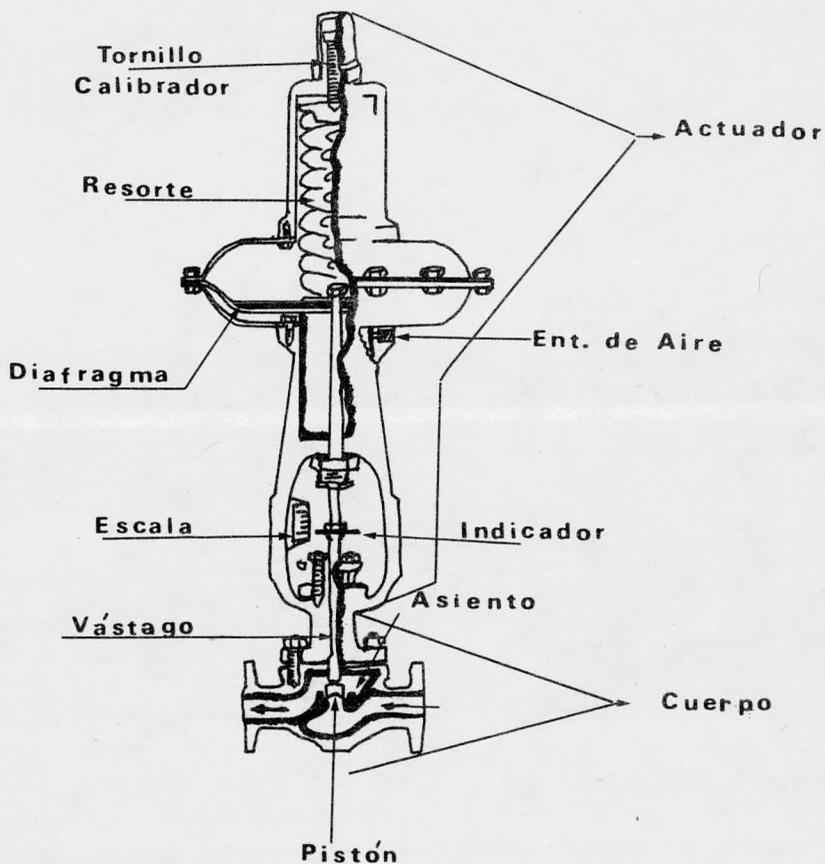


FIGURA N°1

### 3.- Transmisor indicador neumático.

#### Tabla de contenido:

1<sup>a</sup> Parte: Descripción general.

2<sup>a</sup> Parte: Instalación.

A.- Montaje.

B.- Conexiones de aire.

C.- Aire de Suministro.

D.- Tubería del aire de suministro.

E.- Tubería del aire de salida.

3<sup>a</sup> Parte: Operación.

4<sup>a</sup> Parte: Servicio.

A.- Mantenimiento de rutina.

B.- Fallas.

C.- Unidad de transmisión.

D.- Comprobación de la calibración de la unidad de transmisión.

1<sup>a</sup> Parte: Descripción general.

Este transmisor neumático mide la temperatura de la mezcla de alimentación y la convierte a señales de presión de aire - - (3-15 psi) para transmitirla al receptor registrador.

El instrumento consiste de tres unidades mayores: el sistema de medición, el mecanismo del puntero y la unidad de transmisión. Cualquiera de estas unidades pueden ser separadas de la caja. La unidad de transmisión contiene en un paquete el obturador-tobera, la válvula piloto amplificadora ( o reelevador neumático) y el fuelle de retroalimentación.

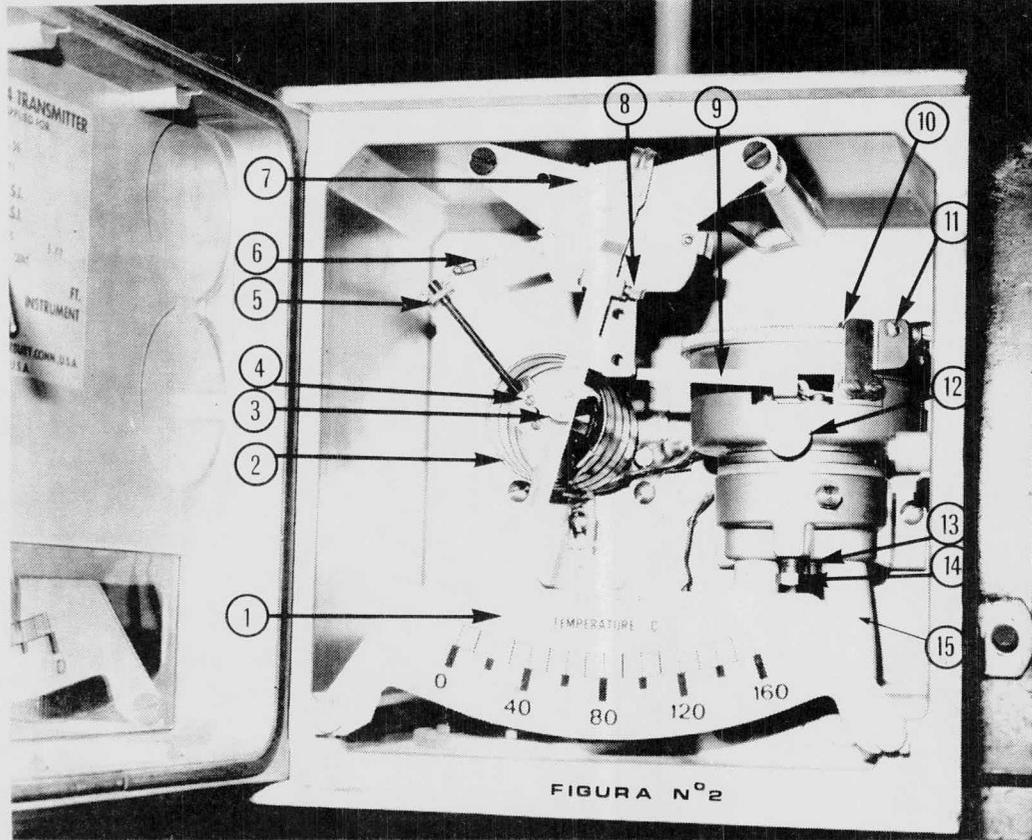


FIGURA N°2

La relación entre la tobera y el obturador cambia cuando el elemento de medición se mueve con los cambios de la variable medida. Por consiguiente la presión de salida del aire se produce cuando se altera la presión en la tobera, que a continuación es amplificada por la válvula piloto. Estos cambios de la presión de salida de aire también causan cambios en la magnitud del fuelle de retroalimentación que a través de un simple sistema de palanca tiende a restablecer la relación original de la tobera y el obturador. La cantidad de entrada y los movimientos de alimentación al obturador se ajustan girando la cubierta ( N<sup>o</sup>. 10, figura 2) de la unidad de transmisión que da un ajuste de amplitud.

El puntero y la escala indican los valores de la variable medida.

## 2<sup>a</sup> Parte: Instalación.

A.- Montaje: el transmisor puede montarse sobre un pánel de madera mediante abrazaderas de tipo universal y en el sitio escogido, buscando en cuanto sea posible que esté libre de polvo, mugre, vibración, humos corrosivos y temperaturas extremas.

El pánel del montaje tiene dimensiones de 20.16 cm. de altura por 18.89 cm. de ancho.

Si es posible localizar el instrumento y todos los accesorios donde la temperatura no sea menor al punto de congelación, pues el agua condensada puede congelarse en cualquier

parte del instrumento obstaculizando su funcionamiento. Si es necesario se deben aislar las líneas de conexión.

#### B.- Conexiones de aire.

Las conexiones de aire una para abastecimiento y otra para salida están localizadas en el fondo de la caja, a través de las cuales se localiza una abertura de venteo que debe estar abierta.

#### C.- Aire de suministro.

Es necesario que el aire de suministro al transmisor esté limpio, seco y libre de aceite. El aire del compresor debe pasar por un filtro de aire y trampas de condensada y éstos ser revisados frecuentemente.

Los mayores problemas en sistemas neumáticos se deben al aire de suministro sucio, húmedo y aceitoso.

La presión de suministro de aire al instrumento debe ser de 20 libras por pulgada cuadrada (psi) ó 1.41 kilogramos por centímetro cuadrado.

El transmisor está equipado con un filtro del tipo mam-- para en la conexión de suministro, sin embargo; es recomendable que haya una válvula de reducción y se utilice un filtro en la línea de suministro para dar aire limpio al instrumento a 20 psi. La válvula de reducción consume 0.2 pies cúbicos de aire libre por minuto. La mínima presión de aire para el regulador debe ser de no menos de 25 psi y el máximo no debe exceder de 150 psi,

El transmisor consume 0.03 pies cúbicos estandar de aire libre por minuto.

El transmisor es capaz de suministrar 3.0 pies cúbicos - y exhaustivamente 4.0 pies cúbicos de aire por minuto.

D.- Tubería del aire de suministro.

Al instalar las líneas de suministro de aire al transmisor, hágase según el arreglo del equipo que se muestra en el diagrama N<sup>o</sup>. 1 y buscar que la pendiente de la tubería no permita que el agua condensada llegue al instrumento. Es recomendable que las líneas estén libres de escamas, moho y polvo para ésto se preferirá utilizar tubo de cobre de 3/8 de pulgada de diámetro o tubo de bronce de 1/4 de pulgada de diámetro en las tuberías de suministro y salida de aire.

Válvula manual de cierre. Una válvula de globo instalada en el suministro, antes del regulador debe ser instalada para permitir cortar el servicio de aire y dar mantenimiento a los filtros, el regulador y el controlador.

E.- Tubería de aire de salida.

Utilizar también tubería de cobre entre los instrumentos (transmisor y receptor). El tamaño de tubería debe ser determinado según los factores de la tabla N<sup>o</sup> 1.

Tabla No. 1.

Tamaño de la tubería.	tiempo de retraso permisible (segundos)			
	longitud de tubería.			
	200 pies	500 pies	1000 pies	2000 pies
3/16" O.D x 1/8" I.D	0.8	4.4	17.0	68.0
1/4" O.D x 3/16" I.D	0.3	1.7	7.7	30.8
3/8" O.D x 5/16" I.D	0.1	0.6	2.9	11.6

## 3ª Parte: Operación.

El transmisor no debe operarse hasta que el puntero del -- instrumento indique que el sistema de medición trabaja correctamente y con precisión.

