



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

INVESTIGACION DE SUBSTANCIAS PARA LA  
REFRIGERACION POR ABSORCION

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRISISTA

P R E S E N T A:

*Manuel Fausto Martínez Díaz*

MEXICO, D. F.

1982



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## Indice

### CAPITULO I Máquinas de Refrigeración por Absorción

#### Proyecto del Empleo de Absorbentes Orgánicos, I

- I.1 Teoría de absorción, I
- I.2 La absorción utilizada para producir efectos refrigerantes, 3
- I.3 Ley de Dalton, Sistema de absorción amoníaco - agua, 4
- I.4 Experimento de Faraday, Sistema de absorción bromuro de litio - agua, 6
- I.5 Principales absorbentes utilizados en los sistemas de absorción, 9
- I.6 Proyecto del empleo de absorbentes orgánicos, II

### CAPITULO II Análisis teórico, 13

- II.1 Presión de vapor de las soluciones, 13
- II.2 Análisis teórico para el propileno glicol, 16
- II.3 Resumen de valores y gráficas, 30
- II.4 Análisis teórico para el monoetilen glicol, 38
- II.5 Resumen de valores y gráficas, 53
- II.6 Análisis teórico para el trietilen glicol, 60
- II.7 Resumen de valores, 71
- II.8 Consideraciones teóricas, 73

### CAPITULO III SECCION EXPERIMENTAL

- III.1 Introducción, 74
- III.2 Primera sección de pruebas; Valores obtenidos y su representación, 75
- III.3 Segunda sección de pruebas; Valores obtenidos, 101
- III.4 Observaciones para esta prueba, 112
- III.5 Tercera sección de pruebas, valores obtenidos y su representación, 118
- III.6 Observaciones para esta prueba, 126
- III.7 Conclusiones, 127

## PROLOGO

En edificios destinados a ser utilizados para diversos servicios, existe la tendencia a proporcionar a los usuarios condiciones ambientales de confort; por otra parte en la actualidad el costo de los energéticos se ha aumentado considerablemente, esto aunado a lo anterior, plantea la decisión de instalar y utilizar equipos de refrigeración y aire acondicionado que operen a costo bajo y de funcionamiento adecuado.

Existe en el mercado un equipo denominado "Máquina de Refrigeración por Absorción", que puede dar una alternativa de solución.

Con el descubrimiento casual de la absorción del amoniaco en cloruro de plata por Michael Faraday, en años anteriores, se dio, la pauta para la innovación de una serie de ciclos refrigerantes que este principio; esto no es de uso común en el presente, por utilizarse más la refrigeración por compresión.

En la actualidad se utiliza el principio de la absorción en, grandes máquinas para enfriamiento de agua, para utilizarse en diversos equipos de aire acondicionado en grandes edificaciones.

Al hacer una instalación debe hacerse una selección entre los equipos existentes, a saber: sistemas de refrigeración de tipo centrífugos, sistemas de refrigeración por compresión y sistemas de, refrigeración por absorción.

Los sistemas de absorción son ideales pues operan con una fuente externa o interna de calor para realizar el ciclo de refrigeración. La fuente externa de calor puede proceder de diversos medios por eje. si se dispone de generadores de vapor, el calor puede obtenerse de vapor de desecho, también puede utilizarse gases de los escapes en caso de motores de combustión interna o el agua de enfriamiento de los mismos; solamente se utiliza energía eléctrica en bombas y equipos de control. Debido a esto su operación es sumamente económica comparada con los otros sistemas mencionados.

Sin embargo estos equipos son sumamente caros por estar fabricados de materiales especiales por causa de los absorbentes empleados, además la operación debe ser sumamente cuidadosa para evitar los efectos de corrosión que puedan presentarse.

Aun con las desventajas que presentan son competitivas en el mercado por causa de como se ha indicado su operación es económica.

Este estudio que se presenta esta enfocado al análisis de diferentes tipos de soluciones absorbentes con características higroscópicas similares a las que presenta el Bromuro de Litio que es el absorbente tipo utilizado en la actualidad; Particularmente se tenía propuesta de antemano una sustancia: los Glicoles, la razón es que aun sin saber realmente si son sustancias absorbentes, se utiliza especialmente el Trietilen Glicol para deshidratar gas natural previniendo de esta forma la corrosión de las líneas conductoras.

Se divide este análisis en tres capítulos, en el primero se hace mención del fenómeno de la absorción, sin entrar en una descripción rigurosa y matemática con la que se trata este tema; seguidamente se hace mención a los principios en que se basan los sistemas más comunes de absorción y una descripción de ellos, posteriormente se describen las razones para proponer otros tipos de absorbentes. En el segundo capítulo se presenta un desarrollo teórico, en que utilizando la ley de Raoult se determina la presión de vapor de las sustancias propuestas y su representación gráfica, además una consideración teórica que da una visión de los objetivos que se pretenden obtener. El tercer capítulo esta enfocado en su totalidad al análisis experimental, con diversas pruebas para, obtener los parámetros y ser comparados con el análisis teórico.

## CAPITULO I

### Máquinas de Refrigeración por Absorción Proyecto del Empleo de Absorbentes Orgánicos

#### I.1 TEORIA SOBRE ABSORCION

Absorción se define como una acumulación o concentración de una substancia sobre una superficie o interfase de otra substancia y en ciertos casos se acompaña de reacción química.

Para describir con cierta claridad el fenómeno de la absorción se recurre al de la adsorción, ya que sobre este se han desarrollado diversas teorías, además en los tratados existentes se menciona que la adsorción incluye cualquier absorción o pueden estar ocurriendo simultáneamente.<sup>(1)</sup>

TEORIA DE LANGMUIR.- La teoría de Langmuir<sup>(2)</sup> considera la superficie de un adsorbente como consistente de diferentes clases, de niveles atractivos o espacios elementales, dispuestos en un modelo como "superficies de nivel concéntricas." Cuando una molécula de una fase gaseosa\* choca contra un nivel sobre la superficie la molécula se adhiere o condensa en lugar de ser rechazada; no obstante esta no se adhiere indefinidamente, posteriormente perdiendo de la energía térmica y de la intensidad de las fuerzas atractivas las moléculas adsorbidas se evaporan. Primeramente cuando la superficie está vacía el número de moléculas condensadas excede al número de las que se evaporan, cuando la superficie tiende a cubrirse otras moléculas tendrán dificultad en ocupar espacios vacíos, pero en estos espacios esta incrementándose, el número de moléculas escapando a la superficie; cuando el rango de evaporación iguala al de condensación el equilibrio se obtiene

La cantidad adsorbida en equilibrio es una función de los siguientes factores algunos de los cuales están interrelacionados:

\* un mecanismo similar se aplica a moléculas de soluto

- 1.- El tiempo.- El promedio del periodo entre el momento en que se condensa la molécula y su subsecuente evaporación.
- 2.- El número de moléculas adsorbibles, que en estado gaseoso se ve en función de la presión y en el caso de soluciones la concentración.
- 3.- La proporción de la superficie total, área en la cual existe, potencial de atracción específica para las moléculas.
- 4.- El número de capas de moléculas adsorbentes.

La teoría de Langmuir considera la mayor parte de la adsorción como si ocurriera en una capa molecular profunda, aunque se reconoce que las moléculas adsorbentes en estas capas tienen sus campos de fuerza alterados, de este modo son capaz de atraer a una segunda, tercera o más capas de moléculas; esta atracción inducida se hace haciendo más débil y por tanto las moléculas tendrán una permanencia más corta.

HOUGEN (3) plantea su teoría sobre la adsorción y describe:

La adsorción tiene su origen en las fuerzas de atracción existentes entre un gas o soluto y un disecante sólido, estas fuerzas dependen de la estructura física del sólido como también de la naturaleza química de ambos, las fuerzas de atracción disminuyen en forma progresiva con la extensión de la superficie.



## I.2 LA ABSORCIÓN UTILIZADA PARA PRODUCIR EFECTOS REFRIGERANTES.

Se utiliza el termino "Refrigeración por Absorción" para describir un proceso en que utilizando leyes y principios en que se incluye el fenómeno de absorción, puede producir efectos refrigerantes, y sea en máquinas utilizadas como refrigeradores o para producir agua fría utilizada en equipos de aire acondicionado.

Estas máquinas tienen grandes ventajas para hacerlas importantes comparadas con los otros sistemas de refrigeración, entre las principales se tiene: Su funcionamiento es sumamente económico por causa de operar con una fuente externa o interna de calor para producir los efectos refrigerantes, eliminandose los sistemas de compresión, debido a esto su funcionamiento es silencioso y practicamente sin vibraciones.

Se han desarrollado dos tipos de máquinas de absorción, los sistemas a base de amoniaco-agua y los que operan con una sal higroscópica como absorbente, con sus variantes ciclos continuos y ciclos intermitentes.

Las bases y principios fundamentales sobre los que se han desarrollado los procesos para ser utilizados en este tipo de máquinas son:

La ley de Dalton de las presiones parciales para los sistemas que utilizan amoniaco y agua; para los sistemas que operan con un absorbente sólido y agua, no hay una ley que defina su funcionamiento, pero al proceso refrigerante se ha desarrollado basandose en los experimentos del investigador Michael Faraday.

Se describe a continuación la ley de Dalton y un resumen del experimento de Faraday, ademas los ciclos de refrigeración más comunmente utilizados.

### 1.3 LEY DE DALTON

La ley de Dalton de las presiones parciales es el fundamento del principio de operación de uno de los tipos de los sistemas de refrigeración por absorción. Esta ley se expresa de la siguiente forma<sup>(4)</sup>

" La presión total de una mezcla confinada de gases, es la suma de las presiones parciales de todos los gases en la mezcla."

### 1.4 SISTEMA DE ABSORCIÓN AMONIACO-AGUA

Estos sistemas contienen cuatro elementos o secciones de funcionamiento importante para la unidad estas son: la caldera, (generador) condensador, evaporador y absorbedor. Se utiliza amoníaco, como refrigerante, agua como medio absorbente y como gas auxiliar, se emplea hidrógeno.

El generador contiene una solución débil de agua y amoníaco. cuando la solución es calentada, vapor de amoníaco y una parte de la solución débil por causa de su ebullición, son pasadas hacia un separador de agua y amoníaco, el agua se dirige hacia el absorbedor en tanto el vapor de amoníaco es canalizado al condensador donde es enfriado y condensado a líquido. Después de esta operación, el amoníaco se conduce hacia el evaporador, el evaporador y parte del absorbedor contienen gas hidrógeno.

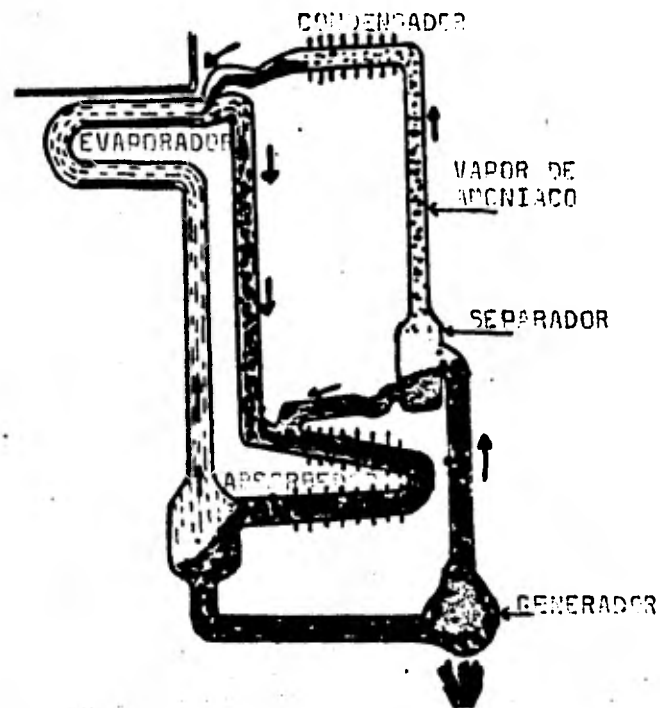
Conforme a la ley de Dalton en una mezcla de gases, cada gas, desarrolle su propia presión de vapor, por lo tanto en este sistema de amoníaco-agua, en el espacio en el cual se tiene el hidrógeno, se mantiene una presión y temperaturas muy bajas, condiciones, a las que esta este gas. Puesto que el hidrógeno ocupa una gran parte del espacio, al pasar el amoníaco a esta sección que es el evaporador y por efecto de la baja presión existente, se produce su evaporación absorbiendo calor del espacio circundante y con esto, produciéndose los efectos de refrigeración.

La mezcla de gas amoníaco e hidrógeno formada en el evaporador fluyen hacia la sección del absorbedor, en el absorbedor se encuentra agua que esta relativamente fría y absorbe los vapores de amoníaco.

La solución de amoníaco-agua formada se retorna al generador el hidrógeno que va hacia el absorbedor con el amoníaco, no es absorbido por el agua y es retornado al evaporador como gas ya limpio la solución débil de agua y amoníaco nuevamente se utilizaran con el

cambio de calor, completando el ciclo. (5)

Representación esquemática de un ciclo continuo de refrigeración por absorción, utilizando amoníaco, hidrógeno y agua en el circuito.



- AMONIACO LIQUIDO
- VAPOR DE AMONIACO
- HIDROGENO
- AGUA
- AMONIACO DISUELTO

## 1.5 EXPERIMENTO DE FARADAY

Varias clases de absorbentes sólidos tienen desarrollo reciente y están siendo utilizados para los equipos de refrigeración.

Para todas estas clases de absorbentes su aplicación depende, del experimento original de Faraday, que se transcribe de la siguiente forma:

Al través de experimentos que el científico realizó analizando amoniaco para tratar de obtener un cambio de estado de la sustancia, pues se consideraba tener un gas "fijo" es decir se creía como imposible el cambio de estado en sólido o líquido.

Faraday utilizó el cloruro de plata en forma de un polvo de color blanco el cual pudo absorber grandes cantidades de vapor de amoniaco, cuando el polvo absorbió todo el vapor, se colocó el compuesto de cloruro de plata-amoniaco en un tubo de prueba en forma de una "V" invertida.

Faraday calentó la parte final del tubo que contenía el polvo y al mismo tiempo enfrió el lado opuesto del tubo con agua. El calor liberó vapor de amoniaco, se vertieron gotas de destilado de un líquido incoloro que comenzaron a aparecer en la parte fría del tubo, era amoniaco líquido.

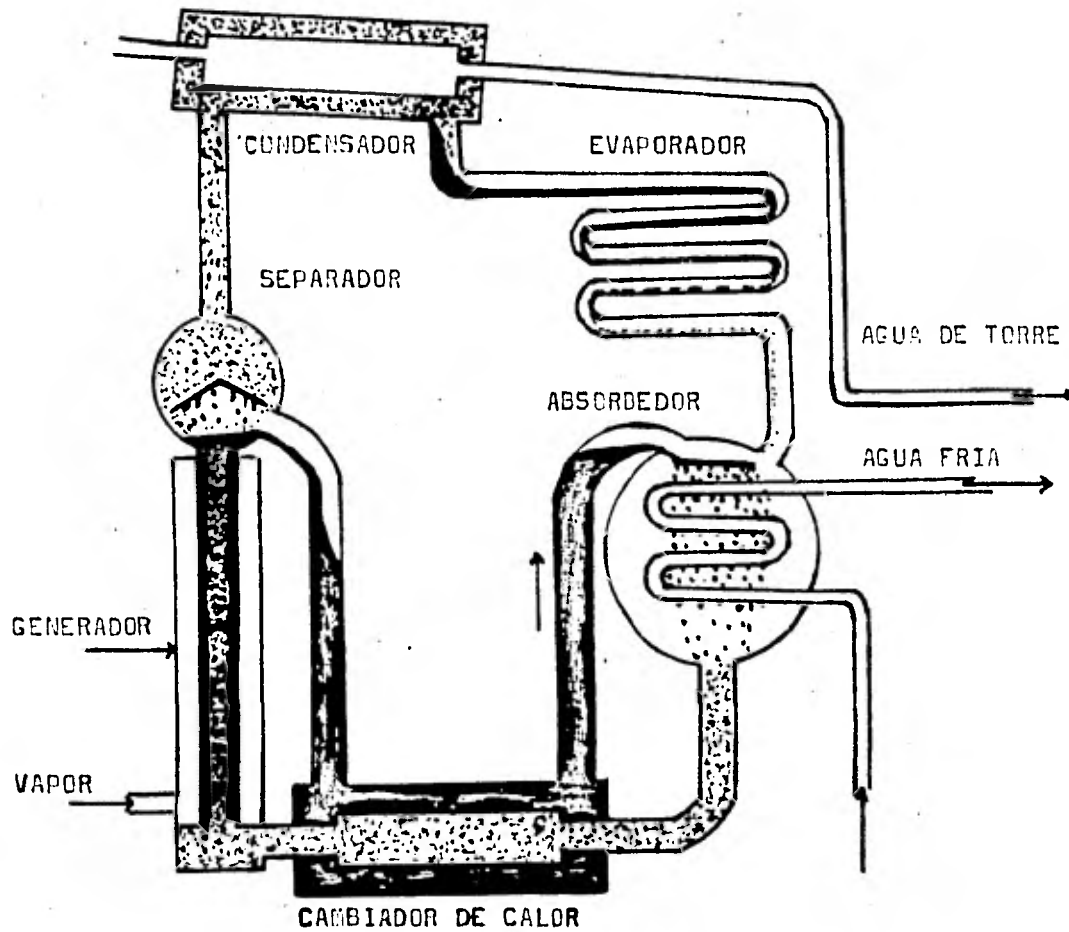
Se continuó el proceso de calentamiento hasta que fué suficiente amoniaco líquido para su proyecto o propósito, se calculó aproximadamente el calor removido al enfriar el destilado y se observó la sustancia obtenida.




Posteriormente se notó algo no usual, el amoniaco líquido en lugar de quedar estable en el fondo del tubo de prueba, empezó a burbujear y hervir violentamente, el líquido estuvo cambiando rápidamente a la forma de vapor y el vapor a la vez fué siendo reabsorbido por el polvo.

Tocando el fin del tubo conteniendo el líquido hirviente lo sintió intensamente frío, el amoniaco en el cambio de líquido a la forma de vapor removió calor, tomándolo del elemento más cercano, que fué el propio tubo.

En un tiempo muchos ciclos refrigerantes utilizaron este principio, esto no es de uso común en el presente, como quiera que sea los diversos mecanismos de enfriamiento de aire están teniendo desarrollo basándose sobre este principio.

Ciclo de refrigeración por absorción el cual usa Agua como refrigerante y Bromuro de Litio como absorbente. (5)



-  Solución fuerte de Bromuro de Litio
-  Solución débil
-  Refrigerante (agua)

Descripción de los elementos mostrados en la figura anterior.

- GENERADOR.- Elemento en que se produce mediante el suministro de calor la ebullición de la solución débil.
- SEPARADOR.- En esta sección el vapor de agua es separado de la solución fuerte de Bromuro de Litio.
- CONDENSADOR.- Con agua proveniente de una torre de enfriamiento en esta parte del equipo el vapor de agua es enfriado y pasa al estado líquido.
- EVAPORADOR.- Debido a la baja presión existente en esta parte, del equipo, el agua (refrigerante) cambia a vapor, tomando calor del sistema por enfriar.
- ABSORBEDOR.- Por causa de la propiedad higroscópica del Bromuro de Litio, el vapor de agua es absorbido por la solución fuerte de Bromuro de Litio.
- CAMBIADOR DE CALOR.- Parte del equipo, en que la solución caliente de bromuro de litio-agua procedente del generador, es enfriada por solución del absorbedor.

## 1.6 PRINCIPALES ABSORBENTES UTILIZADOS EN LOS SISTEMAS DE ABSORCION

### AMONIACO.

Es un líquido refrigerante y absorbente al cual es generalmente usado en sistemas industriales. Es un compuesto químico de nitrógeno e hidrógeno y bajo condiciones ordinarias es un gas incoloro. Su temperatura de ebullición a presión atmosférica es  $-33^{\circ}\text{C}$  y, su punto de congelación es de  $-78^{\circ}\text{C}$ . Este bajo punto de ebullición hace posible tener refrigeración a temperaturas considerables bajo cero sin utilizar presiones abajo de la atmosférica en el evaporador. Los vapores de amoníaco son extremadamente solubles en agua.

El amoníaco es sumamente volátil, no es inflamable solo se quema a flama directa, sin embargo bajo ciertas condiciones y en presencia con el aire forma una mezcla explosiva, también con vapores o humos de lubricantes. Su acción sobre el sistema respiratorio es de efectos graves pues es sumamente irritante de mucosas y ojos.

El amoníaco bajo la presencia de agua ataca el cobre y bronce, no reacciona con los metales ferrosos. (6)

### BROMURO DE LITIO.

Este es un sólido generalmente de color blanco, sus propiedades físicas son:

- Punto de fusión  $547^{\circ}\text{C}$
- Punto de ebullición  $1265^{\circ}\text{C}$

Debido a su alta afinidad a absorber humedad, las soluciones, son usadas comercialmente para sistemas de aire acondicionado, también es utilizado en la deshidratación de aceites.

Debido a que es un compuesto de metal alcalino presenta ciertas tendencias de corrosión. Esto es debido a la estructura atómica que presentan estos metales.

En el análisis de los sistemas convencionales de refrigeración por absorción utilizados, como equipos para acondicionar aire, se denota el costo de los mismos y las desventajas, que estos presentan. (10)

En los sistemas que funcionan con Bromuro de Litio y Agua, el costo es muchas veces prohibitivo para uso doméstico e instalaciones pequeñas, ya que como se anotó al describir este absorbente, las soluciones son corrosivas; Por tal causa se hace necesario la utilización de materiales especiales y caros en la construcción de estos equipos, como es el acero inoxidable tanto en tuberías como en sistemas de bombeo.

Además aunado al costo del material empleado, se tiene el de la solución absorbente que es también muy elevado.

En los sistemas que operan con amoníaco y agua su uso es cada vez menor debido a las grandes desventajas y riesgos que presenta el utilizar amoníaco e hidrógeno, ya que existe la probabilidad de fugas de los gases utilizados. Además como reacciona el amoníaco con el cobre y bronce se utilizan materiales como el acero o aluminio en la fabricación de los equipos.

Como el objetivo principal de la presente es el de encontrar e investigar soluciones absorbentes y su posible utilización en los equipos de absorción, para tratar de minimizar tanto costo como riesgos que presentan actualmente, se planteó el investigar otras sustancias que presenten características absorbentes.



## I.7 PROYECTO DEL EMPLEO DE ABSORBENTES ORGANICOS

Para la elaboración de un estudio sobre la posible utilización de este tipo de absorbentes, se desarrolló el análisis bajo los siguientes aspectos:

### I.- RAZONES PARA PROPONER ABSORBENTES ORGANICOS

Primeramente se analizaron soluciones con características absorbentes de tipo inorgánico, encontrándose en algunas de estas valores de solubilidad muy altos, que funcionarían muy bien al ser utilizadas como absorbentes, pero se presentarían problemas en el manejo de estas soluciones y en algunos casos se modificaría el equipo. Las sustancias con mayor valor de solubilidad de tipo inorgánico son: (7)

Sustancia	Solubilidad en 100 partes	
	agua fría	agua caliente
-- Cloruro de aluminio	400	--
-- Acido iódico	286	576
-- Cloruro de manganeso	281	918
-- Acido ortofosfórico	2340	--
-- Acido selénico	1340	--
-- Acido sulfúrico	-	-

De los valores de solubilidad anotados se observa que el ácido sulfúrico sería la sustancia absorbente más ideal para el proceso analizado, pero con referencia a las propiedades de las soluciones de estas sustancias tanto físicas como químicas, se encuentra que no se obtendrían ventajas al ser utilizadas, por causa de que son bases y ácidos muy corrosivos y de difícil manejo, descartándose para ser analizadas. Por lo anterior se propuso la investigación de sustancias con características absorbentes de tipo orgánico.

### 2.- SUSTANCIAS SUSCEPTIBLES DE EMPLEO

Al analizar los rangos de solubilidad en agua de las sustancias y compuestos orgánicos (7) se encontraron valores muy altos, ideales para lo establecido en el proyecto y por lo general supe

rior a los encontrados con soluciones inorgánicas.

Las sustancias con mayor valor de solubilidad en agua encontradas son:

Sustancia	Solubilidad en 100 partes.	
	agua fría	agua caliente
-- Acido acético	∞	∞
-- Etilamine	∞	∞
-- Glicol	∞	∞
-- Alcohol Metílico	∞	∞
-- Alcohol Propílico	∞	∞
-- Trietilamina	∞	∞

El realizar la investigación con todas las sustancias anotadas sería impracticable por razón de que algunas de éstas presentan desventajas que harían peligroso su manejo en los sistemas de ensayo como es su alta inflamabilidad en el caso de los alcoholes y quemaduras con los ácidos, por esta causa se decidió analizar un solo tipo de sustancia: los Glicoles. Las razones que condujeron a esta decisión son varias, entre estas se tiene: son sustancias muy comerciales, de costo bajo y de producción a escala industrial, con una variedad de este tipo de sustancias, además actualmente se emplean como anticongelantes, salmueras y en el secado de gas natural. No presentan desventajas como toxicidad o volatilidad y no reaccionan con metales u otros compuestos.

### 3.- SISTEMAS DE PRUEBA

La información que se requiere para este desarrollo, es decir analizar los glicoles como sustancias absorbentes es sumamente escasa y no tiene el enfoque requerido, por tanto se realizó la investigación en forma experimental, con pruebas y ensayos en modelos de equipo a nivel laboratorio.

El contenido de la investigación está dividido en dos partes. una parte teórica en que utilizando leyes y principios para las soluciones a diversas concentraciones de los glicoles y una parte experimental con diversos ensayos y pruebas.

## CAPITULO II

### Análisis Teórico

#### II.1 PRESION DE VAPOR DE LAS SOLUCIONES

Uno de los parámetros a determinar como parte fundamental es la variación de la presión de vapor de las soluciones por analizar ya que la absorción como se anotó al describir el fenómeno, depende de la concentración y la presión de vapor varia como se describe a continuación con la concentración.

Para soluciones ideales se tiene que la presión de vapor se , rige bajo el siguiente principio:<sup>(B)</sup>

Cuando dos líquidos son miscibles en toda proporción las propiedades de la mezcla cambian en forma continua a medida que se añade uno u otro constituyente. La presión de vapor de tales mezclas no es nunca la suma de las presiones de vapor de los constituyentes aislados, sino que puede: (a) variar progresivamente entre la de un líquido y la del otro, (b) alcanzar un máximo para una determinada composición o (c) alcanzar un mínimo a una composición también determinada.

#### CASO (a) PRESION DE VAPOR UNIFORMEMENTE VARIABLE

Estas mezclas obedecen a la ley de RAULT, generalización de, una gran importancia en particular por el estudio de sólidos en líquidos, dicha ley establece que: "El descenso relativo de la presión de vapor de una solución es igual al cociente entre el número de MOLS de soluto y el número de MOLS en la solución."

Esto es a decir:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{N}{(N + n)}$$

Donde P es la presión de vapor y  $\Delta P$  es el descenso de la presión de vapor originado por la adición de n MOLS de soluto a los N MOLS de solvente.

Al destilar mezclas de líquidos miscibles en todas proporciones, la composición del vapor será distinta de la del líquido residual, pues las mezclas ricas en el componente más volátil hervirán primero, de modo que se recojen fracciones más ricas o más pobres en ese componente.

Otra forma de expresar la ley de RAUOLT es:

$$p_a = p_a^0 X_a$$

En donde  $p_a$  es la presión de vapor de la sustancia sobre la solución en la que su fracción molar es  $X_a$ .  $p_a^0$  es la presión de vapor de la sustancia pura a la temperatura que interesa.

En un sistema de dos componentes:

$$X_a + X_b = 1$$

y por consiguiente

$$p_a = p_a^0 ( 1 - X_b )$$

por reordenación se obtiene:

$$p_a = p_a^0 - p_a^0 X_b$$

$$p_a + p_a^0 X_b = p_a^0$$

$$p_a^0 X_b = p_a^0 - p_a$$

$$X_b = \frac{p_a^0 - p_a}{p_a^0} = 1 - \frac{p_a}{p_a^0}$$

$$X_b = 1 - \frac{p_a}{p_a^0}$$

En esta ecuación se muestra que el descenso de presión de vapor de un solvente es proporcional a la concentración del soluto.

