

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

FACULTAD DE QUIMICA

**RECOPILACION DE METODOS PARA LA ESTIMACION  
DE LA VISCOSIDAD**

**M O N O G R A F I A**

**QUE PARA OBTENER  
EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A  
ADELA CASTILLEJOS SALAZAR**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

CLAS. Tesis  
ADQ. 1973  
FECHA  
PROC. H. T. 6A

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE .....	PROF. OTHON GANALES VALVERDE
VOCAL .....	" RAUL MEYER STOFFEL
SECRETARIO .....	" PABLO BARROETA GONZALEZ
1er SUPLENTE .....	" ANTONIO REYES CHUMACERO
2do SUPLENTE .....	" MAYO MARTINEZ KHAN

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

BIBLIOTECAS DE PEMEX, INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO,  
FACULTAD DE QUIMICA Y DOMICILIO.

SUSTENTANTE:

ADELA CASTILLEJOS SALAZAR

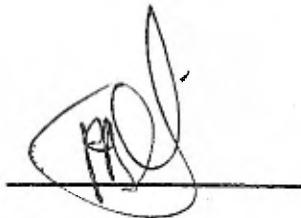


ASESOR DEL TEMA:

PROF. RAUL MEYER STOFFEL

SUPERVISOR TECNICO:

PROF. PABLO BARROETA GONZALEZ



A mis queridos padres:

Lic. Armando Castillejos Ortiz

Lic. Adela Salazar de Castillejos

con la más grande admiración,  
carifio y agradecimiento por su  
magnífico ejemplo.

A mi esposo:

Ing. Enrique Elmo Acosta

con todo mi amor

A mis adorados hijos:

Enrique, Alejandro y Armando

A mis hermanos: Margarita y Armando  
A mis primos: Clemente y Josefina  
A mi abuelita

A mis padres políticos  
A mis hermanas políticas  
A todos mis familiares

A mi querida escuela  
A mis maestros  
Al H. Jurado

A mis amigos

Agradezco sinceramente la valiosa ayuda prestada por los ingenieros Othón Canales Valverde, Raúl Meyer Stoffel, Pablo Barroeta González, mi amigo Fernando Legaspi B., así como a PEMEX y al Instituto Mexicano del Petróleo, que hicieron posible la realización de este trabajo.

# C O N T E N I D O

## CAPITULO 1

### GENERALIDADES

- 1.1.- INTRODUCCION
- 1.2.- DEFINICIONES Y UNIDADES
- 1.3.- CONCEPTOS GENERALES

## CAPITULO 2

### METODOS DE ESTIMACION

- 2.1.- CORRELACIONES 10
- 2.2.- NOMOGRAMAS 16
- 2.3.- GRAFICAS 170
- 2.4.- TABLAS 231

## CAPITULO 3

### CONCLUSIONES

## CAPITULO 4

### BIBLIOGRAFIA

## C A P I T U L O    1

### G E N E R A L I D A D E S

- 1.1.- INTRODUCCION
- 1.2.- DEFINICIONES Y UNIDADES
- 1.3.- CONCEPTOS GENERALES

## 1.1.- INTRODUCCION

El trabajo que a continuación se presenta está hecho con el fin de simplificar lo más posible la estimación de una propiedad fisicoquímica: LA VISCOSIDAD.

En la mayoría de los procesos industriales en los que se llevan a cabo operaciones en que hay transferencia de masa, de calor, de momento; es necesario conocer esta propiedad, en ocasiones en forma precisa y en otras no tanto, siendo en muchos casos muy difícil la determinación experimental (aunque es la más recomendable en cuanto a precisión se refiere).

Es pues, el objeto de este trabajo hacer una recopilación de los métodos existentes en la actualidad; su descripción, evaluación y recomendaciones según los compuestos de que se trate y las condiciones a que se trabaje.

## 1.2.- DEFINICIONES Y UNIDADES.

### VISCOSIDAD ABSOLUTA.

La viscosidad absoluta nos expresa la fuerza por unidad de área que se requiere para mantener una diferencia unitaria de velocidad entre dos capas paralelas entre sí, distantes una unidad de longitud. Se representa con la fórmula:

$$\mu = \frac{F y}{u A}$$

Sus unidades en el sistema cgs son:

$$\mu = 1 \text{ g/cm seg} = 1 \text{ poise}$$

Y en el sistema MKS:

$$\mu = \text{Kg/m seg}$$

Generalmente la viscosidad se encuentra tabulada en centipoise para líquidos y en micropoise para gases.

$$1 \text{ centipoise} = 1 \text{ cp} = 0.01 \text{ poise}$$

$$1 \text{ micropoise} = 1 \text{ mp} = 10^{-6} \text{ poise} = 10^{-4} \text{ centipoise}$$

### VISCOSIDAD CINEMATICA.

Es la relación de la viscosidad de un fluido y su densidad. Se representa con la fórmula:

$$\nu = \frac{\mu}{d}$$

Sus unidades en el sistema cgs:

$$\nu = \text{cm}^2/\text{seg} = 1 \text{ stoke}$$

#### FLUIDEZ.

Es el recíproco de la viscosidad absoluta. Cuando la viscosidad absoluta está dada en poise, las unidades de la fluidez son los rhes. Se representa:

$$\phi = \frac{1}{\mu}$$

#### VISCOSIDAD CRÍTICA.

Es la viscosidad de un compuesto a las condiciones críticas de presión y temperatura.

#### VISCOSIDAD REDUCIDA.

La viscosidad reducida como se usa en este trabajo, es la relación de la viscosidad absoluta a cualquier condición y la viscosidad crítica. No debe confundirse con la viscosidad reducida que se usa en estudio de soluciones de polímeros. Su fórmula es:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_c}$$

#### VISCOSIDAD RELATIVA.

Es la relación de la viscosidad de una solución a la viscosidad del agua a 20°C.

#### REOCHOR.

Es una función empírica que relaciona la constitución de un compuesto con su viscosidad.

$$[R] = \frac{M (\mu)^{1/8}}{D + 2d}$$

Donde:

- $\mu$  = viscosidad  
 $\delta$  = densidad del vapor en  $\text{g/cm}^3$   
 $D$  = densidad del líquido en  $\text{g/cm}^3$   
 $R$  = recchor

Nota:  $\delta$ ,  $D$  y  $R$  se refieren al punto de ebullición normal.

### 1.3.- CONCEPTOS GENERALES.

En general la viscosidad de los líquidos es más difícil de estimar con exactitud que la viscosidad de los vapores, Afortunadamente la primera puede medirse usando equipo bastante simple en el laboratorio, como el viscosímetro de Ostwald, además de que existen diversos medio de estrapolación. Se recomienda que siempre que sea posible se usen valores encontrados en el laboratorio.

Los métodos que se encuentran en los siguientes capítulos para evaluar la viscosidad de líquidos, representan extrapolaciones de datos conocidos.

En caso de que se necesite conocer la viscosidad con gran precisión, conviene decir que ésta se puede estimar con excelente exactitud para cualquier temperatura de uso normal en los procesos químicos industriales para la mayoría de los gases, vapores y mezclas gaseosas a bajas presiones; no siendo así para gases a alta presión y temperatura, ya que en este caso existen bastantes dificultades para dicha estimación.

Con respecto al efecto de la temperatura en la viscosidad de un gas, se sabe que a presiones bajas la viscosidad aumenta al aumentar la temperatura ya presiones altas la viscosidad disminuye al aumentar la temperatura.

En el caso de los líquidos, podemos decir que la viscosidad de éstos en general siempre aumenta con la presión, a excepción del agua abajo de 30°C (y algunas soluciones acuosas). Este incremento es casi lineal hasta presiones ente 1000 y 4000 atmósferas, y de ahí en adelante el incremento se vuelve logarítmico.

Para líquidos cuya estructura es muy compleja, el efecto de la presión en la viscosidad se vuelve más sensible. Por ejemplo: a 11700 atm:  $\mu_p / \mu_1 = 1.32$  para el mercurio;  $\mu_p / \mu_1 = 10$  para el metanol y  $\mu_p / \mu_1 = 10^7$  para el eugenol. (Siendo:  $\mu_p$  = viscosidad del líquido a presión elevada y  $\mu_1$  = viscosidad del líquidos a 1 atm de presión).

Para líquidos puros a presiones menores de 40 atmósferas, el valor de la viscosidad es insignificante, dependiendo el valor exacto de este límite de la naturaleza del líquido.

También se ha demostrado que una curva de log de la viscosidad de un líquido contra el inverso de la presión es lineal para muchos aceites cuando la presión es mayor de 1000 atmósferas.

En igual forma que sucede con la presión, la influencia de la temperatura en la viscosidad de un líquido es mayor cuando la estructura de éste es más compleja. En general, podemos decir que la viscosidad de un líquido es función inversa de la temperatura.

CAPITULO 2

METODOS DE ESTIMACION

## 2.1.- CORRELACIONES

## LIQUIDOS.

- 2.1.1.- METODO DE SOUDERS
- 2.1.2.- CORRELACION DE THOMAS
- 2.1.3.- METODO DE ANDRADE
  - a.- Efecto de la presión
  - b.- Efecto de la temperatura
- 2.1.4.- MODIFICACION DE ANDRADE
- 2.1.5.- CORRELACION DE POWELL, ROSEVEARE Y EYRING
- 2.1.6.- METODO DE ALBRIGHT Y LOHRENZ
- 2.1.7.- CORRELACION DE INNES
- 2.1.8.- CORRELACION DE DAVIS Y ECKHARDT
- 2.1.9.- CORRELACION DE PACHAIYAPPAN, IBRAHIM Y KULOOR
- 2.1.10.- METODO DE MINIMOS CUADRADOS

## GASES.

- 2.1.11.- METODO DE HIRSCHFELDER
- 2.1.12.- METODO DE BROMLEY Y WILKE
- 2.1.13.- CORRELACION DE SAMBILL
- 2.1.14.- METODO DE MC KELVEY
- 2.1.15.- VISCOSIDAD DE GASES A ALTA PRESION
- 2.1.15.- EXTRAPOLACION POR TEMPERATURA

## MEZCLAS.

- 2.1.17.- VISCOSIDAD DE MEZCLAS BINARIAS DE LIQUIDOS
  - a.- Líquidos inmiscibles
  - b.- Líquidos poco polares
  - c.- Líquidos no iónicos y no asociados
  - d.- Mezclas de un líquido orgánico en otro líquido orgánico o en agua
- 2.1.18.- VISCOSIDAD DE MEZCLAS SOLIDO-LIQUIDO
- 2.1.19.- METODO DE BUDDENBURG, BROMLEY Y WILKE
  - a.- Mezclas binarias de vapores
  - b.- Mezclas multicomponentes de vapores
- 2.1.20.- METODO DE HERNING Y ZIPPERER
- 2.1.21.- METODO DE CHARMAN Y ENSKOG

### 2.1.1.- METODO DE SOUDERS.

Ecuación:

$$\log (\log \mu^d) = \frac{I}{M} d - 2.9$$

... ec. 2.1.1.

donde:  $\mu^d$  = viscosidad en milipoises  
I = constante de viscosidad de Souders,  
cuyos valores se encuentran en la  
tabla 2.1.1.a.  
M = peso molecular  
d = densidad en g / cm<sup>3</sup>

Características:

Con este método se puede estimar la viscosidad de líquidos con bastante exactitud.

La constante 2.9 no se puede usar para cálculos muy exactos debido a consideraciones logarítmicas.

Precisión y Limitaciones:

La tabla 2.1.1.b nos muestra el error obtenido con este método al evaluar la viscosidad de diversas sustancias.

No es recomendable para agua, fenol y compuestos altamente halogenados.

Referencias:

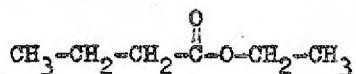
3, 13, 17, 129, 171.

Ejemplo:

Estimar la viscosidad del butirato de etilo a 15°C, siendo la densidad igual a 0.884 g/cm<sup>3</sup>.

Procedimiento:

a.- Cálculo de I:



De la tabla 2.1.1.a:

2 grupos $-\text{CH}_3$	_____	(2) (58.3) =	116.6
3 grupos $-\text{CH}_2$	_____	(3) (55.6) =	166.8
1 grupo $-\text{COO}$	_____		<u>90.0</u>
		I =	373.4

b.- Cálculo de  $\mu''$ :

$$\begin{aligned}\log (\log \mu'') &= \frac{373.4}{116.6} (0.884) - 2.9 \\ &= -0.075\end{aligned}$$

$$\mu'' = 6.93 \text{ milpoises}$$

El valor experimental es 7.11 milpoises

TABLE 2—Souders' Atomic and Structural Viscosity Constants 1

ATOMIC CONTRIBUTIONS		STRUCTURAL CONTRIBUTIONS	
Carbon	50.8	Nitrogen	-37
Hydrogen	9.7	Oxirane	20
Oxygen	29.7	Acetone	29
Alkyl side groups	25.6	Iodine	110
Hydroxyl group	57.1	COOH group	101.1
CCO group	63.0	Nitro group	36
STRUCTURAL CONTRIBUTIONS		RCHO	-4.6
Double bond	-15.5	RCH=CHR <sub>2</sub>	+ 5
R <sub>2</sub> CH-CHR <sub>2</sub>	- 5	O	0
CR <sub>2</sub>	+17		
Substituted carbon ring			-24
Carbonyl group			-31
Side groups on the ring of organic ring			- 9
Diatomic molecule (non-halo)			-17
Diatomic molecule (halo)			+ 3
Water			+ 1
-CH=CH-OH			+ 4
R-CH <sub>2</sub> X			+ 6

TABLA 2.1.1.a

Compound	Temperature (°C)	Error (%)
Acetone	0° C	1.0
	60° C	-0.4
Acetic Acid	10° C	-4.1
	120° C	-28
Aniline	20° C	-58
	120° C	3.2
1-Butane	-110° C	-42
	-40° C	-19
Chlorobenzene	0° C	-1.7
	120° C	-10.0
Cyclopentane	-20° C	1.4
	50° C	-3.7
Chloroform	0° C	120.0
	60° C	34.0
Ethylbenzene	-20° C	-2.4
	140° C	0.5
Pentane	-120° C	-40.0
	30° C	-1.8
Propane	-190° C	-94.0
	-40° C	-19.0
Toluene	-20° C	3.7
	110° C	3.6

TABLA 2.1.1.b

## 2.1.2.- CORRELACION DE THOMAS.

Ecuación:

$$\log (\mu'' \sqrt{V}) = C + K \left( \frac{T_c}{T} - 1 \right)$$

.... ec 2.1.2

donde:  $\mu''$  = viscosidad en milipoises  
 $V$  = volumen específico en  $\text{cm}^3/\text{g}$   
 $C, K$  = constantes  
 $T_c$  = temperatura crítica en  $^{\circ}\text{K}$   
 $T$  = temperatura en  $^{\circ}\text{K}$

Características:

Sustituyendo alas condiciones de  $T_c$ , se encuentra que:

$$C = \log \mu_c'' \sqrt{V_c}$$

Sin embargo, después de examinar 123 compuestos se encontró que  $C$  es una constante igual a 0.0670 para líquidos no asociados y también se pudieron calcular valores adecuados para  $K$  basados en los componentes estructurales de los compuestos.

La tabla 2.1.2.a muestra los valores recomendados para  $K$ .

Precisión y Limitaciones:

Esta ecuación puede ser clasificada como muy buena en cuanto a exactitud se refiere.

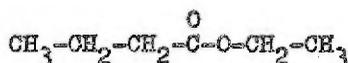
No es recomendable para el benceno y haluros de alquilo.

Ejemplo:

Calcular la viscosidad del butirato de etilo a  $15^{\circ}\text{C}$ .

Procedimiento:

a.- Cálculo de K:



5C	-----	(5)	(-0.462)	=	-2.310
12H	-----	(12)	(0.249)	=	2.988
1O	-----				0.054
1CO	-----				<u>0.105</u>

$$K = 0.837$$

b.- Cálculo de la viscosidad:

La densidad a 15°C es = 0.884 g/cm<sup>3</sup>.

La temperatura crítica a esa misma temperatura es = 566.2°K.

$$\log \left( \mu^{\circ} \sqrt{\frac{1}{0.884}} \right) = 0.0670 + 0.837 \left( \frac{566.2}{288.2} - 1 \right)$$

$$\mu^{\circ} = 7.04 \text{ milipoises}$$

El valor experimental es de 7.11 milipoises.

TABLA 2.1.2.a.- VALORES ATOMICOS Y ESTRUCTURALES DE K

Compuesto	K
Carbón	-0.462
Yodo	0.335
Hidrógeno	0.249
Oxígeno	0.054
Cloro	0.340
Azufre	0.043
Bromo	0.370
grupo -CO (cetonas y ésteres)	0.105

Referencias: 22, 24, 26, 90, 171.

2.1.3.- METODO DE ANDRADE.

2.1.3.a.- Efecto de la Presión.

Ecuación:

$$\left( \frac{\mu_p}{\mu_1} \right)_L = \left( \frac{v_1}{v_p} \right)^{1/6} \left( \frac{k_1}{k_p} \right)^{1/2} \exp \frac{C (v_1 - v_p)}{T v_1 v_p}$$

..... ec. 2.1.3.a

- donde:
- $\mu_p$  = viscosidad del líquido a presión atm.
  - $\mu_1$  = viscosidad del líquido a 1 atm.
  - $v$  = volumen específico
  - $k$  = compresibilidad adiabática
  - $S$  = entropía
  - $V$  = volumen
  - $C$  = constante

Características:

Es la mejor correlación para estimar el efecto de la presión en la viscosidad de un líquido para presiones abajo de 2000 atm.

Como hay muy pocos datos de  $k$ , se puede usar también la compresibilidad isotérmica  $k'$ :

$$k' = \frac{1}{v} \left( \frac{\partial v}{\partial P} \right)_T$$

... ec. 2.1.3.b

Precisión y Limitaciones:

Para el caso particular del mercurio monoatómico, esta correlación da valores exactos hasta 1200 atm.

Procedimiento:

Simple aplicación de fórmulas.

### 2.1.3.b.- Efecto de la Temperatura.

Ecuación:

$$\mu_L = A e^{B/T} \quad \dots \text{ ec. 2.1.3.b.}$$

Tomando Logaritmos:

$$\log \mu_L = A' + (B/T)$$

donde:

- $\mu_L$  = viscosidad del líquido en cp
- T = temperatura en °K
- A,B = constantes características de cada compuesto.

Características:

Esta correlación es sin lugar a dudas la mejor para conocer el efecto de la temperatura en los líquidos en el caso en que se conozcan dos valores de  $\mu_L$ , ya que se puede construir una gráfica lineal de  $\mu_L$  vs.  $1/T$ .

Precisión y Limitaciones:

Para líquidos poco polares se obtienen errores de 1.2% en promedio, aumentando dicho error cuando se trata de líquidos muy polares.

Procedimiento:

Simple aplicación de fórmulas, construcción de la gráfica correspondiente y extrapolación o interpolación de datos.

Ejemplo:

La ecuación para el ácido acético se obtiene en la siguiente forma: usando los valores para los puntos M y N de la figura 2.1.3.b,

La pendiente B se obtiene con la siguiente ecuación:

$$B = \frac{\log 1.3 - \log 0.43}{0.00344 - 0.00268} = 632$$

Del punto M:

$$A = \frac{1.30}{e^{632/291}} = 0.151$$

De aquí, que la ecuación que predice la viscosidad del ácido acético entre 18 y 100°C, sea:

$$\mu = 0.151 e^{632/T}$$

Referencias:

3, 6, 13, 26, 96, 110.

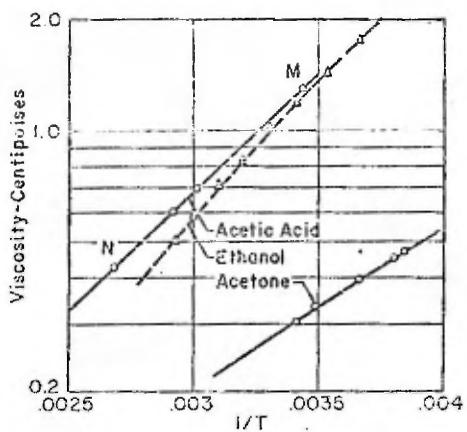


FIGURA 2.1.3.b

#### 2.1.4.- MODIFICACION DE ANDRATÉ.

Ecuación:

$$\mu v^{1/3} = B e^{C/vT} \quad \dots \text{ec. 2.1.4.}$$

Donde:

B,C = constantes características

Características:

Esta ecuación resulta ligeramente superior a la ec. 2.1.3.b ya que se obtienen valores más exactos para muchos líquidos orgánicos, sales fundidas y aceites minerales así como para metales líquidos incluyendo el sodio y el potasio.

Limitaciones:

La ecuación no es recomendable para obtener viscosidades del agua y alcoholes terciarios.

Referencias:

2, 6, 13, 76.