## 4ª Parte: Servicio.

## A.- Mantenimiento de rutina.

1.- Filtro de aire; diariamente deben drenarse la humdad, la suciedad y el aceite que se almacenan en el fondo del-- filtro, dejando escapar el aire de suministro, al abrir la válvula de purga, unos cuantos segundos,

2.- Lubricación.- El instrumento no requiere lubricación. Si los mecanismos o rodamientos estuvieran sucios se de-- ben limpiar con tetracloruro de carbono o inhibisol.

## B.- Fallas.

1.- Síntoma: la presión de salida del aire es conti--- nuamente alta en el puntero indicador.

Posibles causas: la tobera puede estar tapada o el torni--- llo de restricción puede estar mal apretado causando alta pre--- sión de regreso en la tobera; la válvula piloto puede estar mal

sellada.

Correcciones: la tobera puede ser limpiada inyectando fluido limpiador ( $\text{CCl}_4$ ), después abrir la válvula de retropresión (No. 12, figura 2); el tornillo de la restricción (No.14, figura 2) se afloja.

Para comprobar el sello de la válvula piloto desatornillar el tapón (No. 13, figura 2) quitar el émbolo de la válvula; y limpiar el asiento de la válvula.

2.- Síntomas: la presión de salida de aire es baja continuamente en el puntero.

Posibles causas: fuga en la línea de salida del aire provocando que la retropresión en la tobera disminuya; la válvula piloto no está abierta adecuadamente, la unidad de transmisión pudo haber sido ensamblada sin el resorte de la válvula o el tornillo de la restricción puede estar tapado.

#### C.- Unidad de transmisión.

La unidad de transmisión puede ser desmontada fácilmente de la caja y reinstalada o reemplazada por otra unidad procediendo como sigue:

Desconectar el brazo de palanca (No. 9, figura 2) de entrada a la unidad desde la parte unida al puntero.

Quitar los dos tornillos del montaje de la unidad de transmisión y levantar la unidad hacia arriba y hacia afuera.

Para instalar la unidad de transmisión, primero insertar las dos conexiones de hule silicón (No. 15, figura 2) dentro de

sus enchufes en la caja, asegurando que las mamparas del filtro estén en la conexión de suministro. Después colocar la unidad de transmisión en la caja, insertando las dos puntas de clavija en los agujeros de la parte posterior de la caja. Colocar las dos conexiones de hule en los enchufes de la unidad de transmisión y apretar los dos tornillos del montaje de la unidad de transmisión.

Conectar la corredera ajustable del montaje del puntero al brazo de palanca de la unidad de transmisión.

Ajustar a 20 psi. el suministro de aire al instrumento y comprobar la calibración de la siguiente manera:

D.- Comprobación de la calibración de la unidad de transmisión.

Para comprobar la calibración es necesario tener los medios de operación para que el puntero indique el valor máximo de la escala del instrumento. También es necesario emplear estándares adecuados, para medir los valores verdaderos, aplicados al elemento de medición.

Primero: ajustar la variable medida al valor mínimo ( $0^{\circ}\text{C}$ ) de la lectura en la escala del instrumento. La presión de salida debe ser 3 psi. Si no es 3 psi. ajustar con la rueda del segmento sobre el montaje del puntero. Después apretar el tornillo a cero ( $N^{\circ}$  7, figura 2).

A continuación detener la variable de medición en el valor máximo ( $160^{\circ}\text{C}$ ) en la escala del instrumento. La presión de salida debe ser de 15 psi. Si ésta no es de 15 psi regular con-

al ajuste fino de amplitud. (N<sup>o</sup>. 11, figura 2). Si éste ajuste no es suficiente aflojar los dos tornillos (N<sup>o</sup>. 10, figura 2) y rotar la tapa de la cubierta hasta obtener la presión de salida indicada.

Después ajustar la amplitud al valor mínimo de la escala (0<sup>o</sup>C ). Reajustar la calibración del valor mínimo si es necesario; repetir las comprobaciones de amplitud y a cero hasta que ambos sean correctos.

### 3.- Registro receptor controlador neumático.

#### Tabla de contenido.

#### 1ª Parte: Generalidades.

#### 2ª Parte: Instalación.

A.- Montaje.

B.- Conexiones.

C.- Tubería.

D.- Instalación de la gráfica.

E.- Sistema de entintado.

#### 3ª Parte: Operación.

A.- Ajuste a cero.

B.- Ajuste de amplitud.

C.- Linealidad.

D.- Reguladores de pulsación.

E.- Interruptor del circuito de encendido.

#### 4ª Parte: Servicio.

A.- Lubricación.

B.- Limpieza del sistema de entintado.

C.- Regulador de presión .

D.- Cambio de velocidad en la gráfica.

E.- Ajuste de fricción del eje de encordado.

F.- Ajuste de alineación del eje de encordado.

G.- Reemplazo del disco de fricción de embrage.

H.- Indicador manual de transferencia e indicador de la válvula de control.

I.- Transmisor del índice del puntero.

J.- Reemplazo de fuelles.

K.- Calibración del nuevo fuelle.

### 1ª Parte: Generalidades.

El receptor trabaja neumáticamente, indica y registra el valor de la variable de proceso en un punto cercano o remoto -- del transmisor.

El receptor incluye una válvula manual-automática con índice del puntero, que transmite la presión, que actúa en la válvula neumática; el chasis del receptor es una unidad enchufable - que puede ser desconectada fácilmente de la caja, para repararse o reemplazarse sin perturbar las conexiones. Otra particularidad es que el chasis del registrador puede ser reemplazado por el correspondiente chasis indicador y viceversa.

### 2ª Parte: Instalación.

A.- Montaje: quitar el montaje que soporte la caja y ponerla en un pánel para que se pueda abrir de frente al mismo; - sujetar el soporte de la caja apretándolo con sus tornillos hasta que la caja quede horizontal y fija.

El receptor tiene una caja básica estandar con un colector y su válvula de bloqueo. El pánel es intercambiable.

Cuando el controlador es enchufado en el receptor hay un adaptador del receptor que está disponible para el colector por medio de dos tornillos (cabeza-enchufe) y entonces el controlador se puede ajustar a éste por medio de estos tornillos.

B.- Conexiones: el receptor está equipado con un impulsor de gráfica eléctrico que tiene dos puntos terminales de blo-

queo localizados en la parte posterior del instrumento. El acceso se obtiene quitando la tapa que cubre la parte posterior. El conducto para el cable eléctrico está localizada a media pulgada de la tapa en el costado izquierdo de la caja (observándola de frente).

C.- Tubería: quitar todos los tapones plásticos usados para sellar las conexiones de aire.

Todas las conexiones de tubería están localizadas en la parte posterior del receptor y fueron fabricadas para unirse a accesorios de un cuarto de pulgada estandar.

Hacer las conexiones de la tubería de acuerdo al arreglo presentado en la figura 10.

Es recomendable que se utilice tubo de cobre entre los instrumentos y el equipo. El tamaño del tubo debe ser determinado en base a los factores, tales como distancia entre los instrumentos y tiempo permisible de retraso de la señal, que se anotan en la tabla N<sup>o</sup>. 1.

La tabla N<sup>o</sup>. 1 da el tiempo de retraso esperado para tubo de cobre de diferentes diámetros y longitudes, cuando un elemento de control de 3-15 psi. está conectado al final de la tubería.

D.- Instalación de la gráfica: las últimas 72 pulgadas de rollo alimentador de la gráfica están marcadas cada 2 pulgadas así es que el operador puede conocer la cantidad de gráfica -- restante en el rollo.

Abrir la puerta del registrador; colocar la mano izquier-

FIGURA N°3

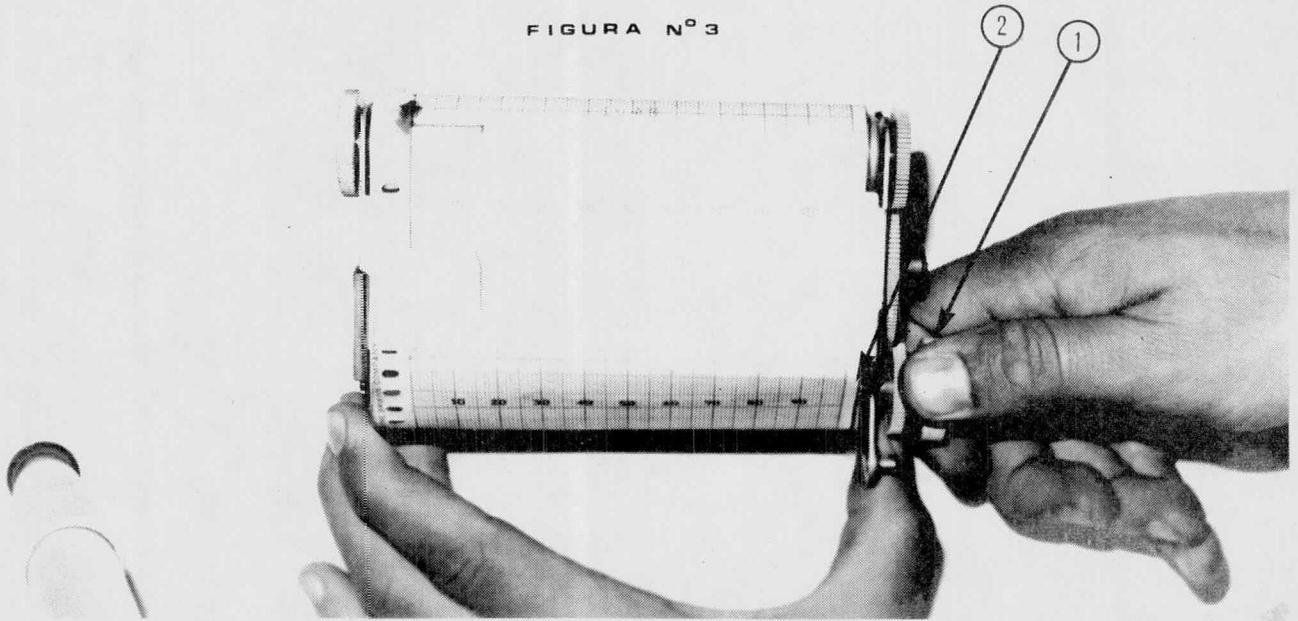
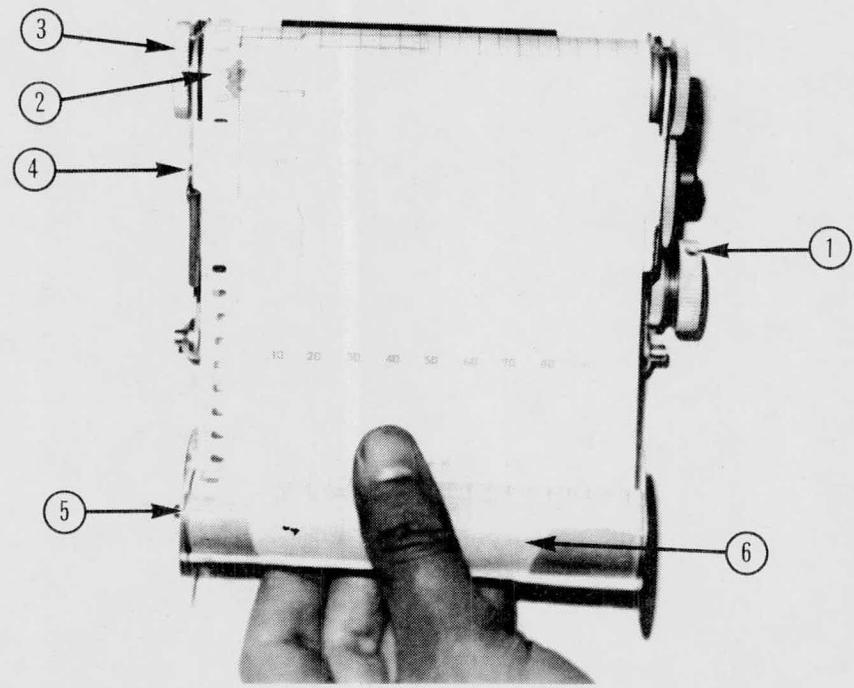