Tabla de valores de Presión de Vapor de agua (4)

T °C	P <sub>v</sub> (Kgf/cm <sup>2</sup> )	P <sub>v</sub> ( mm Hg )
5	0.0088	6.47
10	0.0125	9.196
15	0.0173	12.72
20	0.0238	17.51
25	0.0322	23.69
30	0.0432	31.78
35	0.057	41.93
40	0.075	55.17
45	0.0977	71.87
50	0.125	91.96
55	0.160	117.61
60	0.203	149.35
65	0.257	187.60
70	0.317	233.22
75	0.393	289.13
80	0.482	354.61
85	0.589	433.33
90	0.714	525.30
95	0.861	633.45
100	1.033	760
105	1.231	905.67
110	1.460	1074.15

## II.2 ANALISIS TEORICO PARA EL PROPILEN GLICOL

Tabla de valores de Presión de Vapor<sup>(9)</sup>

T °C	P <sub>v</sub> (mm Hg)
5	0.044
10	0.088
15	0.132
20	0.176
25	0.22
30	0.306
35	0.393
40	0.480
45	0.567
50	0.652
55	0.738
60	0.824
65	0.911
70	1.0
75	3.521
80	6.045
85	8.470
90	10.95
95	13.42
100	15.919
105	18.419
110	20.914
115	23.383
120	25.85

- 0 -

Propiedades de los constituyentes.

.- Densidad relativa del Propilen Glicol <sup>(9)</sup>

$$\rho = 1.033$$

.- Peso molecular del Propilen Glicol

$$P_m = 76.1$$

.- Densidad del Agua

$$\rho = 1.0$$

.- Peso molecular del Agua

$$P_m = 18.0153$$

DESARROLLO.

I.- Calculando para el 95 % de concentración y considerando:

190 cm<sup>3</sup> de Propilen Glicol

10 cm<sup>3</sup> de agua

a) .- Cálculo de las masas de los constituyentes.

$$M = Vol \times \rho$$

Para el Propilen Glicol

$$M = 190 \times 1.033$$

$$= 196.27 \text{ g}$$

para el Agua

$$M = 10 \times 1$$

$$= 10 \text{ g}$$

ai) .- Total de masa

$$M_t = 222.61 \text{ g}$$

b) .- Cálculo de los gramos mole

$$G_{\text{mole}} = \frac{\text{Masa en Gramos}}{\text{Peso Molecular}}$$

$$G_{\text{mole}} = \frac{196.27}{76.1}$$

$$= 2.57 \text{ gramo mole para el Propilen - Glicol}$$

para el Agua.

$$G_{\text{mole}} = \frac{10}{18.0153}$$
$$= 0.555 \text{ g-mole}$$

bi) .- Total

$$206.27 = 3.125 \text{ g-mole}$$

c) .- Presión de Vapor

Utilizando la expresión de la ley de RAULT

$$\Delta P = P \left( \frac{n}{n+N} \right)$$

Analizando en el intervalo de ( 5 - 110 °C ) y tomando los valores de  $P_v$  de las tablas correspondientes.

$$P_v = 0.044 \text{ mmHg para el Propilen Glicol}$$

$$P_v = 6.47 \text{ para el agua}$$

ci) .- Para el propilen Glicol

$$P = 0.044 \times \frac{2.57}{3.125}$$
$$= 0.036 \text{ mm Hg}$$

cii) .- Para el Agua

$$P = 6.47 \times \frac{0.555}{3.125}$$
$$= 1.149 \text{ mm Hg}$$

ciii) .- Para el total de  $P_v$  a la temperatura correspondiente se suman los incrementos de presión.

$$P_v \Big|_{5^{\circ}\text{C}} = 1.185 \text{ mm Hg}$$

La secuencia de calculo es la misma, para el rango de temperatura seleccionado, los incisos a, ai, b y bi no varían, solo variarían al analizar otro valor de concentración.



Para 10 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.088 \times 0.822 \\ &= 0.072 \text{ mm Hg para el Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 9.196 \times 0.177 \\ &= 1.627 \text{ mm Hg para el Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 1.699 \text{ mm Hg}$$

Para 20 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.176 \times 0.822 \\ &= 0.144 \text{ mm Hg para el Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 17.51 \times 0.177 \\ &= 3.099 \text{ mm Hg para el Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 3.243 \text{ mm Hg}$$

Para 30 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.306 \times 0.822 \\ &= 0.251 \text{ mm Hg para el Propilen}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 31.78 \times 0.177 \\ &= 5.876 \text{ mm Hg para el Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 5.876 \text{ mm Hg}$$

Para 40 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.480 \times 0.822 \\ &= 0.394 \text{ mm Hg - Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 55.17 \times 0.177 \\ &= 9.765 \text{ mm Hg - Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 10.159 \text{ mm Hg -}$$

Para 50 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.652 \times 0.822 \\ &= 0.535 \text{ mm Hg - Propiel Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 91.96 \times 0.177 \\ &= 16.811 \text{ mm Hg - Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 16.811 \text{ mm Hg}$$

Para 60 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.824 \times 0.822 \\ &= 0.677 \text{ mm Hg} - \text{Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 149.35 \times 0.177 \\ &= 26.43 \text{ mm Hg} - \text{Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 27.111 \text{ mm Hg}$$

Para 70 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 1 \times 0.822 \\ &= 0.822 \text{ mm Hg} - \text{Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 233.22 \times 0.177 \\ &= 41.27 \text{ mm Hg} - \text{Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 42.101 \text{ mm Hg}$$

Para 80 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 6.045 \times 0.822 \\ &= 4.968 \text{ mm Hg} - \text{Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 354.61 \times 0.177 \\ &= 62.78 \text{ mm Hg} - \text{Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 67.751 \text{ mm Hg}$$

Para 90 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 10.945 \times 0.822 \\ &= 8.996 \text{ mm Hg} - \text{Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 525.30 \times 0.177 \\ &= 92.97 \text{ mm Hg} - \text{Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 101.97 \text{ mm Hg}$$

Para 100 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 15.919 \times 0.822 \\ &= 13.085 \text{ mm Hg} - \text{Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 760 \times 0.177 \\ &= 134.52 \text{ mm Hg} - \text{Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 147.60 \text{ mm Hg}$$

Para 110 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 20.914 \times 0.822 \\ &= 17.191 \text{ mm Hg} - \text{Propilén Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 1074.15 \times 0.177 \\ &= 190.12 \text{ mm Hg} - \text{Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 207.31 \text{ mm Hg}$$

- o -

Propilén Glicol. análisis al 90 % de concentración.

Considerando:

180 cm<sup>3</sup> de Propilén Glicol

20 cm<sup>3</sup> de Agua

a) .- Cálculo de las masas de los constituyentes:

$$\begin{aligned}m &= 180 \times 1.033 \\ &= 185.94 \text{ g} - \text{para el Propilén Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= 20 \times 1 \\ &= 20 \text{ g} - \text{para el Agua}\end{aligned}$$

ai) .- Total de masa

$$m_t = 205.94 \text{ g}$$

b) .- Cálculo de los gramos mole

$$\begin{aligned}G_{\text{mole}} &= \frac{185.94}{76.1} \\ &= 2.443 \text{ gramo mole} - \text{para el Propilén Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}G_{\text{mole}} &= \frac{20}{18.0153} \\ &= 1.110 \text{ gramo mole} - \text{para el Agua}\end{aligned}$$

bi) .- Total

$$205.94 = 3.553 \text{ gramo mole}$$

c) .- Presión de Vapor de los constituyentes, en el intervalo de temperatura de ( 5 - 110 °C )

Para 5 °C

$$\Delta P = 0.044 \times \frac{2.443}{3.553}$$

= 0.0302 mm Hg para el Propilen Glicol

$$\Delta P = 6.47 \times \frac{1.110}{3.553}$$

= 2.051 mm Hg para el agua

Para 10 °C

$$\Delta P = 0.068 \times 0.687$$

= 0.060 mm Hg para el Propilen Glicol

$$\Delta P = 9.196 \times 0.312$$

= 2.869 mm Hg para el agua

$$P_v = 2.929 \text{ mm Hg}$$

Para 20 °C

$$\Delta P = 0.176 \times 0.687$$

= 0.120 mm Hg para el Propilen Glicol

$$\Delta P = 17.51 \times 0.312$$

= 5.436 mm Hg para el agua

$$P_v = 5.583 \text{ mm Hg}$$

Para 30 °C

$$\Delta P = 0.306 \times 0.687$$

= 0.120 mm Hg para el Propilen Glicol

$$\Delta P = 31.78 \times 0.312$$

= 9.915 mm Hg para el agua

$$P_v = 9.705 \text{ mm Hg}$$

Para 40 °C

$$\Delta P = 0.480 \times 0.687$$

= 0.210 mm Hg para el Propilen Glicol

$$\Delta P = 55.17 \times 0.312$$

= 17.213 mm Hg para el agua

$$P_v = 17.542 \text{ mm Hg}$$

Para 50 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.652 \times 0.687 \\ &= 0.447 \text{ mm Hg} \quad \text{- Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 91.96 \times 0.312 \\ &= 28.69 \text{ mm Hg} \quad \text{- Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 29.138 \text{ mm Hg}$$

Para 60 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.824 \times 0.687 \\ &= 0.566 \text{ mm Hg} \quad \text{Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 149.35 \times 0.312 \\ &= 46.59 \text{ mm Hg} \quad \text{- Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 47.163 \text{ mm Hg}$$

Para 70 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 1 \times 0.687 \\ &= 0.687 \text{ mm Hg} \quad \text{- Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 233.22 \times 0.312 \\ &= 72.764 \text{ mm Hg} \quad \text{- agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 73.451 \text{ mm Hg}$$

Para 80 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 6.045 \times 0.687 \\ &= 4.152 \text{ mm Hg} \quad \text{- Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 354.61 \times 0.312 \\ &= 110.63 \text{ mm Hg} \quad \text{- Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 114.790 \text{ mm Hg}$$

Para 90 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 10.945 \times 0.687 \\ &= 7.519 \text{ mm Hg} \quad \text{- Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 525.30 \times 0.312 \\ &= 163.89 \text{ mm Hg} \quad \text{- Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 171.05 \text{ mm Hg}$$

Para 100 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 15.919 \times 0.687 \\ &= 10.936 \text{ mm Hg} \quad - \text{ Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 760 \times 0.312 \\ &= 237.12 \text{ mm Hg} \quad - \text{ Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 248.056 \text{ mm Hg}$$

Para 110 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 20.914 \times 0.687 \\ &= 14.367 \text{ mm Hg} \quad - \text{ Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 1074.15 \times 0.312 \\ &= 335.134 \text{ mm Hg} \quad - \text{ Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 349.50 \text{ mm Hg}$$

- o -

Propilen Glicol. Analisis al 80 % de concentración.  
considerando:

160 cm<sup>3</sup> de Propilen Glicol

40 cm<sup>3</sup> de Agua

a) .- Masa de los constituyentes

$$\begin{aligned}M &= 160 \times 1.033 \\ &= 165.28 \text{ g} \quad \text{para el Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M &= 40 \times 1 \\ &= 40 \text{ g} \quad \text{para el agua}\end{aligned}$$

ai) .- Total de masa

$$M_t = 205.28 \text{ g}$$

b) .- Cálculo de los gramos mole

$$G_{\text{mole}} = \frac{165.28}{76.1}$$

$$= 2.17 \text{ gramo mole} \quad \text{para el Propilen Glicol}$$

$$G_{\text{mole}} = \frac{40}{18.0153}$$

= 2.22 gramo mole para el Agua

c) .- Presión de vapor de los constituyentes, en el intervalo de temperatura de ( 5 - 110 °C )

Para 5 °C

$$\Delta P = 0.044 \times \frac{2.17}{4.39}$$

= 0.0217 mm Hg del Propilén Glicol

$$\Delta P = 6.476 \times \frac{2.22}{4.39}$$

= 3.270 mm Hg del Agua

$$P_v = 3.292 \text{ mm Hg}$$

Para 10 °C

$$\Delta P = 0.088 \times 0.494$$

= 0.0434 mm Hg del Propilén Glicol

$$\Delta P = 9.196 \times 0.505$$

= 4.643 mm Hg del Agua

$$P_v = 4.687 \text{ mm Hg}$$

Para 20 °C

$$\Delta P = 0.176 \times 0.494$$

= 0.086 mm Hg del Propilén Glicol

$$\Delta P = 17.51 \times 0.505$$

= 8.842 mm Hg del Agua

$$P_v = 8.928 \text{ mm Hg}$$

Para 30 °C

$$\Delta P = 0.306 \times 0.494$$

= 0.151 mm Hg del Propilén Glicol

$$\Delta P = 31.78 \times 0.505$$

= 16.14 mm Hg del Agua

$$P_v = 16.295 \text{ mm Hg}$$

Para 40 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.480 \times 0.494 \\ &= 0.237 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 55.17 \times 0.505 \\ &= 27.860 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 28.097 \text{ mm Hg}$$

Para 50 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.652 \times 0.494 \\ &= 0.322 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 91.90 \times 0.505 \\ &= 46.431 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 46.761 \text{ mm Hg}$$

Para 60 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.824 \times 0.494 \\ &= 0.407 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 149.35 \times 0.505 \\ &= 75.421 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 75.820 \text{ mm Hg}$$

Para 70 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 1 \times 0.494 \\ &= 0.494 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 233.22 \times 0.505 \\ &= 117.77\end{aligned}$$

$$P_v = 118.27$$

Para 80 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 6.045 \times 0.494 \\ &= 2.986 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 354.61 \times 0.505 \\ &= 179.07 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 182.056 \text{ mm Hg}$$



Para 90 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 10.945 \times 0.494 \\ &= 5.406 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 325.30 \times 0.505 \\ &= 265.27 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_V = 270.68 \text{ mm Hg}$$

Para 100 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 15.919 \times 0.494 \\ &= 7.863 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 760 \times 0.505 \\ &= 383.80 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_V = 391.66 \text{ mm Hg}$$

Para 110 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 20.914 \times 0.494 \\ &= 10.331 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 1074.15 \times 0.505 \\ &= 542.44 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_V = 552.77 \text{ mm Hg}$$

- 0 -

Propilen Glicol. Analisis al 70 % de concentración.  
considerando:

140 cm<sup>3</sup> de Propilen Glicol

60 cm<sup>3</sup> de Agua

a).- Masa de los constituyentes.

$$\begin{aligned}M &= 140 \times 1.033 \\ &= 144.62 \text{ g para el Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M &= 60 \times 1 \\ &= 60 \text{ g para el Agua}\end{aligned}$$

ai) .- Total de masa.

$$M_t = 204.62 \text{ g}$$

b) .- Cálculo de los gramos mole.

$$G_{\text{mole}} = \frac{144.62}{76.1}$$

= 1.90 gramo mole para el Propilen Glicol

$$G_{\text{mole}} = \frac{60}{18.0153}$$

3.330 gramo mole para el Agua

bi) .- Total

$$204.62 = 5.23 \text{ g mole}$$

c) .- Presión de vapor de los constituyentes en el intervalo -  
de ( 5 - 110 °C )

Para 5 °C

$$\Delta P = 0.044 \times \frac{1.90}{5.23}$$

= 0.015 mm Hg del Propilen Glicol

$$\Delta P = 6.47 \times \frac{3.33}{5.23}$$

= 4.11 mm Hg del Agua

$$P_v = 4.134 \text{ mm Hg}$$

Para 10 °C

$$\Delta P = 0.088 \times 0.363$$

= 0.0319 mm Hg del Propilen Glicol

$$\Delta P = 9.196 \times 0.636$$

= 5.848 mm Hg del Agua

$$P_v = 5.880 \text{ mm Hg}$$

Para 20 °C

$$\Delta P = 0.176 \times 0.363$$

= 0.0636 mm Hg del Propilen Glicol

$$\Delta P = 17.51 \times 0.636$$

= 11.136 mm Hg del Agua

$$P_v = 11.20 \text{ mm Hg}$$

Para 30 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.306 \times 0.363 \\ &= 0.111 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 31.78 \times 0.636 \\ &= 20.21 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_V = 20.32 \text{ mm Hg}$$

Para 40 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.480 \times 0.363 \\ &= 0.174 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 55.17 \times 0.636 \\ &= 35.088 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_V = 35.262 \text{ mm Hg}$$

Para 50 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.653 \times 0.363 \\ &= 0.236 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 91.96 \times 0.636 \\ &= 58.48 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_V = 58.722 \text{ mm Hg}$$

Para 60 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.824 \times 0.363 \\ &= 0.299 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 149.35 \times 0.636 \\ &= 94.98 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_V = 95.285 \text{ mm Hg}$$

Para 70 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 1 \times 0.363 \\ &= 0.363 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 233.22 \times 0.636 \\ &= 148.32 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_V = 148.69 \text{ mm Hg}$$

Para 80 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 6.045 \times 0.363 \\ &= 2.194 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 354.61 \times 0.636 \\ &= 227.15 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 97.180 \text{ mm Hg}$$

Para 90 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 10.945 \times 0.363 \\ &= 3.973 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 525.30 \times 0.636 \\ &= 334.09 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 338.063 \text{ mm Hg}$$

Para 100 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 15.919 \times 0.363 \\ &= 5.778 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 760 \times 0.636 \\ &= 483.13 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 489.13 \text{ mm Hg}$$

Para 110 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 20.914 \times 0.363 \\ &= 7.591 \text{ mm Hg del Propilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 1074.15 \times 0.636 \\ &= 683.15 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 690.75 \text{ mm Hg}$$

### II.3 RESUMEN DE VALORES Y GRAFICAS

#### 95 % Concentración

T °C	P <sub>v</sub> Prop. Glicol : ( mm Hg )	P <sub>v</sub> Agua (mm Hg)	P <sub>v</sub> Total (mm Hg)
5	0.036	1.149	1.185
10	0.072	1.627	1.699
20	0.144	3.099	3.243
30	0.251	5.625	5.876
40	0.394	9.765	10.159
50	0.535	16.27	16.811
60	0.677	26.43	27.111
70	0.822	41.27	42.101
80	4.968	62.78	67.751
90	8.996	92.97	101.97
100	13.085	134.52	147.60
110	17.191	190.12	207.31

- o -

#### 90 % Concentración

T °C	P <sub>v</sub> Prop. Glicol ( mm Hg )	P <sub>v</sub> Agua (mm Hg)	P <sub>v</sub> Total (mm Hg)
5	0.0302	2.021	2.051
10	0.060	2.869	2.929
20	0.120	5.463	5.583
30	0.210	9.915	9.705
40	0.329	17.213	17.542
50	0.447	28.69	29.138
60	0.566	46.59	47.163
70	0.687	72.76	73.451
80	4.152	110.63	114.79
90	7.519	163.89	171.05
100	10.936	237.12	248.056
110	14.367	335.134	349.50

80 % Concentración

T °C	P <sub>v</sub> Prop. Glicol ( mm <sup>n</sup> g )	P <sub>v</sub> Agua (mm Hg)	P <sub>v</sub> Total (mm Hg)
5	0.0217	3.270	3.292
10	0.0434	4.643	4.687
20	0.086	8.842	8.728
30	0.151	16.14	16.295
40	0.237	27.86	28.097
50	0.322	46.43	46.76
60	0.407	75.421	75.828
70	0.494	117.77	118.27
80	2.986	179.07	182.056
90	5.406	265.27	270.68
100	7.863	383.80	391.66
110	10.331	542.44	552.77

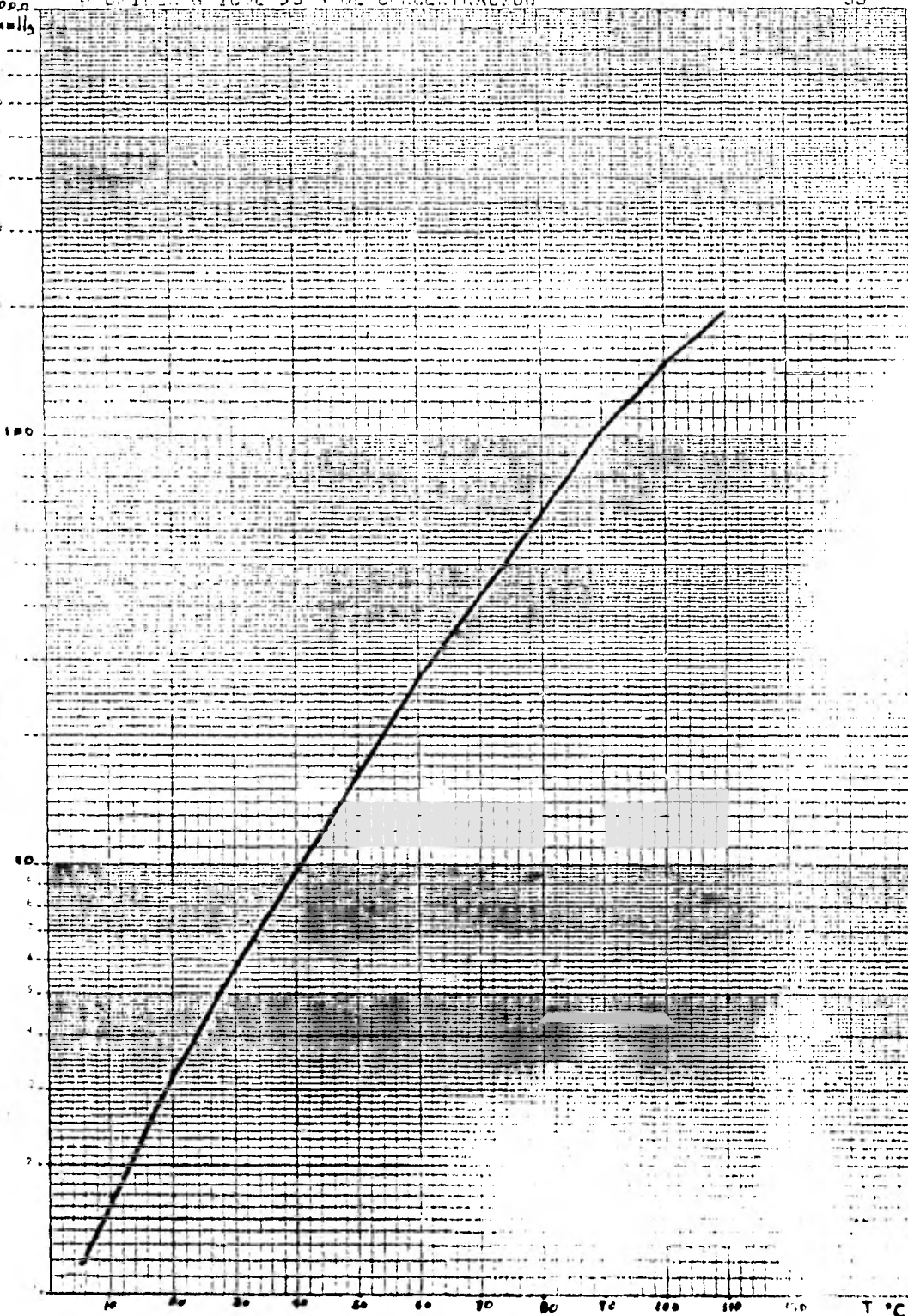
- o -

70 % Concentración

T °C	P <sub>v</sub> Prop. Glicol (mm Hg)	P <sub>v</sub> Agua (mm Hg)	P <sub>v</sub> Total (mm Hg)
5	0.015	4.11	4.134
10	0.0319	5.848	5.880
20	0.0638	11.136	11.20
30	0.111	20.21	20.32
40	0.174	35.088	35.262
50	0.236	58.48	58.72
60	0.299	94.98	95.285
70	0.363	148.32	148.69
80	2.194	227.15	229.34
90	3.973	334.090	338.063
100	5.778	483.36	489.13
110	7.591	683.15	690.75