### 2.1.5.- CORRELACION DE POWELL, ROSEVEARE Y EYRING.

Ecuación:

$$\mu = \frac{h V}{N} e^{\Delta F_{vis}/RT}$$

... ec. 2.1.5.a

donde:

h = constante de Planck

V = volumen molar del líquido saturado

N = número de Avogadro

R = constante general del estado gaseoso

T = temperatura en °R

$\Delta F_{vis}$  = energía libre de activación del fluido

Características:

Esta ecuación es una modificación de la relación básica de la viscosidad, siendo ligeramente más exacta para estimar viscosidades en rangos amplios de temperatura.

El término  $\Delta F_{vis}$  está relacionado con la energía interna de vaporización mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\Delta \text{Evapor.}}{\Delta F_{vis.}} = 2.45$$

... ec. 2.1.5.b

siendo r una relación de energías que varía con la temperatura y será cero a la temperatura crítica ya que  $\Delta \text{Evap.}$  vale cero a esa temp.

Procedimiento:

Simple aplicación de fórmulas.

Referencias:

2, 86, 141.

## 2.1.6.- METODO DE ALBRIGHT Y LOHRENZ.

Ecuación:

$$\mu = \frac{R}{V} (2\pi mkT)^{1/2} V_f^{1/3} \exp ( \text{Evap.}/r' + PV/r'' )/RT$$

.... ec. 2.1.6.a

Donde:

- $\mu$  = viscosidad del líquido en cp
- N = número de Avogadro
- V = volumen molar del líquido saturado
- $\pi$  = 3.1416
- m = masa reducida
- k = cte. de Boltzmann
- T = temperatura en °R
- $V_f$  = volumen libre
- $r', r''$  = relaciones de energía
- P = presión de vapor
- R = cte. gaseosa

Características:

La correlación anterior es sumamente difícil de aplicar debido a que el volumen libre es difícil de evaluar. Las pocas veces que se usa es para estimar viscosidades de hidrocarburos parafínicos.

Precisión:

Error promedio = 10 - 25 %

Referencias:

2, 86, 141.

## 2.1.7.- CORRELACION DE LINES.

Ecuación:

$$\mu = A T^n e^{B_2/T} \quad \dots \text{ ec. 2.1.7.a}$$

Donde:

$\mu$  = viscosidad en cp  
 $T$  = temperatura en °R  
 $A, B_2$  = constantes para un líquido dado

Características:

Se trata de una ecuación bastante exacta para una evaluación de viscosidad de parafinas normales, benceno, isobutano, 1-buteno, metilciclopentano, agua líquida, mercurio y alcohol metílico en rangos amplios de temperatura. En general, los datos se reportaron para altas temperaturas y presiones aproximadamente iguales a la presión de vapor. También se encontraron datos para temperaturas moderadas, aproximadamente arriba del punto de ebullición normal.

Los valores de A y B se encuentran para algunos hidrocarburos en las tablas 2.1.7.a y 2.1.7.b. Generalmente a n se le asigna el valor del. Rearreglando la ecuación 2.1.7.a y tomando logaritmos, obtenemos:

$$\log_{10} \frac{\mu}{T} = \log_{10} A + B/T \quad \dots \text{ ec. 2.1.7.b}$$

Al graficar  $\log_{10} \frac{\mu}{T}$  vs.  $1/T$  obtenemos las figuras 2.1.7.a, 2.1.7.b y 2.1.7.c que en este caso resultan ser las gráficas para parafinas normales hasta el decano, del decano al eicosano y para diversos hidrocarburos, respectivamente.

**Precisión:**

Las líneas rectas representan los datos con exactitud del 7 al 2 %.

**Referencias:**

3, 80, 127.

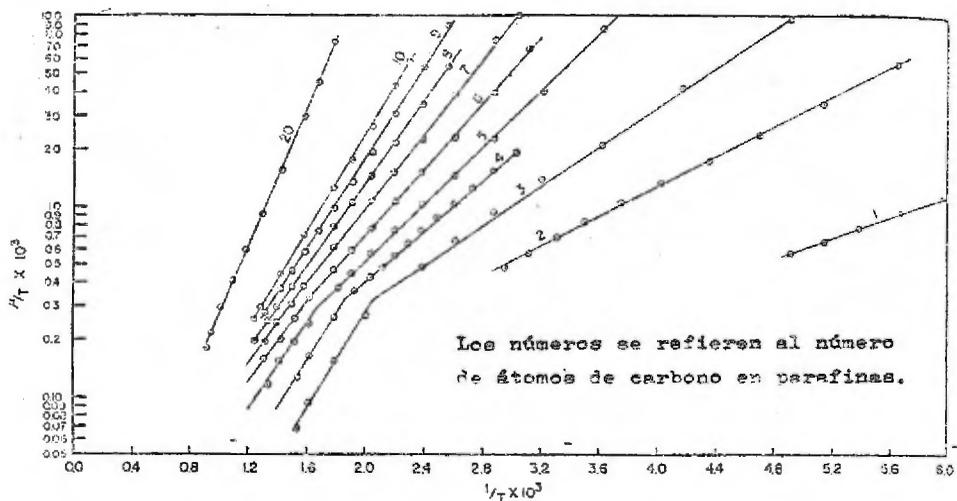
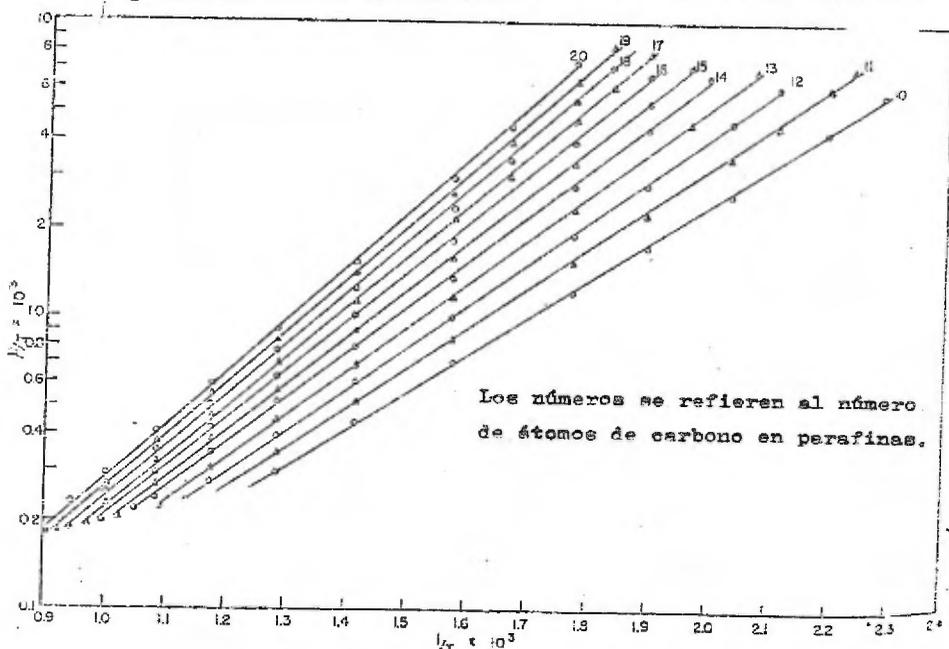


Fig. 2.1.7.a.- Correlación de viscosidad para parafinas normales ligeras, correspondiente a la ec. 21.7.b. La pendiente de las líneas rectas es= al término de dicha ec.



La gráfica anterior es la fig. 2.1.7.b.- Correlación de viscosidad para parafinas normales pesadas.

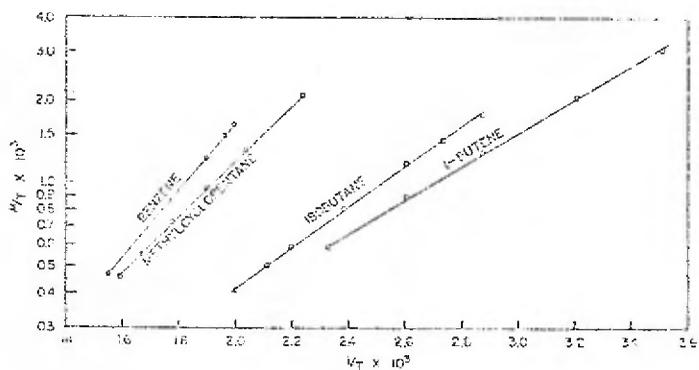


fig. 2.1.7.c.- Correlación de viscosidad para diversos hidrocarburos.

TABLA 2.1.7.a

VALORES DE A Y B PARA PARAFINAS NORMALES

Parafina Normal	A x 10 <sup>5</sup>	B
Metano	2.42	279
Etano	3.55	389
Propano	2.82 (0.077)	517 (1280)
Butano	1.98 (0.155)	656 (1245)
Pentano	1.62 (0.388)	752 (1125)
Hexano	1.34 (0.596)	863 (1077)
Heptano	1.08 (0.79)	978 (1065)
Octano	0.861	1096
Nonano	0.728	1212
Decano	0.662	1283
Undecano	0.590	1374
Dodecano	0.553	1437
Tridecano	0.530	1498
Tetradecano	0.516	1549
Pentadecano	0.476	1612
Hexadecano	0.456	1666
Heptadecano	0.425	1721
Octadecano	0.416	1760
Nonadecano	0.430	1784
Bicosano	0.426	1820

Los valores en paréntesis de A y B, son a temperaturas más altas que las reportadas. Para el Propano arriba de 30 F; para el butano arriba de 80 F; para el pentano arriba de 140F; para el hexano arriba de 160F y para el heptano arriba de 180F.

Si se utiliza la ec. 2.1.2a, debe multiplicarse el valor de B por 2.3. Si en esta misma ecuación la temperatura está dada en °K los valores de A deben multiplicarse por 1.8 y los valores de B por 2.3/1.8.

TABLA 2.1.7.b

VALORES DE A Y B PARA DIVERSOS HIDROCARBUROS

Hidrocarburo	A x 10 <sup>5</sup>	B
Isobutano	1.33	745
1- Buteno	2.21	614
Benceno	0.591	1223
Metilciclohexano	1.083	1022

## 2.1.8.- CORRELACION DE DAVIS Y ECKHARDT:

Ecuación:

$$\log (\mu - 0.30) = 0.15 - 0.015 t \quad \dots \text{ ec. 2.1.8}$$

Donde:  $\mu$  = viscosidad del agua en cp  
 $t$  = temperatura en  $^{\circ}\text{C}$

Características:

Sirve para estimar la viscosidad del agua entre 5 y 70  $^{\circ}\text{C}$ .

Entre 10 y 50  $^{\circ}\text{C}$  las viscosidades se pueden leer directamente en la regla de cálculo usando las escalas L y D.

Ejemplo:

Ponga el 10 en la escala L, correspondiente a 10 $^{\circ}\text{C}$ , 8.5 a 20 $^{\circ}\text{C}$ , 7 a 30 $^{\circ}\text{C}$  y así sucesivamente. Contra el 10 en la escala L, lea 1 en la D; al 1 súmele 0.300 y obtendrá 1.300 (valor experimental de la viscosidad a esta temperatura = 1.308). En igual forma, contra 8.5 en la escala L, lea 0.708 en D, que sumándole 0.300 se obtiene un valor de viscosidad de 1.008 (el valor experimental es de 1.005).

Precisión:

Rango:	Desviación
10 - 50 $^{\circ}\text{C}$	0.3%
5 - 70 $^{\circ}\text{C}$	0.9%

Referencias:

27, 140, 150.

### 2.1.9.- CORRELACION DE PACHAIYAPPAN, IBRAHIM Y KULOOR.

Ecuación:

$$\mu_L = C M^n$$

.... ec. 2.1.9

Donde:  $\mu_L$  = viscosidad del líquido orgánico  
M = peso molecular del líquido  
C, n = constantes adimensionales

Características:

Ecuación aplicable solo a líquidos orgánicos.

Únicamente se necesita conocer el peso molecular del líquido para estimar su viscosidad, lo que hace que sea un método bastante sencillo.

En la tabla 2.1.9.b se encuentran los valores de C y n para varias series homólogas de compuestos orgánicos.

Procedimiento:

Simple aplicación de fórmula.

Precisión:

La tabla 2.1.9.a muestra el porcentaje de error para distintos compuestos.

Referencias:

21, 132, 133.

TABLA 2.1.9.a

	M	$\mu$ exp.	$\mu$ calc.	% error
<b>ALCOHOLES</b>				
metanol .....	32.0	0.592	0.599	1.2
etanol .....	46.1	1.118	1.180	5.4
n-propanol .....	60.1	2.234	1.668	11.7
n-butanol .....	74.1	2.930	2.960	1.0
n-alc. amflico .....	88.1	4.000	4.040	1.0
n-heptanol .....	116.2	7.014	6.970	0.6
n-octanol .....	130.2	8.947	8.760	2.1
PROMEDIO .....				3.3
<b>ISOALCOHOLES</b>				
i-propanol .....	60.1	2.432	2.430	0.0
i-butanol .....	74.1	4.034	3.780	3.7
i-alc. amflico ....	88.1	5.110	5.180	1.2
PROMEDIO .....				1.63
<b>CETONAS</b>				
acetona .....	58.1	0.324	0.324	0.0
metil etil cet. ...	72.1	0.428	0.415	3.0
dietyl cetona .....	86.1	0.471	0.506	7.4
metil n-propilcet..	86.1	0.506	0.506	0.0
dipropilcetona ....	114.2	0.736	0.765	3.9
PROMEDIO .....				2.88
<b>ESTERES</b>				
Formiato de metilo	60.1	0.348	0.294	15.5
formiato de etilo	74.1	0.402	0.385	4.2
formiato de propilo	88.1	0.521	0.480	7.9
acetato de metilo	74.1	0.388	0.388	0.0
acetato de etilo	88.1	0.458	0.480	4.8
acetato de propilo	102.1	0.580	0.580	0.0
acetato de amilo	130.2	0.805 (a 45°C)	0.797	1.0

continuación TABLA 2.1.9.a

	M	$\mu$ exp.	$\mu$ calc.	% error
propionato de metilo	88.1	0.460	0.480	4.4
propionato de etilo	102.1	0.537	0.580	8.0
butirato de etilo	116.1	0.673	0.687	2.1
isobutirato de metilo	102.1	0.580	0.580	0.0
butirato de propilo	130.2	0.831	0.797	4.1
Valerato de metilo	116.2	0.713	0.687	3.6
PROMEDIO .....				17.8
PROMEDIO, excluyendo el formiato de metilo .....				5.1
<b>ACIDOS</b>				
ácido fórmico .....	46.1	1.804	0.366	-76.5
ácido acético .....	60.1	1.210	0.675	-44.2
ácido propiónico ....	74.1	1.090	1.125	2.7
ácido n-butírico ....	88.1	1.560	1.670	7.1
ácido n-valérico ....	102.1	2.240	2.340	4.5
ácido n-caprónico ..	116.2	3.200	3.263	1.9
ácido n-heptílico ...	130.2	4.360	4.390	-3.9
ácido n-octílico ....	144.2	5.750	5.320	-7.0
ácido n-nonílico ....	158.2	8.320	8.580	-8.9
PROMEDIO .....				17.8
PROMEDIO, excluyendo los ácidos fórmico y acético				5.1
<b>HIDROCARBUROS</b>				
n-pentano .....	72.1	0.238	0.210	-10.3
n-hexano .....	86.2	0.312	0.319	2.3
n-heptano .....	100.2	0.417	0.457	9.6
n-octano .....	114.2	0.545	0.631	15.8
n-nonano .....	128.3	0.714	0.829	16.0
n-decano .....	142.3	0.926	0.963	14.8
n-undecano .....	156.3	1.185	1.335	12.7
n-dodecano .....	170.3	1.503	1.642	9.3
n-tridecano .....	184.4	1.880	1.992	5.9
n-tetradecano .....	198.4	2.335	2.443	4.3
n-pentadecano .....	212.4	2.863	2.789	-2.5
n-hexadecano .....	226.4	3.740	3.253	-13.1
n-heptadecano .....	240.5	4.196	3.676	-12.4
PROMEDIO .....				9.93
<b>ALKIL CICLOPENTANOS</b>				
ciclopentano .....	70.1	0.438	0.187	-57.3
metilciclopentano ...	84.1	0.505	0.307	-39.3
etilciclopentano .....	98.2	0.565	0.464	-17.9
n-propilciclopentano	112.2	0.680	0.670	-1.5
n-butilciclopentano	126.2	0.887	0.923	4.1
n-hexilciclopentano	140.3	1.880	1.594	6.5
n-heptilciclopentano	154.3	2.360	2.019	7.4
n-octilciclopentano	168.4	2.910	2.510	6.4
n-nonilciclopentano	182.3	3.550	3.075	5.8

continuación TABLA 2.1.9.a

	N	$\mu$ exp.	$\mu$ calc.	%error
decilciclopentano ...	196.4	3.550	3.705	4.5
undecilciclopentano .	210.4	4.280	4.416	3.3
dodecilciclopentano v	224.4	5.100	5.206	2.2
tridecilciclopentano	238.4	6.04	6.088	0.8
tetradecilciclopentano	252.5	7.110	7.050	-0.8
pentadecilciclopentano	266.5	8.3	8.108	-2.3
hexadecilciclopentano	280.5	9.6	9.125	10.0
PROMEDIO .....				10.0
PROMEDIO, excluyendo el ciclopentano y metilciclo-				
pentano .....				4.9
<b>ALKILCICLOHEXANOS</b>	84.2	0.977	0.304	-69.2
ciclohexano .....				
metilciclohexano .....	98.2	0.732	0.481	-34.3
etilciclohexano .....	116.2	0.840	0.706	-15.9
propilciclohexano ...	126.2	1.003	0.955	-4.5
butilciclohexano .....	140.3	1.310	1.357	3.6
pentilciclohexano ...	154.3	1.718	1.794	-4.1
hexilciclohexano ...	168.3	2.210	2.315	5.0
heptilciclohexano ...	182.3	2.800	2.925	4.6
octilciclohexano .....	196.4	3.500	3.640	4.0
nonilciclohexano .....	210.4	4.310	4.450	3.3
decilciclohexano .....	224.4	5.240	5.370	2.5
undecilciclohexano ..	238.4	6.320	6.290	0.5
dodecilciclohexano ..	252.5	7.520	7.600	1.1
tridecilciclohexano .	266.5	8.890	8.890	0.0
PROMEDIO .....				10.9
PROMEDIO, excluyendo el ciclohexano y metilciclohex.				4.9
<b>NOVO OLEFINAS</b>				
n-hexeno .....	84.2	0.26	0.241	-7.3
n-hepteno .....	98.2	0.35	0.352	0.6
n-octeno .....	112.2	0.47	0.496	5.6
n-noneno .....	126.2	0.62	0.670	8.1
n-deceno .....	140.3	0.80	0.870	9.8
n-undeceno .....	154.3	1.03	1.120	9.9
n-dodeceno .....	168.3	1.30	1.400	7.7
n-trideceno .....	1.823	1.63	1.713	4.9
n-tetradeceno .....	1.964	2.00	2.076	3.8
n-pentadeceno .....	210.4	2.46	2.477	0.7
n-hexadeceno .....	224.4	2.99	2.922	-2.3
n-heptadeceno .....	238.4	3.50	3.405	-5.3
n-octadeceno .....	252.5	4.31	3.955	-8.1
PROMEDIO .....				5.7

continuación TABLA 2.1.9.a

	M	$\mu$ exp.	$\mu$ calc.	% error
ALKILBENCENOS				
benceno .....	78.1	0.647	0.245	-62.2
tolueno .....	92.1	0.585	0.385	-34.2
etil benceno .....	106.1	0.676	0.566	-16.3
n-propilbenceno ....	120.2	0.855	0.796	-6.9
n-butilbenceno .....	134.2	1.032	1.08	4.9
n-pentilbenceno ....	148.2	1.330	1.41	6.0
n-hexilbenceno .....	162.3	1.670	1.79	7.2
n-heptilbenceno ....	176.3	2.070	2.26	8.4
n-octilbenceno .....	190.3	2.56	2.79	9.0
n-nonilbenceno .....	204.3	3.13	3.39	8.3
n-decilbenceno .....	218.4	3.79	4.06	7.1
n-undecilbenceno ...	232.4	4.59	4.81	7.4
n-dodecilbenceno ...	246.4	5.45	5.64	3.5
n-tridecilbenceno ..	260.4	6.48	4.81	1.4
n-tetradecilbenceno	274.5	7.66	5.64	-1.1
n-pentadecilbenceno	288.5	8.99	6.57	-3.5
n-xileno "":.....	106.1	0.607	7.58	-29.9
m-xileno .....	106.1	0.615	8.68	-3.1
p-xileno .....	106.1	0.642	0.566	-11.9
isopropilbenceno ...	120.2	0.789	0.566	0.9
PROMEDIO .....				11.7
PROMEDIO, excluyendo el benceno y tolueno .....				7.6
PROMEDIO TOTAL .....				7.7
PROMEDIO TOTAL EXCLUYENDO TODOS LOS COMPUESTOS INDICADOS EN CADA GRUPO .....				4.88

TABLA 2.1.9.b

Grupos homólogos	# compuestos	C	n	comp. con error mayor al 10 %
ALCOHOLES				
normales	7	$8.00 \times 10^{-4}$	1.908	n-propanol
isocalcoholes	3	$6.75 \times 10^{-4}$	2.000	-----
ACIDOS ALIFATICOS	9	$4.50 \times 10^{-5}$	2.350	ác-fórmico ác.acético
CETONAS	5	$2.62 \times 10^{-3}$	1.185	-----
ESTERES	15	$1.49 \times 10^{-3}$	1.290	form. dimetilo
HIDROCARBUROS	13	$7.25 \times 10^{-6}$	2.400	n-nonano n-octano n-decano n-undecano n-hexadecano
HIDROCARBUROS CICLICOS				
alkilciclopentanos	17	$1.78 \times 10^{-6}$	2.720	ciclopentano
alkilciclohexanos	13	$6.95 \times 10^{-7}$	2.930	ciclohexano
MONO OLEFINAS	13	$2.8 \times 10^{-6}$	2.560	-----
ALKILCICLOBENCENOS	20	$1.67 \times 10^{-6}$	2.73	benceno tolueno o-xileno p-xileno

viscosidad, cp.