FIGURA Nº 4



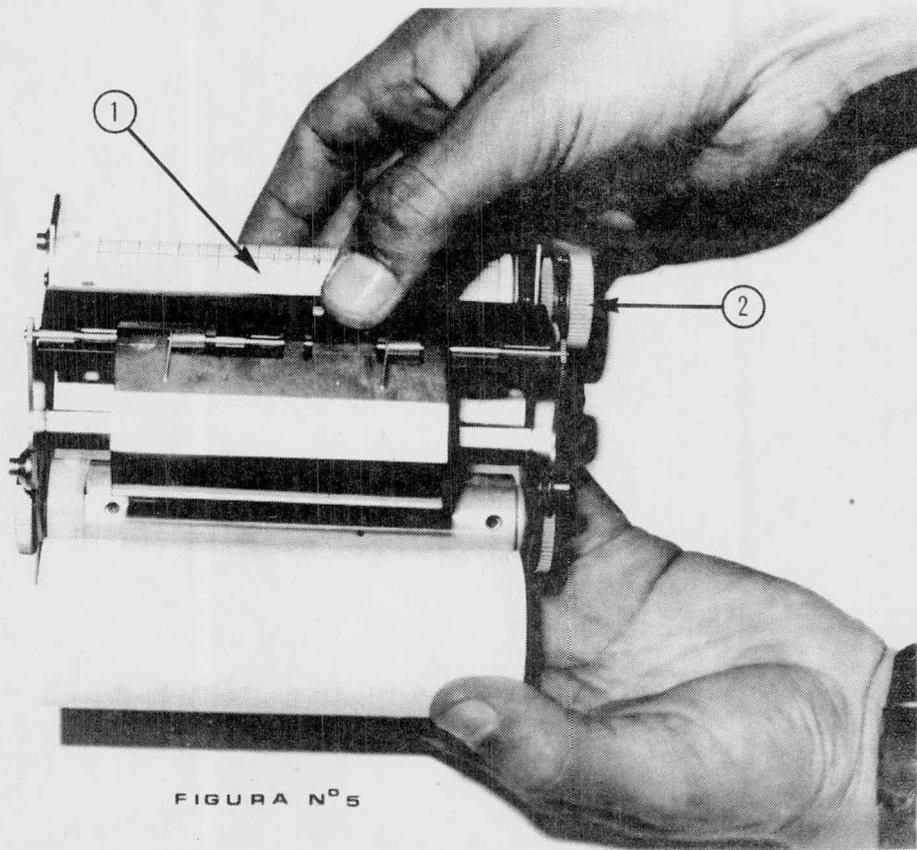
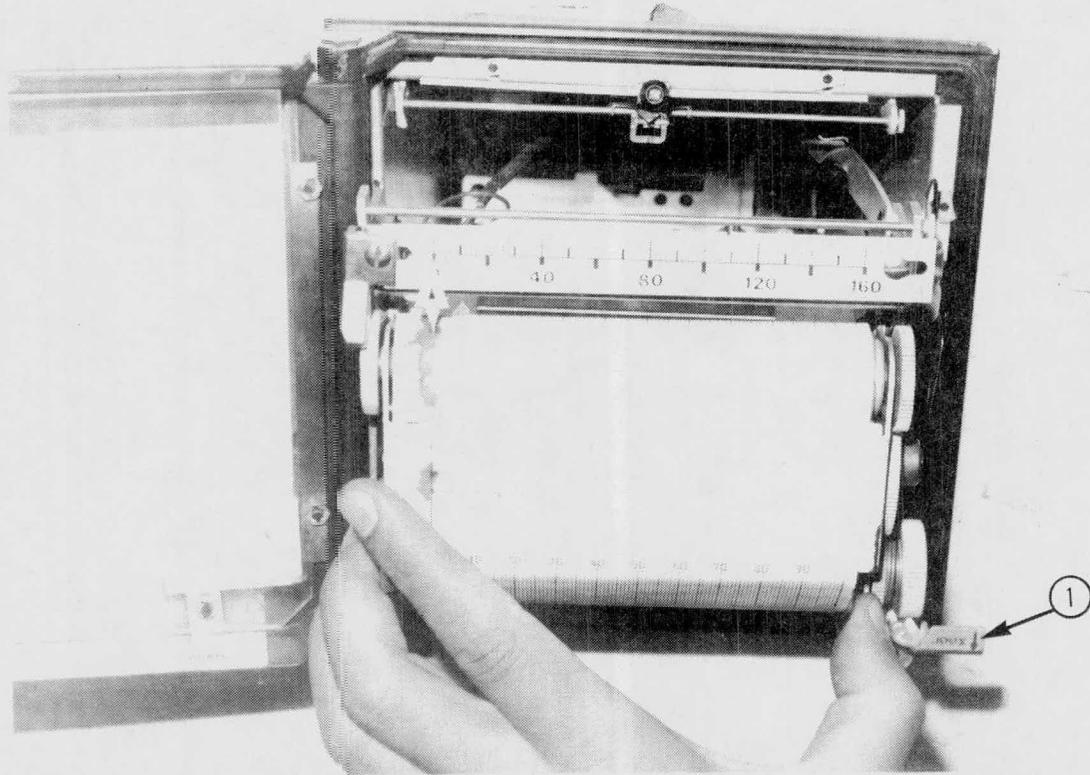


FIGURA N°6



da sobre el mecanismo controlador, como se muestra en la figura N<sup>o</sup> 6; colocar el dedo índice de la mano derecha sobre el broche, que retiene el mecanismo de la gráfica y empujar ésta hacia la derecha; sacar el mecanismo de la gráfica.

Jalar la perilla de embrague (N<sup>o</sup>. 1, figura 3) en dirección de la pared opuesta; sacar la gráfica usada y dar cuerda al eje del mecanismo impulsor de la gráfica; quitar la gráfica usada del eje girando y jalando el cubo del eje (N<sup>o</sup>. 5, figura 4) en dirección axial.

Quitar el soporte de cartón del rollo de la gráfica del canal alimentador; colocar la nueva gráfica (N<sup>o</sup>. 1, figura 5) en el canal alimentador con las aberturas de la gráfica en el final de los dientes directores (N<sup>o</sup>. 2, figura 4) sobre el eje impulsor; enrollar parte de la gráfica como se muestra en la figura N<sup>o</sup>. 4.

Colocar el soporte de cartón de la gráfica anterior en el eje de enrollado, alineando el centro de las aberturas con los picos del eje; colocar el cubo del eje (N<sup>o</sup>. 5, figura 4) e instalar el eje de encordado en el mecanismo director de la gráfica, asegurando la lengüeta (N<sup>o</sup>. 6, figura 4) del eje, doblando una parte sobre el embrague de la flecha, como se muestra en la figura N<sup>o</sup>. 4; desenrollar parte de la gráfica y unirla a la tapa adhesiva (N<sup>o</sup>. 6, figura 4), colocada en el centro de la gráfica (N<sup>o</sup>. 1, figura 5); centrar el papel sobre el eje encordado localizar las aberturas de la gráfica sobre los dientes directores (N<sup>o</sup>. 2, figura 4) y rotar el montaje director hacia la izquierda del eje director (N<sup>o</sup>. 3, figura 4) aproximadamente dos-

vueltas, por medio de la perilla nudosa (N<sup>o</sup>. 3, figura 4). Esto sirve para alinear el rollo alimentador con los dientes directores; dar vueltas a la perilla de embrague (NO 2, figura 5) -- hasta tensar la gráfica.

Precaución: la gráfica no debe correrse con los dientes directores, sino por medio de la perilla de embrague; pues ésto-- rasgaría las aberturas de la gráfica.

Si se desea avanzar la gráfica manualmente se debe girar -- la perilla nudosa (NO 3, figura 4) en la parte izquierda del -- eje director.

Se debe tener cuidado cuando se instale el mecanismo de -- avance de la gráfica, sosteniéndolo verticalmente y ligeramente inclinado hacia la pared del fondo; desplazar el montaje de los dientes (NO 6, figura 8) sobre la sección horizontal de las -- aberturas de las partes laterales y entonces empujar la unidad hacia el lugar del broche de presión.

E.- Sistema de entintado. El receptor está equipado con -- un sistema de entintado. La tinta se carga en un pequeño reci-- piente de plástico, que está colocado a un lado del chasis.