PROFIL EN GELIJK 95 % DE CONCENTRACION

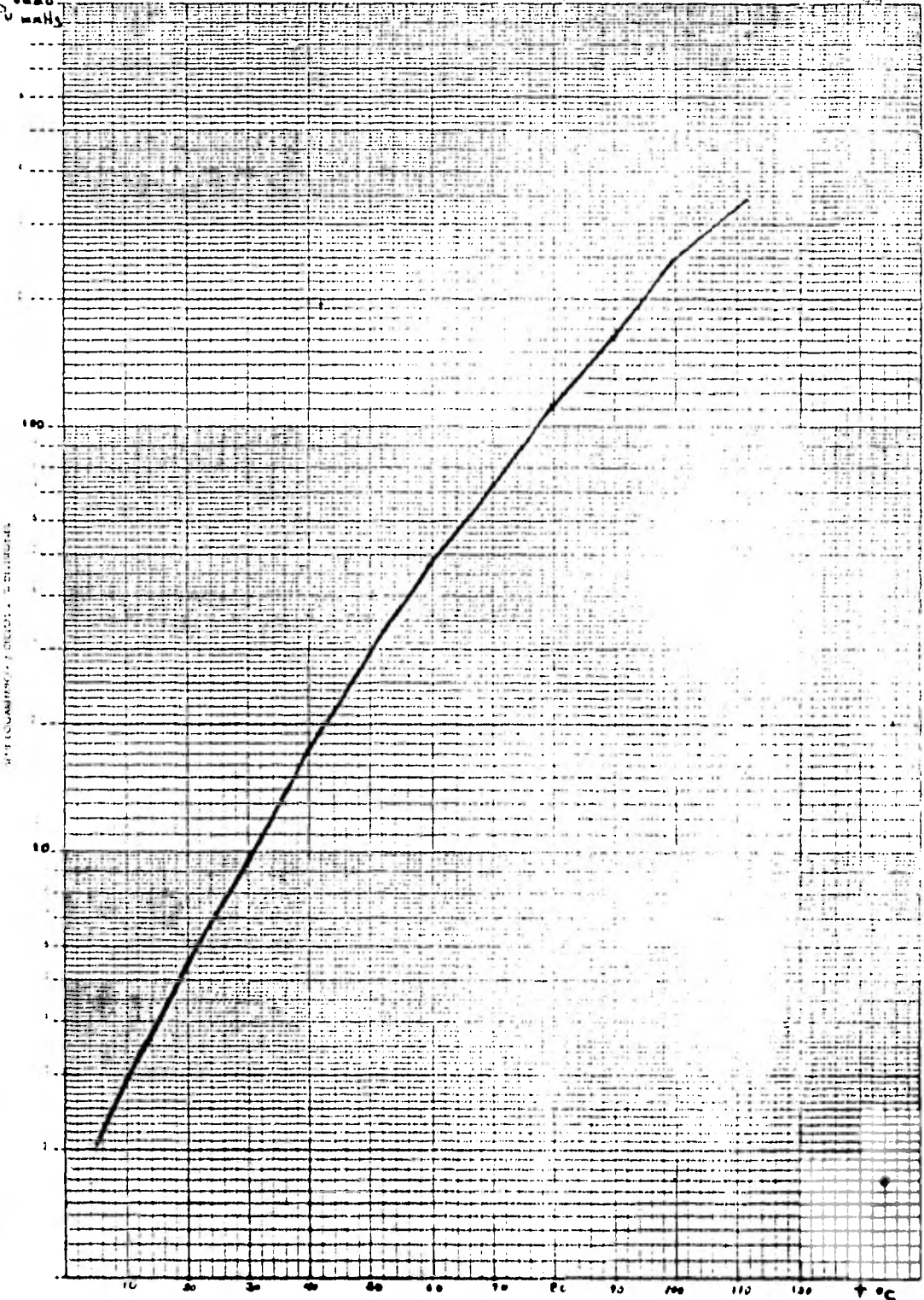
P<sub>v</sub> 1000  
h<sub>113</sub>



0.000000

PROFILLEN GLICOL 90 % DE CONCENTRACIJA

$P_{\text{v}} = 0.000$   
 $P_{\text{v}} = 0.000$



1000  
100  
10  
1

$T$  °C

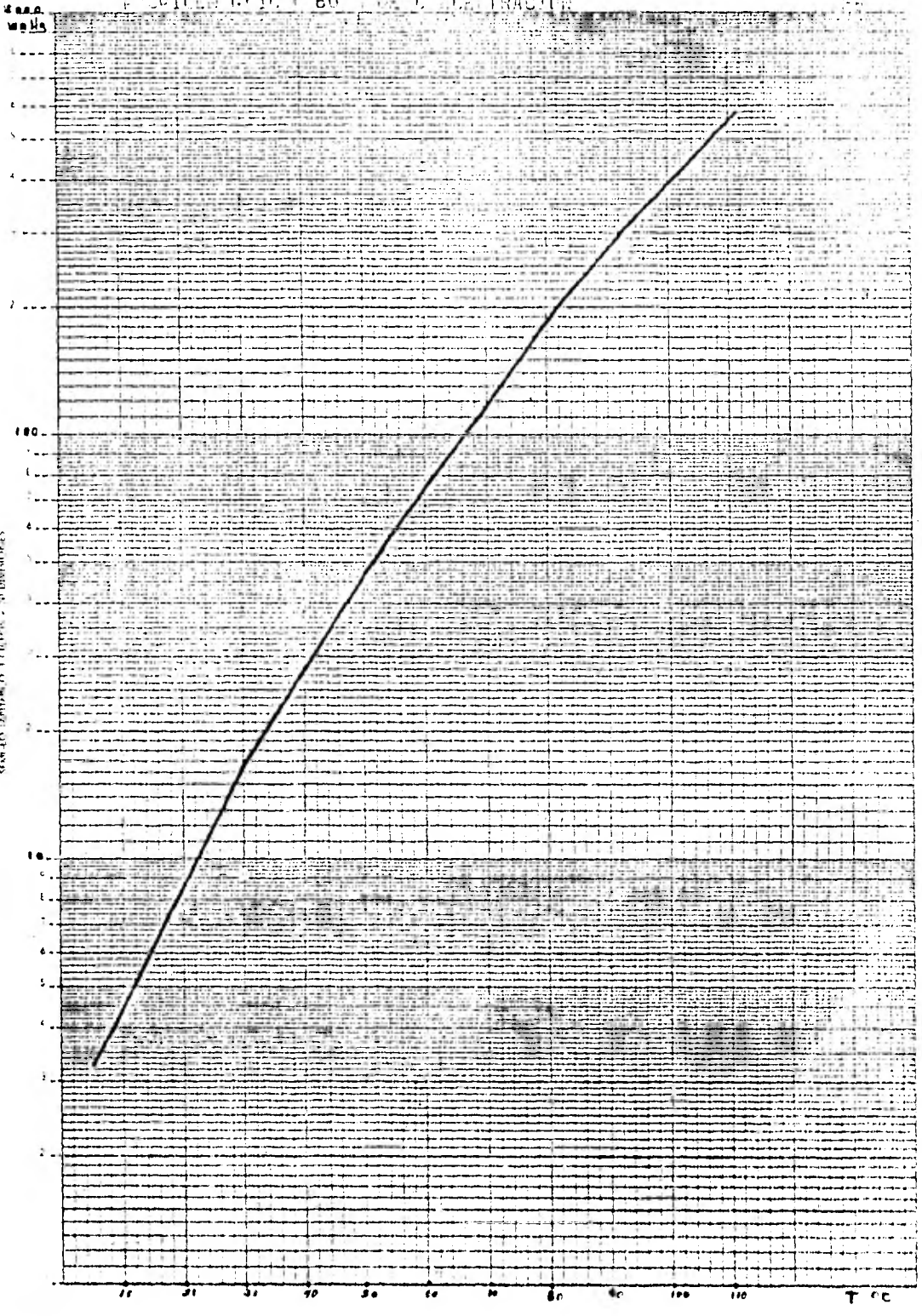


R 4000  
W 0.15

PROBILIN GLIC 1 60 1 05 05 TRACION

25

MANEJO SINTETICO DE DATOS



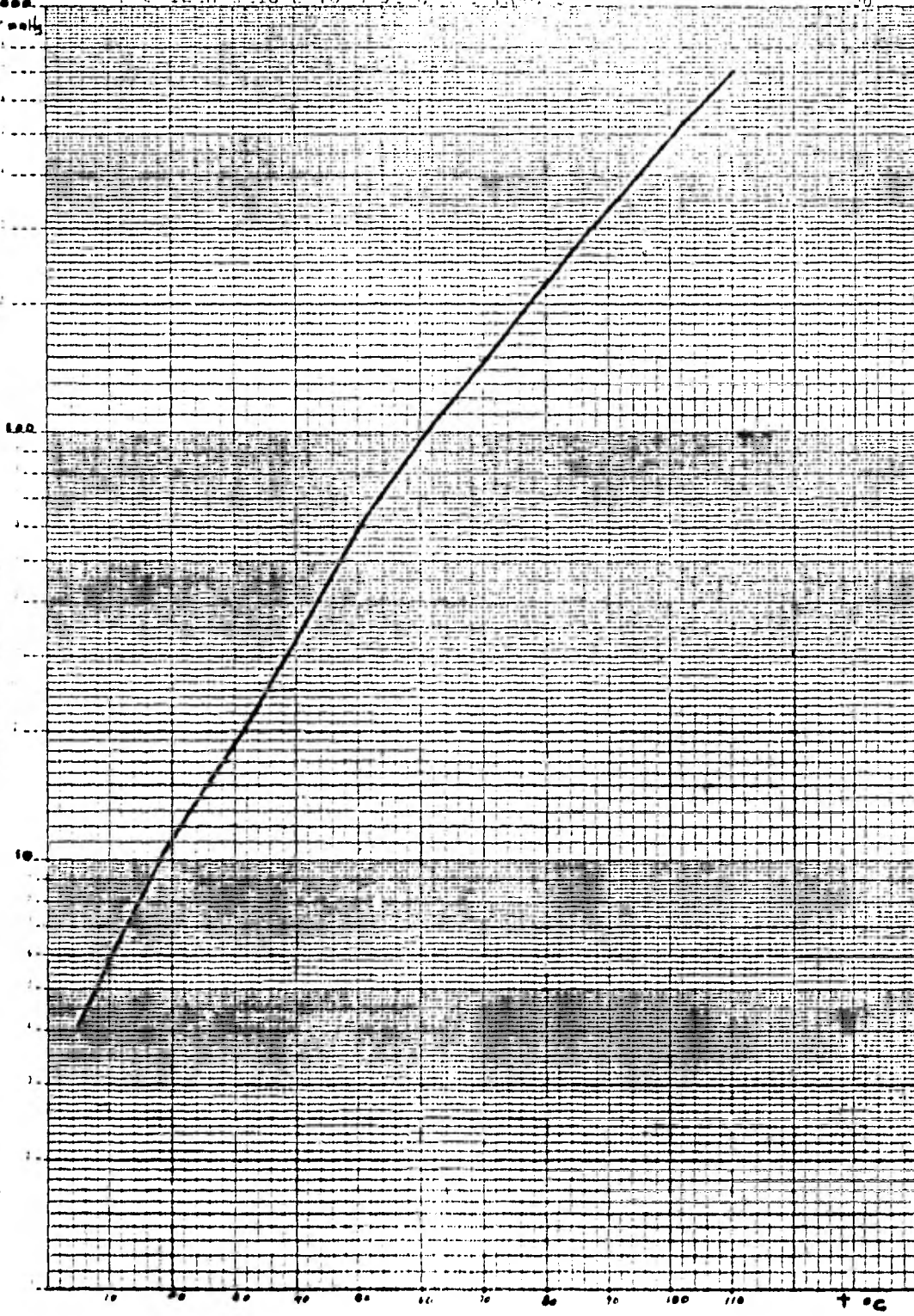
10

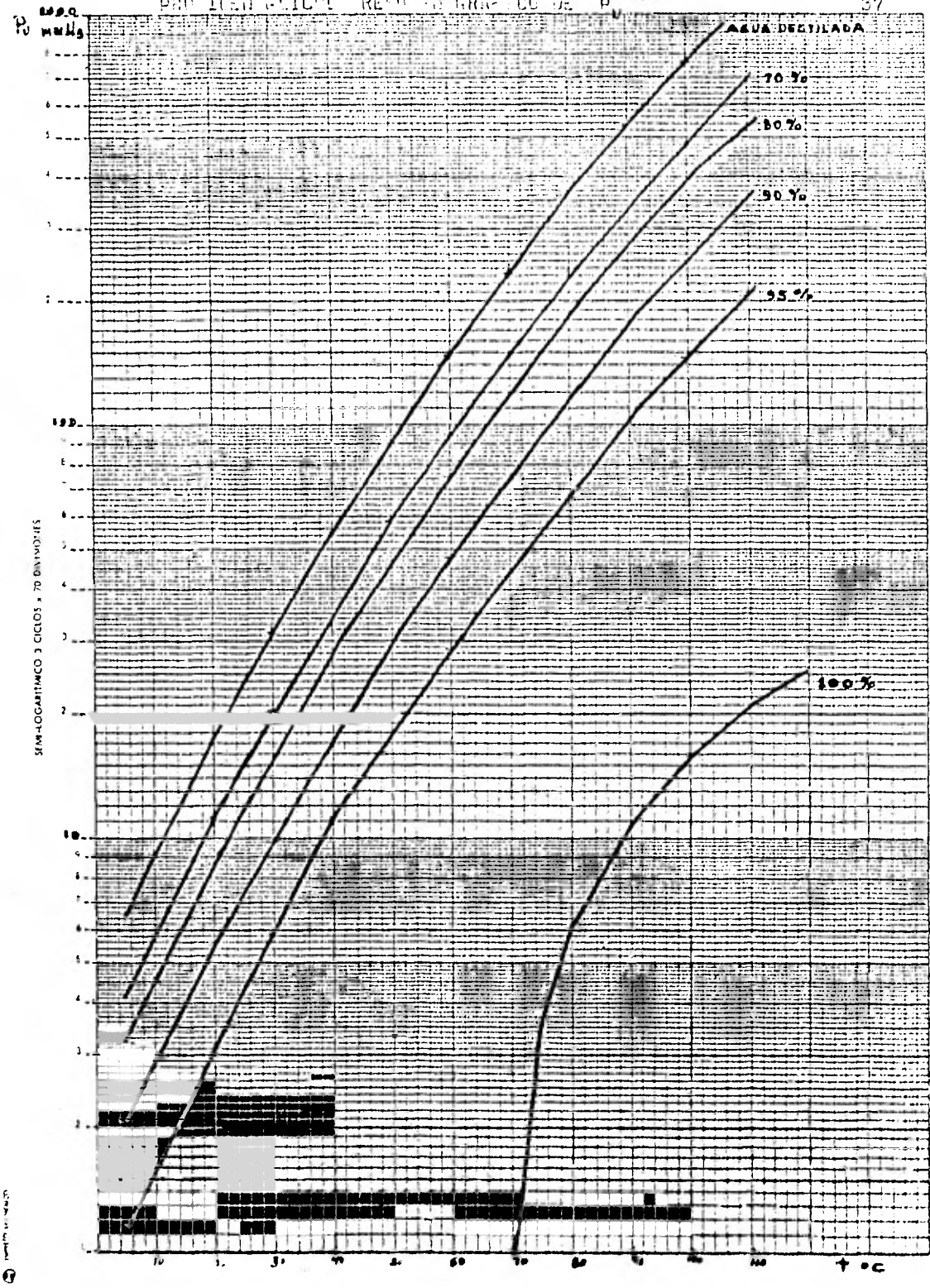
1000  
P  
1000

PROPYLEN GLICOL 70 % DE CONCENTRACION

36

SEMANA 1000000000 1 10 100 1000 10000 100000 1000000





©

#### II.4 ANALISIS TEORICO PARA EL ETILEN GLICOL

Tabla de valores de Presión de Vapor (9)

T °C	P <sub>v</sub> (mm Hg)
5	0.026
10	0.048
15	0.073
20	0.096
25	0.12
30	0.459
35	0.641
40	0.823
45	1.001
50	1.18
55	1.365
60	1.63
65	2.01
70	3.059
75	4.109
80	5.0
85	6.445
90	7.89
95	9.335
100	10.78
105	21.93
110	33.08
115	44.23
120	55.39

- o -

Propiedades de los constituyentes:

.- Densidad relativa del Etilen Glicol: <sup>(9)</sup>

$$\rho = 1.110$$

.- Peso molecular del Etilen Glicol

$$P_m = 62.07$$

.- Densidad relativa del Agua

$$\rho = 1$$

.- Peso molecular del Agua

$$P_m = 18.0153$$

- o -

I .- Calculando para el 95 % de concentración y considerando:

190 cm<sup>3</sup> de Etilen Glicol

10 cm<sup>3</sup> de Agua

a) .- Cálculo de las masas de los constituyentes.

$$M = \text{Vol} \times \rho$$

Para el Etilen Glicol

$$\begin{aligned} M &= 190 \times 1.110 \\ &= 210.90 \text{ g} \end{aligned}$$

Para el Agua

$$\begin{aligned} M &= 10 \times 1 \\ &= 10 \text{ g} \end{aligned}$$

ai) .- Total de masa:

$$M_t = 220.90 \text{ g}$$

b) .- Cálculo de los gramos mole

$$G_{\text{mole}} = \frac{\text{Masa en gramos}}{\text{Peso molecular}}$$

Para el Etilen Glicol

$$G_{\text{mole}} = \frac{210.90}{62.07}$$

$$= 3.39 \text{ gramo mole}$$

Para el Agua

$$G_{\text{mole}} = \frac{10}{18.0153}$$

$$= 0.555 \text{ gramo mole}$$

bi) .- Total

$$220.90 = 3.945 \text{ gramo mole}$$

c) .- Presión de vapor de los constituyentes , en el intervalo de temperatura de ( 5 - 110 °C ) y tomando los valores de  $P_v$  de las tablas correspondientes.

Para 5 °C

$$\Delta P = 0.026 \times \frac{3.39}{3.945}$$
$$= 0.0223 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 6.47 \times \frac{0.555}{3.945}$$
$$= 0.910 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 0.933 \text{ mm Hg}$$

Para 10 °C

$$\Delta P = 0.046 \times 0.8593$$
$$= 0.0412 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 9.196 \times 0.1406$$
$$= 1.331 \text{ mm Hg del Agua}$$

Para 20 °C

$$\Delta P = 0.096 \times 0.8593$$
$$= 0.0824 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 17.51 \times 0.1406$$
$$= 2.46 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 2.542 \text{ mm Hg}$$

Para 30 °C

$$\Delta P = 0.4595 \times 0.8593$$

= 0.394 mm Hg del Etilen Glicol

$\Delta P = 31.78 \times 0.1406$   
= 4.470 mm Hg del Agua

$P_v = 4.864$  mm Hg

Para 40 °C

$\Delta P = 0.823 \times 0.8593$   
= 0.690 mm Hg del Etilen Glicol

$\Delta P = 55.17 \times 0.1406$   
= 7.756 mm Hg del Agua

$P_v = 8.446$  mm Hg

Para 50 °C

$\Delta P = 1.18 \times 0.8593$   
= 1.0139 mm Hg del Etilen Glicol

$\Delta P = 91.96 \times 0.1406$   
= 12.923 mm Hg del Agua

$P_v = 13.943$  mm Hg

Para 60 °C

$\Delta P = 1.55 \times 0.8593$   
= 1.331 mm Hg del Etilen Glicol

$\Delta P = 149.35 \times 0.1406$   
= 20.99

$P_v = 22.329$  mm Hg

Para 70 °C

$\Delta P = 3.059 \times 0.8593$   
= 2.628 mm Hg del Etilen Glicol

$\Delta P = 233.22 \times 0.1406$   
= 32.790 mm Hg del Agua

$P_v = 35.418$  mm Hg

Para 80 °C

$\Delta P = 5 \times 0.85.93$

$$= 4.296 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

Para 90 °C

$$\Delta P = 7.89 \times 0.8593$$

$$= 6.779 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 525.30 \times 0.1406$$

$$= 73.85 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 80.636 \text{ mm Hg}$$

Para 100 °C

$$\Delta P = 10.78 \times 0.8593$$

$$= 9.263 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 760 \times 0.1406$$

$$= 106.85 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 116.11 \text{ mm Hg}$$

Para 110 °C

$$\Delta P = 33.08 \times 0.8593$$

$$= 28.415 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 1074.15 \times 0.1406$$

$$= 151.025 \text{ mm HG del Agua}$$

$$P_v = 179.44 \text{ mm Hg}$$

- o -

Etilen Glicol. Análisis al 90 % de concentración.  
considerando:

180 cm<sup>3</sup> de Etilen Glicol

20 cm<sup>3</sup> de Agua

a) .- Masa de los constituyentes

$$M = 180 \times 1.110$$

$$= 199.8 \text{ g para el Etilen Glicol}$$

$$M = 20 \times 1$$

$$= 20 \text{ g para el Agua}$$

ai) .- Total de masa.



$$m_t = 219.8 \text{ g}$$

b) .- Cálculo de los gramos mole

$$G_{\text{mole}} = \frac{199.8}{62.07}$$

$$= 3.21 \text{ gramo mole para el Etilen - Glicol}$$

$$G_{\text{mole}} = \frac{20}{18.0153}$$

$$= 1.110 \text{ gramo mole para el Agua}$$

bi).- Total

$$219.8 = 4.32 \text{ g mole}$$

c) .- Presión de Vapor de los constituyentes, en el intervalo de temperatura de ( 5 - 110 °C )

Para 5 °C

$$\Delta P = 0.026 \times \frac{3.21}{4.32}$$

$$= 0.0193 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 6.47 \times \frac{1.110}{4.32}$$

$$= 1.662 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 1.681 \text{ mm Hg}$$

Para 10 °C

$$\Delta P = 0.048 \times 0.743$$

$$= 0.035 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 9.196 \times 0.256$$

$$= 2.354 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 2.389 \text{ mm Hg}$$

Para 20 °C

$$\Delta P = 0.096 \times 0.743$$

$$= 0.080 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 17.51 \times 0.256$$

$$= 4.482 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 4.562 \text{ mm Hg}$$

Para 30 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0.4395 \times 0.743 \\ &= 0.341 \text{ mm Hg del Etilen Glicol } \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 31.78 \times 0.256 \\ &= 8.135 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 8.476 \text{ mm Hg}$$

Para 40 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0.823 \times 0.743 \\ &= 0.611 \text{ mm Hg del Etilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 55.17 \times 0.256 \\ &= 14.123 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 14.743 \text{ mm Hg}$$

Para 50 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 1.18 \times 0.743 \\ &= 0.876 \text{ mm Hg del Etilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 91.96 \times 0.256 \\ &= 23.541 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 24.417 \text{ mm Hg}$$

Para 60 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 2.01 \times 0.743 \\ &= 1.493 \text{ mm Hg del Etilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 149.35 \times 0.256 \\ &= 38.23 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 39.726 \text{ mm Hg}$$

Para 70 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 3.059 \times 0.743 \\ &= 2.272 \text{ mm Hg del Etilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 233.22 \times 0.256 \\ &= 59.704 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 61.976 \text{ mm Hg}$$

Para 80 °C

$$\Delta P = 5 \times 0.743$$

$$= 3.715 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 354.61 \times 0.256$$

$$= 96.780 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 94.495 \text{ mm Hg}$$

para 90 °C

$$\Delta P = 7.89 \times 0.743$$

$$= 5.862 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 525.30 \times 0.256$$

$$= 152.39$$

$$P_v = 158.258$$

Para 100 °C

$$\Delta P = 10.78 \times 0.743$$

$$= 8.009 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 760 \times 0.256$$

$$= 194.56 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 202.56 \text{ mm Hg}$$

Para 110 °C

$$\Delta P = 33.08 \times 0.743$$

$$= 24.57 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 1074.15 \times 0.256$$

$$= 274.98 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 299.52 \text{ mm Hg}$$

- o -

Etilen Glicol. Análisis para el 80 % de concentración.  
considerando:

160 cm<sup>3</sup> de Etilen Glicol  
40 cm<sup>3</sup> de Agua

a) .-. Masa de los constituyentes

$$m = 160 \times 1.110 \\ = 177.60 \text{ g para el Etilen Glicol}$$

$$m = 40 \times 1 \\ = 40 \text{ g para el Agua}$$

ai) .-. Total de masa

$$m_t = 217.6 \text{ g}$$

b) .-. Cálculo de los gramos mole

$$G_{\text{mole}} = \frac{177.60}{62.07}$$

$$= 2.86 \text{ gramo mole para el Etilen - Glicol}$$

$$G_{\text{mole}} = \frac{40}{18.0153}$$

$$= 2.22 \text{ gramo mole para el Agua}$$

bi) .-. Total

$$217.6 \text{ g} = 5.08 \text{ g mole}$$

c) .-. Presión de Vapor de los constituyentes, en el intervalo de temperatura de ( 5 - 110 °C )

Para 5 °C

$$AP = 0.026 \times \frac{2.86}{5.08}$$

$$= 0.0146 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$AP = 6.47 \times \frac{2.22}{5.08}$$

$$= 2.827 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 2.841 \text{ mm Hg}$$

Para 10 °C

$$\Delta P = 0.048 \times 0.562 \\ = 0.0269 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 9.196 \times 0.437 \\ = 4.018 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 4.045 \text{ mm Hg}$$

Para 20 °C

$$\Delta P = 1.096 \times 0.562 \\ = 0.0539 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 17.51 \times 0.437 \\ = 7.651 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 7.705 \text{ mm Hg}$$

Para 30 °C

$$\Delta P = 0.4595 \times 0.562 \\ = 0.258 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 31.78 \times 0.437 \\ = 13.88 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 14.145 \text{ mm Hg}$$

Para 40 °C

$$\Delta P = 0.823 \times 0.562 \\ = 0.462 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 55.17 \times 0.437 \\ = 24.109 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 24.571 \text{ mm Hg}$$

Para 50 °C

$$\Delta P = 1.18 \times 0.562 \\ = 0.663 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 91.96 \times 0.437 \\ = 40.186 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 40.845 \text{ mm Hg}$$

Para 60 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 1.55 \times 0.567 \\ &= 0.871 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 149.35 \times 0.437 \\ &= 65.26 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 72.136 \text{ mm Hg}$$

Para 70 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 3.059 \times 0.562 \\ &= 1.719 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 233.22 \times 0.437 \\ &= 101.91 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 103.629 \text{ mm Hg}$$

Para 80 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 5 \times 0.562 \\ &= 2.81 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 354.61 \times 0.437 \\ &= 154.96 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 157.77 \text{ mm Hg}$$

Para 90 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 7.89 \times 0.532 \\ &= 4.434 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 525.30 \times 0.437 \\ &= 229.55 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 233.99 \text{ mm Hg}$$

Para 100 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 10.78 \times 0.562 \\ &= 6.058 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 760 \times 0.437 \\ &= 332.12 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 338.17 \text{ mm Hg}$$

Para 110 °C

$$\Delta P = 33.08 \times 0.562 \\ = 18.59 \text{ mm Hg de Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 1074.15 \times 0.437 \\ = 469.40 \text{ mm Hg de Agua}$$

$$P_v = 487.99 \text{ mm Hg}$$

- o -

Etilen Glicol. Análisis al 70 % de concentración.  
considerando

140 cm<sup>3</sup> de Etilen Glicol

60 cm<sup>3</sup> de Agua

a) .- Masa de los constituyentes:

$$M = 140 \times 1.110 \\ = 155.4 \text{ g para el Etilen Glicol}$$

$$M = 60 \times 1 \\ = 60 \text{ g para el Agua}$$

ai) .- Total de masa

$$M_t = 215.4 \text{ g}$$

b) .- Cálculo de los gramos mole

$$G_{\text{mole}} = \frac{155.4}{62.02} \\ = 2.50 \text{ gramo mole para el Etilen Glicol}$$

$$G_{\text{mole}} = \frac{60}{18.0153} \\ = 3.33 \text{ gramo mole para el Agua}$$

bi) .- Total

$$215.4 \text{ g} = 5.83 \text{ g - mole}$$

c) .- Presión de vapor de los constituyentes, en el intervalo de temperatura ( 5 - 110 °C )

Para 5 °C

$$\Delta P = 0.026 \times \frac{2.50}{5.83}$$

$$= 0.011 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 6.47 \times \frac{3.33}{5.83}$$

$$= 3.69 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 3.70 \text{ mm Hg}$$

Para 10 °C

$$\Delta P = 0.048 \times 0.424$$

$$= 0.020 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 9.196 \times 0.571$$

$$= 5.250 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 5.270 \text{ mm Hg}$$

Para 20 °C

$$\Delta P = 0.096 \times 0.428$$

$$= 0.041 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 17.51 \times 0.571$$

$$= 9.998 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 10.03 \text{ mm Hg}$$

Para 30 °C

$$\Delta P = 0.4595 \times 0.428$$

$$= 0.196 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 31.78 \times 0.571$$

$$= 18.146 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 18.342 \text{ mm Hg}$$

Para 40 °C

$$\Delta P = 0.823 \times 0.428$$

$$= 0.352 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}$$

$$\Delta P = 55.17 \times 0.571$$

$$= 31.50 \text{ mm Hg del Agua}$$



$$P_v = 31.85 \text{ mm Hg}$$

Para 50 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 1.18 \times 0.428 \\ &= 0.5050 \text{ mm Hg del Etilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 91.96 \times 0.571 \\ &= 52.50 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 53.01 \text{ mm Hg}$$

Para 60 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 1.55 \times 0.428 \\ &= 0.663 \text{ mm Hg del Etilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 149.35 \times 0.571 \\ &= 85.27 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 85.941 \text{ mm Hg}$$

Para 70 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 3.059 \times 0.428 \\ &= 1.309 \text{ mm Hg del Etilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 233.22 \times 0.571 \\ &= 133.16 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 134.47 \text{ mm Hg}$$

Para 80 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 5 \times 0.428 \\ &= 2.14 \text{ mm Hg del Etilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 354.61 \times 0.571 \\ &= 202.46 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 204.62 \text{ mm Hg}$$

Para 90 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 7.89 \times 0.428 \\ &= 3.376 \text{ mm Hg del Etilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 525.30 \times 0.428 \\ &= 3.376 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 303.32 \text{ mm Hg}$$

Para 100 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 10.78 \times 0.428 \\ &= 4.61 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 760 \times 0.571 \\ &= 433.96 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 438.57 \text{ mm Hg}$$

Para 110 °C

$$\begin{aligned}\Delta P &= 33.08 \times 0.428 \\ &= 14.158 \text{ mm Hg del Etilen Glicol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta P &= 1460.15 \times 0.571 \\ &= 833.74 \text{ mm Hg del Agua}\end{aligned}$$

$$P_v = 847.90 \text{ mm Hg}$$

- o -

## II.5 RESUMEN DE VALORES Y GRAFICAS

### 95 % de Concentración

T °C	P <sub>v</sub> Etilen Glicol ( mm Hg )	P <sub>v</sub> Agua (mm Hg)	P <sub>v</sub> Total (mm Hg)
5	0.0223	0.910	0.933
10	0.0412	1.331	1.705
20	0.0824	2.46	2.542
30	0.394	4.470	4.864
40	0.690	7.756	8.466
50	1.0139	12.923	13.943
60	1.331	20.99	22.329
70	2.628	32.790	35.418
80	4.296	49.85	45.154
90	6.779	73.85	80.636
100	9.263	106.85	116.11
110	28.415	151.025	179.44

- 0 -

### 90 % de Concentración

T °C	P <sub>v</sub> Etilen Glicol ( mm Hg )	P <sub>v</sub> Agua (mm Hg)	P <sub>v</sub> Total (mm Hg)
5	0.0193	1.662	1.681
10	0.035	2.354	2.389
20	0.080	4.482	4.562
30	0.341	8.135	8.476
40	0.611	14.123	14.734
50	0.876	23.541	24.417
60	1.493	38.23	39.726
70	2.272	59.705	61.976
80	3.715	90.780	94.495
90	5.862	152.39	158.25
100	8.00	194.56	202.56
110	24.57	274.98	299.52

80 % de Concentración

T °C	P <sub>v</sub> Etilen Glicol ( mm Hg )	P <sub>v</sub> Agua ( mm Hg )	P <sub>v</sub> Total ( mm Hg )
5	0.0146	2.827	2.841
10	0.0269	4.018	4.045
20	0.0539	7.651	7.705
30	0.258	13.88	14.145
40	0.462	24.109	24.571
50	0.633	40.186	40.849
60	0.871	65.26	72.136
70	1.719	101.91	103.62
80	2.81	154.96	157.77
90	4.434	229.55	233.99
100	6.058	332.12	338.17
110	18.59	469.40	487.99