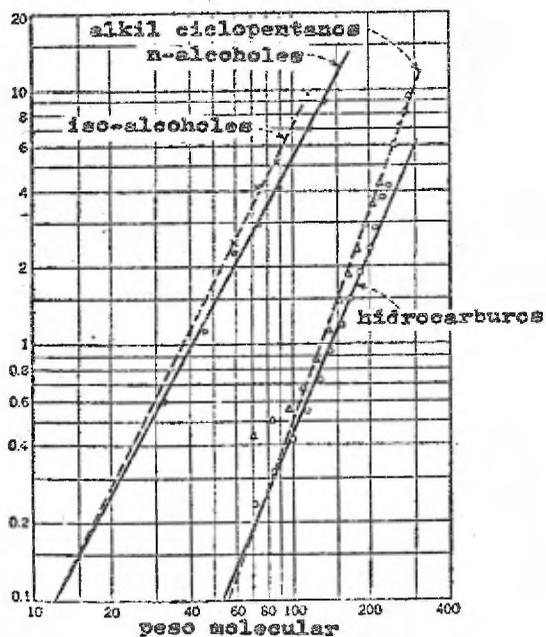


fig. 2.1.9.a. VISCOSIDADES DE ALCOHOLES, HIDROCARBUROS, ETC.

viscosidad, cp.

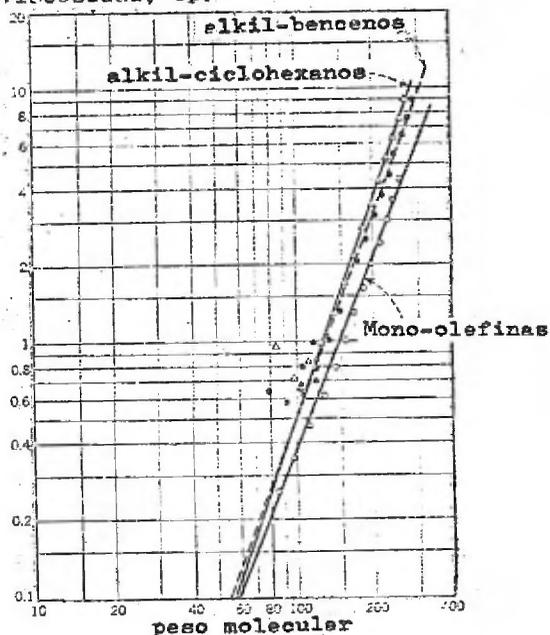


fig. 2.1.9.b. VISCOSIDADES DE OLEFINAS Y DOS GRUPOS ALKILICOS.

viscosidad, cp.

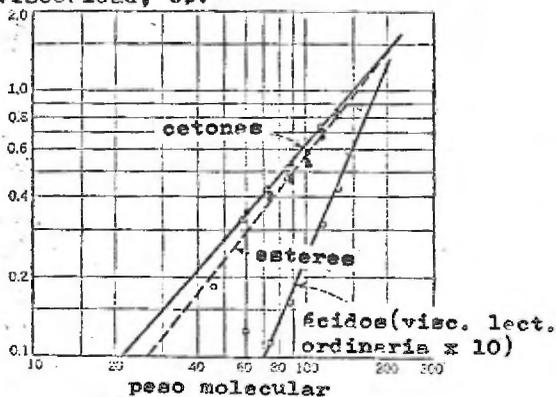


fig. 2.1.9.c. VISCOSIDADES DE ACIDOS, ESTERES Y CETONAS.

## 2.1.10.- METODO DE MINIMOS CUADRADOS.

Ecuación:

$$\mu = 3.99 \times 10^{-3} \rho_m^{3.8} \frac{T_b}{T}$$

.... ec. 2.1.10

Donde:

- $\mu$  = viscosidad del liquido en cp
- $\rho_m$  = densidad molar del líq. en  $\text{gmol/cm}^3$   
a la temperatura T.
- $T_b$  = temperatura de ebullición del líq. a  
una atmósfera de presión.

Características:

Este método es aplicable para calcular viscosidades de líquidos puros a cualquier temperatura.  
Es una ecuación aproximada.

Precisión y Limitaciones:

Se obtienen errores hasta del 30 %.  
Cuando se aplica a hidrocarburos, no debe usarse para moléculas de más de veinte átomos de carbono.

Procedimiento:

Simple aplicación de fórmula.

## 2.1.11.- METODO DE HIRSCHFELDER.

Ecuación:

$$\mu_g^{\circ} = 26.69 (M T)^{0.5} / \sigma^2 \phi_v$$

.... ec. 2.1.11

Donde:

$\mu_g^{\circ}$  = viscosidad del gas a baja presión  
en milipoises

M = peso molecular

T = temperatura en  $^{\circ}K$

$\sigma$  = diámetro molecular en Å

$\phi_v$  = función de colisión para viscosidad  
de gases.

El término  $\phi_v$  es una función de  $kT/\epsilon$  y sus valores se muestran en la tabla 2.1.11.a; donde:  $k$  = cte. de Boltzmann en  $\text{erg}/^{\circ}K$ ,  $\epsilon$  = energía máxima de activación molecular en ergs.

Características:

Esta ecuación es aplicable a gases puros, no polares y simétricos.

Como la viscosidad no es afectada por los grados de libertad internos, esta ecuación aunque se derivó para gases monoatómicos, también es aplicable a gases poliatómicos.

Precisión:

El error promedio asociado a la ecuación anterior es de 2 a 3 % para rangos amplios de temperatura cuando las constantes de fuerza  $\sigma$  y  $\epsilon/k$  son determinadas a partir de datos de viscosidad. La tabla 2.1.11.b presenta algunos valores de estas constantes de fuerza.

Referencias:

19, 80, 92.

TABLA 2.1.11,a

$kT/e$	$\phi r$						
0.30	2.795	1.35	1.375	2.70	1.069	4.70	0.9332
0.35	2.628	1.40	1.353	2.50	1.058	4.90	0.9343
0.40	2.492	1.45	1.333	2.30	1.048	4.90	0.9305
0.45	2.368	1.50	1.314	3.00	1.039	5.0	0.9259
0.50	2.257	1.55	1.296	3.10	1.030	6.0	0.8963
0.55	2.156	1.60	1.279	3.20	1.022	7.0	0.8727
0.60	2.065	1.65	1.264	3.30	1.014	8.0	0.8538
0.65	1.982	1.70	1.248	3.40	1.007	9.0	0.8379
0.70	1.908	1.75	1.234	3.50	0.9999	10	0.8242
0.75	1.841	1.80	1.221	3.60	0.9932	20	0.7432
0.80	1.780	1.85	1.209	3.70	0.9870	30	0.7005
0.85	1.723	1.90	1.197	3.80	0.9811	40	0.6713
0.90	1.675	1.95	1.186	3.90	0.9755	50	0.6504
0.95	1.629	2.00	1.175	4.00	0.9700	60	0.6335
1.00	1.587	2.10	1.156	4.10	0.9649	70	0.6194
1.05	1.549	2.20	1.138	4.20	0.9600	80	0.6076
1.10	1.514	2.30	1.122	4.30	0.9553	90	0.5973
1.15	1.482	2.40	1.107	4.40	0.9507	100	0.5882
1.20	1.452	2.50	1.093	4.50	0.9464	200	0.5520
1.25	1.424	2.60	1.081	4.60	0.9422	300	0.5018
1.30	1.399					400	0.4811

TABLA 2.1.11,b

	$\sigma_r$ in Angstroms	$e/k$ , Deg. K.		$\sigma_r$ in Angstroms	$e/k$ , Deg. K.
Air.....	3.617	97.0	SO <sub>2</sub> .....	4.290	252
N <sub>2</sub> .....	3.681	91.5	F <sub>2</sub> .....	3.653	112
O <sub>2</sub> .....	3.433	113	Cl <sub>2</sub> .....	4.115	357
CO.....	3.590	110	HCl.....	3.305	360
CO <sub>2</sub> .....	3.596	190	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> .....	5.270	440
CH <sub>4</sub> .....	3.532	137	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> CH.....	4.455	391

2.1.12.- METODO DE BROMLEY Y WILKE.

Ecuación:

$$\mu_g^\circ = 26.7 \left[ \frac{(M \epsilon/k)^{0.5}}{2} \right] \left[ f(KT/\epsilon) \right]$$

... ec. 2.1.12

Donde:

- $\mu_g^\circ$  = viscosidad del gas en milipoises
- $M$  = peso molecular
- $\sigma$  = diámetro molecular en Å
- $f(KT/\epsilon)$  =  $(KT/\epsilon)^{0.5} / \phi_v$
- $k$  = constante de Boltzmann
- $T$  = temperatura en °K
- $\epsilon$  = energía molecular en ergs
- $\phi_v$  = función de colisión para viscosidad de gases.

Para:

$$10 < (KT/\epsilon) < 400$$

Entonces:

$$f(KT/\epsilon) = 0.878 (KT/\epsilon)^{0.645}$$

Para:

$$(KT/\epsilon) < 10$$

Entonces:

Los autores del método desarrollaron una tabla bastante extensa que Schibel resumió en la siguiente ecuación:

$$f(KT/\epsilon) = 0.879 (KT/\epsilon)^{0.645} - 0.261 b^{0.91} \epsilon^b$$

Donde:  $b = \left[ (KT/\epsilon) / 0.7 \right]$

Los valores de  $KT/\epsilon$  se encuentran en la tabla 2.1.11 a, b. Existe una modificación a la ec. 2.1.12 en la que se involucran las ecuaciones empíricas para las constantes de fuerza:

$$\xi / k = 0.75 T_c$$

$$\sigma = 0.833 V_c^{0.333}$$

Resultando la siguiente ecuación:

$$\mu_g^o = \frac{33.3 (M T_c)^{0.5}}{V_c^{0.667}} \left\{ f(kT/\xi) \right\}$$

.... ec. 2.1.12.a

#### Características:

Ecuación aplicable para gases y vapores a cualquier temperatura y bajas presiones, incluyendo alcoholes, hidrocarburos, vapor de agua, etc.

#### Precisión y Limitaciones:

La ecuación es no aplicable para calcular viscosidades de hidrógeno y helio.

Error promedio = 4.4 %

Error máximo para algunos gases muy polares  
= 15 %

Para los casos en que el volumen crítico molar ( $V_c$ ) se desconozca y sea difícil estimarlo con exactitud, se sugiere el uso de la siguiente correlación:

$$\mu_g^o = \frac{4.23 M^{0.5} P_c^{0.667}}{T_c^{0.167}} \left\{ f(kT/\xi) \right\}$$

.... ec. 2.1.12.b

Donde:  $P_c$  = presión crítica  
 $T_c$  = temperatura crítica

Con esta última ecuación se obtiene un error promedio = 4.6 %.

Si la temperatura crítica  $T_c$  es estimada, este error se incrementa hasta más o menos 9 %.

Referencias:

19, 80, 92, 171.

Notas:

El factor  $f(kT/\epsilon)$  se puede determinar mediante la gráfica 2.2.2.g.1 que se encuentra en el inciso de nomogramas, simplificándose así un poco el uso de esta correlación.

Ver en nomogramas, otra forma de estimar la viscosidad por este método.

### 2.1.13.- CORRELACION DE GAMBILL.

Ecuación:

$$\frac{\mu^o}{\xi} = \frac{(M T_b)^{0.5}}{V_b^{0.667}} \left[ 16.37 (T/T_b)^{0.645} - 5.5 / (1.18T/T_b)^{0.91} \lg(1.18T/T_b) \right]$$

.... ec. 2.1.13

donde:

$V_b$  = volumen molar al punto de ebullición  
normal en  $\text{cm}^3/\text{g mol}$

$T_b$  = temperatura de ebullición en  $^{\circ}\text{K}$

$M$  = peso molecular

Características:

Esta correlación es una modificación de  
la ecuación de Bromley y Wilke.

Precisión:

Error promedio = 5%

Referencias:

18, 74, 80, 81, 83.

## 2.1.14.- METODO DE MC KELVEY.

Ecuación:

$$u^{\circ} = \frac{0.00333 (M T_c)^{0.5} F}{V_c^{2/3}}$$

.... ec. 2.1.14.a

Donde:

- $u^{\circ}$  = viscosidad del vapor en cp
- M = peso molecular
- $T_c$  = temperatura crítica en  $^{\circ}K$
- $V_c$  = volumen crítico en  $cm^3/g$  mol
- F = función obtenida de la tabla 2.1.14.a
- $T_r$  = temperatura reducida obtenida en la tabla 2.1.14.a.

Características:

Este método se usa para estimar la viscosidad de vapor a presiones en que el gas puede considerarse ideal.

Precisión:

En la tabla 2.1.14.b se encuentra el error esperado para las sustancias tabuladas.

Ejemplo:

Estimar la viscosidad del vapor del alcohol n-propílico a  $200^{\circ}C$  y 0 atm. de presión.

Datos:    M = 70.09  
           $T_c$  =  $263.7^{\circ}C$   
           $P_c$  = 49.95 atm  
           $V_c$  =  $0.273 g/cm^3$

Procedimiento:

a.- Determinación de F:

$$1.33 \text{ Tr} = 1.33 (473/537) = 1.182$$

Con este valor, de la tabla 2.1.14.a, obtenemos:

$$F = 0.7434$$

Sustituyendo este valor en la ecuación 2.1.14.a:

$$u^{\circ} = \frac{(0.00333) [(60.09) (537)]^{1/2} (0.7434)}{(1/0.273 \times 60.09)^{2/3}}$$

$$u^{\circ} = 0.0122 \text{ cp}$$

El valor experimental es de 0.0125 cp.

Por lo tanto se obtiene un error de -2.4%.

Referencias:

122.

1.33T.	F	1.33T.	F	1.33T.	F
0.30	0.1969	1.40	0.8744	3.0	1.6726
0.35	0.2252	1.45	0.9036	3.1	1.7154
0.40	0.2540	1.50	0.9325	3.2	1.7573
0.45	0.2834	1.55	0.9611	3.3	1.7983
0.50	0.3134	1.60	0.9894	3.4	1.8388
0.55	0.3440	1.65	1.0174	3.5	1.8789
0.60	0.3751	1.70	1.0453	3.6	1.9186
0.65	0.4066	1.75	1.0729	3.7	1.9576
0.70	0.4384	1.80	1.0999	3.8	1.9952
0.75	0.4704	1.85	1.1264	3.9	2.0313
0.80	0.5025	1.90	1.1522	4.0	2.0671
0.85	0.5346	1.95	1.1790	4.1	2.1020
0.90	0.5666	2.00	1.2048	4.2	2.1457
0.95	0.5985	2.1	1.2558	4.3	2.1820
1.05	0.6616	2.2	1.3347	4.5	2.2536
1.10	0.6920	2.4	1.4028	4.6	2.2868
1.15	0.7237	2.5	1.4501	4.7	2.3237
1.20	0.7544	2.6	1.4962	4.8	2.3583
1.25	0.7849	2.7	1.5417	4.9	2.3926
1.30	0.8151	2.8	1.5861	5.0	2.4264
1.35	0.8449	2.9	1.6298	6.0	2.751

TABLE 2.1.14.a

Compound		Error (%)
Acetone	100°C	4.9
	225°C	2.0
Acetylene	20°C	-0.7
	120°C	0.8
1-Butene	20°C	1.9
	120°C	1.4
Carbon Disulfide	100°C	0.6
	200°C	0.1
Chloroform	20°C	2.4
	100°C	5.0
Methyl Chloride	20°C	2.1
	80°C	1.2
Propane	20°C	3.3
	200°C	5.1
Toluene	60°C	0.3
	250°C	1.6

TABLE 2.1.14.b

## 2.1.15.- VISCOSIDAD DE GASES A ALTA PRESION.

Ecuación:

$$\mu_p = \left( \frac{\mu_p}{\mu_o} \right) \mu_o$$

.... ec. 2.1.15

Donde:

$\mu_p$  = viscosidad del gas a alta presión  
 $\mu_o$  = viscosidad del mismo gas a baja presión  
y temperatura.

$(\mu_p/\mu_o)$  = relación leída en la gráfica  
2.1.15.

Características:

La ecuación solo se puede aplicar si se conoce la viscosidad del mismo gas a baja presión y a la misma temperatura.

Sirve también para estimación de viscosidades de mezclas gaseosas si se trabaja con las propiedades pseudocríticas.

Procedimiento:

1.- Calcular las propiedades reducidas con las ecuaciones:

$$Pr = \frac{P}{P_c}$$

$$Tr = \frac{T}{T_c}$$

2.- Leer la relación  $\mu_p/\mu_o$  en la fig. 2.1.15 con los valores de Pr y Tr.

3.- Calcular  $\mu_p$ .

Referencias:

22, 90, 92.

$T_r$

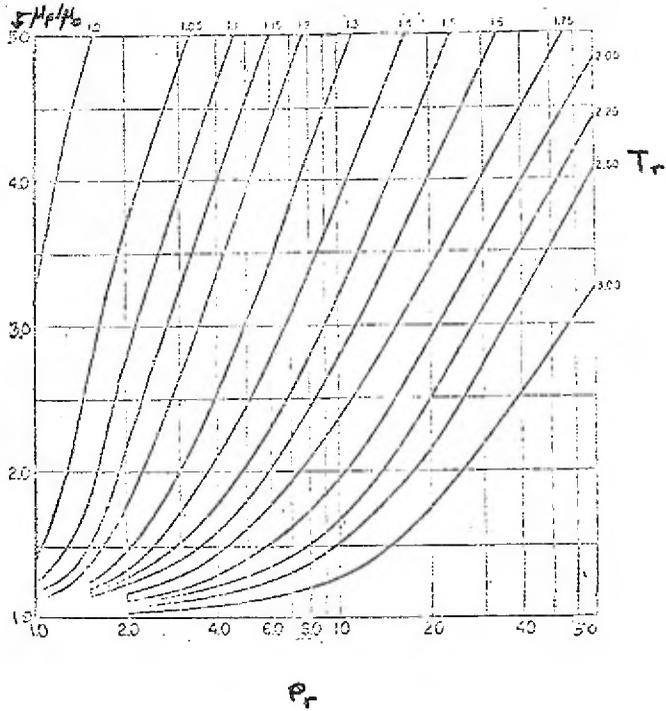


figura 2.1.15

### 2.1.16.- EXTRAPOLACION POR TEMPERATURA.

Ecuación:

$$\mu_1 = 4.53 M^{1/2} \left( \frac{P_c}{T_c} \right)^{2/3} T_c^{0.782}$$

.... ec. 2.1.16.

Características:

Representa la variación de la viscosidad de un vapor con la temperatura, esto es, que la viscosidad varía con la temperatura a la 0.782 cuando la presión reducida es menor a 1.

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^{0.782}$$

... ec. 2.1.16.a

Esta observación empírica es un valor promedio basado en 31 vapores diferentes.

Precisión y Limitaciones:

Esta regla es suficientemente exacta la mayoría de las extrapolaciones usadas en ingeniería a presiones abajo de la presión crítica.

Ejemplo:

Dada la viscosidad de la acetona a 100°C igual a 94.3 milipoises, calcular el valor de la misma a 0°C.

Procedimiento:

De acuerdo con la regla anterior:

$$\frac{\mu_1}{94.3} = \frac{273.2}{373.2}^{0.782}$$

De donde:

$$\mu_1 = 73.8 \text{ milipoises}$$

El valor experimental es de 72.5 milipoises.

Nota:

En forma general la relación entre la viscosidad y la temperatura a baja presión sigue una función del tipo:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^n$$

.... ec. 2.1.16.b

Si tenemos datos de viscosidad a dos temperaturas para un gas determinado podemos calcular la constante n para ese gas y estimar su viscosidad a cualquier temperatura.