I.- Funcionamiento de las plumas. Antes de utilizar las -- plumas colocar un papel absorbente debajo de la punta de la plu ma para abosrvér el exceso de tinta durante el proceso de llena do.

Colocar el dedo índice sobre la abertura del tubo, que es-- tá en la punta del tapón del tintero y lentamente apretarlo; -- quitar el dedo de la abertura del tubo y bajar la presión --

sobre el tintero. Repetir el proceso hasta que la tinta aparezca en la pluma, siendo conveniente tirar unas gotas de tinta para expeler las burbujas de aire atrapadas.

Cuando se desee retirar la tinta del sistema capilar, primero apretar el tintero, después colocar el dedo índice sobre la abertura del tubo y dejar de ejercer presión sobre el tintero para que la tinta regrese al depósito por sifón.

### 3ª Parte: Operación.

#### A.- Ajuste a cero.

Es necesario hacer coincidir con el cero a la pluma o puntero, después de la instalación inicial.

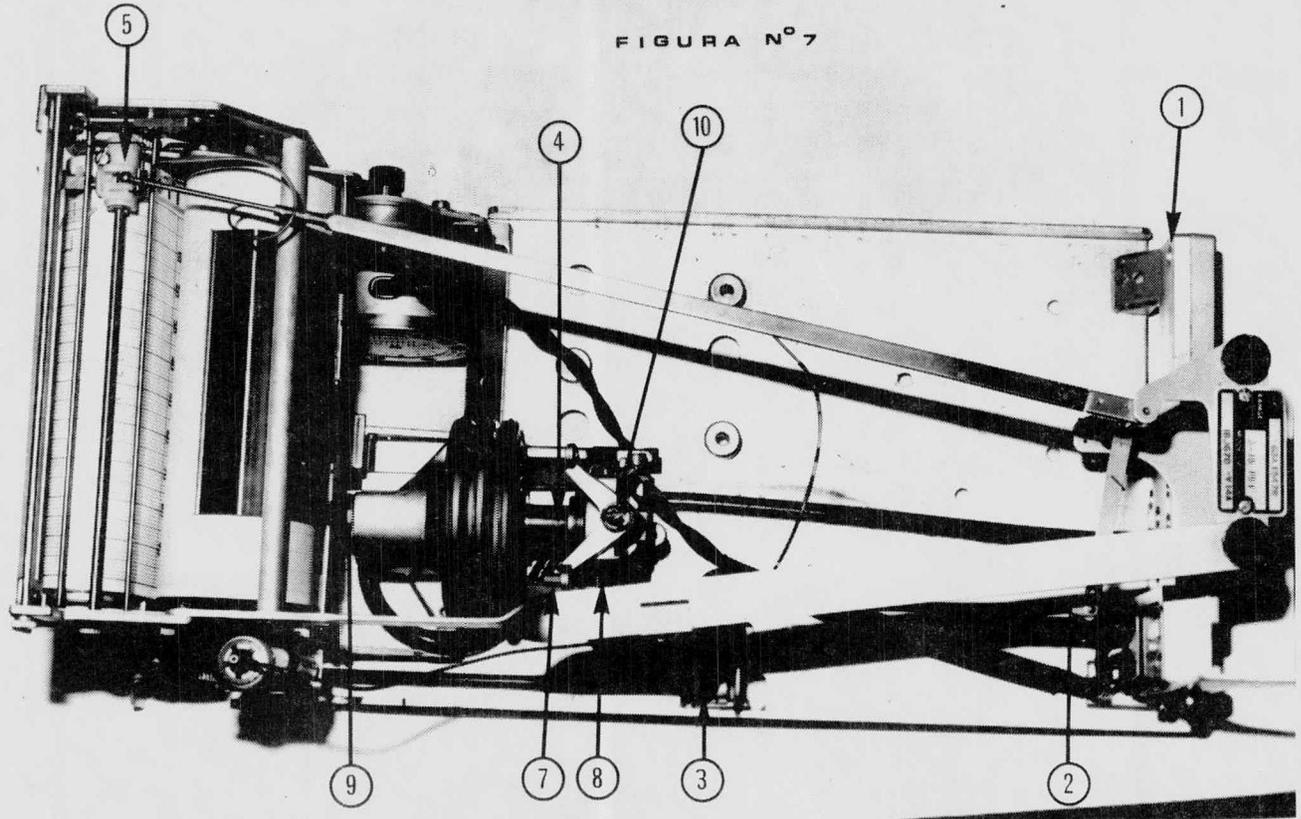
Quitar el chasis de la caja dando un cuarto de vuelta a la palanca de cierre (NQ 1, figura 6) en sentido contrario de las manecillas del reloj. Usando una manguera o tubo de plástico conectar un suministro de aire (variable de 0 a 20 psi) -- al tubo enchufable en la parte posterior del chasis; variar la presión de aire de 3 a 15 psi. repetidas ocasiones para mover la pluma hacia el valor mínimo y máximo de la escala y verificar el movimiento libre de la pluma, así como su contacto con el papel; después ajustar la presión de aire exactamente a 3 psi. y la pluma debe coincidir con el cero.

Si es necesario ajustar la pluma (NQ 5, figura 7) para leer el cero de la gráfica, hacerlo por medio del ajuste fino a cero (NQ 7, figura 7).

#### B.- Ajuste de amplitud de la escala.

Normalmente no se requiere del ajuste de amplitud excepto

FIGURA Nº 7



cuando se haya dañado el instrumento o se haya cambiado el fuelle y se requiere recalibrarlo. Para hacer el ajuste de amplitud proceder como sigue:

Primero: aplicar presión a media escala (9 psi.) al fuelle y si es necesario ajustar la pluma para que se lea el 50% de la escala con el perno del tornillo del fuelle - (NO 8, figura 7).

Posteriormente aplicar la presión al fuelle hasta el valor máximo de amplitud. Si la pluma o indicador no está en el valor correspondiente ajustar con el tornillo de amplitud (NO. 10, figura 7).

Comprobar a cero la escala y reajustar la amplitud si es necesario; repitiendo los pasos arriba indicados. El giro del tornillo de amplitud en el sentido de las manecillas del reloj reduce la amplitud y el giro en el sentido contrario el de las manecillas del reloj incrementa la amplitud.

#### C.- Linealidad.

No se requiere del ajuste de linealidad para los elementos de medición. El elemento capsular tiene una tolerancia en linealidad de más o menos medio por ciento y los ajustes en la práctica no son necesarios cuando el mecanismo de la aguja indicadora y sus palancas tengan configuración de ángulo recto a una lectura de 50% de la escala.

#### D.-Amortiguadores de pulsación.

El receptor tiene un amortiguador de pulsación para suavizar los cambios súbitos en las señales de presión de aire de tal manera que cuando ocurran, el amortiguamiento evita que las gráficas queden pinturrajeadas. El fuelle tiene su tornillo de amortiguación (NQ 9, figura 7). El giro del tornillo en el sentido de las manecillas del reloj incrementa la amortiguación y en el sentido contrario disminuye la amortiguación.

E.- Interruptor del circuito de encendido.

El receptor tiene un motor que mueve la gráfica y está equipado con un interruptor antichispe del circuito, (NQ 3, figura 7) que consiste en un balancín de mercurio, que es operado por la palanca de cierre del chasis. Este interruptor corta el circuito al motor de la gráfica antes que la conexión de enchufe del chasis abra el circuito; cuando se está retirando el chasis de la caja.

4ª Parte: Servicio.

A.- Lubricación. Es conveniente ocasionalmente poner vaselina en la punta de la conexión de enchufe en la parte posterior del chasis.

1.- Limpieza y engrasado del mecanismo de la gráfica. Se recomienda limpiar y engrasar el mecanismo de la gráfica un año después de haberse instalado.

a.- Aceitado. El mecanismo debe aceitarse usando aceite de reloj bristol. El aceite puese ser aplicado con un pequeño alambre.

Aceitar los cinco cojinetes del mecanismo que están cuatro en el plato de la tapa y uno en el plato del fondo.

ACEITAR AMBOS EXTREMOS DE LA ESFERA DE BALANCEO (NO 5, FIGURA 7).

b.- Limpieza. Quitar el tornillo de la rueda de balanceo el seguro y la rueda de balanceo.

Sumergir el mecanismo en benceno y limpiarlo con una brocha y posteriormente secarlo con aire comprimido; reensamblar y aceitar el mecanismo como se indicó antes.

B.- Limpieza del sistema de entintado.

1.- Plumas.- Desmontar el mecanismo de la gráfica; limpiar la punta capilar de la pluma incertando el alambre limpiador - en el extremo.

2.- Tubos capilares.- Cuando el instrumento sea retirado de servicio por un período grande de tiempo se debe limpiar el sistema de entintado como se indica a continuación:

Colocar un pedazo de papel absorbente dentro de la pluma - quitar el tapón del tintero y llenarlo con agua caliente. Con el dedo índice de la mano izquierda colocado sobre la abertura del tubo del tapón del tintero forzar el agua a través del sistema de entintando presionando el recipiente; quitar el dedo - de la abertura del tubo y disminuir la presión lentamente. Repetir el proceso hasta que el agua fluya por la punta de la pluma y el sistema esté completamente limpio.

Para quitar el agua del sistema de entintando primero presionar el tintero y a continuación colocar el dedo índice sobre la abertura del tubo y dejar ejercer la presión del tintero; entonces el agua del sistema será retirada hacia el recipiente por sifón.

C.- regulador de presión.

Dentro de operación normal el único servicio requerido para el regulador es la limpieza de la válvula en el tronco y el asiento. El acceso al tronco de la válvula se logra quitando el tornillo bruja en la parte posterior del regulador.

D.- Cambio de velocidad en la gráfica.

Para cambiar la velocidad de la gráfica de una pulgada a dos pulgadas por hora se necesita cambiar la rueda "A" y mover la rueda "B" a la posición número dos como se muestra en la figura NO 8.

Si se desea cambiar de una pulgada por hora a una pulgada por minuto hay que cambiar en el motor de una R.P.H. a una R.P.M.

Si se desea cambiar la rueda "A" hay que soltar todo el conjunto en el tornillo de la rueda "A" y quitar la rueda del eje del motor. Cuando se reemplazan las ruedas "A" o "B" cuidar que las ruedas no engranen ni tan apretadas, ni tan flojas para evitar que se dañen los dientes de encordado.