- o -

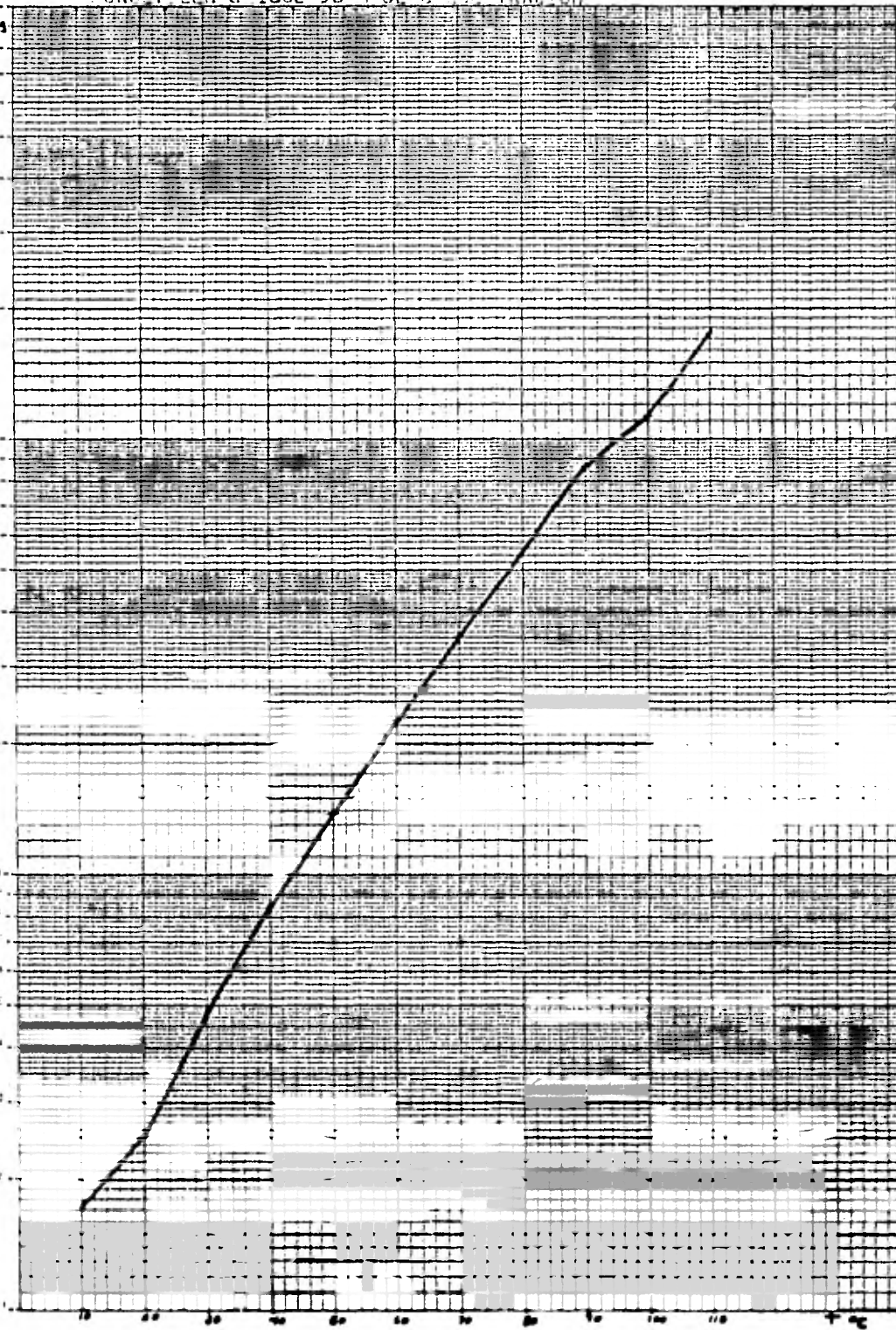
70 % de Concentración

T °C	P <sub>v</sub> Etilen Glicol ( mm Hg )	P <sub>v</sub> Agua ( mm Hg )	P <sub>v</sub> Total ( mm Hg )
5	0.011	3.69	3.70
10	0.020	5.250	5.270
20	0.041	9.998	10.03
30	0.196	18.146	18.342
40	0.352	31.50	31.85
50	0.5050	52.50	53.01
60	0.663	85.27	85.941
70	1.309	133.16	134.47
80	2.14	202.48	204.62
90	3.376	299.94	303.32
100	4.61	433.96	439.57
110	14.158	833.74	847.90

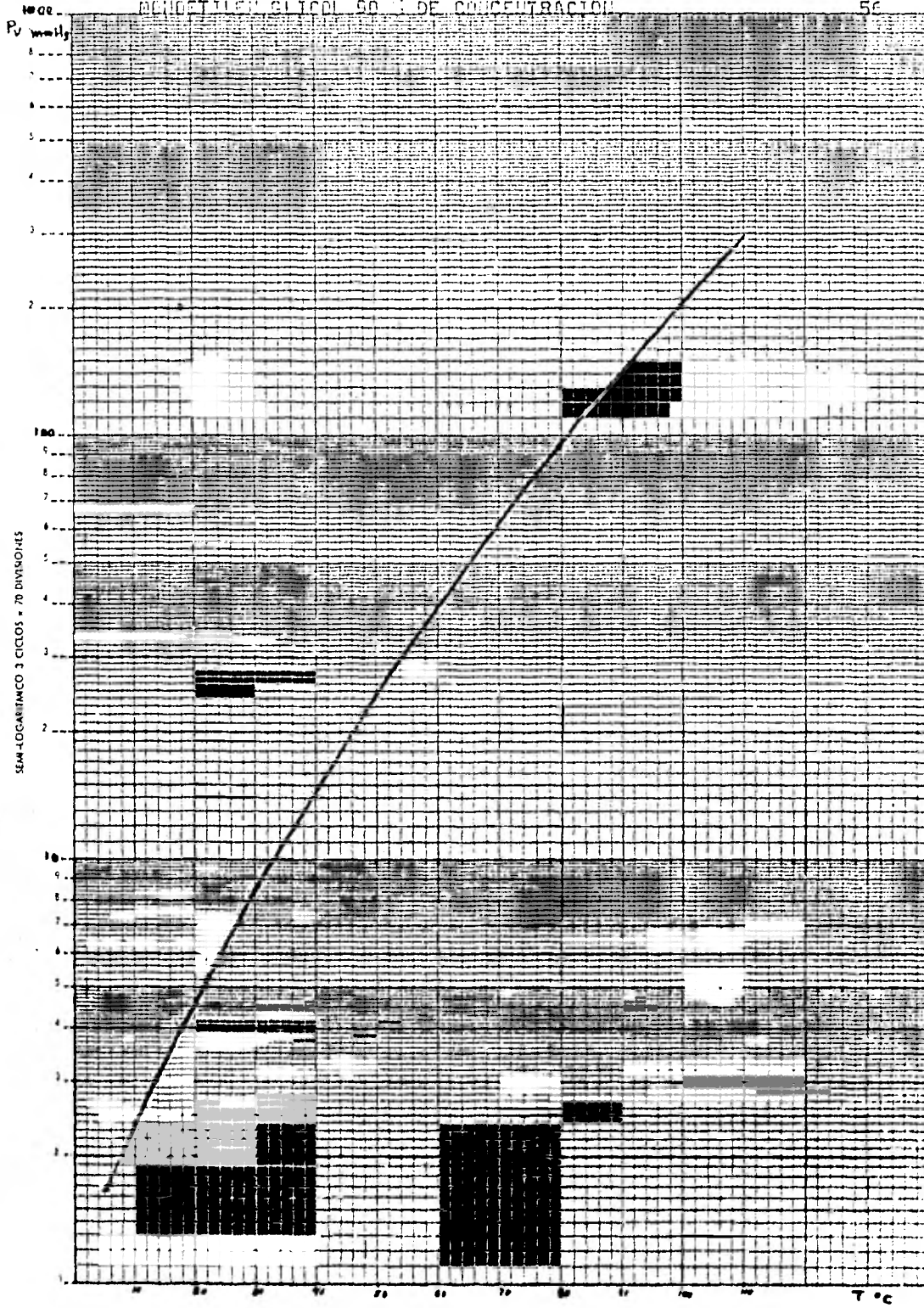
R  
1000  
mmHg

SEAL CUANTIFICO 3 CILINDROS - 10 DIVISIONES

Q



MONOTERLEN GLICOL 50 % DE CONCENTRACION

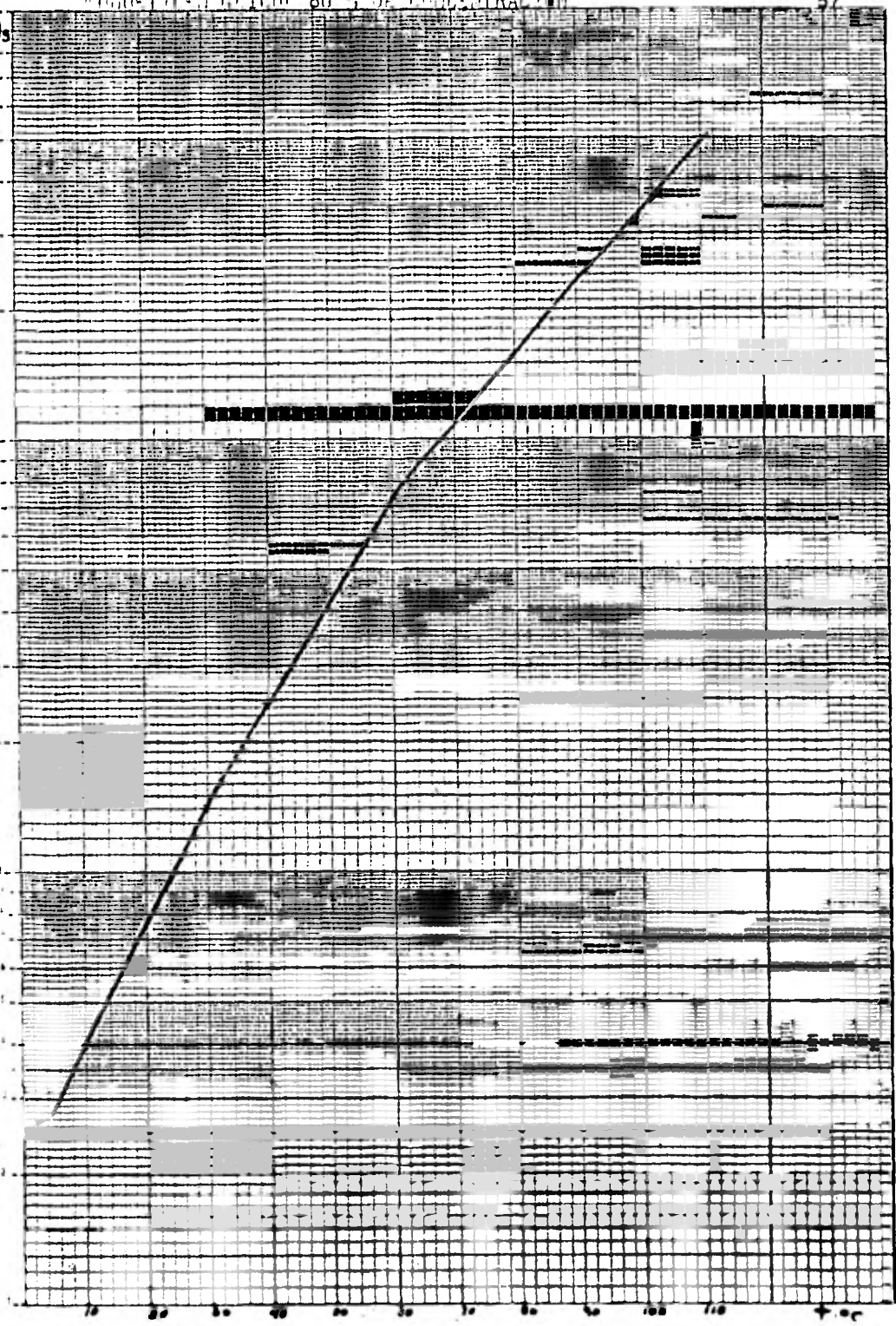


R  
1000  
mmHg

MONOTERMIC GLYCOL 80% OF CONCENTRATION

57

DATA FOR MONOTERMIC GLYCOL 80% OF CONCENTRATION



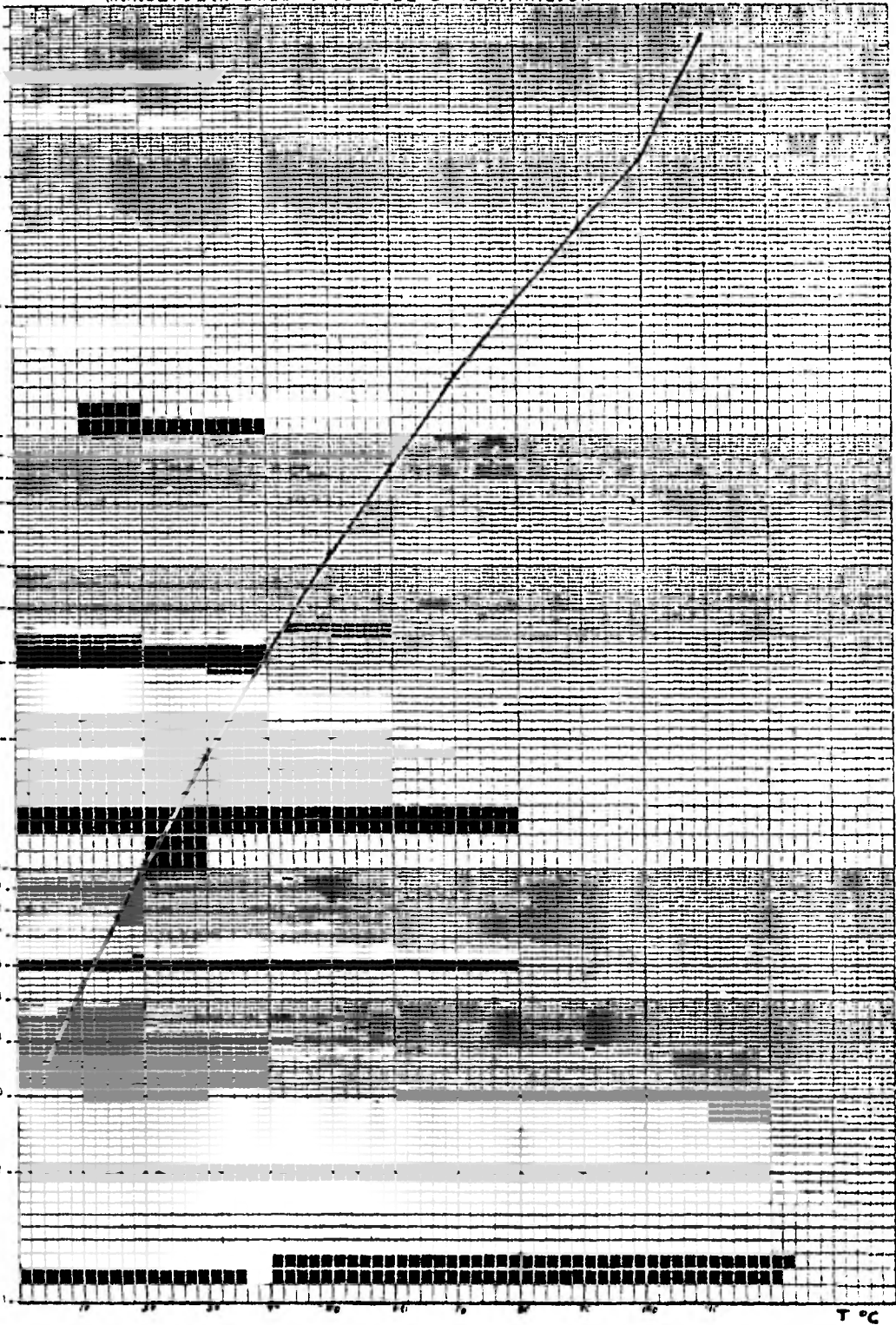
MONGETIEN G.LICOL 70 3 DE CONCENTRACION

56

R  
1000  
Watts

SEM-LOGARITMICO 3 CICLOS x 70 DIVISIONES

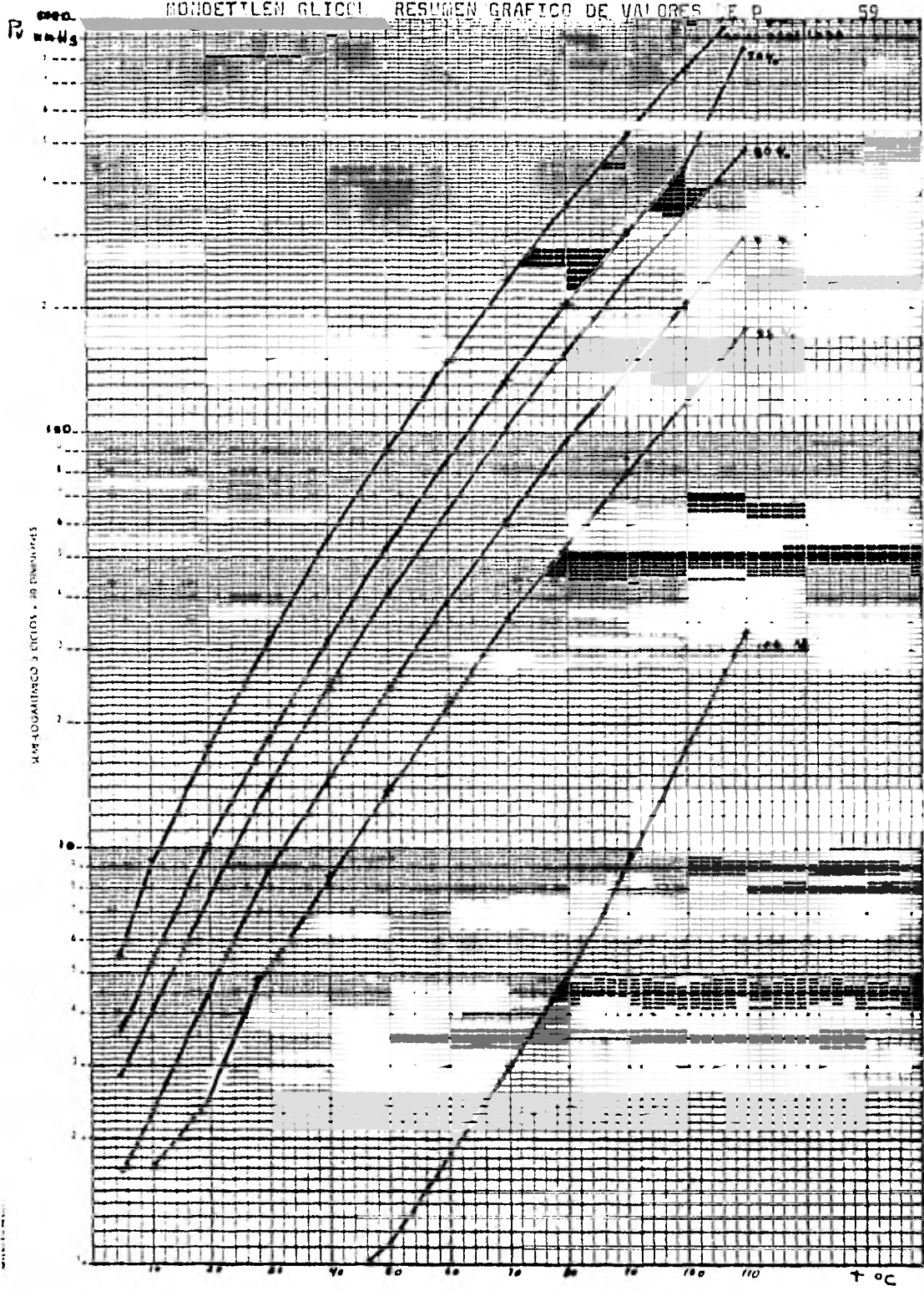
©



T °C



MONOETILEN GLICOL RESUMEN GRAFICO DE VALORES DE P



444-LOGARITMO J. ECTOS. 28 ENHIM-1945

## II.6 ANALISIS TEORICO PARA EL TRIETILEN GLICOL

Tabla de valores de la Presión de Vapor (5)

T °C	P <sub>v</sub> (mm Hg)
5	0.002
10	0.004
15	0.006
20	0.008
25	0.010
30	0.062
35	0.114
40	0.166
45	0.218
50	0.271
60	0.376
70	0.478
75	0.541
80	0.605
85	0.675
90	0.745
100	0.872
110	1.0
115	1.75

- 0 -

Propiedades de los constituyentes.

.- Densidad relativa del Trietilen Glicol (9)

$$\rho = 1.119$$

.- Peso molecular del Trietilen Glicol

$$P_m = 150.17$$

.- Densidad del Agua

$$\rho = 1.0$$

.- Peso molecular del Agua

$$P_m = 18.0153$$

- o -

I .- Calculando para el 95 % de concentración y considerando:

190 cm<sup>3</sup> de Trietilen Glicol

10 cm<sup>3</sup> de Agua

a) .- Cálculo de las masas de los constituyentes.

$$M = Vol \times \rho$$

para el Trietilen Glicol

$$\begin{aligned} M &= 190 \times 1.119 \\ &= 212.61 \text{ g} \end{aligned}$$

para el Agua

$$\begin{aligned} M &= 10 \times 1 \\ &= 10 \text{ g} \end{aligned}$$

ai) .- Total de masa

$$M_t = 222.61 \text{ g}$$

b) .- Cálculo de los gramos mole

$$G_{\text{mole}} = \frac{\text{Masa en gramos}}{\text{Peso molecular}}$$

para el Trietilen Glicol:

$$\begin{aligned} G_{\text{mole}} &= \frac{212.61}{150.17} \\ &= 1.41 \text{ gramo mole} \end{aligned}$$

para el Agua

$$G_{\text{mole}} = \frac{10}{18.0153}$$
$$= 0.555 \text{ gramo mole}$$

bi) .- Total

$$222.61 = 1.965 \text{ g mole}$$

c) .- Presión de vapor de los constituyentes, en el intervalo de temperatura de ( 5 - 110 °C ) y tomando los valores de  $P_v$  de las tablas correspondientes.

Para 5 °C

$$\Delta P = 0.002 \times \frac{1.41}{1.965}$$
$$= 0.0014 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 6.47 \times \frac{0.555}{1.965}$$
$$= 1.827 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 1.828 \text{ mm Hg}$$

Para 10 °C

$$\Delta P = 0.004 \times 0.7175$$
$$= 0.00287 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 9.196 \times 0.282$$
$$= 2.593 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 2.596 \text{ mm Hg}$$

Para 20 °C

$$\Delta P = 0.008 \times 0.7175$$
$$= 0.00574 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 17.51 \times 0.282$$
$$= 4.937 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 4.943 \text{ mm Hg}$$

Para 30 °C

$$\Delta P = 0.062 \times 0.7175$$
$$= 0.0444 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 31.78 \times 0.282$$
$$= 8.961 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 9.006 \text{ mm Hg}$$

Para 40 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0.166 \times 0.7175 \\ &= 0.1191 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 55.17 \times 0.282 \\ &= 15.55 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 15.67 \text{ mm Hg}$$

Para 50 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0.271 \times 0.7175 \\ &= 0.194 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 91.96 \times 0.282 \\ &= 25.93 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 26.12 \text{ mm Hg}$$

Para 60 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0.376 \times 0.7175 \\ &= 0.269 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 149.35 \times 0.282 \\ &= 42.11 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 42.38 \text{ mm Hg}$$

Para 70 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0.478 \times 0.7175 \\ &= 0.342 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 233.22 \times 0.282 \\ &= 65.76 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 66.11 \text{ mm Hg}$$

Para 80 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0.605 \times 0.7175 \\ &= 0.434 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= 354.61 \times 0.284 \\ &= 100.70 \text{ mm Hg del Agua} \end{aligned}$$

$$P_v = 101.14 \text{ mm Hg}$$

Para 90 °C

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0.745 \times 0.7175 \\ &= 0.534 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol} \end{aligned}$$

$$\Delta P = 525.30 \times 0.284$$

$$= 149.16 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 149.71 \text{ mm Hg}$$

Para 100 °C

$$\Delta P = 0.872 \times 0.7175$$

$$= 0.625 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 760 \times 0.284$$

$$= 215.84 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 216.46 \text{ mm Hg}$$

Para 110 °C

$$\Delta P = 1 \times 0.7175$$

$$= 0.7175 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 1074.15 \times 0.284$$

$$= 305.05 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 305.76 \text{ mm Hg}$$

- o -

Trietilen Glicol. Analisis al 90 % de concentración.  
considerando

$$180 \text{ cm}^3 \text{ de Trietilen Glicol}$$

$$20 \text{ cm}^3 \text{ de Agua}$$

a) .- Masa de los constituyentes

$$M = 180 \times 1.119$$

$$= 201.42 \text{ g para el Trietilen Glicol}$$

$$M = 20 \times 1$$

$$= 20 \text{ g para el Agua}$$

ei) .- Total de masa

$$M_t = 221.42 \text{ g}$$

b) .- Cálculo de los gramos mole

$$G_{\text{mole}} = \frac{201.42}{150.17}$$

$$= 1.341 \text{ gramo mole para el Trietilen Glicol}$$

$$G_{\text{mole}} = \frac{20}{18.0153}$$

$$= 1.110 \text{ gramo mole para el Agua}$$

bi).- Total

$$221.42 = 2.45 \text{ g- mole}$$

c) .- Presión de vapor de los constituyentes, en el intervalo de temperatura de ( 5 - 110 °C )

Para 5 °C

$$\Delta P = 0.02 \times \frac{1.3412}{2.45}$$

$$= 0.0109 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 6.47 \times \frac{1.110}{2.45}$$

$$= 2.931 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 2.942 \text{ mm Hg}$$

Para 10 °C

$$\Delta P = 0.004 \times 0.547$$

$$= 0.002 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 9.196 \times 0.453$$

$$= 4.165 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$P_v = 4.167 \text{ mm Hg}$$

Para 20 °C

$$\Delta P = 0.008 \times 0.547$$

$$= 0.00437 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 17.51 \times 0.453$$

$$= 7.932 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 7.936 \text{ mm Hg}$$

Para 30 °C

$$\Delta P = 0.062 \times 0.547$$

$$= 0.033 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 31.78 \times 0.453$$

$$= 14.396 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 14.429 \text{ mm Hg}$$

Para 40 °C

$$\Delta P = 0.166 \times 0.547$$

$$= 0.0908 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 55.17 \times 0.453$$

$$= 24.992 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 25.082 \text{ mm Hg}$$

Para 50 °C

$$\Delta P = 0.271 \times 0.547$$

$$= 0.148 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 91.96 \times 0.453$$

$$= 41.657 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$P_v = 41.805 \text{ mm Hg}$$

Para 60 °C

$$\Delta P = 0.376 \times 0.547$$

$$= 0.205 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 149.35 \times 0.453$$

$$= 67.655 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 67.860 \text{ mm Hg}$$

Para 70 °C

$$\Delta P = 0.478 \times 0.547$$

$$= 0.261 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 233.22 \times 0.453$$

$$= 105.91 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 106.17 \text{ mm Hg}$$

Para 80 °C

$$\Delta P = 0.605 \times 0.547$$

$$= 0.330 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 354.61 \times 0.453$$

$$= 160.63 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 106.17 \text{ mm Hg}$$

Para 90 °C

$$\Delta P = 0.745 \times 0.547$$

$$= 0.407 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 525.30 \times 0.453$$

$$= 237.96 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 238.36 \text{ mm Hg}$$

Para 100 °C

$$\Delta P = 0.872 \times 0.547$$

$$= 0.476 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 760 \times 0.453$$



$$= 344.28 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 344.756 \text{ mm Hg}$$

Para 110 °C

$$\Delta P = 1 \times 0.547$$

$$= 0.547 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 1074.15 \times 0.453$$

$$= 486.58 \text{ mm "g del Agua}$$

$$P_v = 487.13 \text{ mm Hg}$$

- o -

Trietilen Glicol. Analisis al 80 % de concentración.

considerando:

160 cm<sup>3</sup> de Trietilen Glicol

40 cm<sup>3</sup> de Agua

a) .- Masa de los constituyentes .

$$M = 160 \times 1.119$$

$$= 179.04 \text{ g para el Trietilen Glicol}$$

$$M = 40 \times 1$$

$$= 40 \text{ g para el Agua}$$

ai) .- Total de masa

$$M_t = 219.04 \text{ g}$$

b) .- Cálculo de los gramos mole

$$G_{\text{mole}} = \frac{179.04}{150.17}$$

$$= 1.192 \text{ gramo mole para el Trietilen Glicol.}$$

$$G_{\text{mole}} = \frac{40}{18.0153}$$

$$= 2.220 \text{ gramo mole para el Agua}$$

bi) .- Total

$$219.04 = 3.412 \text{ g - mole}$$

c) .- Presión de Vapor de los constituyentes en el intervalo de temperatura de ( 5 - 110 °C )

para 5 °C

$$\Delta P = 0.002 \times \frac{1.192}{3.412}$$

$$= 0.00069 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 6.47 \times \frac{2.220}{3.412}$$

$$4.209 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 3.676 \text{ mm Hg}$$

para 10 °C

$$\Delta P = 0.004 \times 0.349$$

$$= 0.00139 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 9.196 \times 0.650$$

$$= 5.977 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 5.978 \text{ mm Hg}$$

para 20 °C

$$\Delta P = 0.008 \times 0.349$$

$$= 0.0027 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 17.51 \times 0.650$$

$$= 11.381 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 11.384 \text{ mm Hg}$$

para 30 °C

$$\Delta P = 0.062 \times 0.349$$

$$= 0.021 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 31.78 \times 0.650$$

$$= 20.657 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 20.678 \text{ mm Hg}$$

para 40 °C

$$\Delta P = 1.66 \times 0.349$$

$$= 0.057 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$$

$$\Delta P = 55.17 \times 0.650$$

$$= 35.860 \text{ mm Hg del Agua}$$

$$P_v = 35.917 \text{ mm Hg}$$

para 50 °C

$$\Delta P = 0.271 \times 0.349$$

= 0.0945 mm Hg del Trietilen Glicol

$\Delta P = 91.96 \times 0.650$

= 59.77 mm Hg del Agua

$P_v = 59.868$  mm Hg

para 60 °C

$\Delta P = 0.376 \times 0.349$

= 0.131 mm Hg del Trietilen Glicol

$\Delta P = 149.35 \times 0.650$

= 97.077 mm Hg del Agua

$P_v = 97.208$  mm Hg

para 70 °C

$\Delta P = 0.478 \times 0.349$

= 0.166 mm Hg del Trietilen Glicol

$\Delta P = 233.22 \times 0.650$

= 151.59 mm Hg del Agua

$P_v = 151.75$  mm Hg

para 80 °C

$\Delta P = 0.605 \times 0.349$

= 0.211 mm Hg del Trietilen Glicol

$\Delta P = 354.61 \times 0.650$

= 230.49 mm Hg del Agua

$P_v = 230.707$  mm Hg

para 90 °C

$\Delta P = 0.745 \times 0.349$

= 0.260 mm Hg del Trietilen Glicol

$\Delta P = 525.30 \times 0.650$

= 341.44 mm Hg del Agua

$P_v = 341.70$  mm Hg

para 100 °C

$\Delta P = 0.872 \times 0.349$

= 0.304 mm Hg del Trietilen Glicol

$\Delta P = 760 \times 0.650$

= 494.00 mm Hg del Agua

$P_v = 494.304 \text{ mm Hg}$   
para  $110^\circ\text{C}$   
 $\Delta P = 1 \times 0.349$   
 $= 0.349 \text{ mm Hg del Trietilen Glicol}$   
 $\Delta P = 1074.15 \times 0.650$   
 $= 698.197 \text{ mm Hg del Agua}$   
 $P_v = 698.54 \text{ mm Hg}$

- o -

Los valores de la Presión de Vapor del Trietilen Glicol son muy bajos y tienden a disminuir al reducir la concentración del Glicol.