Referencias:

2, 13, 6, 19, 90, 92.

## 2.1.17.- VISCOSIDAD DE MEZCLAS BINARIAS DE LIQUIDOS.

### 2.1.17.a.- LIQUIDOS INMISCIBLES.

Ecuación:

$$\frac{\mu_m}{\mu_{fc}} = 1 + 2.5 \phi \left( \frac{\mu_{fd} + 0.4 \mu_{fc}}{\mu_{fd} + \mu_{fc}} \right)$$

... ec. 2.1.17.a

Donde:

$\mu_m$  = viscosidad de la mezcla  
 $\mu_{fc}$  = viscosidad del líquido en la fase continua  
 $\mu_{fd}$  = viscosidad del líquido en la fase dispersa  
 $\phi$  = fracción en volumen de la fase dispersa

Características:

Esta ecuación se usa para estimación de viscosidades de líquidos inmiscibles en los que uno de ellos se encuentra como fase continua y el otro como fase dispersa en forma de gotas pequeñas y esféricas.

Precisión:

La correlación anterior es muy exacta si la fracción en volumen de la fase dispersa no es mayor de 0.03.

Referencias:

22, 90, 92.

### 2.1.17.b.- LIQUIDOS POCO POLARES.

Ecuación:

$$\log \mu_m = x_1 \log \mu_1 + x_2 \log \mu_2$$

... ec. 2.1.17.b

Donde:

- $\mu_m$  = viscosidad de la mezcla en cp
- $\mu_1$  = viscosidad del comp. 1 en cp.
- $\mu_2$  = viscosidad del comp. 2 en cp.
- $x_1$  = fracción mol del componente 1 en fase liq.
- $x_2$  = fracción mol del componente 2 en fase liq.

Características:

Es una correlación muy exacta especialmente en los límites extremos de concentración, es decir:

$$x_1 \longrightarrow 0 \qquad x_1 \longrightarrow 1$$

Referencias:

22, 90, 92.

### 2.1.17.c.- LIQUIDOS NO IONICOS Y NO ASOCIADOS.

Ecuación:

$$(\mu_m)^{1/3} = x_1 (\mu_1)^{1/3} + x_2 (\mu_2)^{1/3}$$

... ec. 2.1.17.c

**Características:**

Al igual que la ecuación 2.1.17.b, esta ecuación es más exacta mientras mayor es la diferencia entre las masa molculares y las viscosidades de los compuestos.

Es especialmente exacta para:

$$\mu_1 - \mu_2 < 15 \text{ cp}$$

**2.1.17.d.- MEZCLAS DE UN LIQUIDO ORGANICO EN OTRO LIQUIDO ORGANICO O EN AGUA.**

**Ecuación:**

$$\frac{1}{\mu_m} = \frac{x'_1}{\mu_1} + \frac{x'_2}{\mu_2}$$

... ec. 2.1.17.d

**Características:**

Ecuación muy exacta.

**Referencias:**

22, 90, 92.

## 2.1.18.- VISCOSIDAD DE MEZCLAS SOLIDO/LIQUIDO.

### 2.1.18.a.- Ecuación:

$$\mu_m = 2 \mu_{\text{agua}}$$

... ec. 2.1.18.a

Donde:

$\mu_m$  = viscosidad de la mezcla en cp

$\mu_{\text{agua}}$  = viscosidad del agua en cp

### Características:

Esta correlación puede usarse para soluciones acuosas de sales con una fracción en peso de la sal menor al 30%, siempre que no forme una solución tipo jarabe.

### 2.1.18.b.- ECUACIONES:

$$\frac{\mu_m}{\mu_L} = 1.0 + 2.5 \phi_s$$

.... ec. 2.1.18.b'

Para:  $\phi_s < 0.04$

$$\frac{\mu_m}{\mu_L} = \frac{10^{1.82} \phi_s}{(1 - \phi_s)^4}$$

.... ec. 2.1.18.b''

Para:  $\phi_s < 0.4$

$$\frac{\mu_m}{\mu_L} = \frac{1 + 0.5 \phi_s}{(1 - \phi_s)^4}$$

.... ec. 2.1.18.b'''

Para:  $\phi_s < 0.1$

$$\frac{\mu_m}{\mu_L} = \frac{1}{(1 - \phi_s)^{1/3}}$$

.... ec. 2.1.18.b''''

Para:  $\phi_s > 0.5$

$\phi_s < 0.9$

Donde:

$\mu_m$  = viscosidad de la mezcla en cp  
 $\mu_L$  = viscosidad del líquido en cp  
 $\mu_s$  = fracción en volumen del sólido suspendido

Características:

Estas correlaciones son aplicables en suspensiones.

Ninguna de las correlaciones anteriores es muy exacta para  $\phi_s > 0.1$ .

Las ecuaciones 2.1.18.b'' y 2.1.18.B'''' son las más exactas.

Referencias:

22, 90, 92.

2.1.19.- METODOS DE BUDEMBURG, BROMLEY Y WILKE.

2.1.19.a.- MEZCLAS BINARIAS DE VAPORES.

Ecuaciones:

$$\bar{\mu}_m = \frac{\bar{\mu}_1}{1 + \frac{y_2}{y_1} \left( \frac{1.385 \bar{\mu}_1}{D_{12} \alpha_1} \right)} + \frac{\bar{\mu}_2}{1 + \frac{y_1}{y_2} \left( \frac{1.385 \bar{\mu}_2}{D_{12} \alpha_2} \right)}$$

.... ec. 2.1.19.a.1

Esta ecuación fue modificada posteriormente, obteniéndose la siguiente:

$$\bar{\mu}_m = \frac{\bar{\mu}_1}{1 + \frac{y_2}{y_1} \phi_{12}} + \frac{\bar{\mu}_2}{1 + \frac{y_1}{y_2} \phi_{21}}$$

.... ec. 2.1.19.a.2

donde:

$$\phi_{12} = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{\bar{\mu}_1}{\bar{\mu}_2} \right)^{0.5} \left( \frac{M_2}{M_1} \right)^{0.25} \right]^2}{\frac{4}{\sqrt{2}} \left( 1 + \frac{M_1}{M_2} \right)^{0.5}}$$

.... ec. 2.1.19.a.3

$$\phi_{21} = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{\bar{\mu}_2}{\bar{\mu}_1} \right)^{0.5} \left( \frac{M_1}{M_2} \right)^{0.25} \right]^2}{\frac{4}{\sqrt{2}} \left( 1 + \frac{M_2}{M_1} \right)^{0.5}}$$

.... ec. 2.1.19.a.4

Donde:

- $\bar{\mu}_m$  = viscosidad de la mezcla en poises
- $\bar{\mu}_1$  = viscosidad del comp. 1 en poises
- $\bar{\mu}_2$  = viscosidad del comp. 2 en poises
- $y$  = fracción mol del gas
- $d$  = densidad del vapor en  $\text{g/cm}^3$
- $D_{12}$  = coeficiente de difusión en  $\text{cm}^2/\text{seg}$
- $\phi$  = función
- $M$  = peso molecular

**Características:**

Estos métodos son los más exactos que se conocen para estimar viscosidades de mezclas de vapores.

Para facilitar el uso de la ec. 2.1.19.a.2 existen gráficas de  $\bar{\mu}$  vs.  $M_1/M_2$ , que pueden ser usadas en lugar de las ecuaciones 2.1.19.a.3 y 2.1.19.a.4. Ver figuras 2.1.19.a.1 y 2.1.19.a.2. Estas tres últimas ecuaciones tienen la ventaja de que no se requieren los coeficientes de difusión ni las densidades de vapor.

**Precisión:**

Ecuación 2.1.19.a.1: error promedio = 2.2%  
 Ecuación 2.1.19.a.2: error promedio = 0.97%

**Ejemplo:**

Calcular la viscosidad de una mezcla de 37% de hidrógeno en propano a 25°C y presión atmosférica.

Datos:

	Hidrógeno (1)	Propano (2)
$y$	0.37	0.63
$\bar{\mu}$	$88.5 \times 10^{-6}$	$82.5 \times 10^{-6}$
$d$	$0.098 \times 10^{-3}$	$2.2 \times 10^{-3}$
$D_{12}$	0.297	0.297
$M$	2	44

Sustituyendo estos valores en la ec. 2.1.19l.a.1:

$$\bar{\mu}_m = \frac{88.5 \times 10^{-6}}{1 + \frac{0.37}{0.63} \left[ \frac{(1.385) (88.5 \times 10^{-6})}{(0.297) (2.20 \times 10^{-3})} \right]} + \frac{82.5 \times 10^{-6}}{1 + \frac{0.37}{0.63} \left[ \frac{(1.385) (82.5 \times 10^{-6})}{(0.297) (2.20 \times 10^{-3})} \right]}$$

$$\bar{\mu}_m = 85.6 \times 10^{-6} \text{ poises}$$

Usando la ecuación 2.1.19.a.2:

$$\phi_{12} = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{88.5}{82.5} \right)^{0.5} \left( \frac{44}{2} \right)^{0.25} \right]^2}{\frac{4}{\sqrt{2}} \left( 1 + \frac{2}{44} \right)^{0.5}} = 3.63$$

$$\phi_{21} = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{82.5}{88.5} \right)^{0.5} \left( \frac{2}{44} \right)^{0.25} \right]^2}{\frac{4}{\sqrt{2}} \left( 1 + \frac{44}{2} \right)^{0.5}} = 0.154$$

$$\bar{\mu}_m = \frac{88.5 \times 10^{-6}}{1 + \frac{0.63}{0.37} (3.63)} + \frac{82.5 \times 10^{-6}}{1 + \frac{0.37}{0.63} (0.154)}$$

$$\bar{\mu}_m = 87.9 \times 10^{-6} \text{ poises}$$

Referencias: 2, 19, 75, 142.

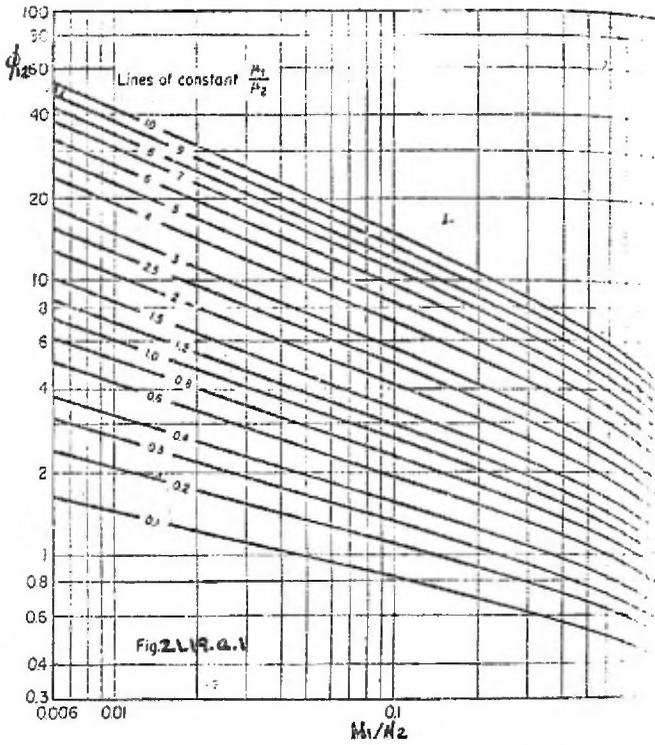


FIGURA 2.1.19.a.1

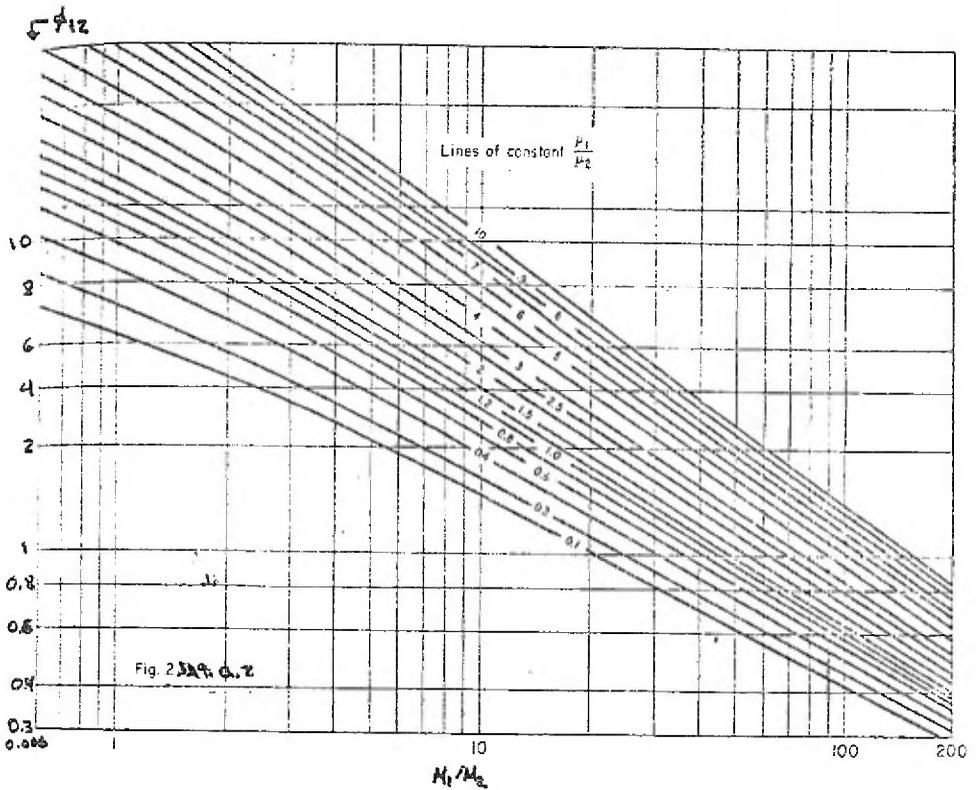


FIGURA 2.1.19.a.2

2.1.19.b.- MEZCLAS MULTICOMPONENTES DE VAPORES.

Ecuación:

$$\bar{\mu}_m = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{1 + \frac{1}{x_1} \sum_{j=1}^n x_j \phi_{ij}}$$

.... ec. 2.1.19.b.1

Donde:

$$\phi_{ij} = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{\mu_i}{\mu_j} \right)^{0.5} \left( \frac{M_j}{M_i} \right)^{0.25} \right]^2}{\frac{4}{\sqrt{2}} \left[ 1 + \frac{M_i}{M_j} \right]^{0.5}}$$

.... ec. 2.1.19.b.2

Características:

Esta correlación tiene la ventaja de que se puede conocer la viscosidad de la mezcla conociendo la viscosidad de los componentes puros.

La aplicación de estas ecuaciones se facilita mediante el uso de tablas adecuadas.

Precisión:

Comparando datos de 13 sistemas de 3 a 7 componentes, incluyendo gases industriales se obtuvo un error promedio de 1.9%.

Referencias:

2, 19, 75, 142.

## 2.1.20.- METODO DE HERNING Y ZIPPERER.

Ecuación:

$$\mu_m = \frac{\sum y_i \mu_i (M_i)^{0.5}}{\sum y_i (M_i)^{0.5}}$$

.... ec. 2.1.20.

Donde:

$\mu_m$  = viscosidad de la mezcla en milipoises  
y = fracción mol de la fase gaseosa  
M = peso molecular

Características:

Esta correlación llamada también "regla de la raíz cuadrada" es la regla más sencilla de que se dispone para calcular viscosidades de mezclas gaseosas.

Es especialmente recomendable para mezclas de hidrocarburos.

Precisión:

Para 25 mezclas de multicomponentes usados en la industria se obtuvo un error promedio de 1.9%.

En el caso de todas las mezclas posibles de hidrocarburos se obtiene mediante este método un error máximo de 1.5%.

El método no es recomendable si la mezcla es binaria y contiene más del 25% de hidrógeno.

Procedimiento:

Simple aplicación de fórmula.

Referencias:

2.1.21.- METODO DE CHAPMAN Y ENSKOG.

Ecuación:

$$\eta_m = \frac{\begin{vmatrix} H_{11} & H_{12} & \dots & H_{1v} & x_1 \\ H_{12} & H_{22} & \dots & H_{2v} & x_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_{1v} & H_{2v} & \dots & H_{vv} & x_v \\ x_1 & x_2 & \dots & x_v & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} H_{11} & H_{12} & \dots & H_{1v} \\ H_{12} & H_{22} & \dots & H_{2v} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_{1v} & H_{2v} & \dots & H_{vv} \end{vmatrix}} \dots \text{ec. 2.1.21.a}$$

Donde:

$$H_{ii} = \frac{x_i^2}{\eta_i} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^v \frac{2 x_i x_k R T}{(M_i + M_k)_p D_{ik}} \left[ \frac{1 + 3M_k A_{ij}}{5 M_i} \right] \dots \text{ec. 2.1.21.b}$$

$$H_{ij} = - \frac{2 x_i x_j R T}{(M_i + M_j)_p D_{ij}} \left[ 1 - \frac{3 A_{ij}}{5} \right] \dots \text{ec. 2.1.21.c}$$

( i + j )

Donde:

$\eta_i$ ,  $x_i$  y  $M_i$  = coeficientes de viscosidad, fracción mol y peso molecular del componente i, respectivamente.

$D_{ij}$  = coeficiente de difusión binaria entre  
dos componentes i y j.  
 $R$  = constante molar del gas  
 $T$  = temperatura absoluta  
 $P$  = presión  
 $A_{ij}$  = relación de las integrales de colisión  
reducida de Chapman-Cogling.  
Para conocer el potencial intermole-  
cular.

**Características:**

La correlación anterior sirve para estimar viscosidades de multicomponentes de mezclas gaseosa a temperaturas altas.

Si se conocen los coeficientes de difusión binaria y las viscosidades de los componentes puros, la ecuación da valores muy exactos de viscosidad de la mezcla.

**Referencias:**

4, 5, 128, 131, 146.

## 2.2.- NOMOGRAMAS

2.2.1.- Líquidos

2.2.2.- Gases

2.2.3.- Mezclas

### 2.2.1.- Líquidos

- 2.2.1.a.- NOMOGRAMA DE CHEN-UNG HUANG, JOHNSON Y CZERNY
- 2.2.1.b.- NOMOGRAMA DE SOUDERS
- 2.2.1.c.- VISCOSIDAD DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS
- 2.2.1.d.- NOMOGRAMA DE VISCOSIDAD DE LIQUIDOS A UNA ATMOSFERA DE PRESION
- 2.2.1.e.- CONSTANTE DE VISCOSIDAD-GRAVEDAD DE ACEITES
- 2.2.1.f.- INDICE DE VISCOSIDAD RACIONAL PARA ACEITES
- 2.2.1.g.- NOMOGRAMA DE GRUNBERG Y NISSAN
- 2.2.1.h.- VISCOSIDAD DE ALGUNOS SOLVENTES ORGANICOS

### 2.2.2.- Gases

- 2.2.2.a.- NOMOGRAMA PARA VISCOSIDAD DE VAPORES
- 2.2.2.b.- NOMOGRAMA PARA GASES IDEALES
- 2.2.2.c.- NOMOGRAMA PARA VISCOSIDAD DE VAPORES A ALTAS PRESIONES
- 2.2.2.d.- NOMOGRAMA PARA VISCOSIDAD DE GASES PUROS
- 2.2.2.e.- METODO DE LICHT Y STETCHERT
- 2.2.2.f.- METODO DE LICHT Y STETCHERT MODIFICADO
- 2.2.2.g.- METODO DE BROMLEY Y WILKE
- 2.2.2.h.- METODO DE DAVIS
- 2.2.2.i.- VISCOSIDAD DEL GAS METANO
- 2.2.2.j.- METODO DE MURRAY Y COREY

### 2.2.3.- Mezclas

- 2.2.3.a.- NOMOGRAMA PARA MEZCLAS DE ACEITES
- 2.2.3.b.- VISCOSIDAD DE SOLUCIONES ACUOSAS DE ETANOL
- 2.2.3.c.- VISCOSIDAD DE LODOS ACUOSOS

2.2.1.a.- NOMOGRAMA DE CHEN-JUNG HUANG, JOHNSON Y CZERNY.

Características:

Base: ecuación semiempírica

Ecuación:

$$\mu = 0.00172 \frac{M^{0.5} P_c^{0.87}}{T_c^{0.167} P_1^{0.238}}$$

... ec. 2.2.1.a

donde:  $\mu$  = viscosidad en cp  
M = peso molecular  
 $P_c$  = presión crítica en atm  
 $T_c$  = temperatura crítica en  $^{\circ}K$   
 $P_1$  = presión en mm Hg

Con este método se estima la viscosidad de un líquido a cualquier temperatura a la cual la presión del vapor es p mm de Hg.

Ejemplo 1:

Calcular la viscosidad del benceno a 26  $^{\circ}C$ .