Colocar el centro de la gráfica sobre el eje de encordado y con un pedazo de papel adhesivo enganchar la muelle de la escaleta en el extremo del papel y con el corredor del director de la gráfica aplicar suficiente fuerza para encordar el eje hasta encasillarlo.

Para ajustar la torsión del eje aflojar el tornillo del conjunto en la perilla de embrague; restablecer la rueda de --

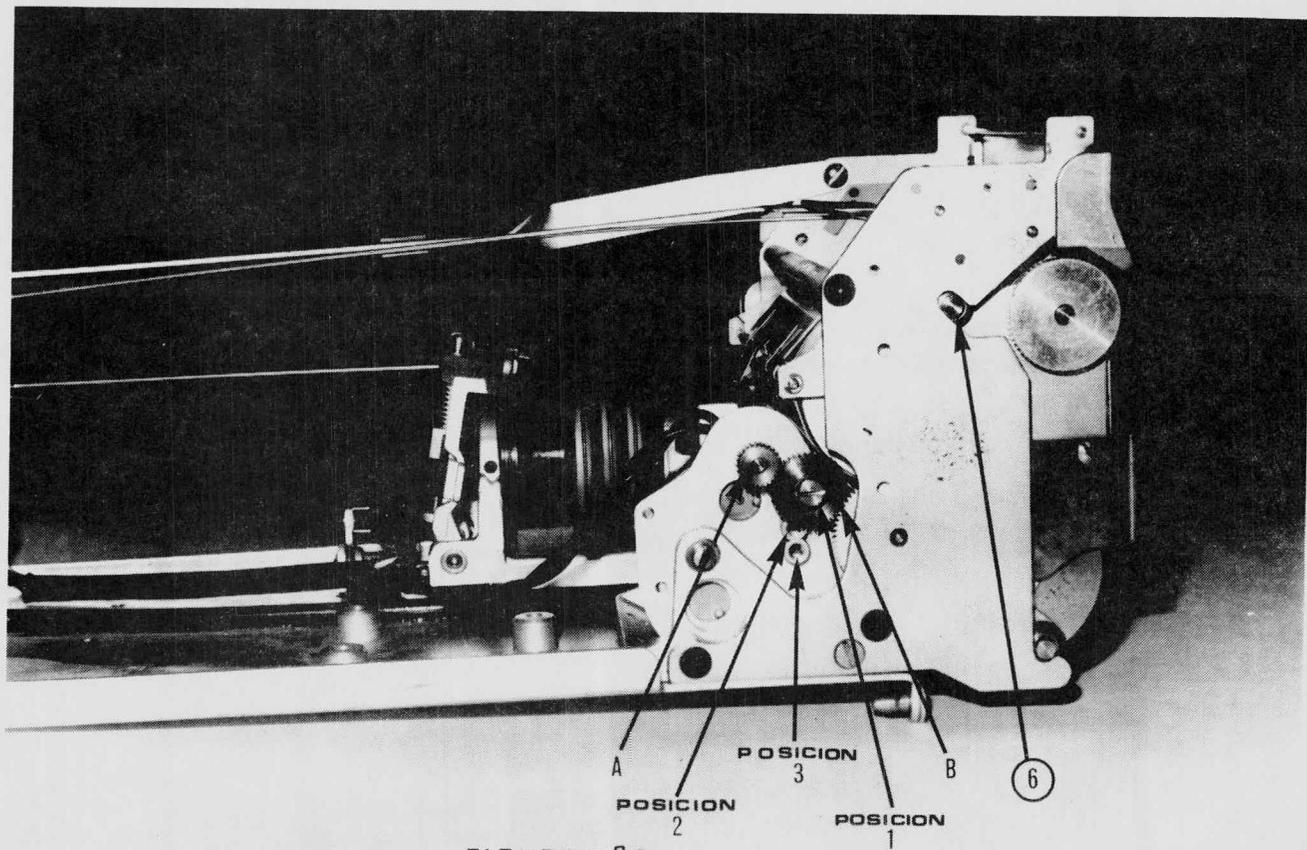


FIGURA Nº 8

embrague y dar vueltas a la perilla en dirección apropiada para cambiar la tensión en la muelle de embrague (la rotación en el sentido de las manecillas del reloj incrementará la tensión) -- después éste se acompleta asegurando el tornillo del conjunto - en la perilla de embrague.

F.- Ajuste de alineación del eje de encordado.

Si el eje de encordado no está paralelo con el eje del director de la rueda causará que la gráfica sea desplazada a un lado.

Esto se puede corregir aflojando los tornillos (No. 4, figura 4) y empujando el lado de la placa para colocar la placa - en el centro del eje de encordado.

G.- Reemplazo del disco de fricción de embrague.

a.- Aflojar el tornillo del conjunto (No. 1, figura 4) sobre el perilla de embrague.

b.- Quitar la perilla de embrague girando en sentido - contrario a las manecillas del reloj.

c.- Quitar el muelle de embrague, muelle del cuello, - rueda de embrague y disco de fricción.

d.- Para ensamblar seguir el procedimiento en órden -- inverso cumpliendo con las instrucciones sobre el ajuste de --- fricción del eje de encordado.

H.- Indicador manual de transferencia e indicador de la -- válvula de control.

Estos dos componentes están instalados como una unidad en el fondo de la caja del receptor (No. 2, figura 9).

El indicador manual de transferencia consiste de dos fuelles (NO 4, figura 9), que actúan sobre un plato pivote para o ponerse uno a otro. Uno de estos fuelles está conectado a la salida del regulador y el otro a la válvula de control; el plato pivote está unido al puntero (naranja). Cuando las presiones en los dos fuelles son iguales el indicador estará en el a rea marcada en el centro de la escala. Este será el caso en -- que la presión de salida del regulador sea igual a la presión de la válvula de control.

Para quitar la unidad del indicador manual de transferencia; quitar los dos tornillos deteniendo la coraza del puntero (NO 3, figura 9); quitar los dos postes hexagonales deteniendo la unidad sobre la caja; quitar el ensamble deslizándolo hacia afuera de la caja; conectar un tubo plástico al tubo de enchufe en la parte posterior de la unidad, que suministrará la pre sión a los fuelles.

El punto de apoyo de la palanca del plato pivote se ajusta aflojando los dos tornillos (NO 8, figura 9) y moviendo el ensamble suavemente en la dirección apropiada. Si se aplica -- una presión cualquiera a ambos fuelles el indicador naranja de be estar en el centro del área marcada para todos los valores de la presión, comprobándolo a 0, 10 y 20 psi. El ajuste a ce-ro (NO 7, figura 9) debe hacerse con 9 psi. de presión en cada fuelle.

El indicador (verde) de la válvula de control está movido

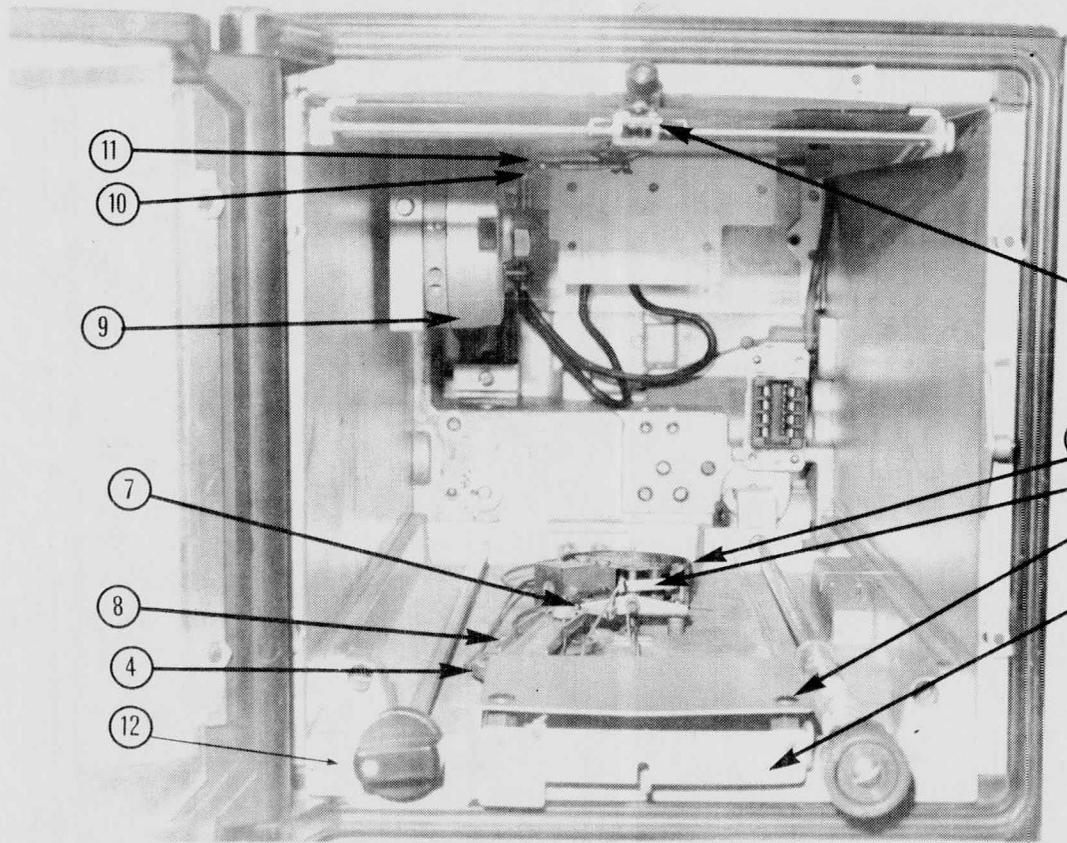


FIGURA  
Nº 9

con un elemento tubular "C" (Nº 5 figura 9).

Los ajustes a cero y de amplitud están incorporados en el brazo de palanca en el extremo del tubo "C" (Nº 6, figura 9) - el ajuste se termina doblando este brazo en la dirección apropiada.

I.-Transmisor del índice del puntero.

La unidad de transmisión del índice del puntero del receptor está localizado en la tapa superior de la caja del instrumento (Nº 1, figura 9).

El ajuste a cero fino está localizado en el puntero rojo al frente del instrumento (Nº 1, figura 9); otros ajustes son los siguientes:

- 1.- Ajuste a cero burdo (Nº 9, figura 9).
- 2.-Ajuste de amplitud (Nº 11, figura 9).
- 3.- Ajuste de linealidad (Nº 10, figura 9).