II.7 RESUMEN DE VALORES

95 % de Concentración

T °C	P <sub>v</sub> Triet. Glicol ( mm Hg )	P <sub>v</sub> Agua ( mm Hg )	P <sub>v</sub> Total ( mm Hg )
5	0.0014	1.827	1.828
10	0.0028	2.593	2.596
20	0.0057	4.937	4.943
30	0.0444	8.961	9.006
40	0.1191	15.55	15.67
50	0.194	25.93	26.12
60	0.269	42.11	42.38
70	0.342	65.76	66.11
80	0.434	100.70	101.14
90	0.534	149.18	149.71
100	0.625	215.84	216.46
110	0.7175	305.05	305.76

- o -

90 % de Concentración

T °C	P <sub>v</sub> Triet. Glicol ( mm Hg )	P <sub>v</sub> Agua ( mm Hg )	P <sub>v</sub> Total ( mm Hg )
5	0.0009	2.931	2.942
10	0.002	4.165	4.167
20	0.0043	7.932	7.936
30	0.033	14.396	14.429
40	0.0908	24.992	25.082
50	0.148	41.657	41.805
60	0.205	67.655	76.860
70	0.261	105.91	106.17
80	0.330	160.63	160.96
90	0.407	237.96	238.36
100	0.476	344.28	344.75
110	0.547	486.58	487.13

80 % de Concentración

T °C	P <sub>v</sub> Triet.Glicol (mm Hg)	P <sub>v</sub> Agua (mm Hg)	P <sub>v</sub> Total (mm Hg)
5	0.0008	3.675	3.676
10	0.00172	5.163	5.165
20	0.0034	9.945	9.984
30	0.026	18.051	18.077
40	0.071	31.336	31.407
50	0.116	52.23	52.346
60	0.162	84.83	84.99
70	0.206	132.46	132.67
80	0.260	201.41	201.67
90	0.321	298.37	298.69
100	0.375	431.68	432.055
110	0.431	610.11	610.54

- 0 -

## II.8 CONSIDERACIONES TEORICAS.

Analizando los valores de presión de vapor que poseen el agua y los glicoles, además considerando que estas sustancias sean puras o sea con una concentración cercana a 100 %, se tiene que existe una diferencia de estos valores a cualquier temperatura: ésta diferencia es la que da un indicativo para determinar el rango de absorción de las sustancias.

La siguiente descripción es teórica, pero da una visión más o, menos clara de los principios y objetivos que se buscan y tratan, de lograr con las sustancias propuestas.

Considerese un recipiente cerrado y aislado térmicamente dividido en dos partes, cada una de estas servirá para albergar a las sustancias que se deseen probar; de alguna forma se ubicarán en el recipiente los medios necesarios para detectar las variaciones de las condiciones iniciales de las soluciones que se presentaran en el proceso; el recipiente deberá operar con un vacío cercano al perfecto. Suponiendo que la sustancia a probar sea Trietilen Glicol y agua a una temperatura de 40 °C, estas tendrán una presión de vapor de 0.166 y 55.17 mm Hg respectivamente. Al ser introducidas en el recipiente y por causa de la diferencia de presiones de vapor que presentan, el Trietilen Glicol deberá tender a absorber vapor de agua hasta que la diferencia de presiones sea igual; al estar ocurriendo este proceso, la temperatura del agua bajará hasta que el sistema este en equilibrio termodinámico.

Como no se disponía de todo el equipo requerido para desarrollar este proceso físicamente, se plantearon otros procedimientos que aunque no siguieron lo planteado anteriormente, dieron otros parámetros, que para el desarrollo de este estudio condujeron a resultados para determinar si los Glicoles son absorbentes o no.

## CAPITULO III

### Seccion Experimental

#### III.I INTRODUCCION

Esta sección se realizó con objeto de obtener los parámetros mencionados y manejados anteriormente, con métodos experimentales en equipos contruidos con material de laboratorio y comercial como son: matraces, probetas, tubos de vidrio, lámina y otros materiales; los instrumentos de medición fueron termómetros y escalas graduadas.

Se divide esta sección en tres pruebas o ensayos, en la primera se efectuó para determinar la presión de vapor de las soluciones acuosas de los Glicoles propuestos, esto fué con objeto de obtener una primera comparación a lo determinado en la parte teórica. La segunda prueba en forma independiente de los resultados encontrados en la primera prueba y considerando que los Glicoles pueden funcionar como sustancias absorbentes, se planteó para determinar la capacidad de absorción de agua de dichas sustancias, analizandolos variando la concentración. Se empleó en esta prueba un flujo de aire pasando al través del sistema, esto permitió la medida de parámetros como son las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco del aire manejado. Dependiendo de los resultados anteriores la tercera prueba se planteó para tratar de cambiar las condiciones del aire manejandolo en un sistema más físico, empleando elementos mecánicos, el flujo de aire se manejaría en un sistema en que pasando por una serie de secciones con diferentes elementos en un ducto se lograra obtener un aire con condiciones cercanas a las de inyección, que se logran empleando las máquinas convencionales para acondicionar aire.



### III.2 PRIMERA SECCION DE PRUEBAS

Para obtener la presión de vapor de las soluciones de los Glicoles se hizo bajo el siguiente procedimiento.

En un matraz conteniendo la solución a probar, se calentó en, un mechero hasta llegar a su punto de ebullición e inmediatamente, cerrando el matraz con un tapón perforado y colocando un tubo de vidrio en la parte superior en forma de U invertida, haciendo las veces de manómetro diferencial, un extremo del tubo se introdujo a un recipiente con mercurio y el otro al matraz. Al irse enfriando, las soluciones, en el matraz se formó una presión de vacío, que se midió sobre una escala graduada a intervalos de 5 a 10 °C. Esta presión mediante un planteamiento que se describe posteriormente dará la presión de vapor.

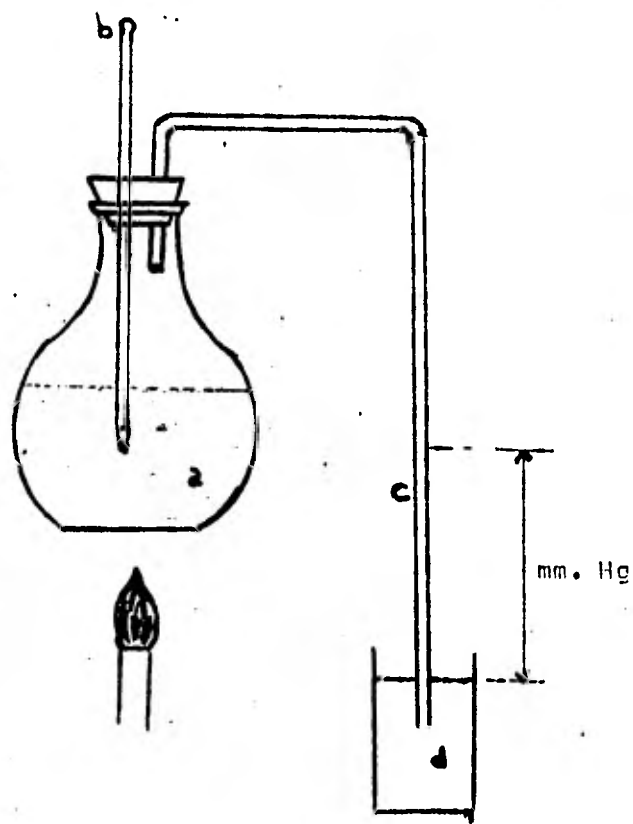
Para hacer la comparación de las soluciones se efectúa primeramente las pruebas con Bromuro de Litio, utilizado como referencia ya que es el absorbente tipo, además se hace la prueba con agua destilada que es la que se agraga a los Glicoles, a fin de comparar la tendencia de los valores obtenidos.

Para esta serie de pruebas se utilizaron los siguientes Glicoles:

- MONOETILEN GLICOL
- PROPILEN GLICOL

Se ensayaron a diversas concentraciones variando el volumen.

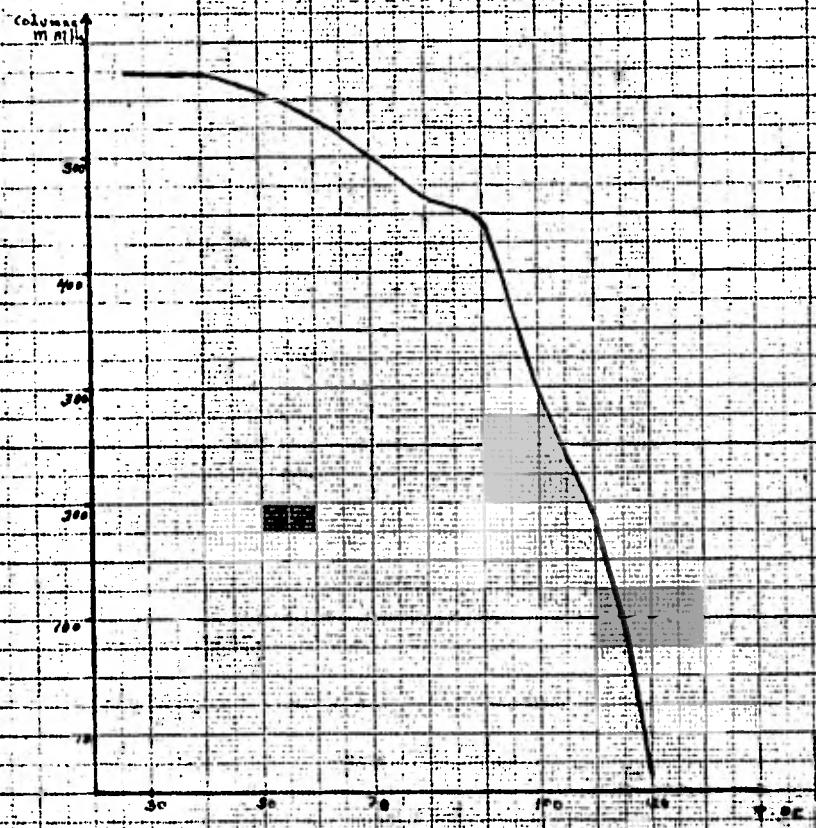
La siguiente figura muestra la forma en que se realizó esta serie de pruebas, los resultados obtenidos se anexan graficados.



- a = Solución de glicol
- b = Termómetro
- c = Columna de mercurio
- d = Recipiente de mercurio

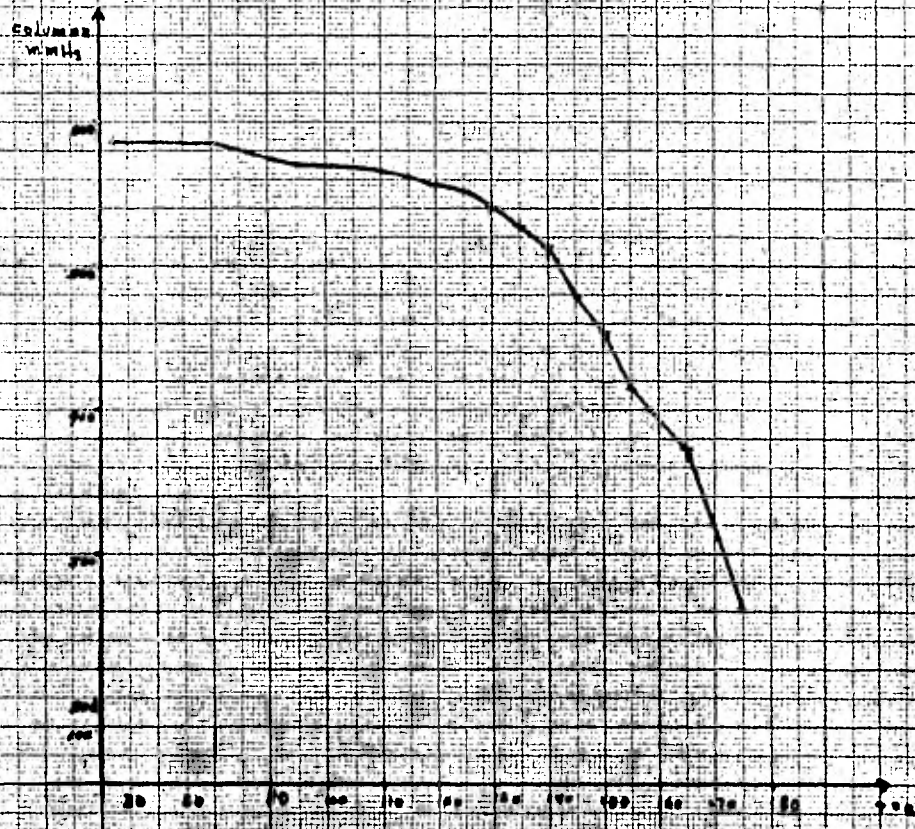
BROMURO DE LITIO  
40 % DE CONCENTRACION

T °C	COLUMNA mmHg
120	2.95
115	94.32
110	185.18
100	296.22
90	394.93
78	470.27
70	500.6
65	520.7
35	570.8
30	570.8



100 METILÉN GLICOL  
 88% DE CONCENTRACION  
 100CM<sup>3</sup> DE METILÉN GLICOL

T °C	Columna mmHg	T °C	Columna mmHg
176	278.8	108	572.83
163	373.6	100	578.83
155	414.9	98	574.83
150	453.6	90	577.83
148	478.24	80	582.83
140	513.24	85	587.83
135	527.24	60	587.83
130	542.83	48	587.83
125	556.83	40	587.83
120	567.83	38	587.83
115	568.83	30	587.83
110	567.83	25	587.83



MONOETILEN GLICOL  
30% DE CONCENTRACION  
180 CM<sup>3</sup> DE METILEN GLICOL  
200 CM<sup>3</sup> DE AGUA

t °C	COLUMNA mm Hg
35	30.43
30	310.1
20	420.75
10	445.3
00	511.60
95	530.24
90	530.10
80	542.33
60	555.70
50	563.18
40	565.70
30	570.6
25	574.8

COLUMNA  
mm Hg



MANDETELENGLICOL  
EN % DE CONCENTRACION  
EN CM DE PETILENGLICOL  
EN CM DE AGUA

T °C	COLUMNA MM
17	105.62
115	217.0
110	239.18
100	336.15
90	408.10
80	440.0
70	510.0
60	558.5
50	574.30
40	565.10
30	540.75

ALIMEN  
M.M.M.

100

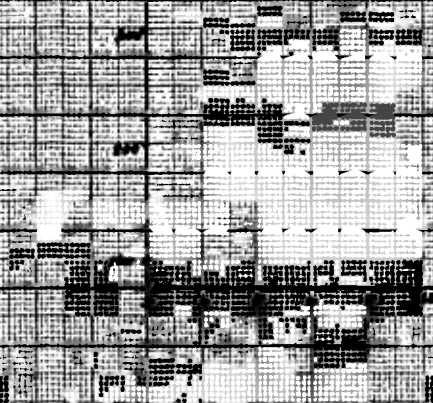
50

0

100

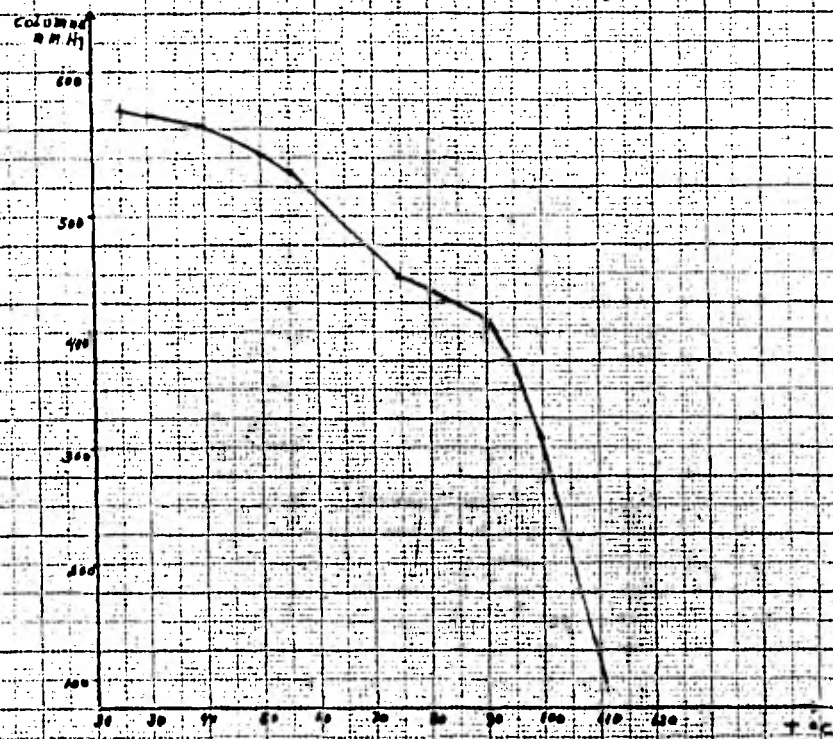
50

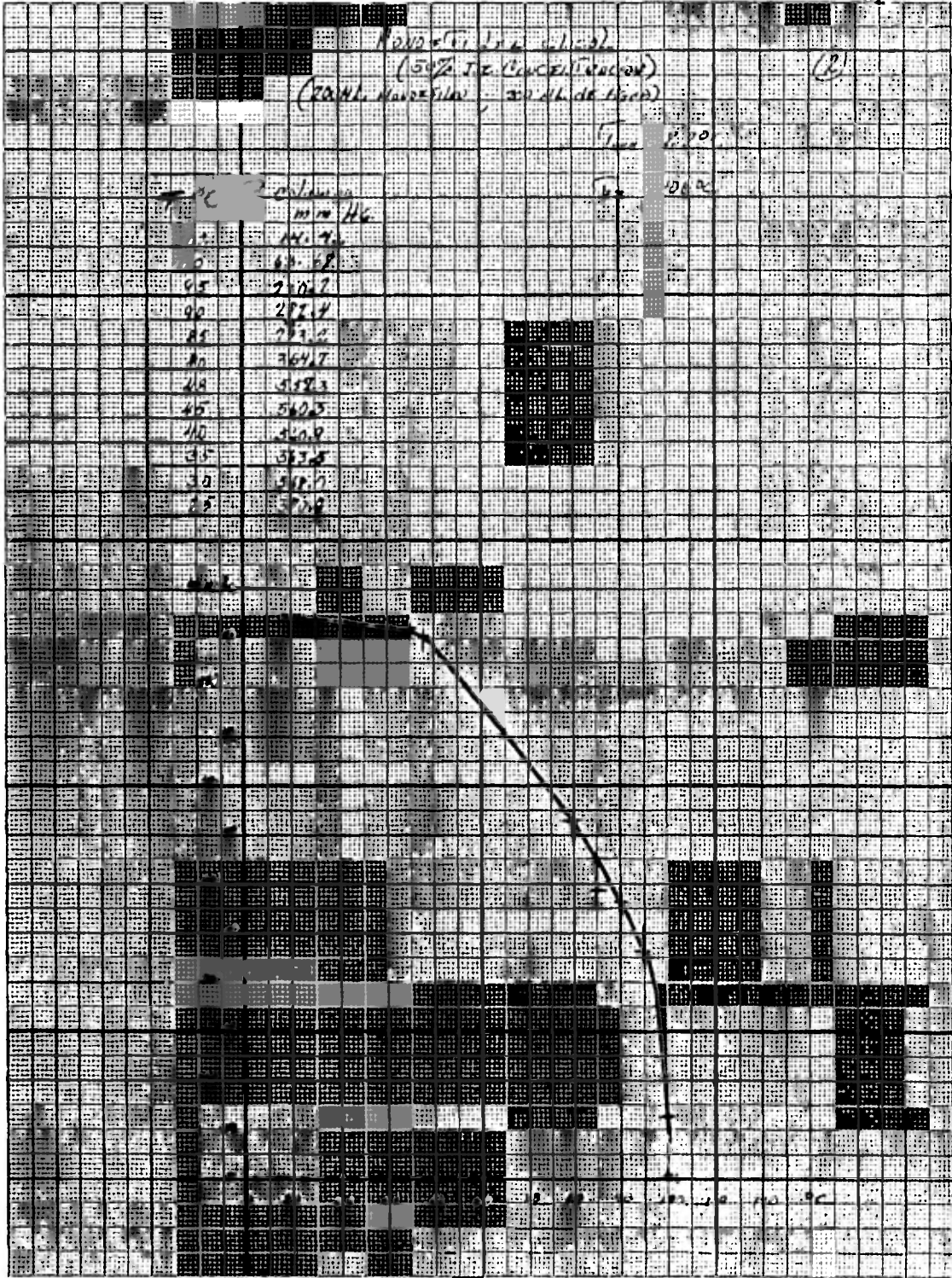
0



MONOETILEN GLICOL  
 70% CONCENTRACION  
 140 CCM DE MONOETILENGLICOL  
 60 CCM DE AGUA

T °C	COLUMNA mmHg
112	
111	92.9
105	267.8
100	308.8
95	370.9
90	411.7
75	447.5
55	532.1
50	546.2
45	554.2
40	562.1
35	567.1
30	569.0
25	573.9





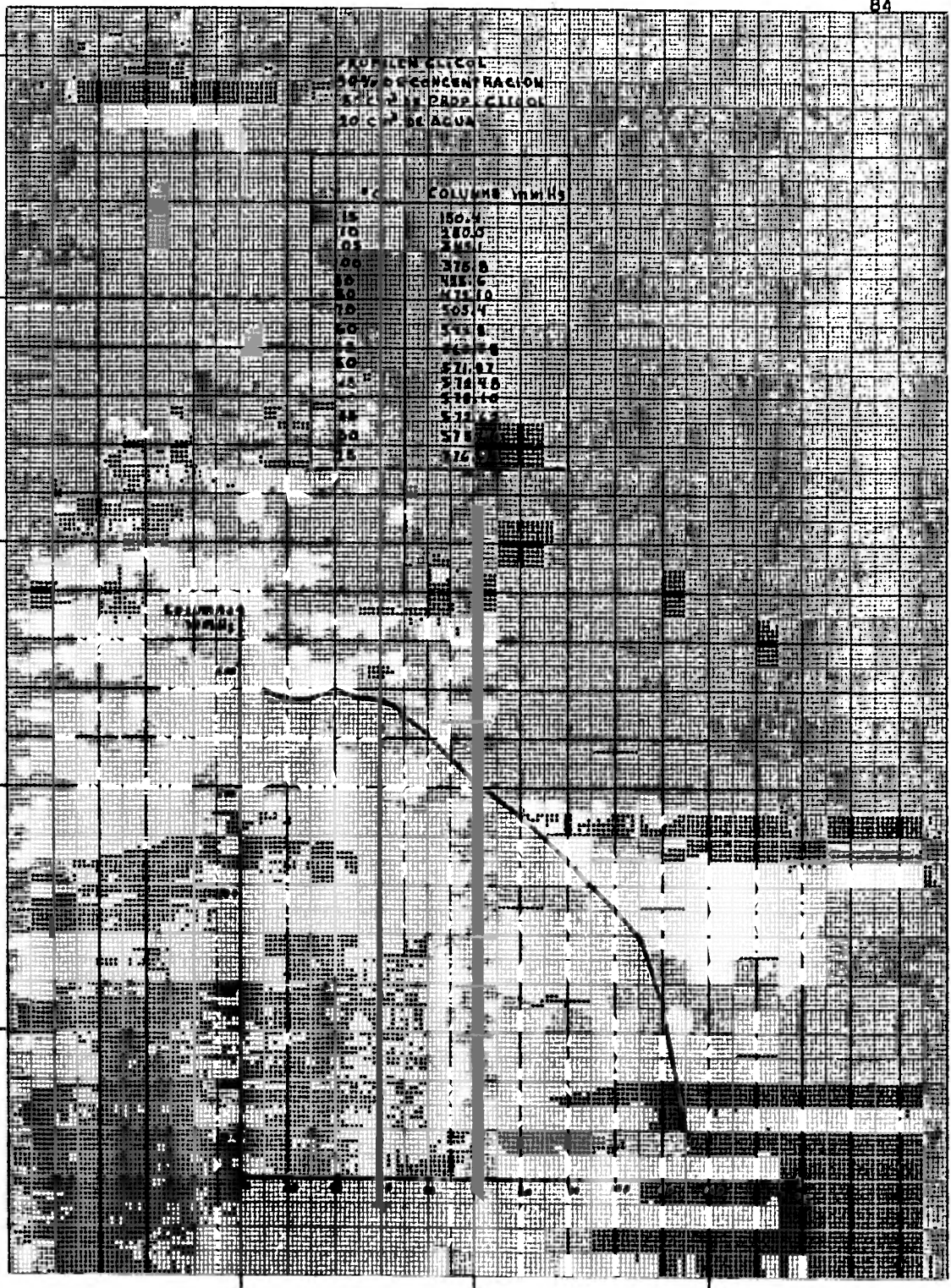


PROFICLEN GLICOL  
95 % DE CONCENTRACION

T ° C	COCUMINOS mmHg
177	110
170	550.96
165	560.96
160	570.96
150	577.53
50	586.96
58	585.26
50	585.96
46	585.96