Procedimiento:

Se obtiene la línea ABCDE desde el peso molecular  $M = 78.1$  a la presión crítica  $p_c = 48.6$  atm a la  $T_c = 562^{\circ}K$  a la presión de vapor a  $26^{\circ}C = 100$  mm Hg; y finalmente a la viscosidad estimada de 0.56.

El valor observado a esta temperatura es de 0.59.

Precisión:

Error promedio = 0.9%

Ejemplo 2:

Se puede predecir la viscosidad de un líquido a una temperatura diferente basada en un valor conocido.

Determinar la viscosidad del acetato de metilo a la temperatura de ebullición; se conoce esta viscosidad a 24<sup>o</sup>C que es de 0.37 cp cuando la presión de vapor es de 200 mm Hg.

**Procedimeitno:**

Se sigue la línea FGHJ obteniéndose como resultado 0.26 cp. Extrapolando datos de la gráfica de Othmer se obtiene un valor de 0.27 cp.

**Referencias:**

3, 18, 22, 24, 90, 129.



2.2.1.b.- NOMOGRAMA DE SOUDERS.

Características:

Este nomograma se basa en la correlación explicada anteriormente.

La constante K se encuentra en la tabla 2.1.1.a.

Clave:

I - P - II  
II - M - U<sup>o</sup>

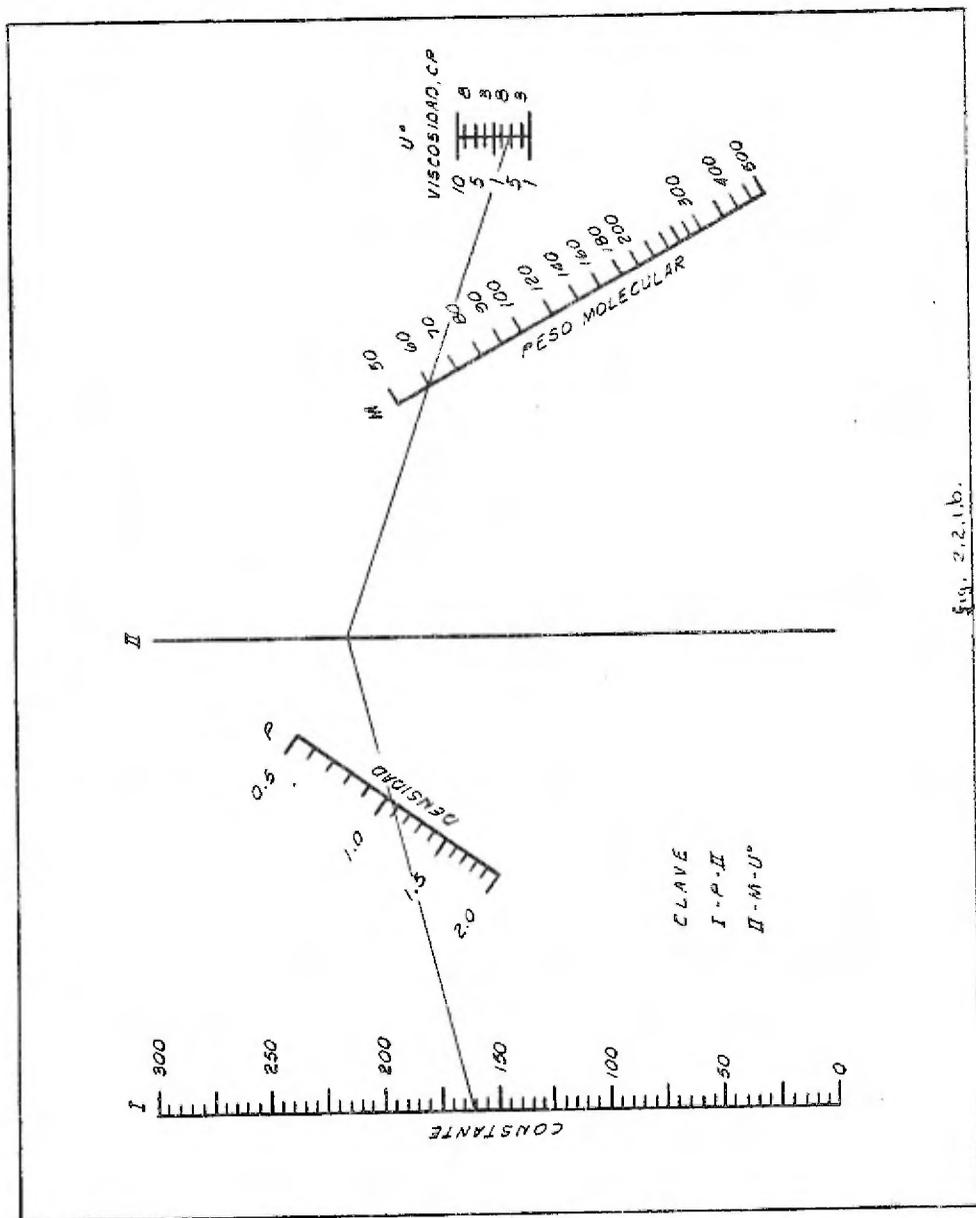


Fig. 2.2.1b.

## 2.2.1.c.- VISCOSIDAD DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS.

### Características:

Base: semiempírica

- 1.- Se utiliza una escala logarítmica de temperaturas absolutas.
- 2.- La escala de viscosidad está calibrada empíricamente en base a datos conocidos para las veinte parafinas normales que incluyen del metano al n-eicosano.
- 3.- Cuando el logaritmo de la viscosidad se grafica contra el logaritmo de la temperatura absoluta, se obtiene una línea recta en un rango limitado de temperaturas. Este rango puede ampliarse usándose una calibración empírica en la escala de viscosidades.
- 4.- El nomograma también es válido desde los puntos de fusión hasta los puntos de ebullición de los compuestos considerados.
- 5.- El nomograma es aplicable también a otros compuestos. Por ejemplo: a las olefinas normales, a los alquilbencenos normales, a los alquilociclohexanos y alquilociclopentanos normales. En estos casos se puede localizar un foco si se conocen valores de viscosidad a dos temperaturas.

### Precisión y Limitaciones:

Este nomograma no es aplicable para compuestos que no sean hidrocarburos.

Error promedio = 2.5 %

Error máximo < 5%

### Referencias:

7, 113, 114, 136



Nota: Los números significan el número de átomos de C en los hidrocarburos parafínicos normales.

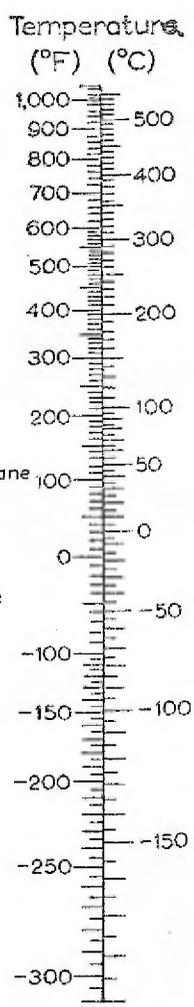
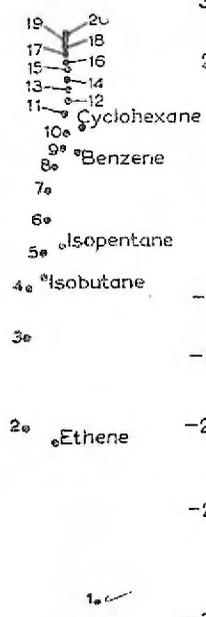


Figura 2.2.1.c.

## 2.2.1.d.- NOMOGRAMA DE VISCOSIDAD DE LIQUIDOS A UNA ATMOSFERA DE PRESION.

### Características:

Base: semiempírica

Ecuación:

$$\log \mu = a (T)^n$$

.... ec. 2.2.1.d.

Donde:  $\mu$  = viscosidad a la temperatura absoluta T.

a, n = ctes. características de la substancia.

T = temperatura absoluta

Este nomograma solo se puede usar para estimar la viscosidad de un líquido a una atmósfera de presión. Para compuestos no incluidos en la tabla 2.2.1.d es suficiente conocer la viscosidad a dos temperaturas para localizar el punto requerido.

### Uso del Nomograma:

De la tabla 2.2.1.d léanse las coordenadas para el compuesto en cuestión y localícese este punto en la cuadrícula. Conecte este punto con la temperatura deseada y léase la viscosidad correspondiente.

### Precisión:

Las desviaciones no exceden del 10% y en la mayoría de los casos son bastante menores, excepto en los límites del rango de temperatura.

### Referencias:

7, 89, 111, 113.

TABLE 7.2.1.d.

Compuesto	X	Y	Compuesto	X	Y
Acetaldehído	15.2	4.0	Bromo Tolueno	20	15.9
Acetato de Anilo	11.6	12.5	Bromuro de Etilo	14.5	6.1
Acetato de Butilo	12.3	11.5	Bromuro de Propilo	14.5	5.6
Acetato de Etilo	10.7	9.1	Ciclo Hexam 1	2.9	2-3
Acetato de Metilo	14.2	8.2	Cloro Benceno	12.3	12.4
Acetato de Vinilo	14.0	8.0	Cloroformo	14.4	10.2
Acetona 100%	14.5	7.2	Cloro-Tolueno (orto)	13.0	13.3
Acetona 50%	7.9	15.0	Cloro-Tolueno (Meta)	13.3	12.5
Acido Acético 100%	12.1	14.2	Cloro-Tolueno (Para)	13.3	12.5
Acido Acético 70%	9.5	17.2	Cloruro de Etilo	14.8	6.0
Acido Butílico	12.1	15.3	Cloruro de Metilo	15.0	3.0
Acido Clorhídrico 3.5%	13	16.6	Cloruro de Propilo	14.4	7.5
Acido Clorosulfónico	11.2	18.1	Cloruro de Sulfúrico	15.2	12.1
Acido Esteárico (250-400 F)	10.5	25.5	Cloruro Estónico	13.5	12.8
Acido Fórmico	10.7	15.8	Cresol (Meta)	2.5	20.5
Acido Isobutílico	12.2	14.4	Dibromo Etano	12.7	15.0
Acido Láurico	10.1	23.1	Dicloro Etano	13.2	12.2
Acido Nítrico 95%	12.8	13.8	Dicloro Metano	14.6	6.3
Acido Nítrico 65%	10.8	17.0	Difenilo	12	18.3
Acido Oléico (250-400 F)	10	25.2	Dióxido de Carbono	11.6	0.3
Acido Palmítico (250-400 F)	9.2	25.9	Dióxido de Azufre	15.2	7.1
Acido Propiónico	12.8	13.8	Disulfuro de Carbono	16.1	7.5
Acido Sulfúrico 110%	7.2	27.4	Etil Benceno	13.2	11.5
Acido Sulfúrico 98%	7.0	24.8	Etil Eter	14.5	5.3
Acido Sulfúrico 60%	10.2	21.3	Etilen Glicol	6	23.3
Agua	13.2	13	Fenol	6.4	20.9
Alcohol Alílico	10.2	14.3	Formiato de Etilo	14.2	8.4
Alcohol Amílico	7.5	18.4	Freón - 11	14.4	9
Alcohol Butílico	8.6	17.2	Freón - 12	16.8	5.6
Alcohol Etilico 100%	10.5	13.8	Freón - 21	15.7	7.5
Alcohol Etilico 95%	9.8	14.3	Freón - 22	17.2	4.7
Alcohol Etilico 40%	6.5	16.6	Freón - 113	12.5	11.4
Alcohol Isobutílico	7.1	18	Glicerina 100%	2.0	30.6
Alcohol Isobutílico	12.2	14.4	Glicerina 50%	6.9	19.6
Alcohol Isopropílico	8.2	16.0	Hepteno	14.1	6.4
Alcohol Metílico 100%	12.4	10.5	Hidróxido de Sodio 50%	3.2	25.8
Alcohol Metílico 90%	12.3	11.8	Hexano	14.7	7.0
Alcohol Metílico 40%	7.8	15.8	Ioduro de Etilo	14.7	10.3
Alcohol Octílico	6.6	21.1	Ioduro de Propilo	14.1	11.3
Alcohol Propílico	9.1	16.5	Keroseno	10.2	16.9
Alcorno 100%	12.6	2.0	Mercurio	18.4	16.4
Alcorno 28%	10.1	13.9	Metil-Etil-Cetona	13.9	8.6
Alcorno Acético	12.7	12.8	Naftaleno	7.9	10.1
Alfina	8.1	18.7	Nitro-Benceno	10.6	16.2
Alfisol	12.3	13.5	Nitro-Tolueno	11.0	17.0
Alfoteno	12.5	10.9	Oxano	13.7	10.0
Alfotol	14.2	13.2	Oxalato de Dietilo	11.0	16.4
			Oxalato de Dimetilo	12.3	15.6
			Oxalato de Dipropilo	10.3	17.7

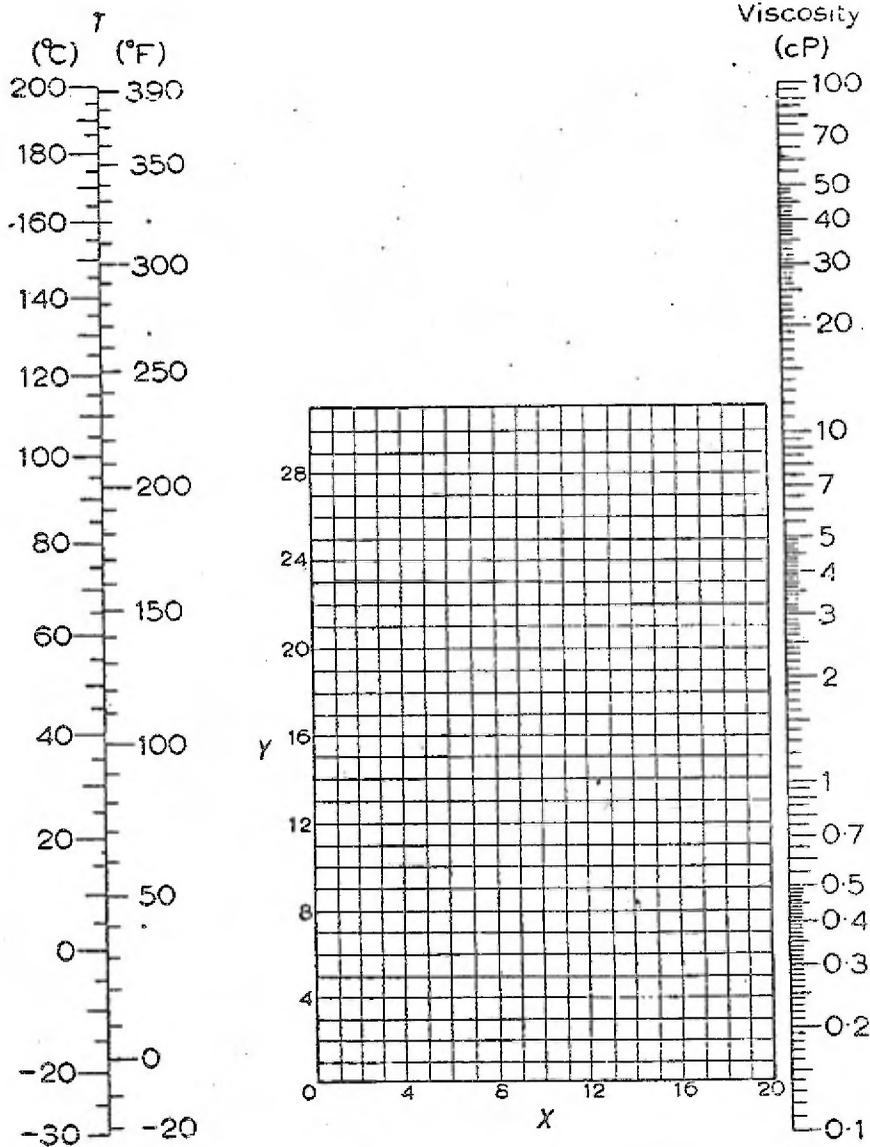


Fig. 2.2.1.d.

2.2.1.e.- CONSTANTE DE VISCOSIDAD-GRAVEDAD DE ACEITES.

Características:

Base: Empírica

Ecuación:

$$V.G.C. = \frac{10 s - 1.0752 \log (v - 38)}{10 - \log (v - 38)}$$

.... ec. 2.2.1.e

Donde:

V.G.C. = constante de viscosidad-gravedad

s = viscosidad específica del aceite a 60°F

v = viscosidad Saybolt a 100°F, en segundos.

En la escala de gravedad específica también se indica la densidad A.P.I.

Uso del Nomograma:

Simplemente conéctese la viscosidad conocida con la gravedad específica en las respectivas escalas y léase la V.G.C. en la escala de la izquierda.

Referencias:

7

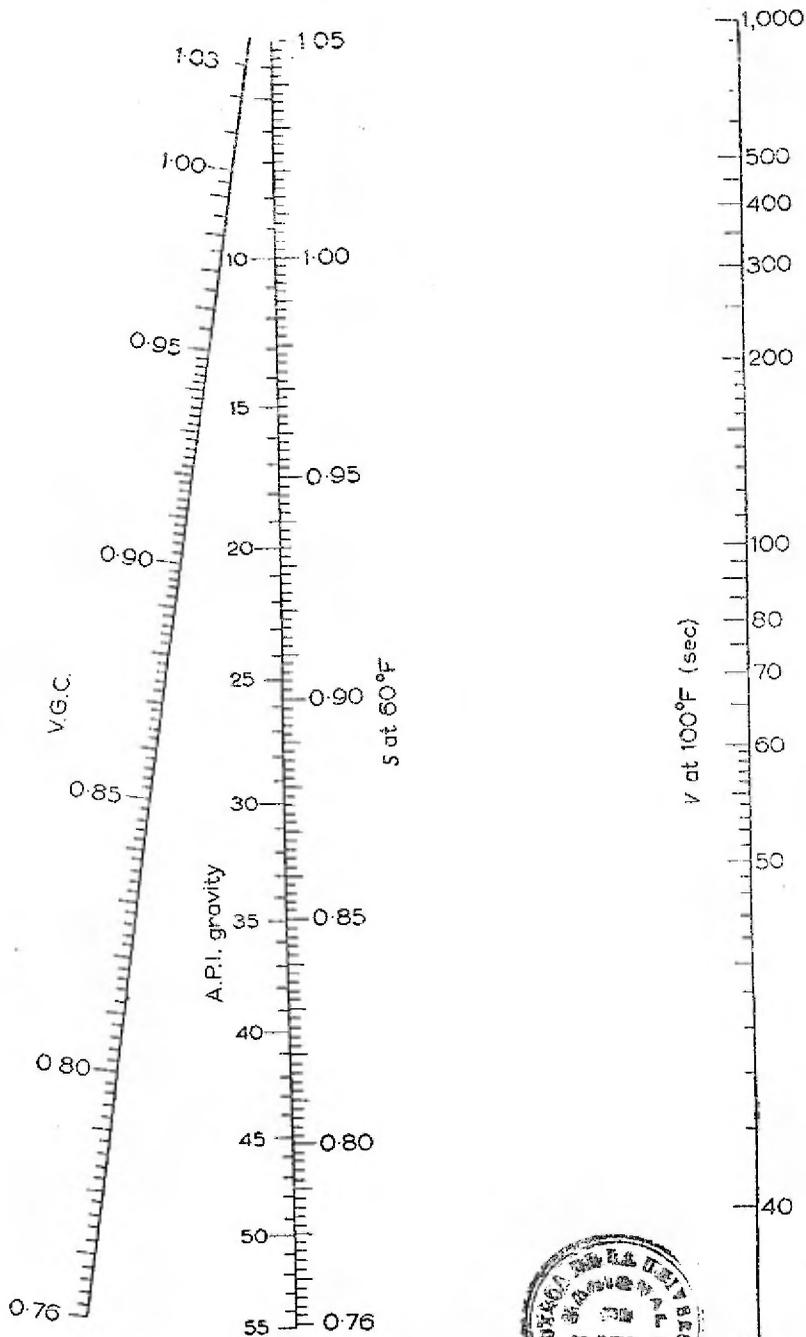


Fig. 2.2.1.e.



QUINICA

## 2.2.1.f.- INDICE DE VISCOSIDAD RACIONAL PARA ACEITES.

### Características:

Base: semiempírica

Ecuación:

$$\log \log ( \nu + 0.6 ) = m \log T + b$$

... ec. 2.2.1.f

donde:  $\nu$  = viscosidad  
 $T$  = temperatura absoluta  
 $m, b$  = constantes características del aceite.

- 1.- El índice de viscosidad convencional de Dean y Davis tiene tres limitaciones:
  - a.- Ambigüedad del índice de viscosidad arriba de 140 °F.
  - b.- Se necesitan conocer los valores de viscosidad a 100 y 210 °F.
  - c.- Está basado en valores escogidos arbitrariamente para aceites hipotéticos.
- 2.- Por estas razones se introduce el índice racional ( ); así es solamente necesario conocer los valores de viscosidad a dos temperaturas.
- 3.- En el cuadro que aparece en la esquina superior derecha del nomograma se muestra la relación entre estos dos índices.