Para comprobar la calibración quitar el chasis de la caja deslizar el tubo plástico con el accesorio de enchufe a través del agujero de la base del montaje de la pluma (Nº 1, figura 7) quitar la unidad del controlador de la gráfica del chasis; conectar el otro extremo del tubo plástico al indicador; reemplazar el chasis en la caja. La presión del índice del puntero está ahora marcada por el indicador.

La salida del transmisor del índice del puntero debe ser comprobado a 0, 25, 50, 75, y 100 por ciento de la escala, con precisión de más o menos medio por ciento. El ajuste a cero fino localizado en el puntero puede ser hecho en el frente del ins

trumento.

El ajuste de amplitud (Nº 11, figura 9) puede ser hecho mientras que el chasis está enchufado en la caja, pero para hacer el ajuste a cero grueso tendrá que quitarse el chasis de la caja (Nº 9, figura 9).

Los tres tornillos que detienen el ensamble del transmisor del índice del puntero son tornillos especiales que siguen el ensamble para flotar con respecto a la caja. El broche guía (Nº 11, figura 9) en el plato superior del chasis presiona automáticamente el ensamble del transmisor sobre el chasis, cuando la gráfica es insertada en la caja.

#### J.-Reemplazo de fuelles.

Para reemplazar los fuelles de las plumas registradoras o indicadores se procede como sigue:

1.-Desconectar la palanca del montaje de la pluma (Nº 2, figura 7).

2.-Apretar hacia abajo con los dedos el ensamble de la palanca de la amplitud y remover la guía capsular (Nº 4, figura 7) (uso especial de la llave inglesa).

3.- Quitar el fuelle con la llave inglesa media pulgada abierta.

4.- Repetir el procedimiento de arriba para instalar el fuelle, engrasándolo después de instalados.

#### K.- Calibración del nuevo fuelle.

1.- Comprimir el fuelle para que se lea 9 psi. girando el tornillo (Nº 8, figura 7) a la entrada del fuelle. El soporte de

el tornillo de amplitud debe estar perpendicular con la base colada de la unidad.

2.- Ajustar en el centro la bola de la amplitud (Nº 10, figura 7) un cuarto de pulgada arriba de la base colada de la unidad.

3.- Ajustar el fuelle para un paro total de 15.1 15.3 psi.-

4.- Comprobar que todos los pivotes y cursores corran libremente y que los brazos, cursores y plumas estén libres y limpios.

5.- Aplicar 9 psi. al fuelle.

6.- Comprobar que el ajuste a cero fino esté paralelo al soporte.

7.- Aplicar presión de 9 psi. al fuelle y si se necesita calibrarlo hacerlo con el tornillo (Nº 8, figura 7) hasta que la pluma o puntero lea 50 % de la amplitud.

8.- El tornillo de la amplitud debe estar perpendicular al chasis y el brazo de conexión (Nº 2, figura 7) debe ser paralelo al brazo de palanca de la pluma.

9.- Aplicar presión de 15 psi. al fuelle si la pluma o puntero no indica el valor máximo de la escala ( $160^{\circ}\text{C}$ ) hacerla coincidir con el tornillo de la amplitud (Nº 10, figura 7) hasta que ésto suceda.

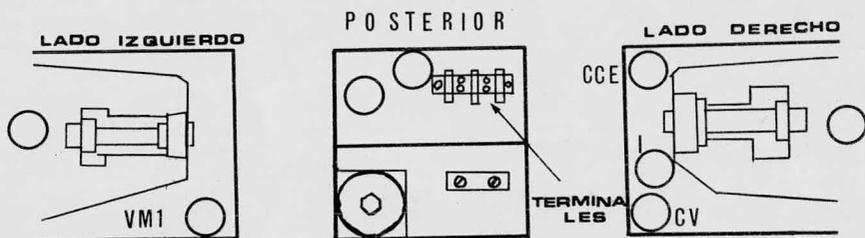
El giro del tornillo en el sentido de las manecillas del reloj disminuye la amplitud y en el sentido contrario incrementa la amplitud.

10.- Comprobar el cero de la escala y reajustar la amplitud si es necesario.

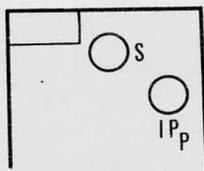
11.- Repetir los pasos anteriores las veces necesarias para que la calibración tenga más o menos medio por ciento de precisión en cualquier punto de la escala.

12.- Ajustar el tornillo de paro (Nº 4, figura 7) dentro de el intervalo de la lectura mínima para que la plume o puntero que de  $1/32$  de pulgada abajo del cero de la escala.

CONEXIONES DE TUBERIA  
DEL RECEPTOR  
VISTA



VM1 VARIABLE DE  
MEDICION N°1  
S SUMINISTRO DE  
AIRE  
IP<sub>P</sub> INDICE DEL  
PUNTERO



FONDO

CCE CONEXION DEL  
CABLE ELECTRICO  
I INTERRUPTOR  
CV VALVULA DE  
CONTROL

FIGURA N 10

## CAPITULO V

## PROPOSICION DE UNA PRACTICA EN DESTILACION.

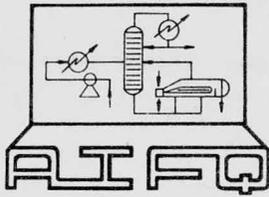
La práctica que se propone tiene como meta separar una mezcla, utilizando el equipo de control automático.

En el capítulo II se presentaron los estudios de selección de la mezcla, resultando que la mezcla benceno-tolueno cumple con las características necesarias.

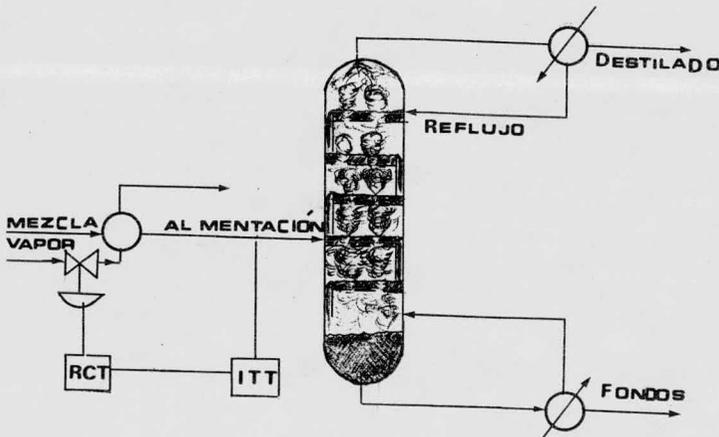
En el capítulo III se presentaron los estudios físico-químicos de la mezcla seleccionada, que se necesitan para realizar la práctica.

En el capítulo IV se presentó el manual de instalación, operación, mantenimiento y servicio del control automático para el manejo y buen uso del instrumento, lo cual permite controlar la temperatura de la mezcla que se alimenta a la torre.

La práctica propuesta se intitula "Destilación Mc. Cabe -- Thiele con alimentación controlada automáticamente" con base en los estudios realizados y la utilidad de contar con el control-automático, a continuación se presenta el instructivo para esta práctica:



# Destilación MC. Cabe Thiele CON ALIMENTACIÓN CONTROLADA AUTOMÁTICAMENTE



FACULTAD DE QUIMICA  
DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
Area de Ingenieria



Universidad Nacional  
Autónoma de  
México

DESTILACION MC. CABE THIELE CON ALIMENTACION CONTROLADA  
AUTOMATICAMENTE.

Objetivos.

1.- Separar la mezcla *cloroformo - benceno* benceno-tolueno en sus componentes, utilizando el equipo de control automático.

2.- Determinar las condiciones de operación de la torre para que trabaje a régimen permanente en la separación de la mezcla *cloroformo - benceno* benceno-tolueno.

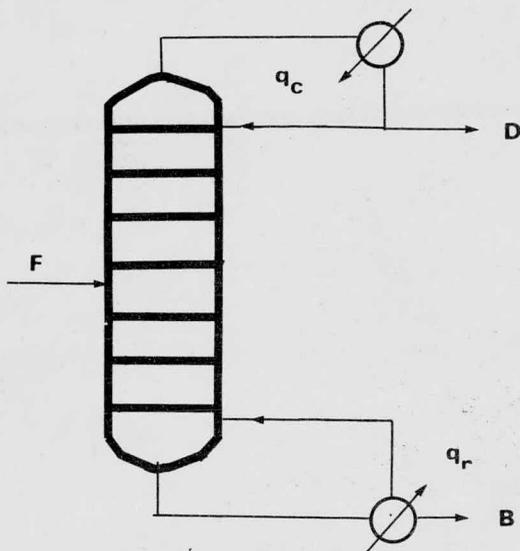
3.- Determinar la curva de equilibrio efectiva en la separación de la mezcla *cloroformo - benceno* benceno-tolueno, conociendo las líneas de operación y la línea de alimentación por el método Mc. Cabe Thiele.

Método de Mc. Cabe Thiele.

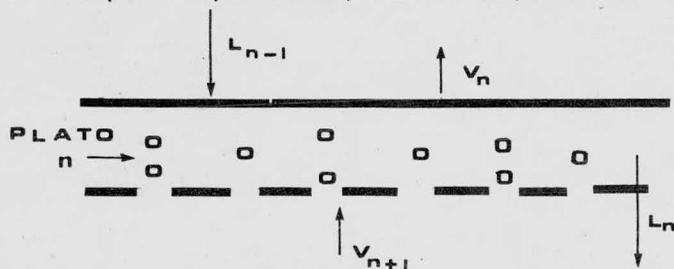
Este método supone un flujo de vapor y líquido constante e igual en la sección de enriquecimiento y de agotamiento, lo cual se cumple al tener pequeña variación en la entalpía de vaporización y no haber calores de disolución.

Este método simplifica los cálculos tediosos de prueba y error del método de Sorel al considerar que por cada mol de vapor que se condensa, hay otro mol de líquido que se evapora y de no ser así - habrá que recurrir al método de Ponchon Savarit, que considera los balances de energía, junto con los de materia.

Para visualizar el método de Mc. Cabe Thiele consideremos una columna de destilación en la que se alimenta una mezcla binaria, - que es separada en un producto destilado, que se condensa y es regresado en parte a la torre y un producto de fondos, que en parte se vaporiza y se inyecta en el fondo de la torre.