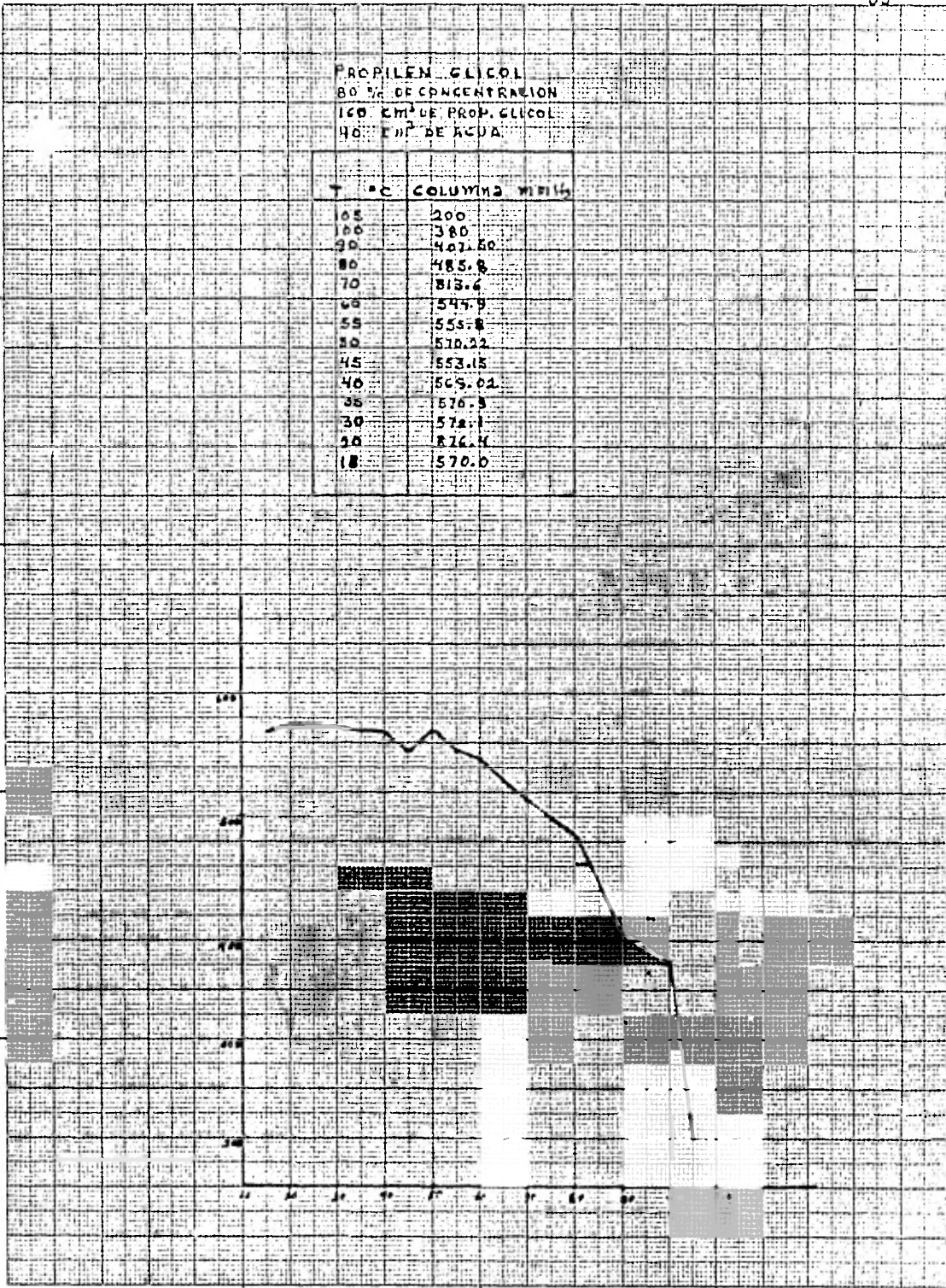
CALORIMETRIA  
N.º 44





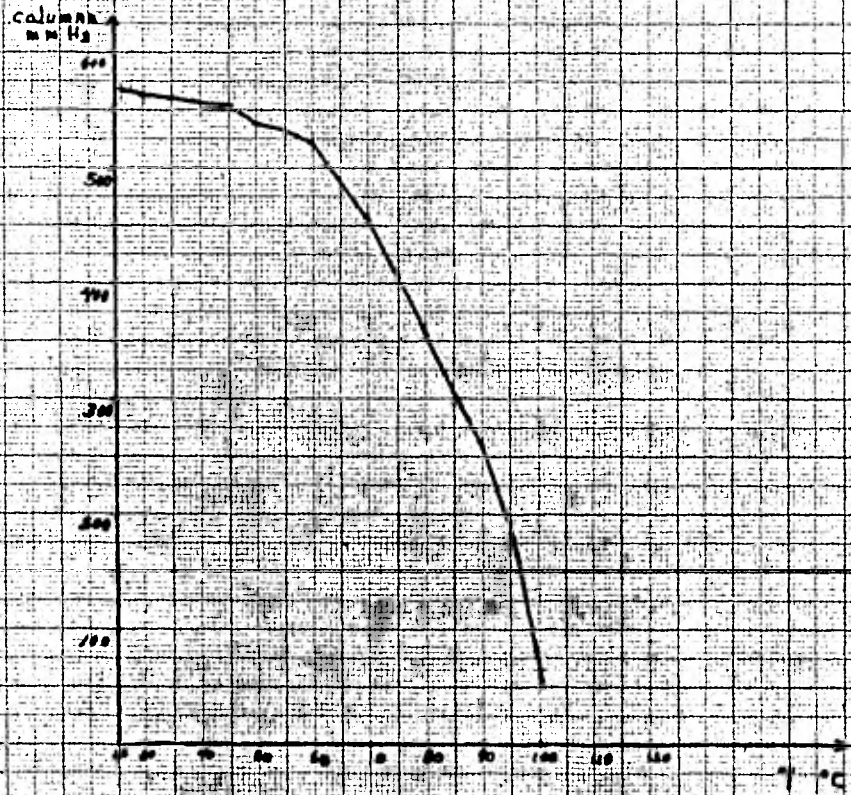
PROPILÉN GLICOL  
 80 % DE CONCENTRACION  
 160 CM<sup>3</sup> DE PROP. GLICOL  
 40 CM<sup>3</sup> DE AGUA

T °C	COLUMINA MÉRIDA
105	200
100	380
90	401.80
80	485.8
70	813.6
60	545.9
55	555.8
50	510.32
45	553.15
40	569.02
35	576.3
30	572.1
20	876.4
18	570.0



PROPILAN GLICOL  
 60% DE CONCENTRACION  
 120 cm<sup>3</sup> de Prop. Glicol  
 80 cm<sup>3</sup> de Agua

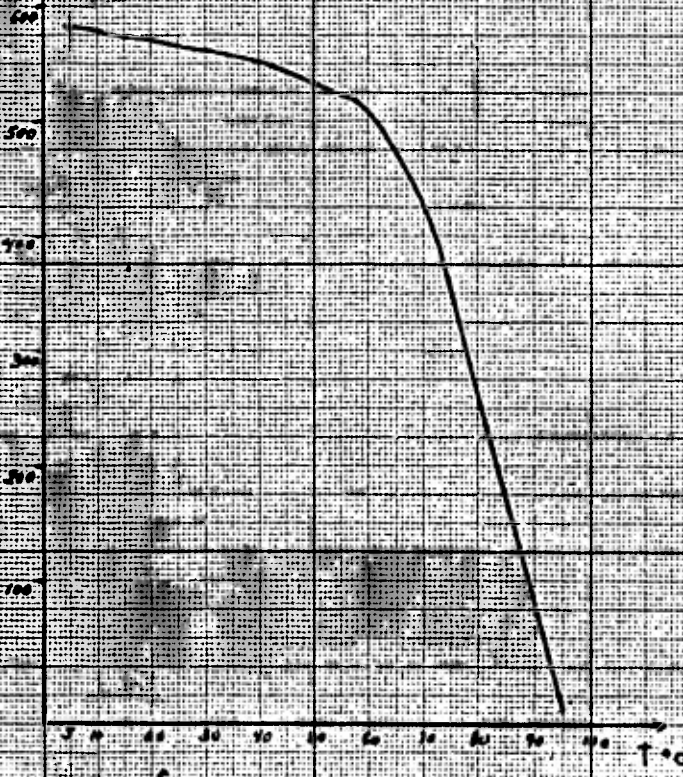
T °C	Columna mmHg
100	65
95	190.5
90	266.76
85	366.7
70	468.1
60	520.2
55	530.5
50	535.72
45	540.0
40	545.1
35	550.0
30	560.8
25	565.85

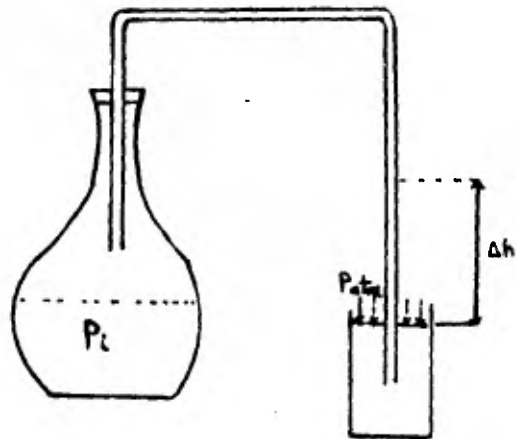


ACVA Destilada  
100%

T °C	Columna mmHg
95	8.12
58	518.12
50	533.85
40	551.59
30	564.59
25	566.59
10	571.59
15	573.74
10	579.74
5	581.89

Columna  
mmHg





De la figura mostrada se hace el siguiente planteamiento para la determinación de la presión de vapor:

$$\text{si } P_i = P_v$$

$$P_{\text{atm.}} - \rho \Delta h - P_i = 0$$

$\Delta h$  = columna de mercurio

$$P_i = P_v = P_{\text{atm.}} - \rho \Delta h$$

Tomando los valores de columna de mercurio de las gráficas, obtenidas y considerando,

$\rho$  = Densidad del mercurio

$$\rho = 13.600 \text{ kg/m}^3$$

Análisis dimensional:

$$P_i \text{ (mm Hg)} = P_{\text{atm.}} \text{ (mm Hg)} - \rho \text{ (kg/m}^3) \Delta h \text{ (m)}$$

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{\text{m}^2}{10,332 \text{ kg}} = 760 \text{ mm Hg}$$

$$\frac{13.600}{10,332} \times 760 \times \Delta h \text{ (m)} = \text{mm Hg}$$

$$586 = 1000.38 \times \Delta h \text{ en mm} = \text{mm Hg}$$

$$\text{por tanto } \Delta h = \frac{\text{valor medido}}{1000}$$

$$586 = \frac{1000.38}{1000} \times \text{valor de } \Delta h$$

$$\therefore 586 = 1.00038 \times \Delta h = \text{mm Hg}$$

BROMURO DE LITIO  
25% DE CONCENTRACION

T °C	Pv mm Hg
30	14.55
35	14.98
65	65.10
70	85.20
78	115.75
90	190.91
100	288.91
110	400.74
115	491.74
120	563.04

Pv  
mm Hg

300

400

500

600

700

30

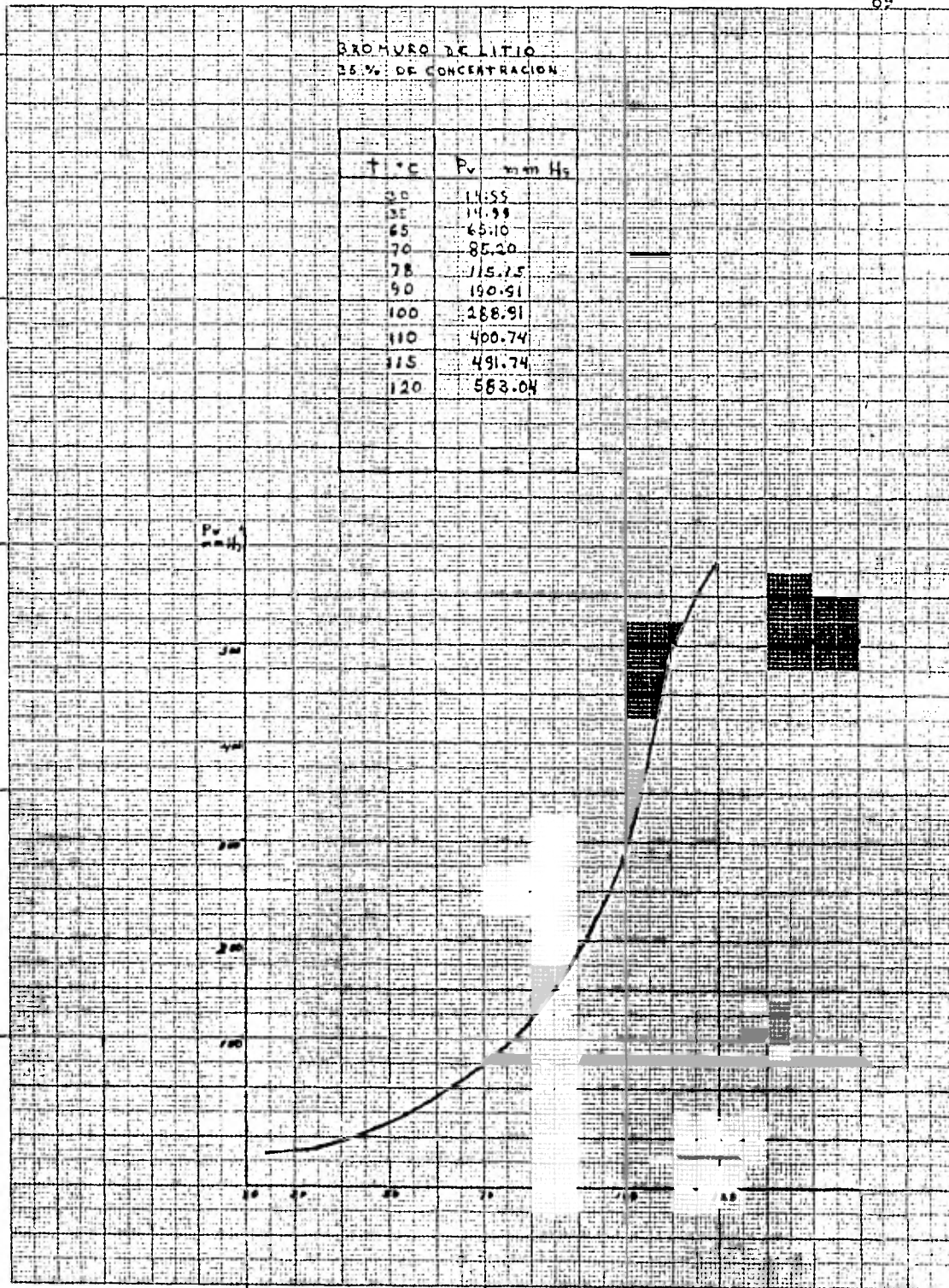
40

50

60

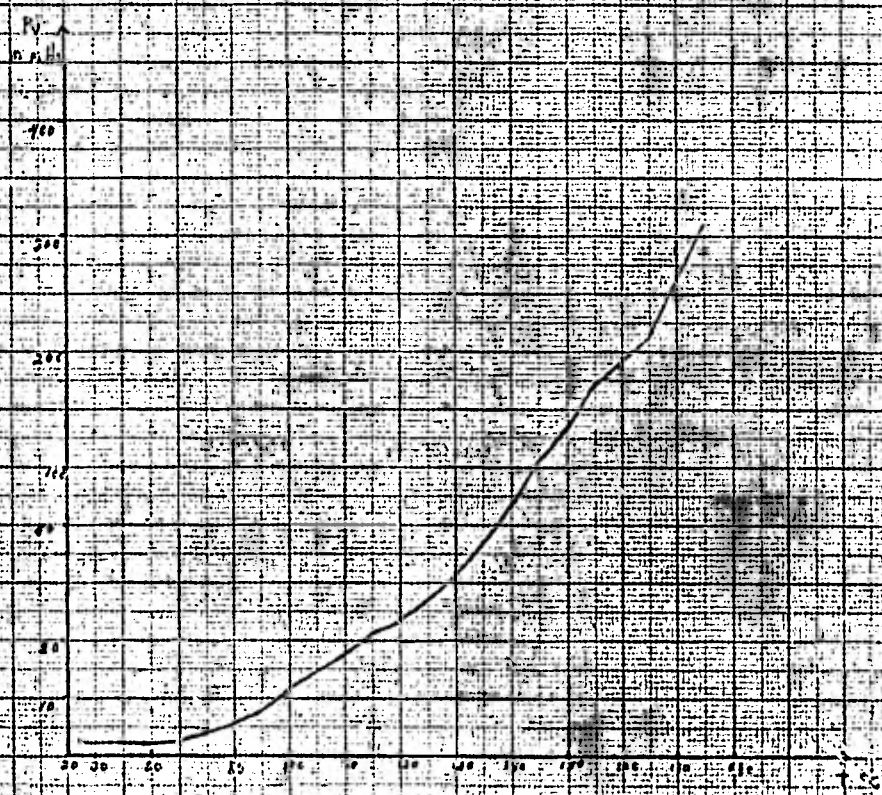
70

80



MORFETILLENOL  
95% LE CONCENTRACION.

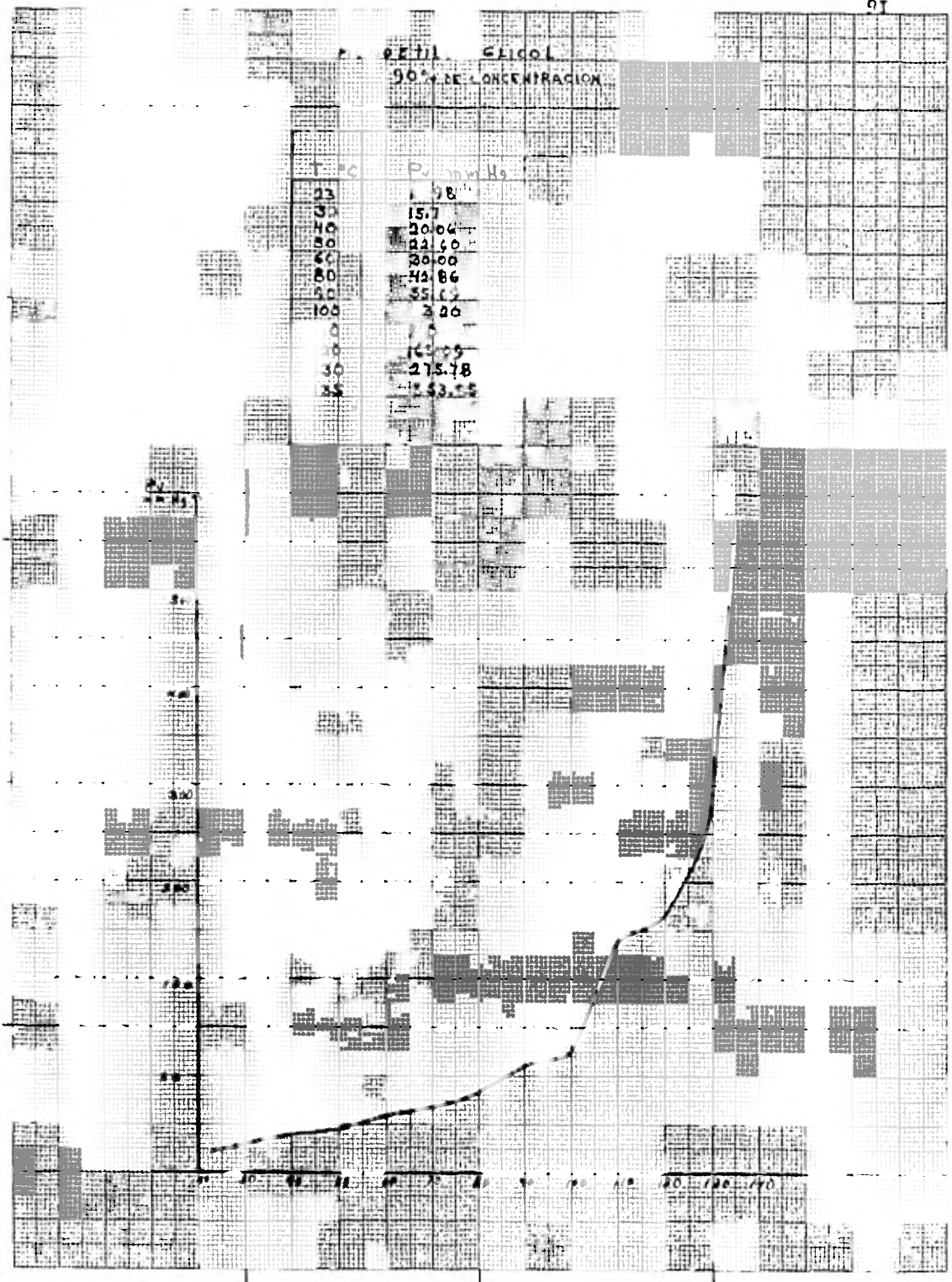
t °C	Pv mm Hg	t °C	Pv mm Hg
25	2.05	15	22.95
30	2.55	20	27.95
35	2.65	25	32.95
40	2.05	30	38.96
45	2.55	35	48.55
50	2.05	40	52.56
55	2.05	45	67.57
60	2.05	50	82.42
70	7.95	65	172.47
80	10.55	100	212.25
100	1.69	175	311.99
105	2.95		
110	7.95		





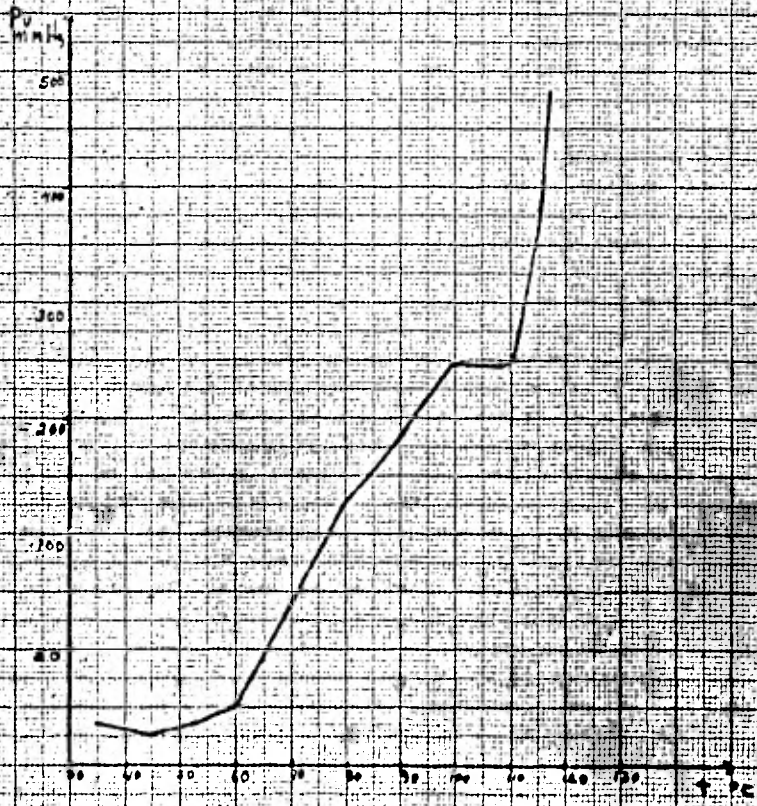
P. PETIL. CLICOL  
90% DE CONCENTRACION

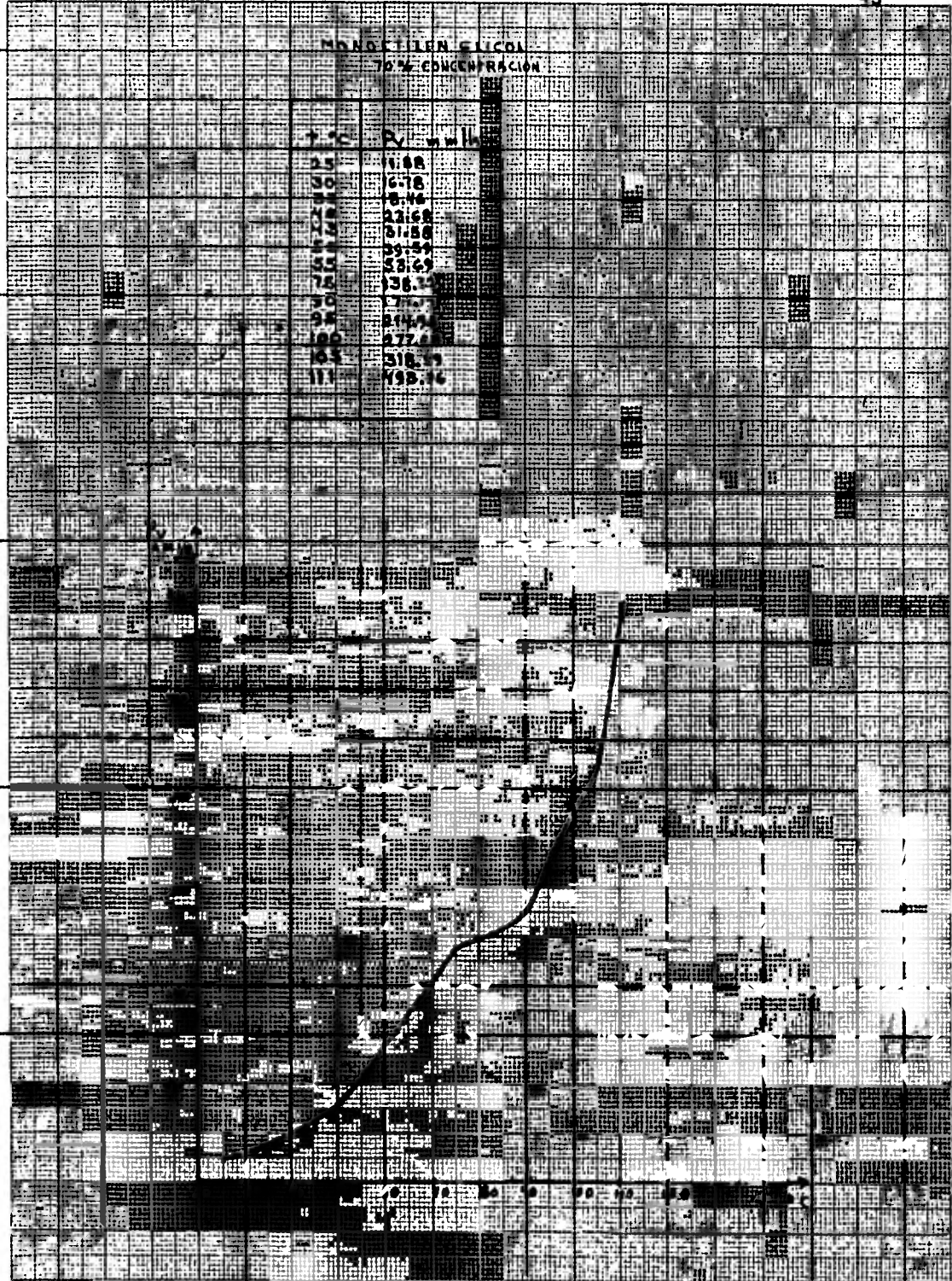
T °C	P. en mm Hg
23	15.8
30	15.7
40	20.04
50	21.60
60	23.00
80	24.86
90	25.12
100	26.00
0	0
10	16.05
30	215.78
35	23.25



MONDRILEN GLICOL  
50% DE CONCENTRACION

t °C	Pv - mm Hg
35	25.63
45	40.48
50	52.50
60	80.28
70	120.50
80	185.82
90	280.74
100	449.75
110	746.15
115	1371.11
117	2480.33





MONOETHYLEN GLICOL  
50% CONCENTRATION

T °C	P <sub>v</sub> mm Hg
25	14.58
30	17.58
35	22.28
40	27.58
45	35.28
50	45.22
60	103.50
70	162.51
80	241.16
85	293.68
90	363.49
95	455.71
100	542.30
102	571.15

P<sub>v</sub>  
mm Hg

600

400

300

200

100

50

T °C

20

30

40

50

60

70

80

90

100

110

120



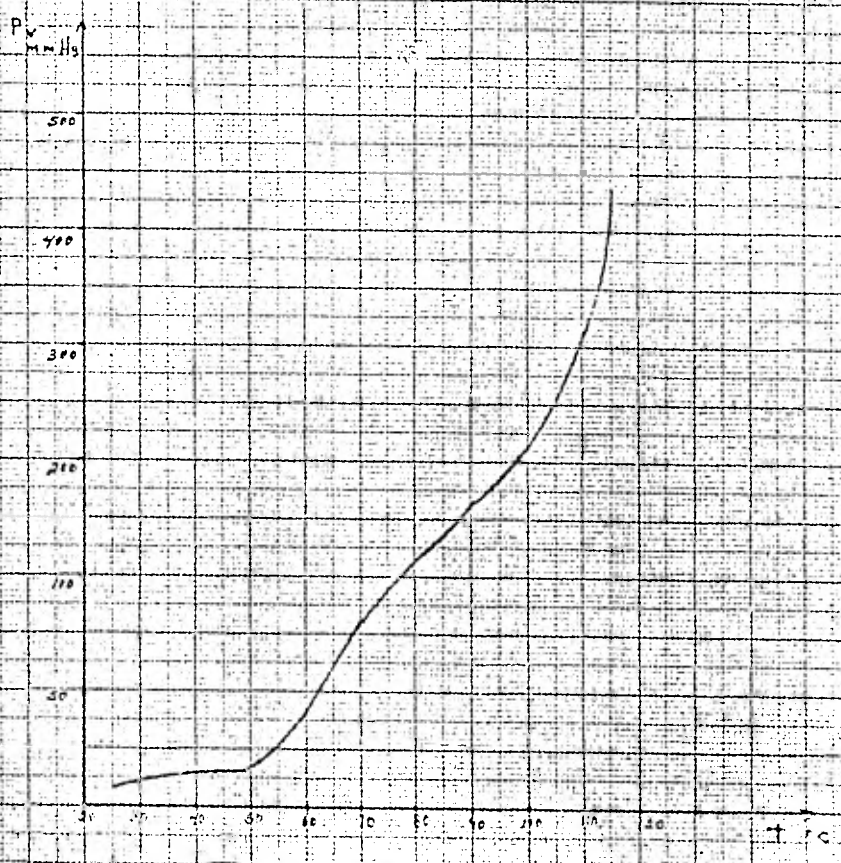
PROPILÉN GLICOL  
30 % DE CONCENTRACION

T, °C	P <sub>v</sub> , mm Hg
40	1.18
50	1.18
55	2.81
80	7.81
90	8.16
110	14.82
125	24.82
130	34.82
135	47.38