### Uso del Nomograma:

- 1.- Unanse los dos valores de viscosidad reconocidas con sus temperaturas respectivas.
- 2.- El valor del índice racional ( ) se lee en la intersección de estas dos líneas. Esta intersección sirve como foco para estimar la viscosidad a cualquier otra temp.

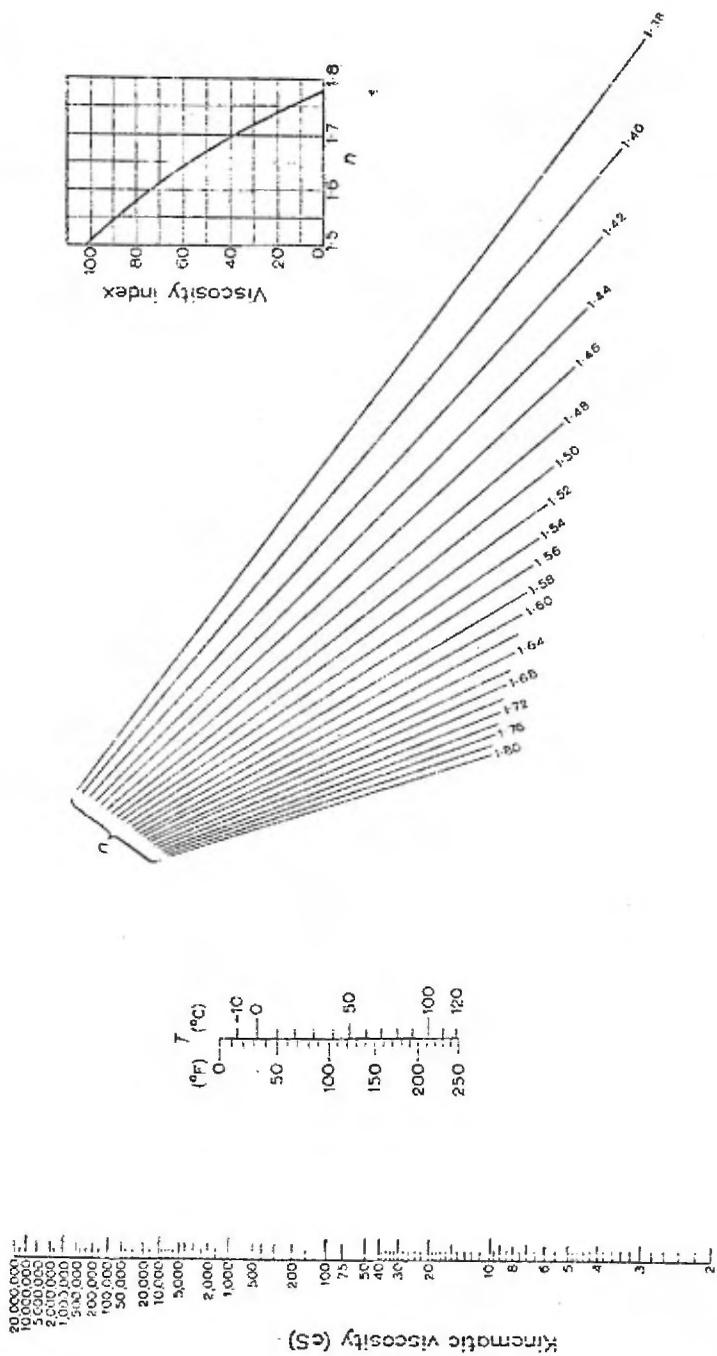


Fig. 2.2.1.8.

2.2.1.g.- NOMOGRAMA DE GRUNBERG Y NISSAN.

Características:

Base: semiempírica

Ecuación:

$$\log_{10} \left[ \frac{\eta_p}{\eta_a} - (1 - 0.5 \rho_r)^{2/3} \right] - \frac{1}{4.606 T_r} = 1.855 + \log_{10} f(\rho_r)$$

.... ec. 2.2.1.g

donde:

$\eta_p$  = viscosidad del fluido comprimido

$\eta_a$  = viscosidad del fluido a presión atm.

$\rho_r$  = densidad reducida =  $\rho / \rho_c$

$\rho$  = densidad

$\rho_c$  = densidad crítica

$f(\rho_r)$  = función independiente de la naturaleza de la sustancia y dependiente solo de la viscosidad reducida.

Este nomograma sirve para calcular el efecto de la presión en la viscosidad de los fluidos.

Se aplica tanto para líquidos como para gases.

Ejemplo:

Calcular la viscosidad del etileno a 40°C y 55.5 atm. de presión.

Solución:

En estas condiciones:

$\rho$  = 0.091 g/ml

$T_c$  = 9.7°C

$\rho_c$  = 0.220 g/ml

De donde:

$$\tau_r = \frac{313}{282.7} = 1.106$$

$$\beta_r = \frac{0.091}{0.220} = 0.414$$

Del nomograma:

$$\frac{\eta_p}{\eta_a} = 1.26$$

$$\eta_a = 1.093 \times 10^{-4} \text{ poises}$$

Por lo tanto:

$$\eta_p = \text{viscosidad a } 55.5 \text{ atm} = 1.38 \times 10^{-4} \text{ poises}$$

El valor experimental es  $1.41 \times 10^{-4}$  poises.

Precisión:

$$\pm 10 \%$$

Referencias:

25, 88, 89, 111, 163.

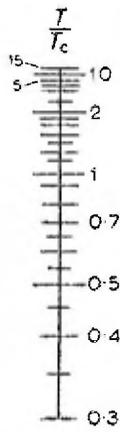


Fig. 2.2.1.g.

## 2.2.1.h.- VISCOSIDAD DE ALGUNOS SOLVENTES ORGANICOS.

### Características:

El nomograma se basa en la relación que indica que el logaritmo de la viscosidad de algunos solventes orgánicos varía linealmente con el recíproco de la temperatura absoluta.

### Ejemplo:

La viscosidad del heptano a 40°C es 0.34 cp como se muestra en el nomograma.

### Precisión:

Error máximo = 3%

### Referencias:

154, 165.

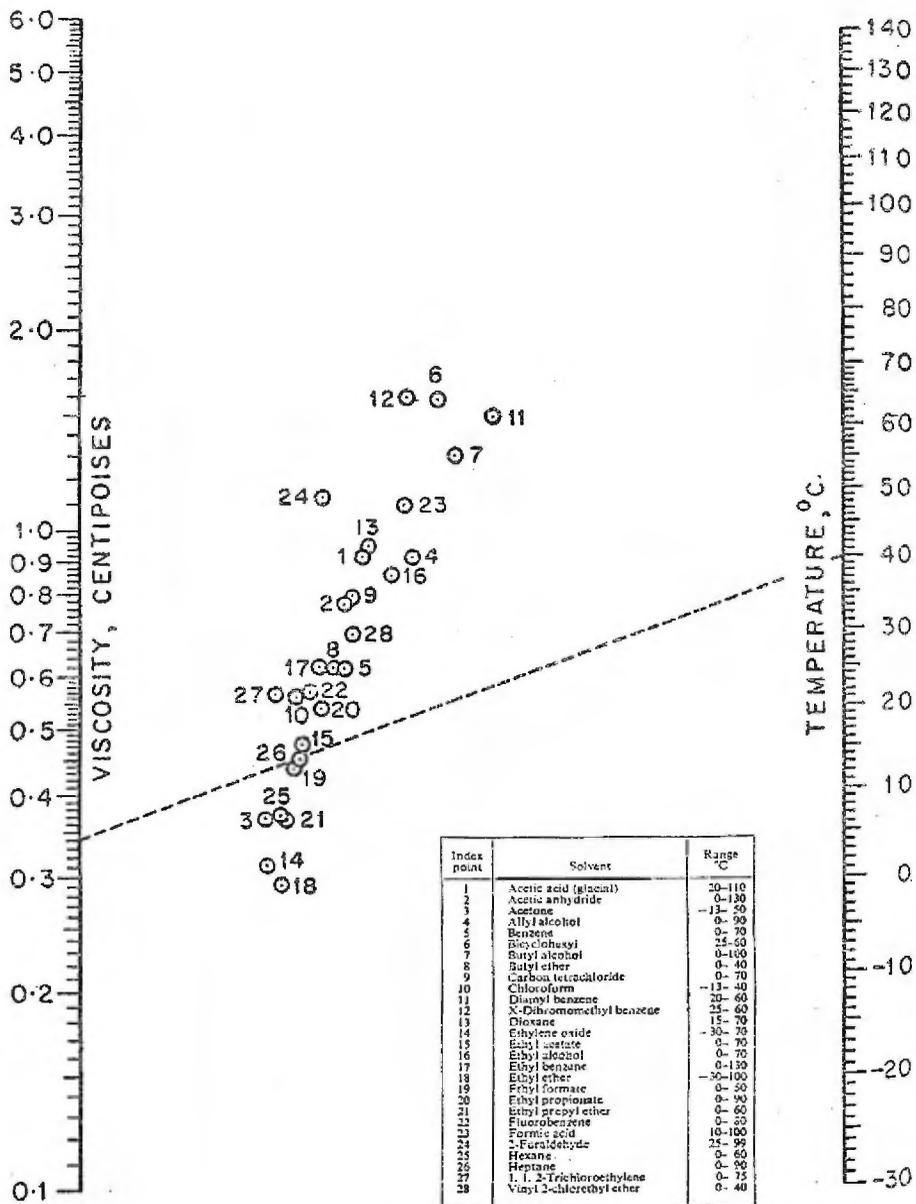


Fig. 2.2.1.h.

### 2.2.2.a.- NOMOGRAMA PARA VISCOSIDAD DE VAPORES.

#### Características:

En este nomograma se observa que para presiones inferiores a la presión crítica, esto es, para valores de  $p_r < 1$ , el efecto de la presión es la viscosidad de vapores es muy pequeño. Para datos de presiones bajas se puede usar la siguiente ecuación:

$$\mu' = 4.53 M^{1/2} \left( \frac{P_c}{T_c} \right)^{2/3} \frac{0.782}{T}$$

.... ec. 2.2.2.a

Donde:

- $\mu'$  = viscosidad en micropoises
- $P_c$  = presión crítica en atmósferas
- $T_c$  = temperatura crítica en  $^{\circ}K$
- $T$  = temperatura en  $^{\circ}K$
- $M$  = peso molecular

Este nomograma se basa en la ec. 2.2.2.a y permite una estimación rápida de la viscosidad de un vapor a cualquier temperatura y presión inferiores a las críticas, teniendo disponible la presión crítica y el peso molecular, así como la temperatura crítica.

#### Ejemplo:

Las líneas AB, CD y Ef de la figura 2.2.2.a son un ejemplo del cálculo de la viscosidad del vapor de acetona a  $100^{\circ}C$  y presión atm.

$$M = 58.1$$

$$T_c = 509 \text{ } ^{\circ}K$$

$$P_c = 46.6 \text{ atm}$$

Con estos datos, el valor que se lee en el nomograma es de 90 mp. el valor experimental

es de 94.3 micropoises.

Precisión y Limitaciones:

El nomograma es especialmente bueno para el agua, acetona, metanol, hidrógeno, helio, neón, y bromo.

A altas temperaturas el método no es recomendable por la escasa información de datos empíricos.

Referencias:

82, 91, 111, 113, 135.

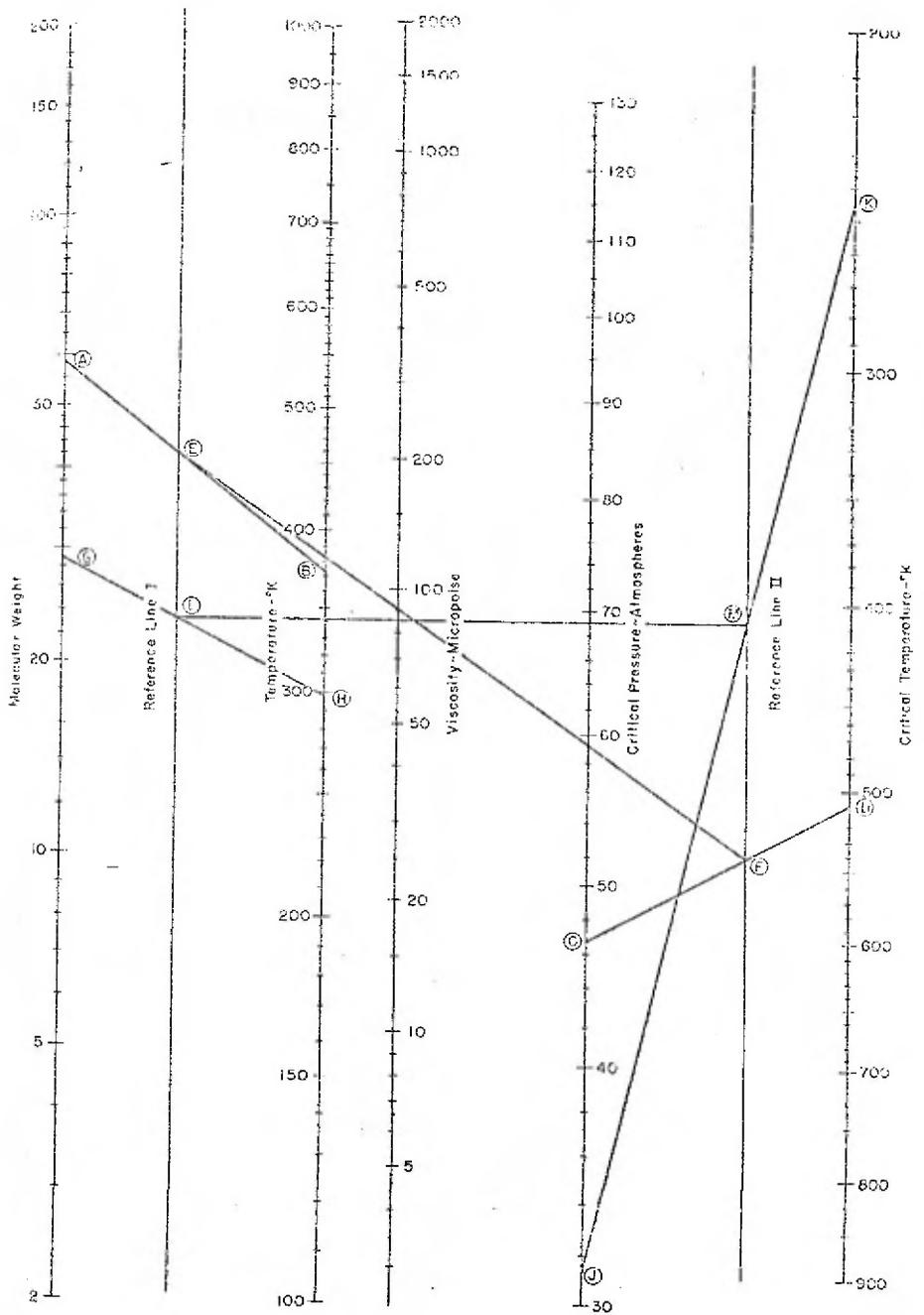


Fig. 2.2.2.a

### 2.2.2.b.- NOMOGRAMA PARA GASES IDEALES.

#### Características:

Este nomograma se usa para estimar la viscosidad de gases que se pueden considerar ideales conociendo el peso molecular y usando la función F cuyos valores se muestran en la tabla 2.1.14.a.

#### Clave:

M - I -  $T_c$   
I - II - F  
 $V_c$  - II -  $\mu^0$

#### Donde:

M = peso molecular  
 $T_c$  = temperatura crítica  
 $V_c$  = volumen crítico  
 $\mu^0$  = viscosidad del vapor en cp  
F = función que se obtiene en la tabla 2.1.14.a  
(Ver correlación 2.1.14, método de Mc Kelvey).

Este método tiene la ventaja de que solo es necesario conocer el peso molecular del compuesto y obtener el valor de F. Pero solo puede aplicarse a gases considerados ideales.

#### Referencias:

122.

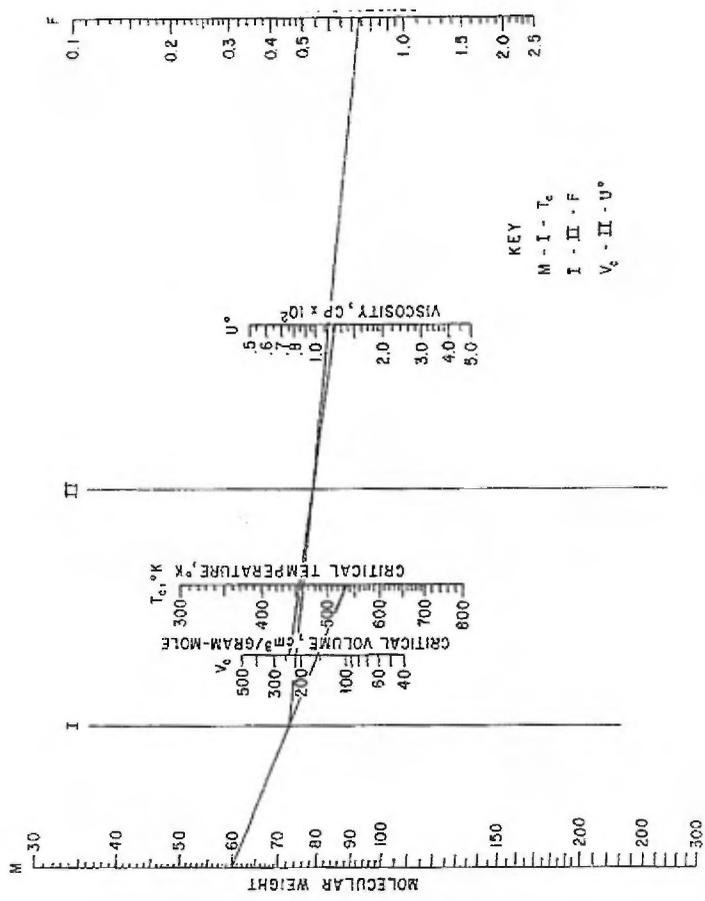


Fig. 2.2.2. b.

2.2.2.c.- NOMOGRAMA PARA VISCOSIDAD DE VAPORES A  
ALTAS PRESIONES.

Características:

Se obtienen buenos resultados para presiones  
reducidas:

$$P_r \leq 4$$

Para:  $P_r > 4$  es más recomendable usar  
la gráfica

Referencias:

122.

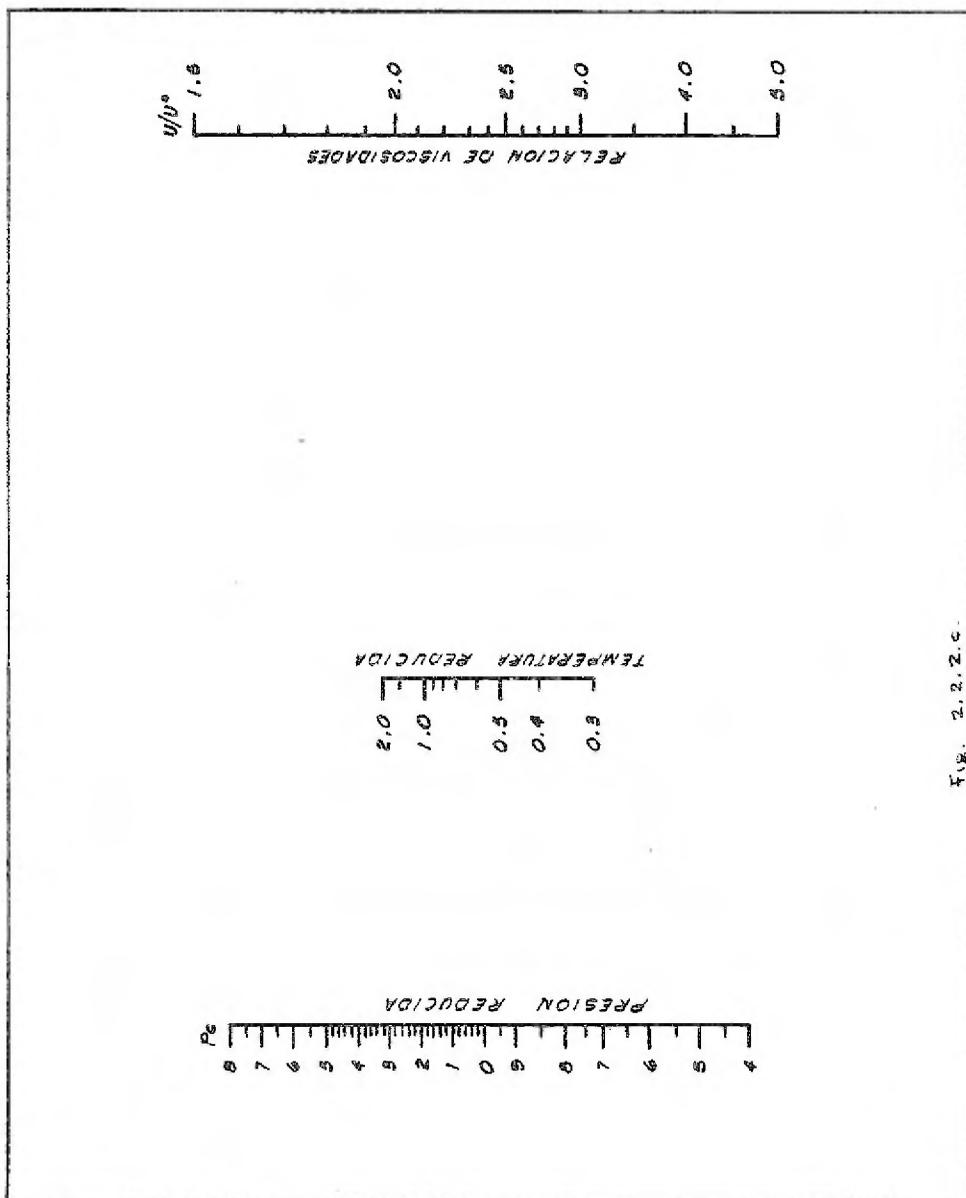


Fig. 2.2.2.c

## 2.2.2.d.- NOMOGRAMA PARA VISCOSIDAD DE GASES PUROS.

### Características:

Base: semiempírica

Ecuación:

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left( \frac{T}{273 - 1} \right)^n \quad \dots \text{ ec, 2.2.2.d}$$

Donde:

T = temperatura en °K

$\mu, \mu_0$  = viscosidad a T °K y 273.1 °K  
respectivamente

n = constante característica del compuesto.