En la columna anterior se ponen en contacto un vapor ascendente  $V_{n+1}$  con un líquido descendente  $L_{n+1}$  y debido a los gradientes de temperatura y composición, parte del vapor ascendente se condensa para evaporar una parte del líquido descendente.



Este contacto enriquece al vapor ascendente en el componente más volátil y lo empobrece en el menos volátil.

El reflujo en la torre se basa en este principio y proporciona una fuerza impulsora del fenómeno para poder obtener productos más puros.

Considerando el proceso total de destilación con respecto a las variables de diseño y operación, que están relacionadas con el número de platos, hay que considerar varios factores como: presión, temperatura, balance de materia, balance de un componente, balance de energía, adición de calor en la calandria y eliminación de calor en el condensador.

Para determinar el número de variables, que se fijan en la operación más común de una torre, se hace una lista de las variables y se escriben las ecuaciones en que aparecen éstas.

El análisis conduce a que hay  $C(6 + n) + 5n + 7$  variables y  $C(5 + 2n) + 5n + 1$  ecuaciones independientes, que describen el proceso (9).

Donde  $C$  es el número de componentes y  $n$  el número de platos, de lo anterior se deduce que  $C + 6$  es igual al número de variables que se tienen que fijar cuando se opera una columna.

El número de variables que se fijan comúnmente en una destilación binaria son:

$$C + 6 = 2 + 6 = 8$$

Un procedimiento usual es fijar las siguientes:

- 1.- Flujo de alimentación.
- 2.- Composición de la alimentación.
- 3.- Entalpia de la alimentación.
- 4.- Composición del producto destilado.
- 5.- Composición del producto de fondos.
- 6.- Temperatura de reflujo.
- 7.- Presión de la columna.
- 8.- Relación de reflujo.

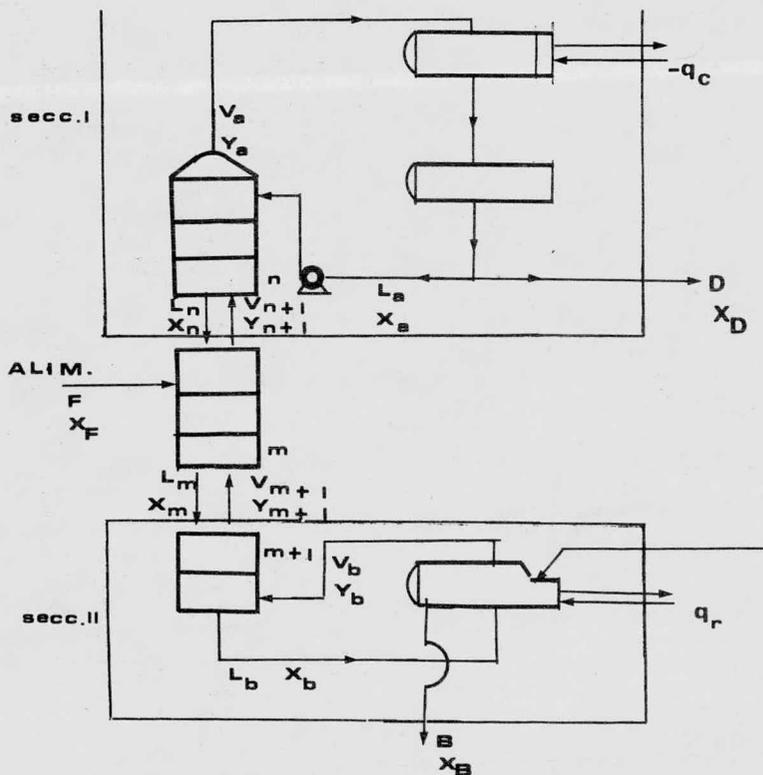
Se supone que la alimentación es inyectada en el plato correcto y el número de estados de equilibrio se pueden calcular analíticamente o mediante las representaciones gráficas de las ecuaciones de balance de materia y energía.

### Balance de Materia.

La alimentación consiste de  $F$  moles/hr. con una concentración  $x_F$  y produce  $D$  moles/hr. de destilado con concentración  $x_D$  y  $B$  moles/hr. de fondos con concentración  $x_B$ .

Las concentraciones  $x_F$ ,  $x_D$ ,  $x_B$  se refieren al componente más volátil (A). Balance total:

$$F = D + B$$



Balance del componente A

$$F x_F = D x_D + B x_B \quad (2)$$

de donde:

$$\frac{D}{F} = \frac{x_F - x_B}{x_D - x_B} \quad (3)$$

y :

$$\frac{B}{F} = \frac{x_D - x_F}{x_D - x_B} \quad (4)$$

Los balances de materia aplicados en la sección I y II de la columna dan dos líneas de operación, una para la sección de enriquecimiento y otra para la de agotamiento.

La línea de operación para la sección de enriquecimiento es:

$$y_{n+1} = \frac{L_n x_n}{L_n + D} + \frac{D x_d}{L_n + D} = \frac{L x}{L + D} + \frac{D x_D}{L + D} \quad (5)$$

y la línea para la sección de agotamiento es:

$$y_{m+1} = \frac{L_m x_m}{V_{m+1}} = \frac{B x_B}{V_{m+1}} = \frac{L x}{L + B} = \frac{B x_B}{L + B} \quad (6)$$

El análisis de las columnas de rectificación se simplifica si se utiliza la variable denominada reflujo. El reflujo se puede definir de dos maneras: la relación de reflujo a destilado  $L/D$  o reflujo externo y la relación de reflujo a vapor  $L/V$  o reflujo interno.

$$R_D = \frac{L}{D} = \frac{V - D}{D} \quad \text{y} \quad R_I = \frac{L}{V} = \frac{L}{L + D}$$

La ecuación de la línea de operación en la sección de enri-

quecimiento se puede expresar en términos de  $R_D$  si se divide el - numerador y el denominador del segundo miembro de la ecuación (5) entre  $D_0$ .

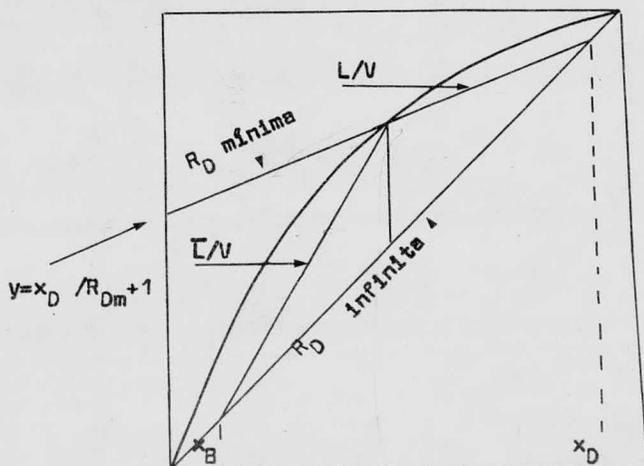
$$y_{n+1} = \frac{R_D x_n}{R_D + 1} + \frac{x_D}{R_D + 1}$$

### Condiciones límite de la relación de reflujo.

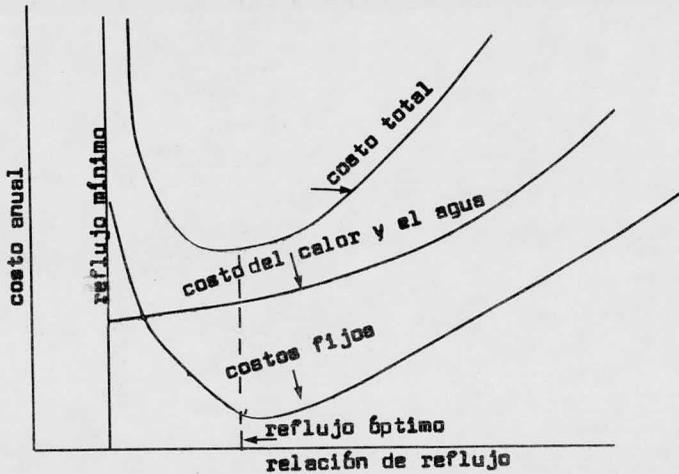
La pendiente de la línea de rectificación es  $R_D / R_D + 1$  y - alcanza el valor de 1.0 cuando la relación de reflujo es INFINITA. las líneas de operación coinciden con la diagonal.

El segundo límite se alcanza al disminuir del reflujo y cuando la intersección de las líneas de operación con la línea de alimentación coincide con la intersección de la línea de alimentación y la curva de equilibrio, entonces se tiene la relación de reflujo mínima. En este punto para un valor de  $x = 0$  corresponde una "y" igual a  $x_D / R_{Dm} + 1$ .

Todas las columnas operen con una relación de reflujo comprendida entre la relación mínima y la infinita.

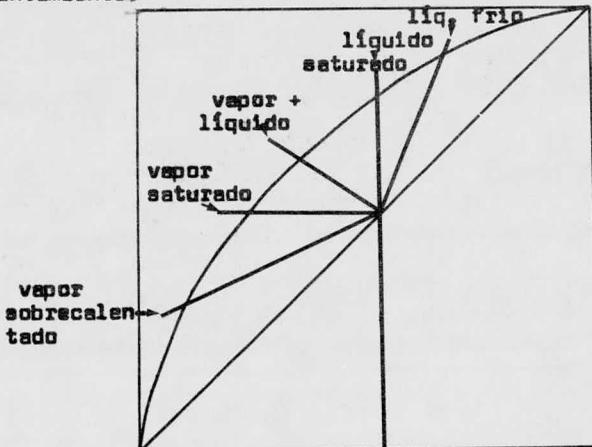


Se ha encontrado mediante un análisis de costos, que la relación de reflujo óptima generalmente está comprendida en el intervalo de -- 1.2 a 2.0 veces la relación de reflujo mínima.



#### Alimentación de la Mezcla.

La torre de destilación puede ser alimentada con líquido a temperatura controlada, desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de saturación, por medio del sistema de control automático y con vapor saturado de la ella vaporizadora controlando manualmente el vapor de calentamiento.



La ecuación de la línea de alimentación está dada por:

$$y = - \frac{1-f}{f} x - \frac{x_F}{f}$$

Esta línea interseca a la diagonal en  $x_F$  y tiene una pendiente  $- (1-f) / f$ .