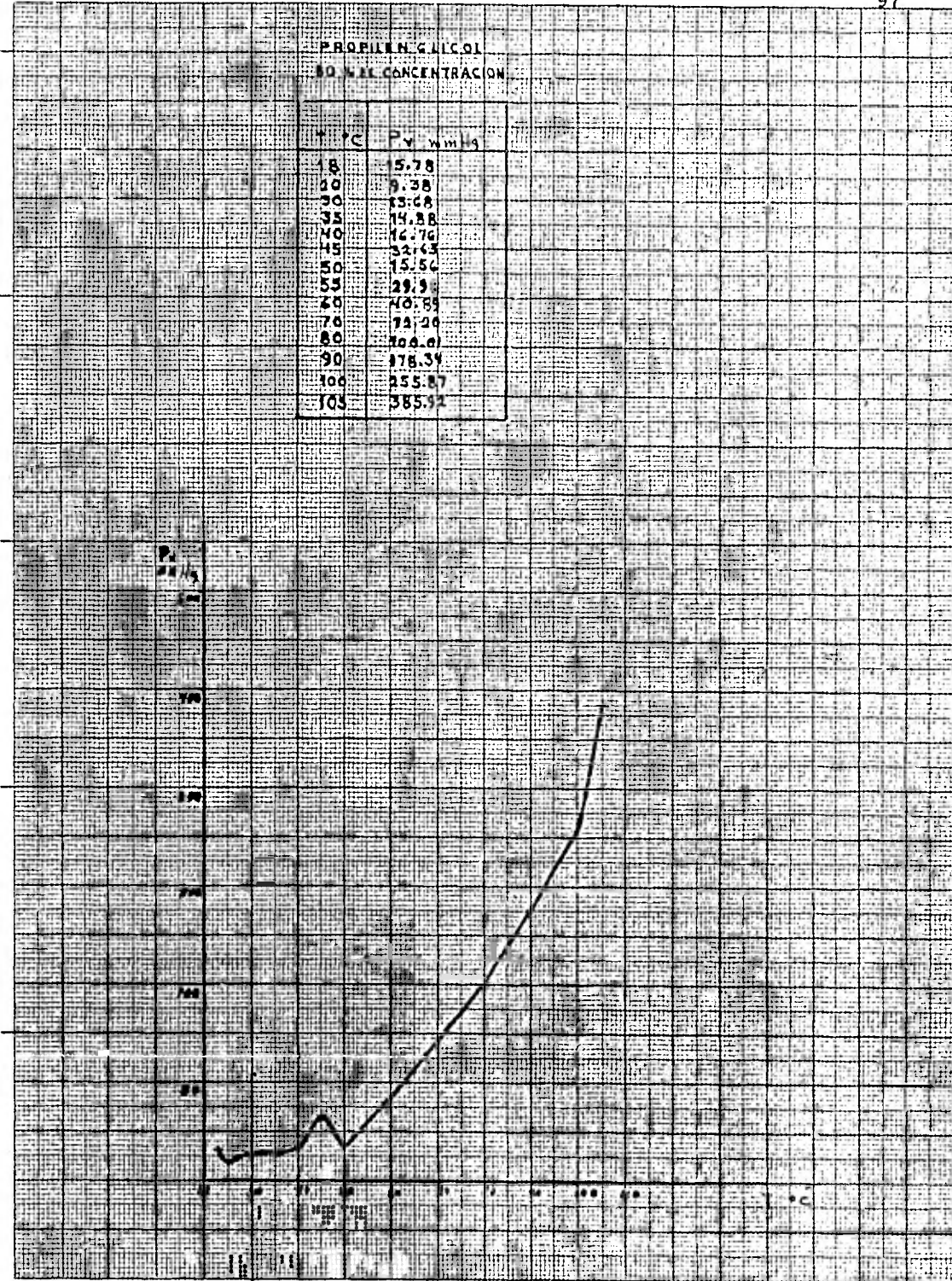
PROFILIEN GLICOL  
90% DE CONCENTRACION

t sc	Pv mmHg
25	2.86
30	10.23
35	12.68
40	13.88
45	15.30
50	17.91
55	20.70
60	40.99
70	60.40
80	113.72
90	160.23
100	216.05
105	240.76
110	305.69
115	425.54



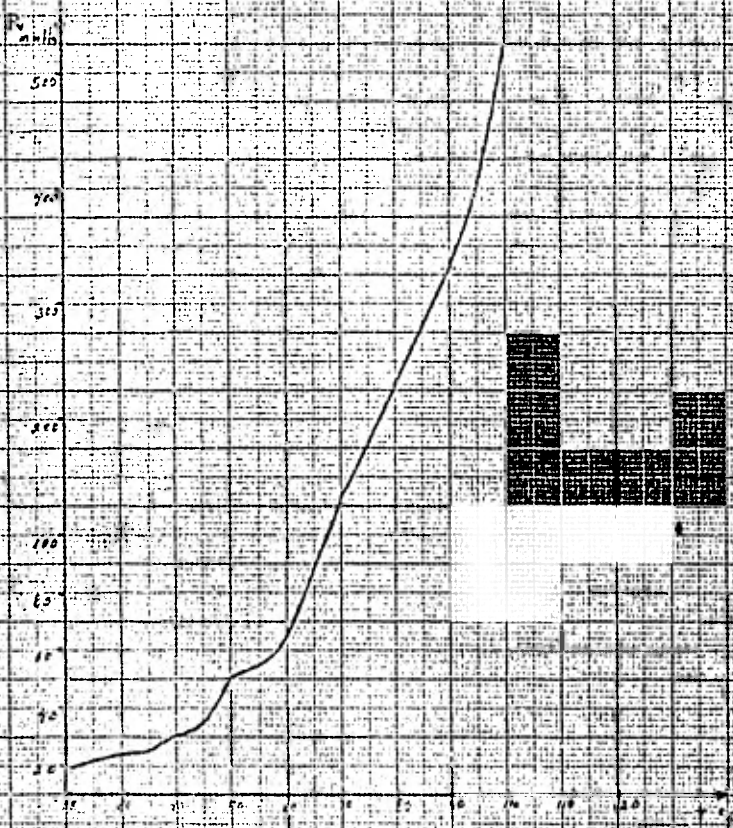
PROPILÉN GLICOL  
50 W.W. CONCENTRACION

T °C	P <sub>v</sub> mmHg
18	15.78
20	16.38
30	18.68
35	19.88
40	21.76
45	23.63
50	25.56
55	27.91
60	30.83
70	35.20
80	40.61
90	47.34
100	55.87
103	58.52



PROPILÉNGLICOL  
60 % DE CONCENTRACION

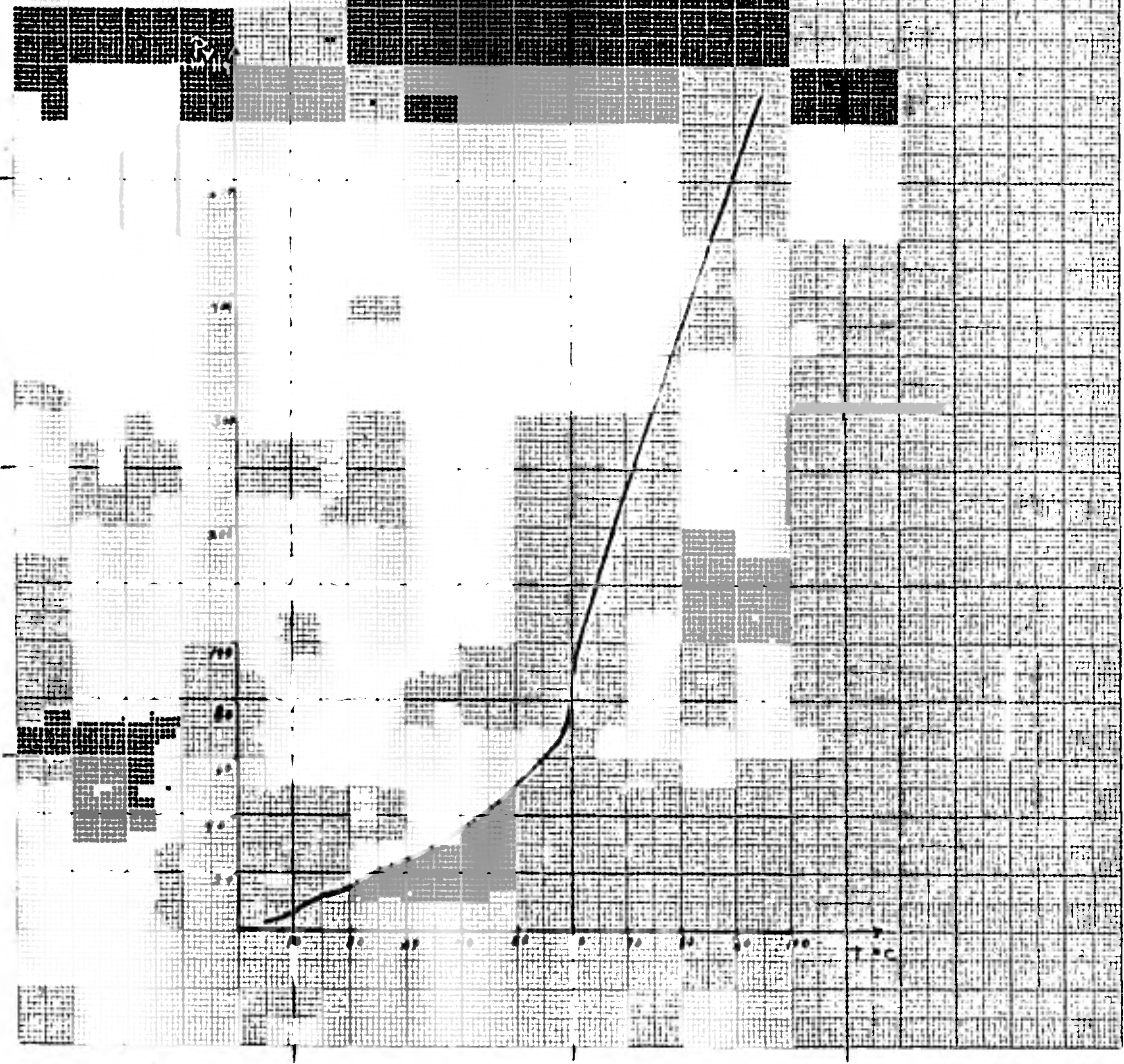
t °C	P <sub>y</sub> mm Hg
25	15.93
30	24.96
35	35.76
40	50.62
45	70.79
50	100.07
55	135.25
60	186.69
70	320.72
80	520.16
90	830.75
95	1155.42
100	1600.97





# ESTILADA

5	3.88
10	6.03
15	12.04
20	14.19
25	21.49
30	25.19
40	34.55
50	51.94
58	67.66
95	577.67



#### OBSERVACIONES PARA ESTA PRUEBA.

De los resultados obtenidos, al hacer una primera comparación con los valores listados en la parte teórica se observa que al Propilen Glicol presenta un comportamiento numérico y gráfico cercano a los obtenidos en la mencionada parte. Se observa que los mejores valores de la presión de vapor están dentro de una variación de la concentración entre un 85 a 96 ó 100 %, ya que a una concentración menor el valor de la presión de vapor del agua es predominante y, el comportamiento de la solución tiende a ser similar gráficamente al del agua descartándose estos valores.

Por otra parte los valores con mayor similitud a los obtenidos con Bromuro de Litio, también son los del Propilen Glicol en el mismo rango de concentración mencionada.

### III.3 SEGUNDA SECCION DE PRUEBAS

Este tipo de prueba se realizó con el fin de determinar la capacidad de absorción de las sustancias propuestas, así como de la solución absorbente tipo (Bromuro de Litio) utilizada también en esta serie de pruebas como referencia.

La prueba se efectuó bajo la siguiente forma: Se utilizaron dos matraces conectados entre sí por medio de un tubo de vidrio en forma de U invertido, uno de los matraces contenía la solución a prueba. Se hizo pasar al través de esta una corriente de aire que formaba una bomba de vacío con el fin de que al pasar y estar en contacto íntimo el aire con la solución, esta absorbiera la mayor cantidad posible de humedad contenida en él.

Con el segundo matraz se perseguían dos objetivos:

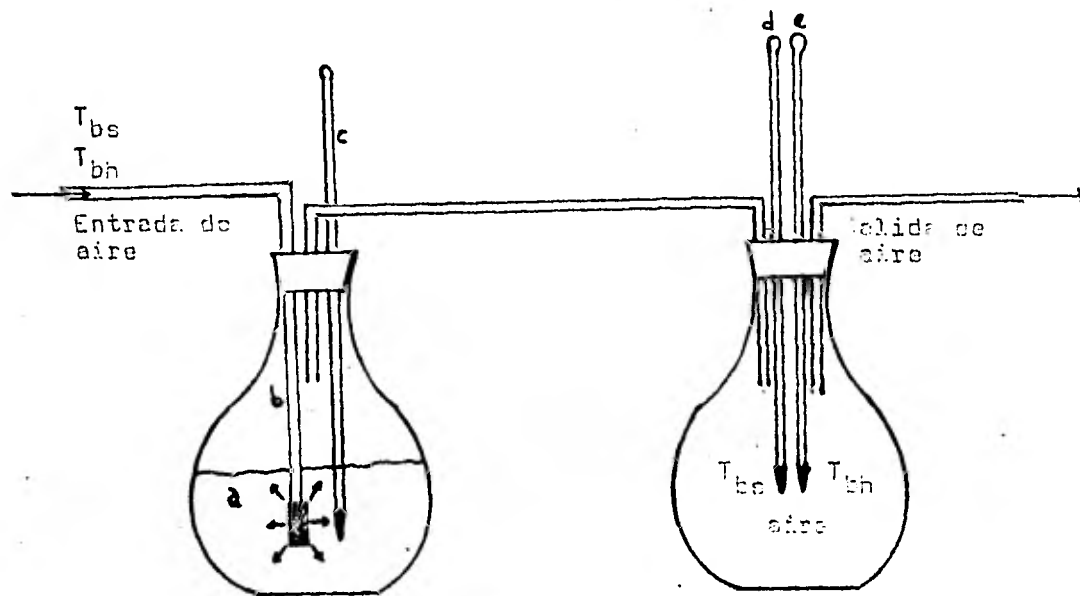
- a).- Permitir la medida de las temperaturas tanto de bulbo seco como de bulbo húmedo del aire ya deshumidificado.
- b).- Disminuir el arresto de la solución permitiendo la salida del aire lo más libre de ella.

Además se registró la temperatura de la solución, así como el tiempo en que se efectuó la prueba, con el objeto de determinar el intervalo de tiempo en que se satura la solución.

Las sustancias que se analizaron en esta serie de pruebas fueron:

- BROMURO DE LITIO
- MONETILEN GLICOL
- PROPILEN GLICOL
- TRIPETILEN GLICOL

Las pruebas fueron efectuadas a diversas concentraciones con los Glicoles. La siguiente figura muestra la forma en que fué realizada esta prueba, los valores obtenidos se listan mostrando los parámetros mencionados.



a.- Solución de Glicol

b.- Tubo dispersor de gases

c,d,e.- Termómetros

Primera Prueba.

Solución utilizada BROMURO DE LITIO concentración 40 %  
Condiciones del aire a la entrada del sistema:

--  $T_{bs} = 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$

--  $T_{bh} = 17.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Resultados Obtenidos

Condiciones del aire a la salida

T sol. $^{\circ}\text{C}$	$T_{bs}$ $^{\circ}\text{C}$	$T_{bh}$ $^{\circ}\text{C}$	Tiempo (min.)
26	20.5	12.8	0
22	20.5	10.5	2
19	20.5	10	4.2
18.2	20	9.5	6
17.5	19.6	9	8
17	19	9	10
16	19	8.8	12
16	19	8.8	14
16	19	8.8	16
16	19	8.8	18
16	19	8.8	21

El valor se conserva.

Segunda Prueba

Solución utilizada MONOETILEN GLICOL concentración 95 %  
 Condiciones del aire a la entrada.

--  $T_{bs} = 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$

--  $T_{bh} = 17.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

T sol. $^{\circ}\text{C}$	$T_{bs}$ $^{\circ}\text{C}$	$T_{bh}$ $^{\circ}\text{C}$	Tiempo (min.)
90	20.5	19	0
40	26	20.5	12
40.5	24	18	14
37	24.8	15.5	16
35	24.5	14.5	18
33	24	13.5	21
31	23.5	12.8	23
30	23	12	25
29	22.5	11.8	27
28.5	22.3	11.5	30
28	22	11	32
27	21.8	11	35
26	21.5	11	38

Tercera Prueba

Solución utilizada MONOETILEN GLICOL concentración 80 %

Condiciones iniciales del aire

--  $T_{bs} = 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$

--  $T_{bh} = 17.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Condiciones a la salida

$T_{sc1.} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{bs} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{bh} \text{ }^{\circ}\text{C}$	Tiempo (min.)
75	21	19	0
36	23.3	22	22
35	24	22	24
34	25	22	26.5
30	24.5	20.5	28
26.5	24	14	30
25	23	17	32
24	23	16.5	34
23	22	15.5	36
22	22	15	38
22	22	15	40
21.5	21.5	14.8	43
21	21.2	14.5	45

Cuarta Prueba

Solución utilizada TRIETILEN GLICOL concentración 99 %

Condiciones iniciales del aire:

--  $T_{bs} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

--  $T_{bh} = 17 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{sol.} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{bs} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{bh} \text{ }^{\circ}\text{C}$	Tiempo (min)
100	22	21	9
72	21.5	20	3
64	21	19.5	5
55	21	18	7
52	20.5	17	8
46	20.5	16	10
41	20.5	14.5	12
39	20.5	13	14
35	20.5	12	16
32	20.5	11.5	18
30	20.5	11	20
28	20.5	10.5	22
27	20.5	10.2	24
26	20.4	10	26
25.8	20.3	10	28



Continuación de la cuarta prueba utilizando TRIETILEN GLICOL

$T_{sol.}$ °C	$T_{bs}$ °C	$T_{bh}$ °C	Tiempo (min.)
25	20.2	9.5	30
24.2	20.2	9.5	32
24	20.2	9.2	34
23.2	20.5	9.2	36
23	20.5	9	38
23	20.2	9	40
22.2	20	9	42
22	20	9	44
22	20	9	46
21.5	20	9	48
21.5	20.5	8.8	61
21.5	20.7	8.8	63
21.5	20.5	8.8	65
21.5	20	9.5	159

Quinta prueba.

Solución utilizada TRISTYLEN GLICOL sin regenerar concent. 70 %

-- condiciones iniciales.

--  $T_{bs} = 22$

--  $T_{bh} = 21$

$T_{sol.}$ °C	$T_{bs}$ °C	$T_{bh}$ °C	Tiempo min.
20	21.8	17	0
20	21	11.5	2
20.5	21	10	4
20.8	21	9.8	6.45
21	21	9.5	8
21	21	9.5	9
21.2	21	9.8	12
Enfriando la solución	Valores despues del enfria-		
20.8	21	9.8	16
20.8	21	9.8	19

Sexta prueba

Solución utilizada PROPILEN GLICOL sin regenerar 80% concent.

Condiciones iniciales.

--  $T_{bs} = 20.5 \text{ } ^\circ\text{C}$

--  $T_{oh} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

--  $T_{sol} = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_{sol.} \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_{bs} \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_{oh} \text{ } ^\circ\text{C}$	Tiempo (min.)
19	20.5	20	0
20	20.5	17.5	2
20.8	20.5	16	4
21	20.5	15	6
21.6	20.2	14.7	8
21.3	20	14.5	10
22	20	14.2	12
22	20	14.2	14
23	20	14.2	26

Septima prueba.

Solución utilizada PROPILEN GLICOL concentración 98 % regenerado  
condiciones iniciales.

--  $T_{bs} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$

--  $T_{bh} = 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$

--  $T_{sol.} = 31 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{sol} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{bs} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{bh} \text{ }^{\circ}\text{C}$	Tiempo (min.)
31	22	14	0
31.5	21.5	12.8	2
31.5	21.5	12.2	4
31.5	21.5	12	6
Enfriando la solución con hielo.			
28	21	30	10
26	20.5	11.8	12
23	20	11.2	14
19	19	10.8	17
18	18.7	10	20
17	18	10	23
16	18	10	25
15	17.8	9.8	27
15	17.5	9.5	29
15	17.5	9.5	31
15	17.5	9.5	34
14.5	17	9.5	36

Octava prueba.

Solución utilizada PROPILEN GLICOL con 98 % concentración regenerado. Condiciones iniciales:

- $T_{bs} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{bh} = 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{sol.} = 153 \text{ }^{\circ}\text{C.}$

$T_{sol} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{bs} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{bh} \text{ }^{\circ}\text{C}$	Tiempo (min.)
74	24.5	21	0
61	24	21	2
53	22.5	20.5	4
48	22	19	6
42	22	17.5	8
38	21.5	16	10
36	21.2	15	12
33.5	21.2	14	14
32	21	13	16
30.5	21	12.5	18
29.5	21	12	20
28.5	21	11.7	22
27	21	11.5	24
26	21	11.2	26
24.5	20.5	11	30
24	20.8	10.5	32
24	20.8	10.8	34
23	20.5	11	38
22	20	10.5	40
22	20	10.2	42
22	20.1	10	44
22	20.1	10.0	52
22	20.5	10.5	56
23	20.5	12	1.31

#### III.4 OBSERVACIONES PARA ESTA PRUEBA

Una vez realizadas las pruebas se observó que la solución de glicol con la que se obtuvieron las condiciones del aire lo mas cercanas a las obtenidas con el Bromuro de Litio, es el TRIETILEN GLICOL, solución con que se mantuvieron por mayor tiempo los valores, obtenidos.

El mejor valor de concentración de las soluciones, para obtener los mejores valores de los parámetros a medir en el proceso estan en un rango de variación entre el 85 a 98 %. Esto se observa, de los resultados listados anteriormente. Este rango en la variación de la concentración se determinó en el transcurso de las pruebas, pues a menor concentración del 85 % se obtenian valores de la temperatura de bulbo húmedo altos (en comparación con los obtenidos con el bromuro de litio) aun cuando el tiempo de prueba se prolongara. Se propone el valor del 98 % ya que dada la gran solubilidad de los Glicoles con el agua y no obstante ser regenerada tuvo, siempre presente cantidad remanente de agua, es decir no se obtuvo una concentración del 100 %

Como se anotó al principio, el objetivo de esta prueba fué determinar la capacidad de absorción de las sustancias a prueba. En el segundo matraz la temperatura de bulbo seco ( $T_{bs}$ ) debería tender a aumentar en un rango mas o menos visible, ya que al absorber humedad la solución, se tendria aire relativamente "seco" pasando, por dicho matraz.

Como se esperaba la prueba resultó representativa a lo planteado, si bien no fué muy eficiente, si se obtuvieron los parámetros esperados. No se conto con balanza analítica para observar la variación de la solución de Glicol, pues debería tender a aumentar de peso por la cantidad de agua que le "quitara" el aire y pasara, a la solución. Aun asi se observó la variación de la temperatura, tanto de bulbo seco como de húmedo del aire en el transcurso de la prueba.

### III.5 TERCERA SECCION DE PRUEBAS

Al revisar los resultados obtenidos en las pruebas anteriores en los que se observaron valores que son aceptables para el objetivo planteado inicialmente y de acuerdo a estos, se propuso una serie de pruebas, utilizando elementos físicos y mecánicos para tratar de producir un cambio en las condiciones de un flujo de aire.

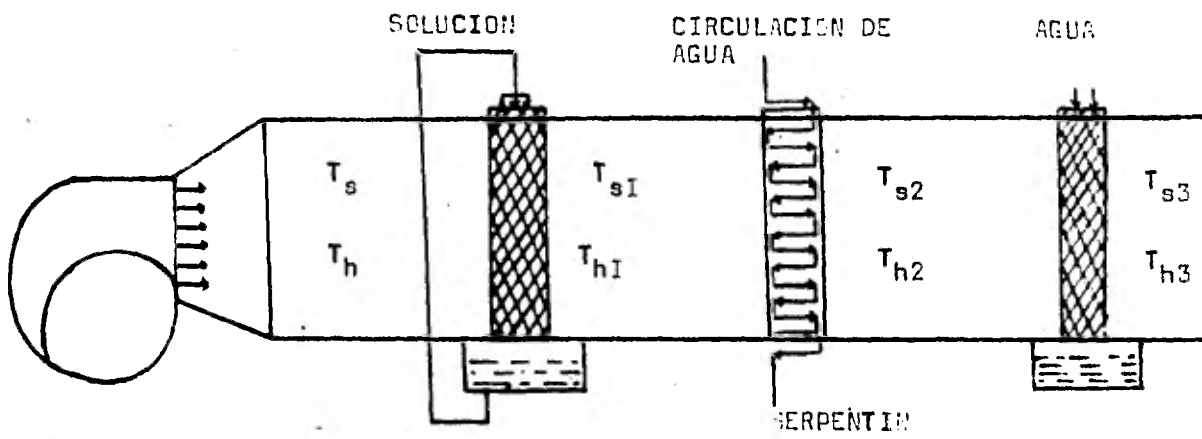
Se estableció un proceso teórico mediante el cual y conforme, a una carta psicométrica, el aire se manejaría hasta obtener sus condiciones lo mas cercanas a las de inyección, que se obtienen en los equipos convencionales de aire acondicionado.

El equipo requerido para el desarrollo de la prueba se planeó y elaboró de la siguiente forma.

Se armo un ducto de lámina de aproximadamente 1.50 m. de largo por 0.40 m. de lado, colocándose debidamente espaciados los elementos empleados para cambiar las condiciones del aire al través, de ellos; dichos elementos son:

Primeramente se cuenta con un ventilador que proporcionó el flujo de aire, el siguiente elemento empleado hizo la función de un deshumidificador, el cual se elaboró sobre un marco de aluminio y a manera de empaque una fibra porosa, sosteniéndola con una malla de alambre, sobre éste tipo de deshumidificador se colocó un tubo de cobre de 1/2 pulg. de diámetro, con perforaciones de menor a mayor diámetro para distribuir uniformemente la solución a prueba. El siguiente elemento es un enfriador a base de agua del tipo, serpentín con aletas, al través del cual pasara el aire procedente del deshumidificador. Como último elemento se tiene un humidificador hecho en forma similar al deshumidificador.