- 1.- El nomograma es recomendable para rangos de temperaturas bajos ya que se obtienen datos bastante exactos.
- 2.- Para gases no incluidos, solamente se necesita conocer su viscosidad a dos temperaturas dadas para encontrar el punto.
- 3.- El método solo es válido para presiones de una atmósfera.

### Uso del Nomograma:

- 1.- De la tabla 2.2.2.d léanse las coordenada de la substancia problema.
- 2.- Localícese el punto en la cuadrícula del nomograma.
- 3.- Usese este punto con la temperatura problema y lease la viscosidad correspondiente.

### Referencias:

88p 89, 114.

Compuesto	X	Y	Compuesto	X	Y
Acetileno	9.8	14.9	Freón 11	10.6	15.1
Acetato de etilo	11.5	13.2	Freón 12	11.1	16.0
Acetona	8.9	13.0	Freón 21	10.8	15.3
Acido acético	7.7	14.3	Freón 22	10.1	7.0
Agua	Ver figura (2-6)		Freón 113	11.3	14.0
Aire	11.0	20.0	Helio	10.9	20.5
Alcohol etílico	9.2	14.2	Hexano	8.6	11.8
Alcohol metílico	8.5	15.6	Hidrógeno	11.2	12.4
Alcohol propílico	8.4	13.4	$3H_2 + N_2$	11.1	17.2
Amoniaco	8.4	16.0	Iodo	9.0	18.4
Argón	10.5	22.4	Ioduro de Hidrógeno	9.0	21.3
Benceno	8.5	13.2	Mercurio	5.3	22.9
Bromo	8.9	19.2	Metano	9.9	15.5
Bromuro de Hidrógeno	8.8	20.9	Monóxido de Carbono	11.0	20.0
Buteno	9.2	13.7	Nitrógeno	10.0	20.0
Butileno	8.9	13.0	Oxido Nítrico	10.9	20.5
Cianógeno	9.2	15.2	Oxido Nitroso	8.8	19.0
Cloruro de Hidrógeno	9.8	14.9	Oxígeno	11.0	21.3
Ciclo Hexano	9.2	12.0	Pentano	7.0	12.0
Cloro	9.0	18.4	Propeno	9.7	12.9
Cloroformo	8.9	15.7	Propileno	9.0	13.0
Cloruro de Etilo	8.5	15.6	Sulfuro de Hidrógeno	8.6	18.0
Cloruro de Hidrógeno	8.8	18.7	Tolueno	8.6	12.0
Cloruro de Nitrosilo	8.0	17.6	2-3-5 Trimetil Butano	9.1	10.5
Dióxido de Azufre	9.6	17.0	Xenon	9.3	23.0
Dióxido de Carbono	9.5	18.7			
Disulfuro de Carbono	8.0	16.0			
Etileno	9.5	15.1			
Eter Etilico	8.9	13.0			
Flúor	7.3	23.0			

TABLA 2.2.2.a.



## 2.2.2.e.- METODO DE LIGHT Y STETCHERT.

### Características:

Base: semiempírica

Ecuación:

$$\mu = 6.30 \times 10^{-6} \times G \left( \frac{T_r}{T_r + 8} \right)$$

.... ec. 2.2.2.e

Donde:

- $\mu$  = viscosidad en poises
- G = constante características del gas cuyos valores se encuentran en la tabla 2.2.2.e.
- $T_r$  = Temperatura reducida

El método únicamente es aplicable para estimación de viscosidad a presión atmosférica.

### Uso del Nomograma:

- 1.- Conéctese el valor adecuado de la constante G (leído en la tabla 2.2.2.e) con la temperatura dada.
- 2.- Léase la viscosidad correspondiente en la escala de enmedio.
- 3.- El lado izquierdo de la escala de  $T_r$  se usa con el lado izquierdo de la escala de la viscosidad.
- 4.- Para rangos de temperaturas mayores, se deben usar los lados derechos de ambas escalas.

### Referencias:

91, 111, 113.

TABLA 2.2.2.e

VALORES DE G PARA VARIOS GASES

Acetona -----	35.2
Acetileno -----	30.6
Amoníaco -----	35.1
Argón -----	36.1
Benceno -----	40.2
Bromo -----	65.9
Bióxido de carbono -----	44.6
Tetracloruro de carbono -----	54.3
Ciclohexano -----	37.9
Eter dietílico -----	33.4
Acetato de etilo -----	37.5
Alcohol etílico -----	37.9
Etileno -----	28.2
Helio -----	2.6
Hidrógeno -----	4.34
Acido clorhídrico -----	43.4
Metano -----	21.3
Alcohol metílico -----	42.4
Nitrógeno -----	24.6
Oxido nitroso -----	43.9
Oxígeno -----	32.8
Dióxido de azufre -----	52.6
Tolueno -----	39.9
Agua -----	50.0

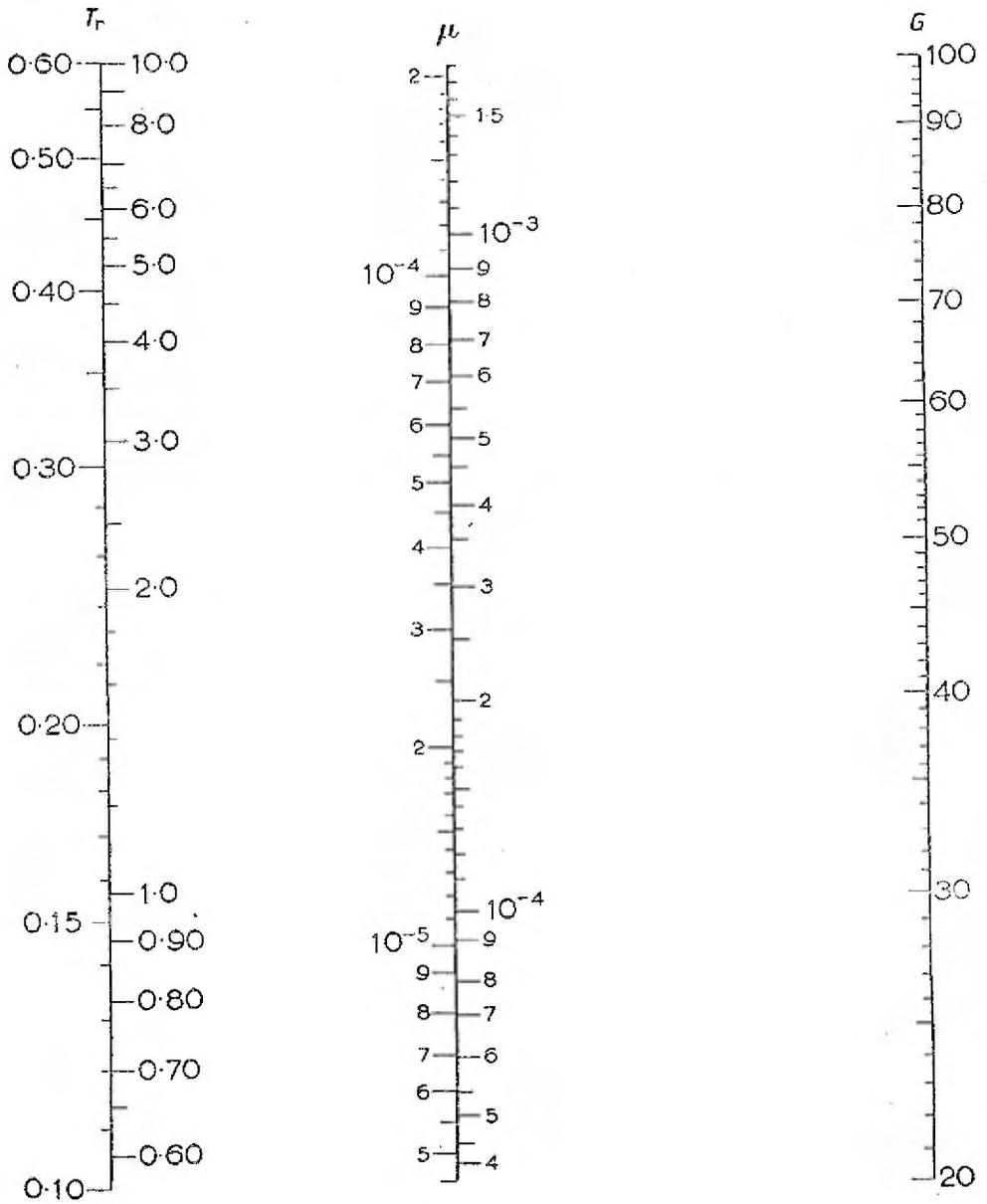


Fig. 2.2.2, e.

### 2.2.2.f.- METODO DE LIGHT Y SPENCER MODIFICADO.

Características:

Base: empírica

Ecuación:

$$\mu = 4.53 (M)^{0.5} (P_c^{2/3} / T_c) T^{0.782}$$

... ec. 2.2.2.f

Donde:

- $\mu$  = viscosidad en micropoises
- M = peso molecular
- $P_c$  = presión crítica en atmósferas
- $T_c$  = temperatura crítica en  $^{\circ}K$
- T = temperatura dada en  $^{\circ}K$

- 1.- El nomograma es aplicable solo para presiones menores a la presión crítica.
- 2.- Se pueden estimar viscosidades de mezclas usando condiciones pseudocríticas y el peso molecular promedio.
- 3.- Este método no es recomendable para la estimación de la viscosidad de las siguientes sustancias: agua, hidrógeno, bromo, helio, metanol y neón.
- 4.- La constante se evalúa mediante datos experimentales en rangos de temperatura de  $175^{\circ}K$  para 31 sustancias.

Uso del Nomograma:

- 1.- Unase mediante una línea vertical la temperatura dada con la presión crítica.

- 2.- Del punto encontrado, sigase horizontalmente hasta la temperatura crítica dada.
- 3.- De este punto vaya verticalmente hasta encontrar el peso molecular de la substancia problema.
- 4.- Con este último punto, léase en la escala de la derecha la viscosidad buscada.

Ejemplo:

Determinar la viscosidad del vapor de acetona a  $100^{\circ}\text{C}$ .

A esa temperatura:

$$\begin{aligned}M &= 58.1 \\T_c &= 509^{\circ}\text{K} \\P_c &= 46.6 \text{ atm}\end{aligned}$$

Procedimiento:

- 1.- En la escala de la temperatura se busca el 100.
- 2.- Se sube verticalmente hasta  $P_c = 46.6 \text{ atm}$ , y se sigue de ahí horizontalmente hasta  $T_c = 509^{\circ}\text{K}$ .
- 3.- De ahí se sube verticalmente hasta  $M = 58.1$ .
- 4.- Siguiendo una línea horizontal se lee el resultado en la escala de la viscosidad, obteniéndose un valor de  $\mu = 93 \text{ mp}$ .  
El valor tabulado es de  $94.3 \text{ mp}$ .

Precisión:

Se obtiene un error promedio =  $\pm 1 \%$

Referencias:

111, 113, 114.

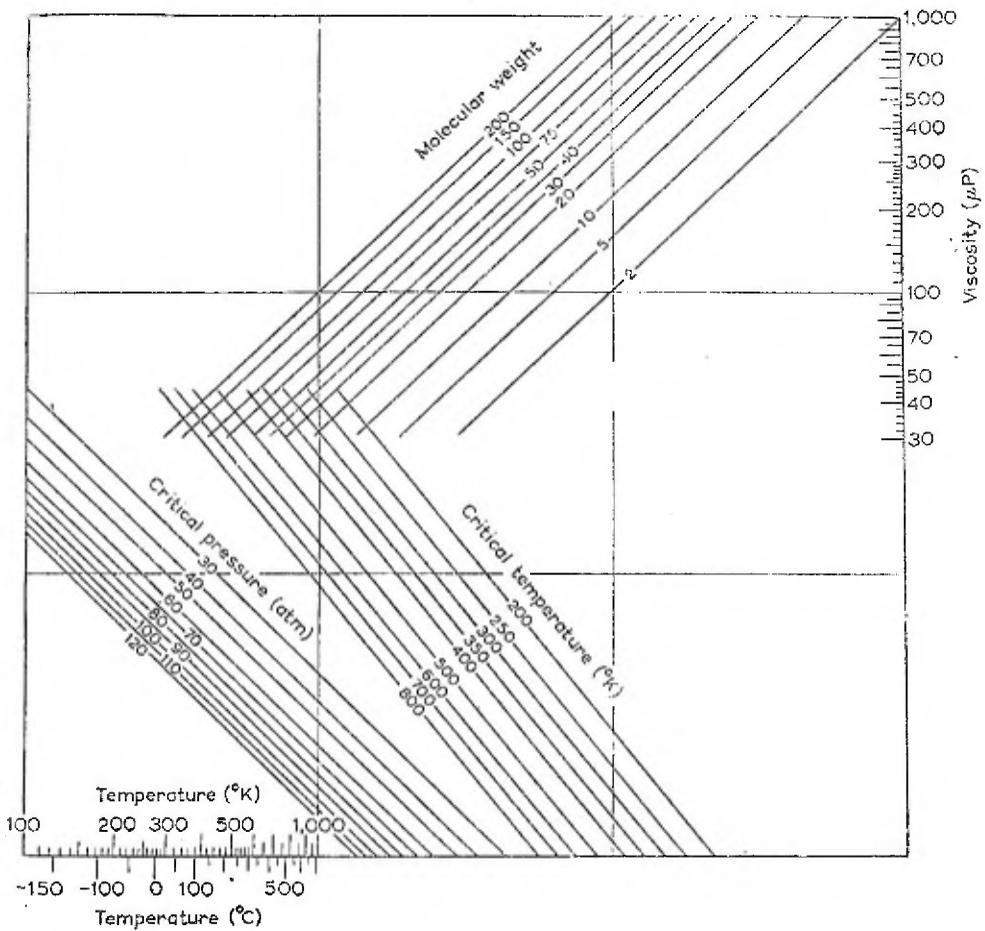


Fig. 2.2.2.1.

### 2.2.2.g.- METODO DE BROMLEY Y WILKE.

#### Características:

Este nomograma se basa en la correlación 2.1.12 explicada anteriormente. La solución de dicha correlación se facilita con el uso del diagrama (fig. 2.2.2.g.1) en que se permite conocer el valor de la función  $f$  directamente para cualquier valor de  $T_r$  (temperatura reducida). Este valor después se usa en el nomograma (fig. 2.2.2.g.2) y así se conoce de manera muy sencilla el valor de la viscosidad buscada.

#### Precisión:

Se obtiene un error promedio de  $\pm 5\%$ , excepto para el alcohol metílico en que el error es aproximadamente de  $12\%$ .

#### Limitaciones:

En caso de que no se conozcan los valores de temperatura y volumen crítico del gas en cuestión, el método no sirve.

#### Ejemplo:

Calcular la viscosidad del 1-buteno a  $20^\circ\text{C}$ .

A esa temperatura:

$$M = 56$$

$$T_c = 419.8^\circ\text{K}$$

$$V_c = 240 \text{ ml/gmol}$$

#### Procedimiento:

1.- Se calcula la temperatura reducida:

$$T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{293}{419.8} = 0.698$$

2.- Con el valor de  $T_r$ , encontremos el valor de la función  $f$  en la figura 2.2.2.

g.1:

$$f = 0.58$$

3.- En la figura 2.2.2.g.2 se traza una línea desde  $M$  (56) hasta  $T_c$  (419.8) cortando la línea de referencia "A" en el punto 3.

4.- Unase el punto 3 con la línea del factor  $f$  (0.58), encontrándose así el punto 4. en esta forma se corta la línea de referencia "B" en el punto 5.

5.- Unase el punto 5 con la línea del volumen crítico (240) en el punto 6 y de ahí prolonguese la línea hasta cortar la escala de la viscosidad en el punto 7:

$$\mu = 0.00755 \text{ cp}$$

Referencias:

18, 19, 85.

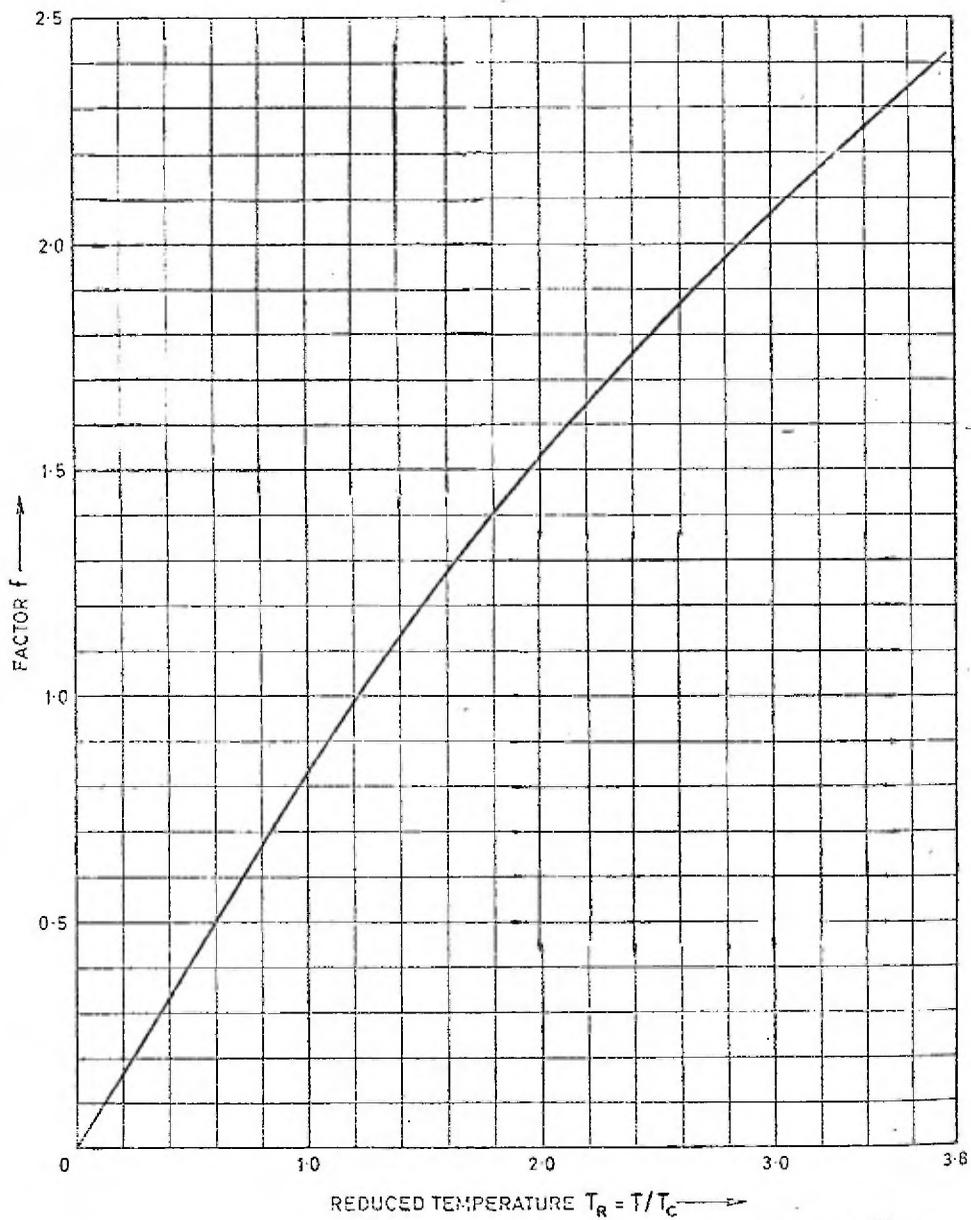


Fig. 2.2.2.g.1.