Donde para líquido frío:

$$f = - \frac{C_{pL} (T_b - T_F)}{\lambda}$$

Y para vapor sobre-calentado:

$$f = 1 + \frac{C_{pV} (T_F - T_d)}{\lambda}$$

siendo:

$f$  = No de moles de vapor en la sección de rectificación, que resulta de cada mol de alimentación.

$C_{pL}$ ,  $C_{pV}$  = calores específicos de vapor y de líquido, (L, es para el líquido y V. es para el vapor.), Kcal./Kg. °C.

$T_F$  = temperatura de la alimentación, °C.

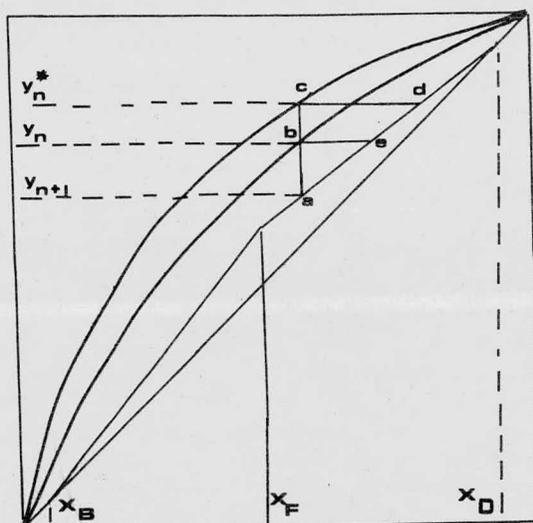
$T_b$ ,  $T_d$  = temperatura de ebullición y condensación de la alimentación respectivamente, °C.

$\lambda$  = calor de vaporización de la alimentación, Kcal/Kg

Representadas las líneas de operación en el diagrama de equilibrio se puede obtener el número de platos ideales por medio del trazo de escalones, entre la curva de equilibrio y las líneas de operación. Cada escalón corresponde a un plato ideal de la torre y el plato de alimentación es el que está atravesado por la línea de alimentación.

### Construcción de la Línea de Equilibrio Efectiva.

Como se vió en la práctica sobre eficiencia una columna real no tiene la eficiencia de 100% y por lo tanto el número de platos reales será diferente y mayor al número de platos-ideales. Para poder conocer el número de platos reales hay - que dibujar sobre el diagrama de equilibrio la línea efectiva de equilibrio.



En el diagrama se presenta la construcción de un plato \* real comparado con uno ideal. El triángulo  $acd$  representa el plato ideal y el triángulo  $abe$  el plato real. El plato real en vez de enriquecer el vapor desde  $y_{n+1}$  hasta  $y_n^*$  según indica el segmento  $ac$  consigue un enriquecimiento menor, --  $y_n - y_{n+1}$ , correspondiente al segmento  $ab$ , el que tiene -- una longitud que depende de la eficiencia de la torre.

La curva de equilibrio efectiva se calcula a partir de -  
la siguiente ecuación:

$$y'_e = y + \eta_M (y_e - y)$$

Donde:

$y$  = coordenadas de las líneas de operación.

$y'_e$  = coordenadas de la curva de equilibrio efectiva.

$y_e$  = coordenadas de la curva de equilibrio verdadera.

$\eta_M$  = eficiencia de Murphree.

#### Requerimientos Básicos.

La radiación en la columna es pequeña y se comporta adiabáticamente. Los efectos térmicos están confinados al condensador y el calderín o hervidor. Si el calor latente es constante ( y la suposición de flujos molares constantes requiere de ésta condición) el calor adicionado en el hervidor es:

$$q_T = \bar{V} \lambda$$

Y el calor eliminado en el condensador es:

$$q_C = - \bar{V} \lambda$$

Si se utiliza vapor saturado como medio de calentamiento, el vapor requerido en el hervidor es:

$$w_s = \frac{\bar{V} \lambda}{\lambda_s}$$

Siendo:

$w_s$  = (Kg/hr.) de vapor.

$\bar{V}$  = Flujo de vapor que sale del hervidor (Kg-mol/hr.)

$\lambda_s$  = Calor latente del vapor (Kcal/Kg.)

$\lambda$  = Calor latente molar de la mezcla (Kcal/Kg-mol.)

Si se usa agua como medio de enfriamiento en los condensadores, el agua necesaria es:

$$W_c = - \frac{- \nu \lambda}{(t_2 - t_1) C_p}$$

$W_c$  = gasto de agua ( Kg./ hr.)

$(t_2 - t_1)$  = aumento de temperatura del agua de enfriamiento.

$C_p$  = 1 Kcal/ Kg. °C.

#### Descripción del equipo.

El equipo consta de una columna de destilación con cachuchas y de 20 platos, que ya fue descrita en la práctica de eficiencias.

#### Operación del Control Automático.

- 1.- Arrancar la compresora.
- 2.- Hacer llegar el aire a la línea de suministro.
- 3.- Abrir las válvulas 1 y 1' del diagrama NQ 1.
- 4.- Comprobar que los filtros de aire 2 y 2' hayan sido purgados y se encuentren en condiciones de purificar el aire de suministro.
- 5.- Comprobar que los reguladores de presión 3 y 3' controlen la presión de aire a 20 psi.
- 6.- Hacer funcionar el mecanismo del registro de temperatura poniendo en "ON" el interruptor, que está junto al registrador.
- 7.- Vigilar el funcionamiento de las plumas del registrador moviendo el indicador del transmisor y comprobar que coinciden las temperaturas de ambos.
- 8.- Poner en manual la operación del controlador mediante la perilla (NQ 12, figura 9) y comprobar que la válvula neu-

mática responde a las señales del control para abrir o cerrar.

- 9.- Pasar la operación del receptor a la posición automática.
- 10.- Fijar la temperatura a la que se desea alimentar la mezcla, mediante el puntero corredizo (NO 1, figura 9).
- 11.- Hacer llegar la mezcla al cambiador de calor.
- 12.- Abrir las válvulas de alimentación de vapor y hacer que el vapor pase por la válvula de control.

#### Técnica de la Práctica.

- 1.- Obtener la concentración de la alimentación, así como su temperatura. Con ésto queda fija la línea de alimentación
- 2.- Alimentar la carga a la columna por medio de la bomba de alimentación, hasta inundar el segundo plato (del fondo hacia arriba.)
- 3.- Cerrar la alimentación, conectar y alinear el sistema de manera que trabaje a reflujo total, hacer pasar agua por los condensadores.
- 4.- Permitir el paso del vapor de calandria de la columna y permitir que la columna se estabilice a reflujo total.
- 5.- Seleccionar un reflujo de operación, con él trazar las líneas de enriquecimiento y agotamiento, dibujar éstas sobre el diagrama de equilibrio y trazar también en el la línea efectiva de equilibrio. Dibujar el número de platos reales y ver en qué plato se debe alimentar.
- 6.- Una vez seleccionada el plato de alimentación, fijar la alimentación y el reflujo en la columna y hechar a andar -

la bomba de alimentación.

- 7.- Por arriba de la columna se debe estar sacando producto - destilado, el cual se debe medir y analizar.
- 8.- Por el fondo de la columna se debe estar sacando producto, el cual se debe medir y analizar.
- 9.- Tanto los productos destilados como los fondos pasan por cambiadores de calor, que los enfrían y de allí a los tanques de productos. Los tanques de productos deben estar conectados con el tanque de alimentación de manera que se mezclen en él y que la operación pueda hacerse continua.
- 10.- Tomar temperaturas, presiones, gastos y muestras de las concentraciones de los fondos y del producto destilado.

#### Cálculos.

Presentar el diagrama de equilibrio mostrando las líneas de operación, la de equilibrio y la de equilibrio efectiva.

Presentar el cálculo del número de etapas reales y la ubicación del plato de alimentación.

Presentar el cálculo del vapor consumido y del agua de enfriamiento usada.

#### Bibliografía.

Mc. Cabe and Smith: Operations in Chemical Engineering.

Treybal: Mass Transfer Operations.

Van Winkle: Distillation.

Tesis: Juan Manuel Alvarez Contreras. (1978)

Experimentos de F.Q. Urquiza

## CONCLUSIONES:

Después de realizar varias corridas en la torre, utilizando el equipo de control automático se encontró que la temperatura se normaliza en 30 minutos en las condiciones deseadas.

El manual de instalación, operación y servicio del control automático es la ayuda necesaria, para el manejo adecuado del equipo, en el que se indican los pasos de calibración cuando se necesita hacer algún ajuste en la práctica.

Para facilitar la explicación del método de calibración se han integrado fotografías de las partes más importantes.

El uso del control automático permitirá mantener la temperatura de alimentación adecuada para las prácticas, lo cual nos deja alimentar la mezcla a diferentes temperaturas desde la ambiental hasta la de saturación.

Los datos de propiedades Físico-Químicas de la mezcla benceno-tolueno, necesarios para la práctica son presentados tanto en forma de tablas como en gráficas.

## REFERENCIAS:

- 1) HALA, PICK, FRIED Y VILIM "VAPOR LIQUID EQUILIBRIUM" 2a. ED. TRADUCIDA POR G. STANDART, PERMAGON PRESS, - LONDON 1958.
- 2) TIMMERMANS "THE PHYSICO-CHEMICAL CONSTANTS OF BINARY SYSTEMS" INTERSCIENCE PUBLISHER, INC. NEW YORK 1959 VOL. - 1 PAGINA 128.
- 3) JOHN H. PERRY "CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK", 4a. ED. Mc GRAW - HILL PAGINAS 3 - 47, 3 - 58.
- 4) "INTERNATIONAL CRITICAL TABLES" Mc GRAW - HILL 1933 VOL. - 3 PAGINAS 223 Y 244.
- 5) TREYBAL "MASS TRANSFER OPERATIONS", 2a. ED. PAGINAS 178 Y 179.
- 6) JOHN H. PERRY "CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK" 4a. ED. Mc GRAW - HILL PAGINA 4-48.
- 7) "INTERNATIONAL CRITICAL TABLES" Mc GRAW - HILL 1933 VOL. 5 PAGINA 138.
- 8) "INTERNATIONAL CRITICAL TABLES" Mc GRAW - HILL 1933 VOL. 5 PAGINA 128.
- 9) VAN WINKLE "DISTILATION" PAGINA 248.