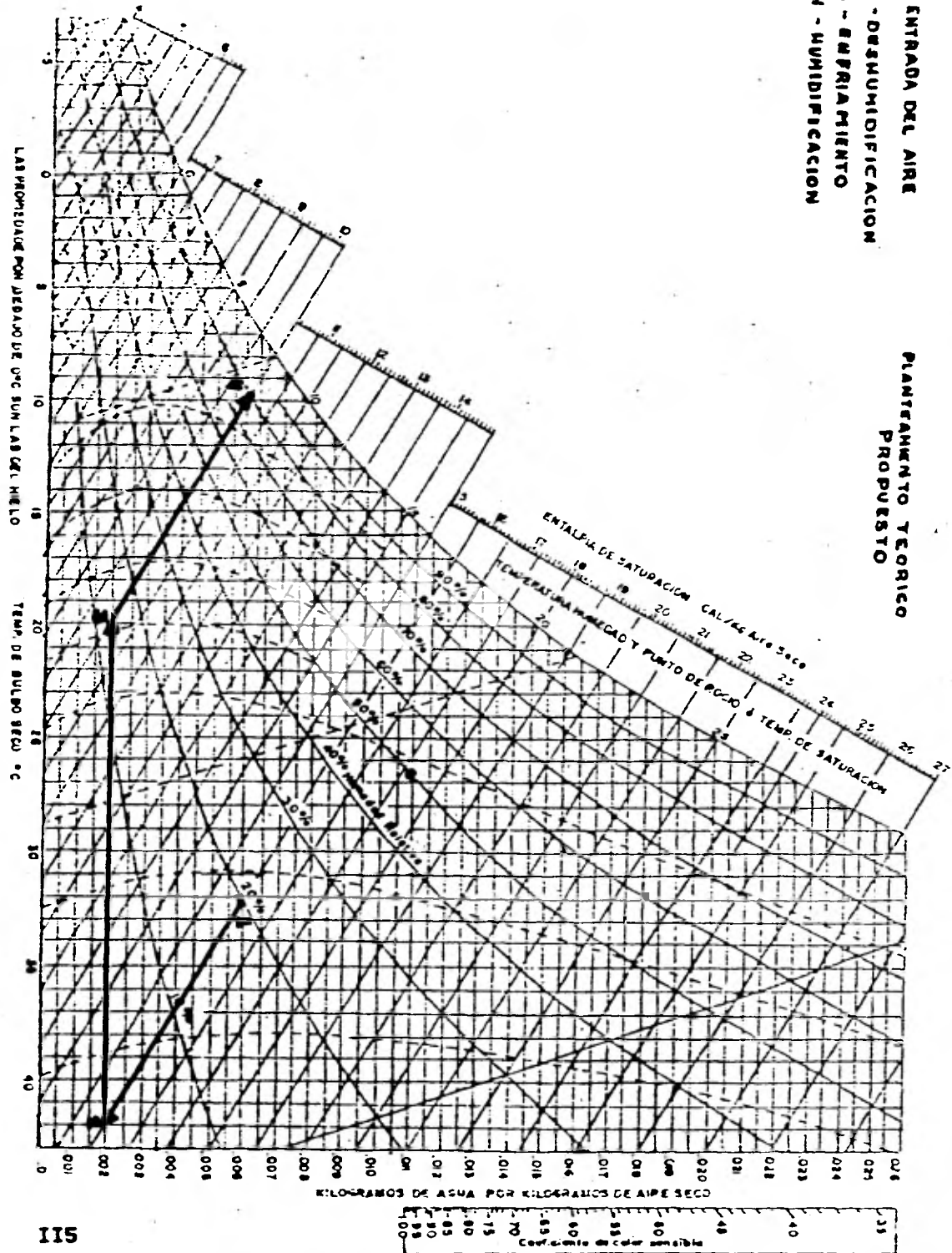
El proceso será realizado como se mencionó anteriormente de acuerdo a lo planteado en una carta psicométrica, esto es a decir: quitarle humedad al aire siguiendo una línea de entalpia constante y a la vez modificándose la temperatura de bulbo seco, enseguida, se enfriara con referencia a una línea de humedad absoluta, en esta forma la temperatura de bulbo húmedo disminuirá a la vez que la temperatura de bulbo seco y finalmente se humidificará el aire a entalpia constante provocando que la temperatura de bulbo seco disminuya.





- 1 - ENTRADA DEL AIRE
- 1-2 - DESHUMIDIFICACION
- 2-3 - ENFRIAMIENTO
- 3-4 - HUMIDIFICACION

PLANTAMIENTO TEORICO  
PROPUESTO



Una vez armado el ducto se procedió a realizar la primera prueba, las condiciones ambiente correspondientes y medidas a las 20.20 hrs. fueron:

$$T_{bs} = 18.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{bh} = 17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Solución a probar PROPILLEN GLICOL con 98 % de concentración

Temperaturas a la salida del deshumidificador.		Temperaturas a la salida del enfriador		Temperaturas a la salida del humidificador	
$T_{bs}$ $^\circ\text{C}$	$T_{bh}$ $^\circ\text{C}$	$T_{bs}$ $^\circ\text{C}$	$T_{bh}$ $^\circ\text{C}$	$T_{bs}$ $^\circ\text{C}$	$T_{bh}$ $^\circ\text{C}$
21	11.5	17	9.5	-	-

La primera y única lectura se hizo a las 20.25 hrs. para esta prueba se manifestaron las fallas que el aparato tenía, estas consistían en fugas considerables de la solución de Glicol a prueba en el deshumidificador y fugas de agua en el enfriador, llegando a estar en contacto y mezclándose por lo que la solución quedaba indefinida respecto a la concentración.

Se suspendió la prueba y se procedió a corregir el equipo, las modificaciones consistieron en cambiar los depósitos utilizados para recibir las soluciones por unas de mayor capacidad y una modificación completa del empaque.

A continuación se presentan una serie de pruebas realizadas con el equipo ya modificado.

Se utilizó la siguiente nomenclatura definidas para cada sección del equipo.

--  $T_{s1}$  = Temperatura de bulbo seco a la salida del deshumidificador

--  $T_{h1}$  = Temperatura de bulbo húmedo a la salida del deshumidificador.

--  $T_{s2}$  = Temperatura de bulbo seco a la salida del enfriador.

--  $T_{h2}$  = Temperatura de bulbo húmedo a la salida del enfriador.

--  $T_{s3}$  = Temperatura de bulbo seco a la salida del humidificador.

--  $T_{h3}$  = Temperatura de bulbo húmedo a la salida del humidificador,

--0--

Segunda prueba.

Solución a probar PROPILÉN GLICOL, concentración de 90 %

Condiciones ambiente

$T_{bs} = 21^{\circ}\text{C}$

$T_{bh} = 15^{\circ}\text{C}$

Listado de resultados:

$T_{s1}$ °C	$T_{h1}$ °C	$T_{s2}$ °C	$T_{h2}$ °C	$T_{s3}$ °C	$T_{h3}$ °C	Tiempo (min)
22	11.3	19	11.5	20	13	5

Se tomó una sola lectura y se suspendió la prueba por existir, fugas de aire entre los elementos del equipo y proceder a su sellado.

Tercera prueba

Solución utilizada: PROPILÉN GLICOL con 88 % de concentración

Condiciones ambiente

$T_{bs} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$

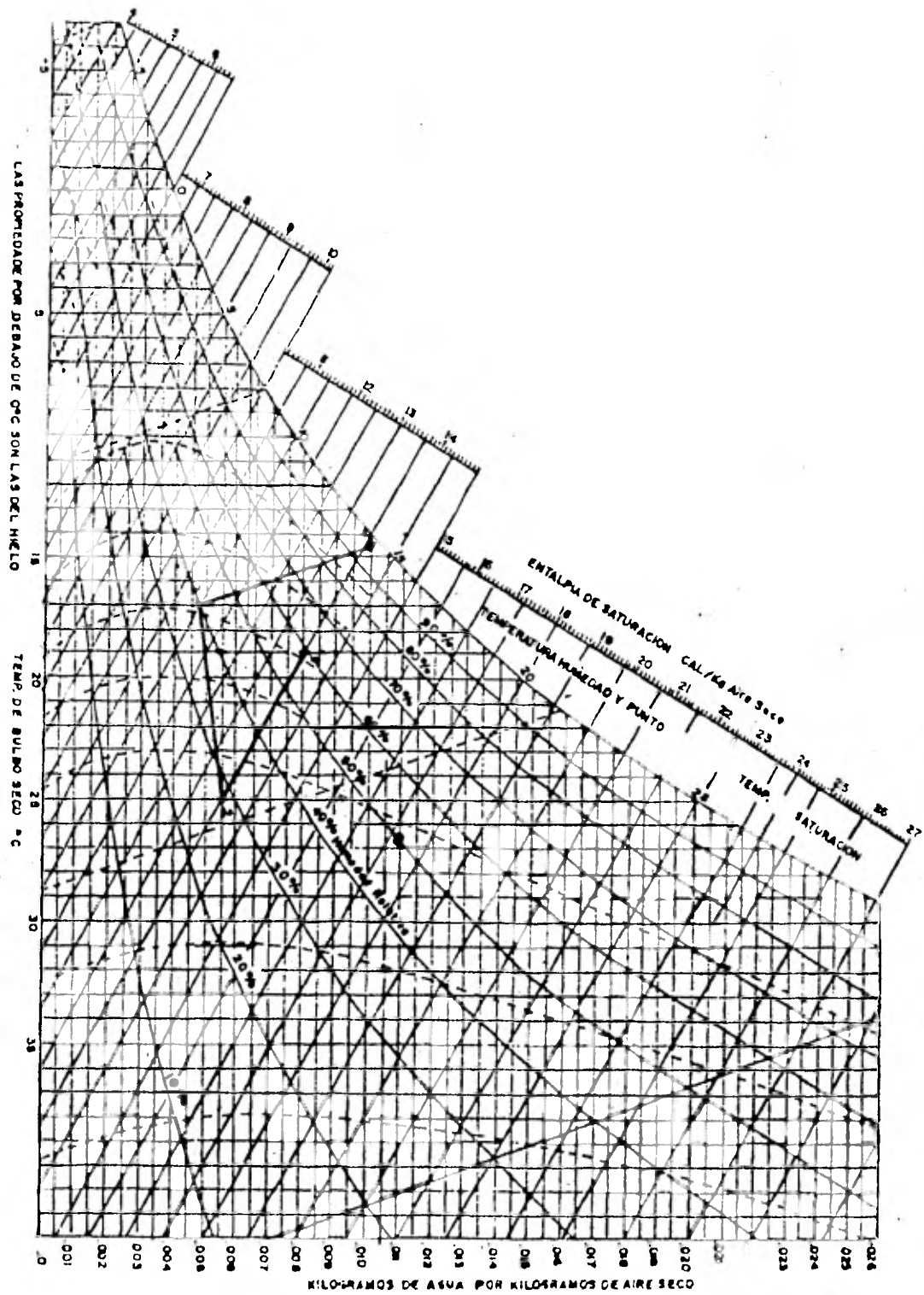
$T_{bh} = 14\text{ }^{\circ}\text{C}$

hora 19.45 inicio - 20.17 terminación.

$T_{s1}\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{h1}\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{s2}\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{h2}\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{s3}\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{h3}\text{ }^{\circ}\text{C}$	Tiempo (min.)
19	14.5	19	11.5	20	13	0
-	-	18	12	17	13	5
19.5	12.5	17	10	16	14	10
20	12.5	17	10	16	14	15
20.5	12.5	17	10	16	15	20
21	13	17	10	15	15	25
25	14	17	10	14	15	27

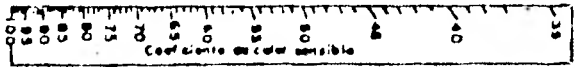
La primera lectura fué tomada sin circulación de la solución de Glicol y del agua, para tomarla como condiciones interiores e la salida del ventilador.

Las condiciones alcanzadas al través del proceso se presentan para cada prueba a continuación, representandolas en cartas psicométricas para observar la tendencia al cambio en cada etapa o elemento del equipo, del flujo de aire utilizado. Se toma como condiciones iniciales las ambiente y se representa unicamente los últimos valores tabulados, estos valores se tomaron como finales cuando ya no hubo variaciones en las temperaturas.



LAS PRIORIDADES POR DEBAJO DE 0°C SON LAS DEL HIELO

TEMP. DE BULBO SECO °C



Cuarta prueba

Solución utilizada PROPILÉN GLICOL con 98 % de concentración.

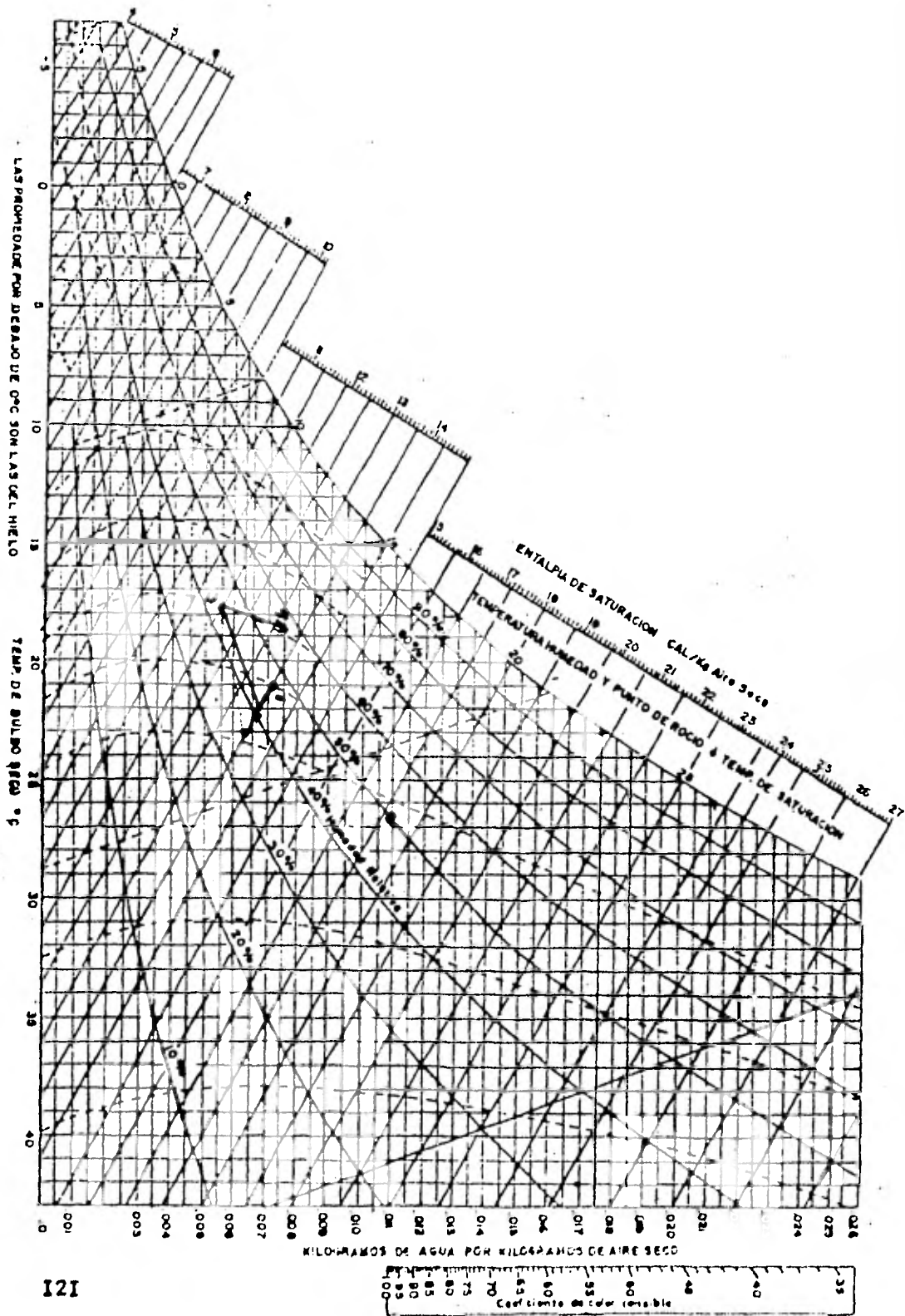
Condiciones ambiente:

$T_{bs} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{bh} = 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$

hora 20.35 inicio - 20.52 terminación

$T_{s1} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{h1} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{s2} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{h2} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{s3} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{h3} \text{ }^{\circ}\text{C}$	Tiempo (min)
19.5	15	17.6	12.5	17.5	14	-
21.5	14.8	17.5	11	16.5	14	5
23	14.5	17.5	11	15.5	13.5	12
23	14	17.8	11	12.8	13.5	20



Quinta prueba

Solución utilizada MONOMETILEN GLICOL con 98 % de concentración

Condiciones ambiente:

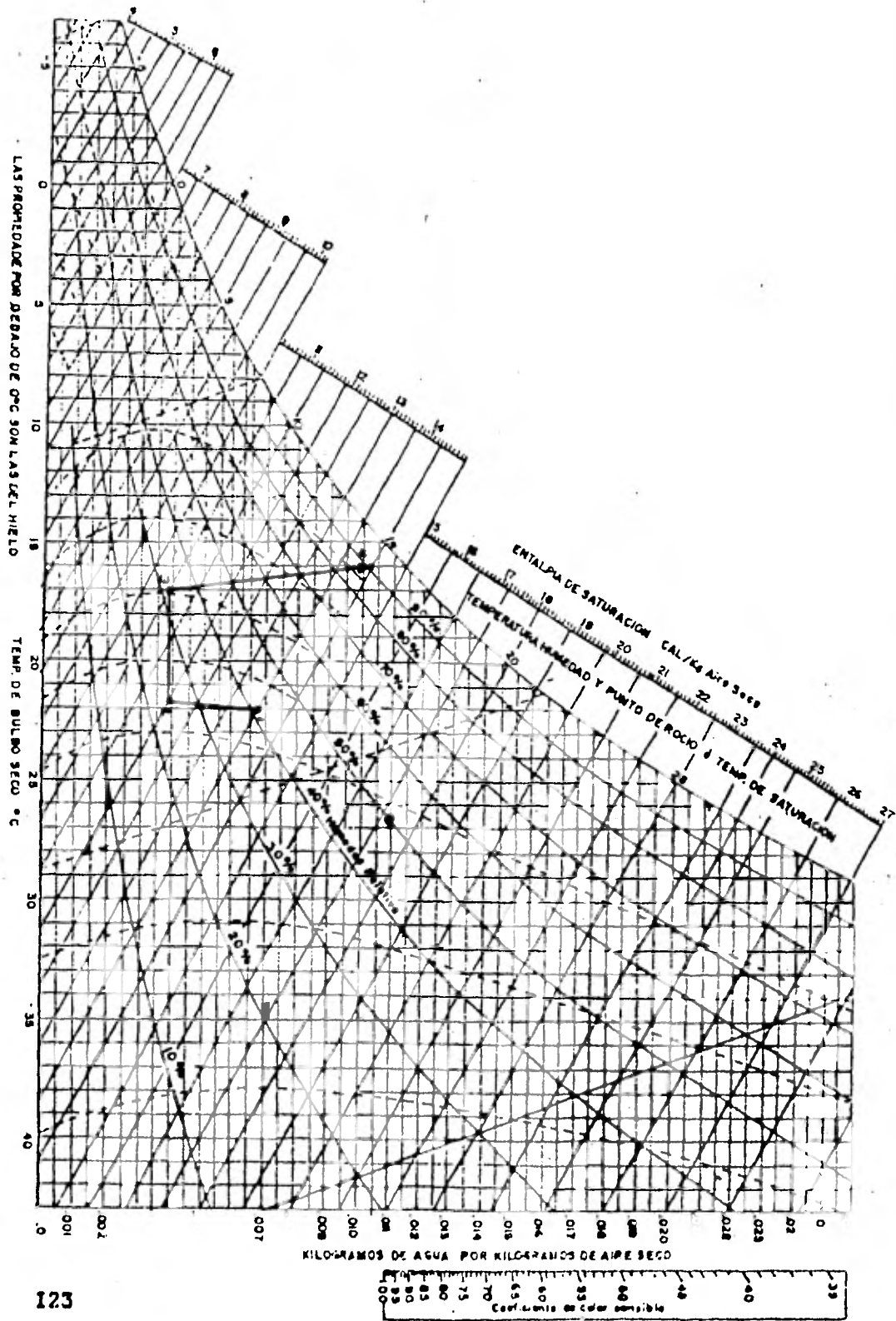
$T_{bs} = 22 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$T_{bh} = 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$

hora 19.07 inicio - 20.12 terminación

T sal. Vent.	$T_{si} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{h1} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{s2} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{h2} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{s3} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{h3} \text{ }^{\circ}\text{C}$	Tiempo (min.)
20	20	12.5	18	12	17	13	0
20.5	22.5	11	17	9	17	10.5	5
21	23	11.5	17	8.9	17	11	10
21	22.5	11	17	8.7	18	11.5	15
22	22.5	11	17.5	8.5	17	11.5	20
22.5	22.5	12	17.5	9	16.5	12	25
22	22.5	11.5	17	9	16.5	11.5	30
21	22.5	11.7	17	9	16	12	35
22	22.7	11.7	17	9	16	12	40
22	21.7	11	17	9	16	15	50
22	21.7	11	17	9	16	15	63





Sexta prueba

Solución utilizada PROPILENO GLICOL con concentración de 9%

Condiciones ambiente:

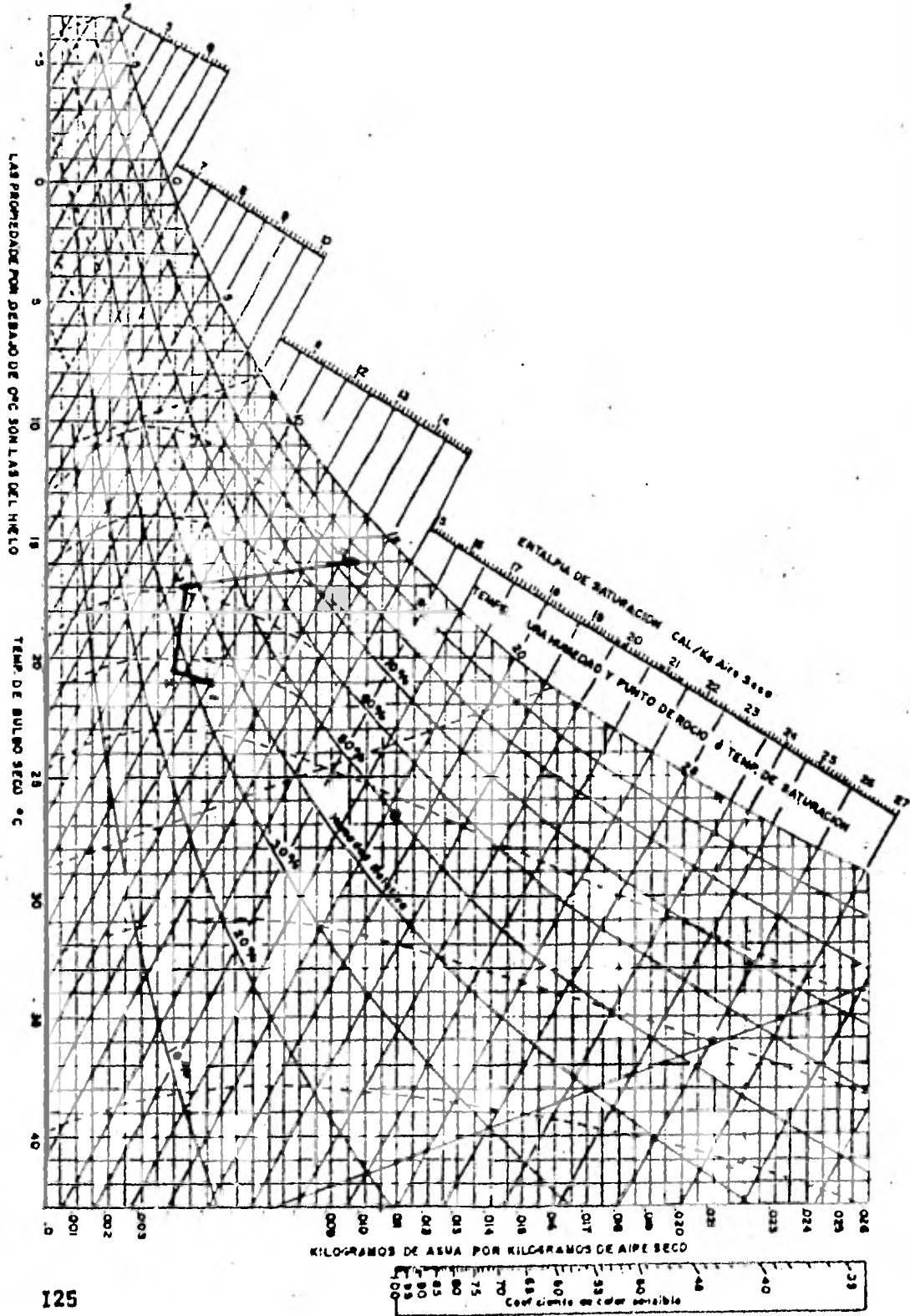
$$T_{bs} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{bh} = 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

hora: 16.00 inicio - 16.40 terminó

T sal. vent.	T <sub>s1</sub> °C	T <sub>h1</sub> °C	T <sub>s2</sub> °C	T <sub>h2</sub> °C	T <sub>s3</sub> °C	T <sub>h3</sub> °C	Tiempo (min.)
21	20.5	11	18	11	16	13.2	0
21	21	11	17.8	10.5	16	13.2	5
21	21	11	17.2	10	16	13.2	10
21	20.5	10.5	17.2	9.5	16.5	14.5	15
21	20.5	10.8	17	9.5	16	14.5	40

Observaciones a esta prueba: Como se muestra en los valores tabulados y comparándolos con los anteriores, se observa que en esta prueba es donde se han logrado las condiciones más bajas.



### III.6 OBSERVACIONES PARA ESTA PRUEBA

Los resultados obtenidos en esta tercera sección de pruebas , no son representativos de los establecidos en el planteamiento, ya que los valores así obtenidos tuvieron variaciones debido a fallas que se presentaron en el equipo utilizado y por error en las lecturas de los termómetros debido a vibraciones del propio equipo, además influyó en las condiciones iniciales la hora en que fueron realizadas estas pruebas, generalmente a una hora en que la temperatura de bulbo seco disminuye. Se incluye esta sección solo como referencia.

De los mejores resultados obtenidos, aun cuando no son exactos por las razones mencionadas, se observa que utilizando PROPILEN GLICOL se tienen las mejores condiciones para el proceso y durante un intervalo de tiempo mas grande; la variación en la concentración para un mejor proceso fué de 85 a 98 % valor similar a la, encontrada anteriormente. Se hace notar que en esta prueba no se , ensayo con Trietilen Glicol por no disponer de la cantidad suficiente y ser este un proceso continuo.

Entre las desventajas encontradas a lo largo de las pruebas , realizadas la principal es: la rapida perdida en la capacidad de , absorción, ya que a concentraciones menores del 60 % se disminuye, en forma notable esta propiedad; los Glicoles presentan otras desventajas menores como: leve toxicidad, son flamables y cuando se , calientan se corre el riesgo de que se degraden.

### III.7 CONCLUSIONES

Se concluye este análisis una vez realizadas las pruebas propuestas, en las que se obtuvieron resultados con cierta variación, a los planteados teóricamente, sin embargo las pruebas no tuvieron gran desviación, pues se observa en los resultados encontrados, como las soluciones tienden a efectuar el proceso de absorción en un rango apreciable y factible de ser medido.

Por lo anteriormente analizado se concluye primeramente que, ciertos tipos de Glicol SI son sustancias absorbentes, no de la capacidad del absorbente tipo (Bromuro de Litio) pues con este los valores obtenidos fueron predominantes en las pruebas en que fué utilizado.

En segundo término se concluye que el tipo de Glicol más absorbente e higroscópico es el TRIETILEN GLICOL y de posible utilización en equipos de absorción, seguidamente se tiene al PROPILÉN GLICOL y por último el ETILEN GLICOL. El rango entre una plena absorción y la pérdida de la capacidad de esta es como se a venido anotando, los valores estan descritos en las observaciones para cada prueba. La utilización de los Glicoles en las máquinas de absorción estaria condicionada por causa de que se tiene que manejar altas concentraciones, por tal motivo la regeneración seria con demasiada frecuencia.

Sin embargo no se descarta la utilización de los Glicoles como sustancia absorbente, al encontrar medios tendientes a aumentar su capacidad de absorción y disminuir en cierta medida las desventajas que presentan.

Este estudio no es aun definitivo, pues abre perspectivas para ser continuado por ejem: probar el Glicol más absorbente en una máquina real de absorción que utilice agua como refrigerante y de esta manera determinar su comportamiento, o perfeccionar el equipo propuesto en la tercer sección, para ser utilizado en acondicionar aire y tenerlo a las condiciones que se logran con los equipos convencionales.

## Bibliografía

- 1.- JOHN J. HASSLER  
Active Carbon  
Chemical Publishing Co. Inc. N.Y.
- 2.- LANGMUIR I.J.  
J. American Chemistry Society 1916
- 3.- CLAF A. HOFFER, KENNETH F. JATSON  
Chemical Process Principles  
John Wiley and Sons, Inc. N.Y. 1954
- 4.- JILLIAN C. REYNOLDS  
Termodinámica  
Mc. Graw - Hill N.Y. 1977
- 5.- ANDREW S. ALTHOUSE, C. TURNQUIST, F. BRACCINNO  
Modern Refrigeration and Air Conditioning  
The Goodhart - Gilcox Co. Inc. 1975
- 6.- HERNANDEZ GERIBAR  
Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración  
Editorial Limusa 1975
- 7.- PERRY, DECIL W. CHILTON  
Chemical Engineer's Handbook  
Mc. Graw - Hill book 1973
- 8.- J.W. MOLEERS  
Problemas Elementales de Química Física  
Editorial Acribia 1961
- 9.- CIA. POLICIES S.A.  
Catálogo "Químicos Industriales"
- 10.- CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY  
Manual de Aire Acondicionado  
Marcombo S.A. de Boixarou Editores 1975