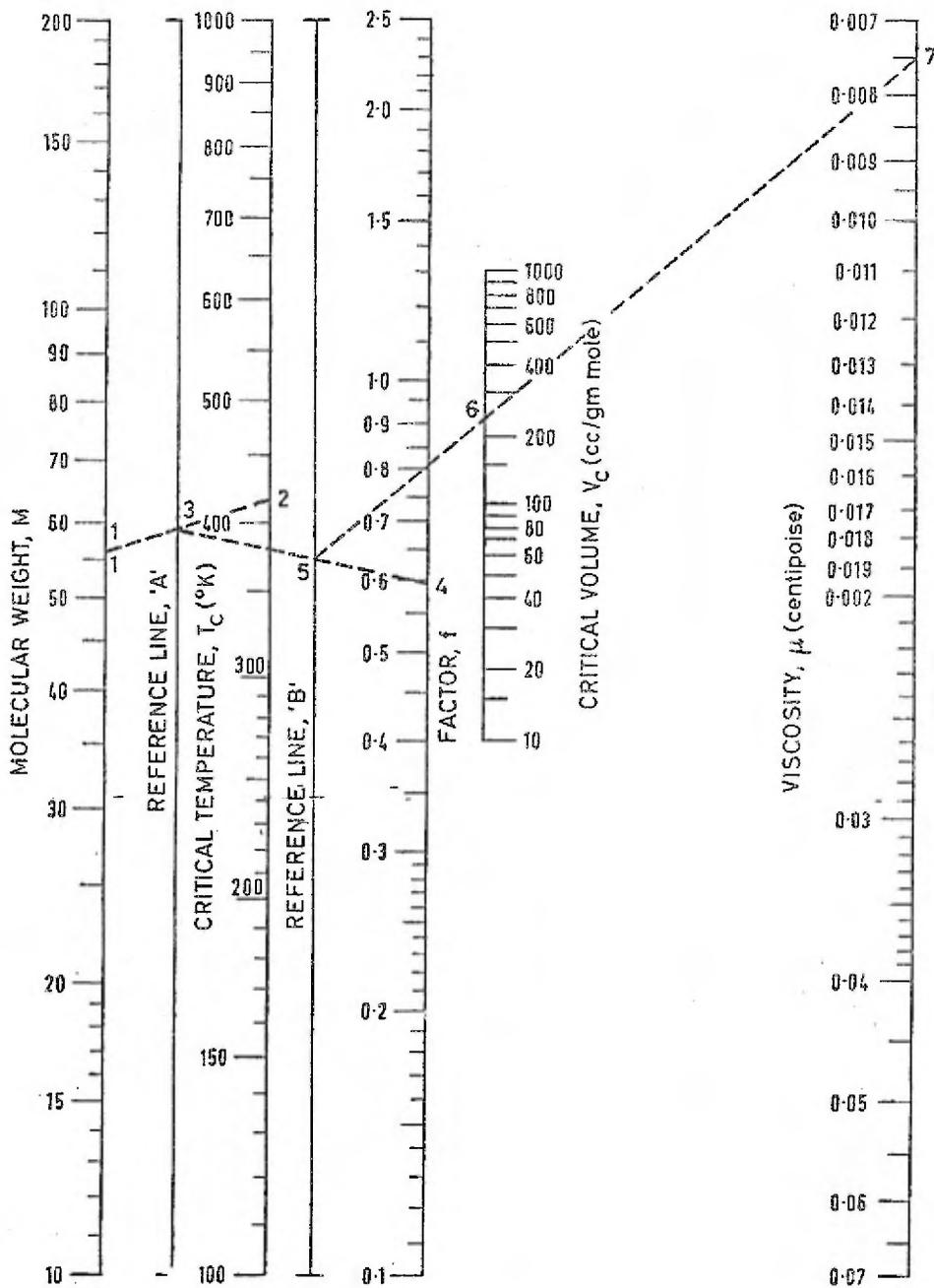


Fig. 2.2.2.g.2.

## 2.2.2.h.- METODO DE DAVIS.

### Características:

Este nomograma sirve para estimar viscosidades de vapor sobrecalentado.

Se basa en la siguiente ecuación:

$$\mu - \delta = a + b P \quad \dots \text{ec. 2.2.2.h}$$

Donde:

$\mu$  = viscosidad del vapor en milésimas de cp

P = presión absoluta en psi

a, b = constantes que dependen de la temperatura.

$\delta$  se define con la tabla 2.2.2.h.

El nomograma en cuestión permite la solución de la ecuación 2.2.2.h en forma muy exacta.

### Ejemplo:

Calcular la viscosidad de un vapor a 340 psi y 860 °F.

### Procedimiento:

Con los valores de presión y temperatura del vapor se lee en el nomograma 2.2.2.h un valor de viscosidad de 30.5 milésimas de centipoise.

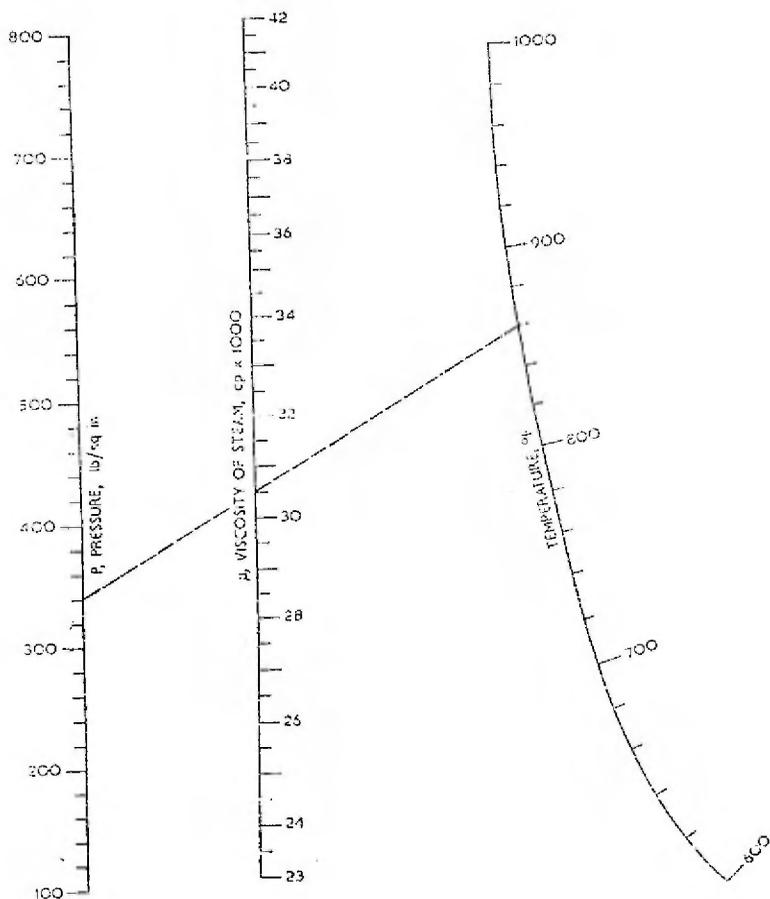
### Referencias:

28, 30, 32.

TABLE 2.2.2.h.

24	26	28	30	32	34	35
0.01	0.02	0.04	0.08	0.15	0.29	0.40
36	37	38	39	40	41	42
0.68	1.00	1.28	1.60	1.90	2.24	2.60

Fig. 2.2.2.h.



### 2.2.2.i.- VISCOSIDAD DEL GAS METANO.

#### Características:

Este nomograma, elaborado por Tane, se basa en las mediciones de la viscosidad del metano como una función de la temperatura y la presión.

#### Precisión:

La máxima desviación que se obtiene es de 2.5 mp aproximadamente y ocurre en la región donde se intersectan la escala de la viscosidad y la escala de la presión.

#### Ejemplo:

Calcular la viscosidad del metano a 6000 psi a una temperatura  $T = 175^{\circ}\text{F}$ .

#### Procedimiento:

Simplemente conectando los valores de la presión y la temperatura se obtiene un valor de la viscosidad = 267 mp.

#### Referencias:

12, 164.

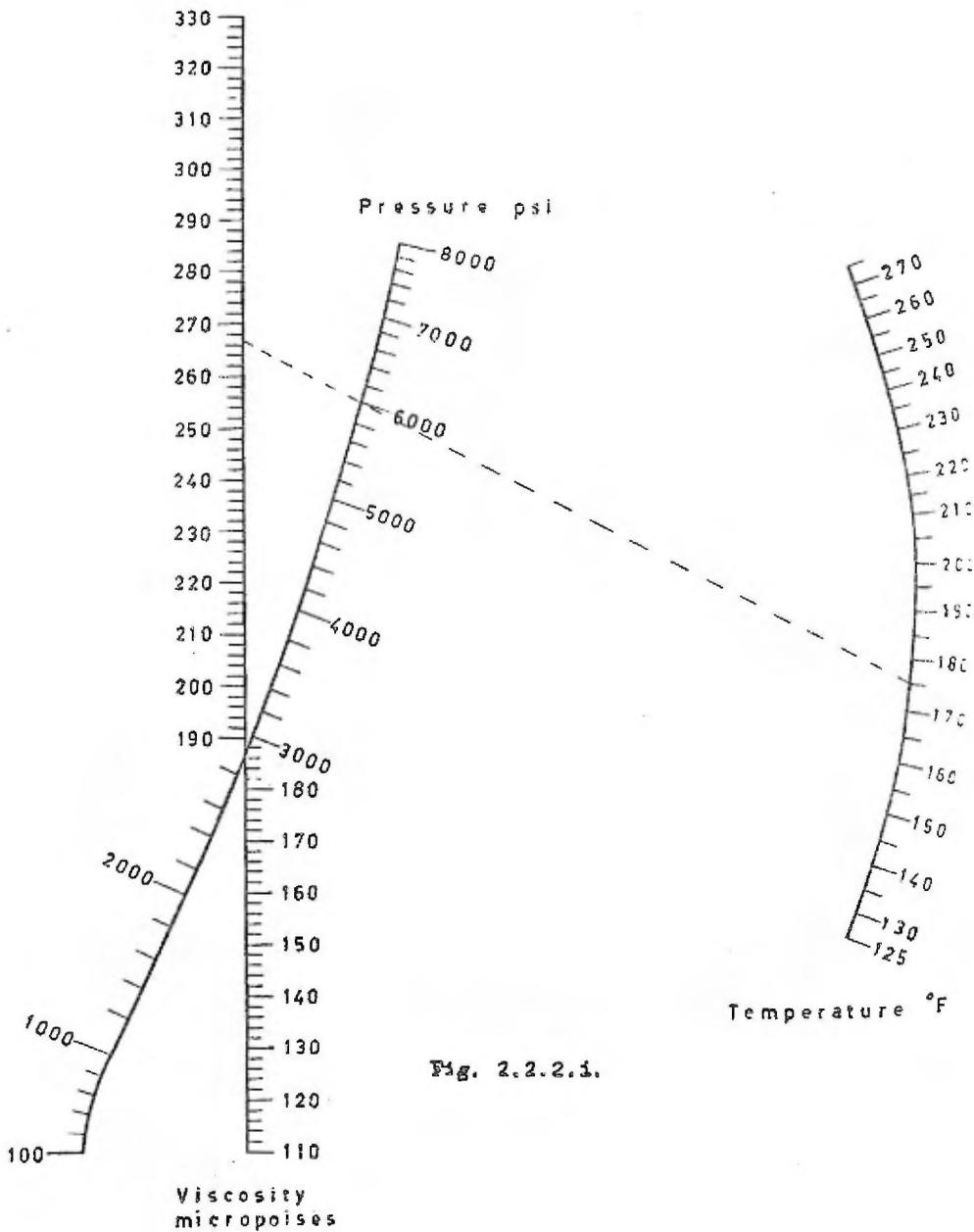


Fig. 2.2.2.1.

### 2.2.2.j.- METODO DE MURRAY Y COREY.

#### Características:

El nomograma sirve para estimar las viscosidades de gases a temperatura elevada.

Se basa en la siguiente correlación:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{f(T_{r1})}{f(T_{r2})} \quad \dots \text{ ec. 2.2.2.j}$$

Donde:

$\mu_1$  y  $\mu_2$  = viscosidades a las correspondientes temperaturas reducidas  $T_{r1}$  y  $T_{r2}$ .

$f(T_{r1})$  y  $f(T_{r2})$  = funciones logarítmicas complejas.

#### Uso del nomograma:

Se puede utilizar en dos formas:

1.- Si se conoce la temp. crítica de un gas y su viscosidad  $\mu_1$  a la temperatura  $T_1$ , se traza una línea que conecte la viscosidad con la temperatura reducida ( $T_r = T_1/T_c$ ). La intersección de esta línea pivote dá lugar a un punto pivote (para ese compuesto en particular) de donde se traza después una línea con otro valor de  $T_r$ .

Extendiendo esta línea con la columna de la viscosidad se encuentra finalmente la viscosidad del gas a la temperatura problema.

Para usar este nomograma dentro de un rango amplio se debe seleccionar el punto pivote obtenidos para cada valor conocido. En esta forma se encontraron los puntos pivote que aparecen en el nomograma.

2.- La segunda forma consiste en establecer el punto pivote utilizando la viscosidad conocida a la temperatura más cercana del valor conocido. Esto reducirá el error de extrapolación que llega a ser bastante significativo cuando la temperatura alcanza aquellos valores en que la disociación del gas es importante. Sin embargo tiene el inconveniente de incrementar el índice de error en el límite opuesto a la escala.

Precisión:

Error máximo = 5 %

Referencias:

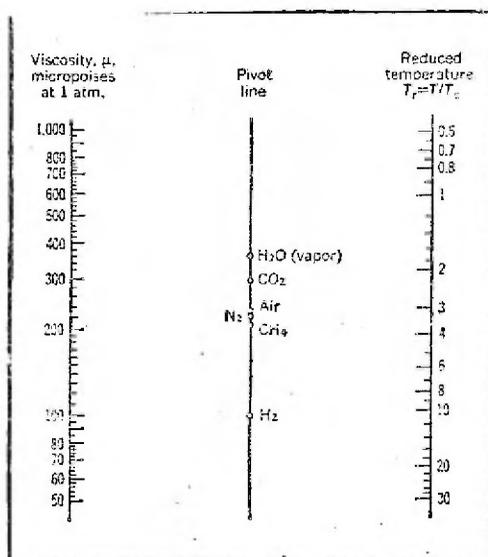


fig. 2.2.2.j.

### 2.2.3.a.- NOMOGRAMA PARA MEZCLAS DE ACEITES.

#### Características:

Este nomograma se basa en la siguiente ecuación:

$$\sqrt[3]{\mu} = \frac{x \sqrt[3]{\mu_a}}{1 - x \sqrt[3]{\mu_b}}$$

.... ec. 2.2.3.a.1

Donde:

- $\mu$  = viscosidad de la mezcla en cp
- $\mu_a$  = viscosidad del componente A en cp
- $\mu_b$  = viscosidad del componente B en cp
- x = fracción mol del componente A en la mezcla

#### Ejemplo:

Ilustraremos el uso de este nomograma con el siguiente ejemplo: calcular la viscosidad de una mezcla que contiene el 40% en mol de un aceite y 60% en mol de otro aceite cuya viscosidad es 40 cp. El primer aceite tiene una visc. = 10 cp.

#### Uso del Nomograma:

- 1.- Conéctese 40% en mol en la escala del componente A con 10 cp en la escala de viscosidad del componente A y extiéndase esta línea hasta encontrar el eje vertical del lado izquierdo en el punto "a".
- 2.- Conéctese 60% en mol en la escala del componente B con 40 cp en la escala de viscosidad del componente B, extiéndase esta línea hacia el eje vertical derecho en el punto "b".

3.- Trácese una línea del punto "a" al punto "b" y en donde esta línea intersecta la escala de viscosidad de la mezcla, se lee el resultado obteniéndose un valor de 24.8 cp.

Precisión:

Error máximo = 2 %

Nota:

Cuando los porcentajes de composición estén expresados en peso o en volumen, se pueden transformar a porcentajes en mol por medio de la fórmula:

$$x = \frac{100 \quad w/m}{w/m + W/M}$$

.... ec. 2.2.3.a.2

Donde:

x = % en mol del componente A

w = peso del componente A

m = peso molecular del componente A

W = peso del componente B

M = peso molecular del componente B

Referencias:

29, 102.

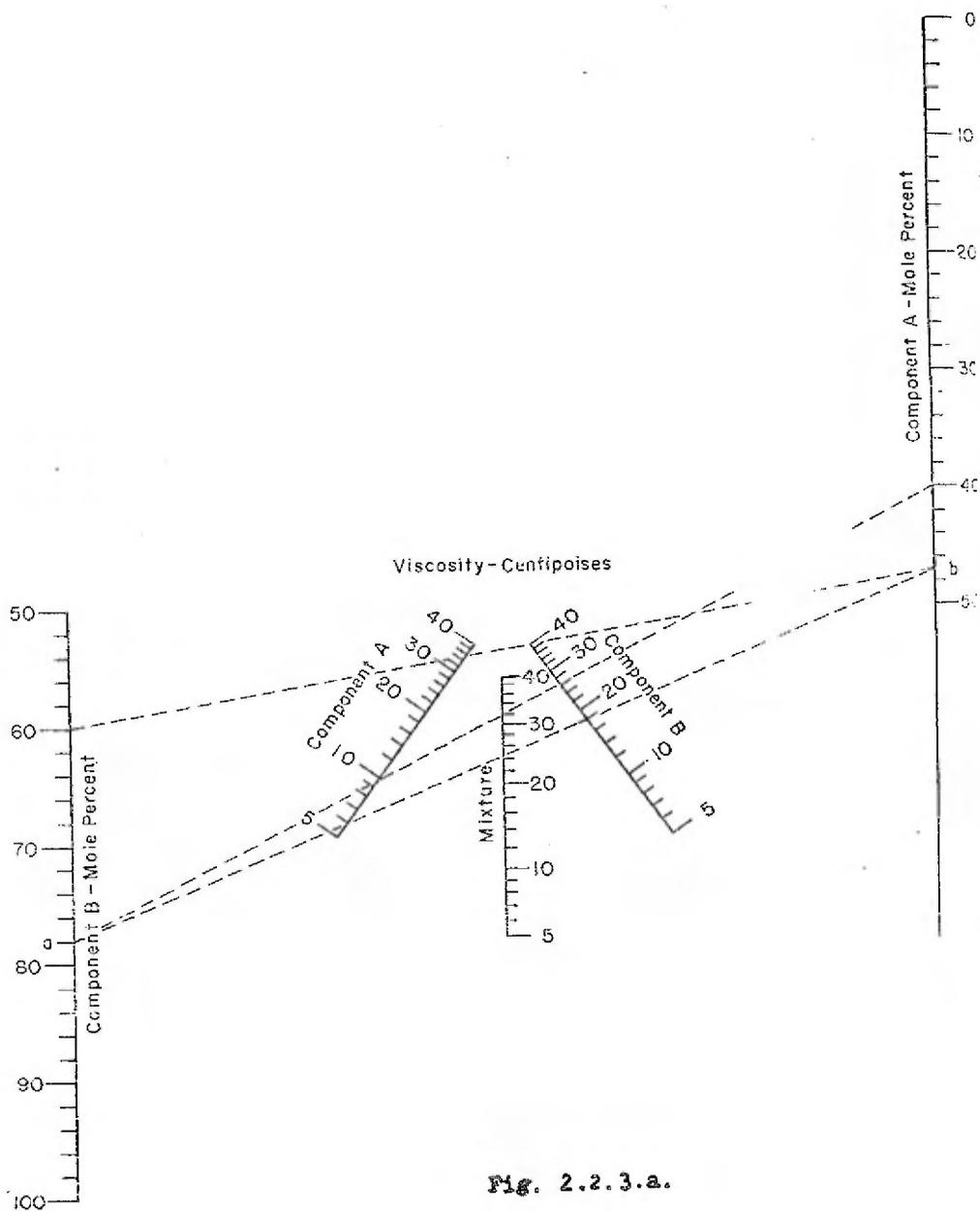


Fig. 2.2.3.a.

### 2.2.3.b.- VISCOSIDAD DE SOLUCIONES ACUOSAS DE ETANOL.

Características:

El nomograma se basa en la siguiente ecuación:

$$\log (\mu - 0.0035 \mu^2) = a + bt$$

.... ec. 2.2.3.b

Donde:

$\mu$  = viscosidad en cp

t = temperatura en °C o °F

a, b = constantes que dependen de la concentración del etanol

Para usar este nomograma es necesario conocer la temperatura a la que se encuentra la solución y la concentración de la misma.

Ejemplo:

Calcular la viscosidad de una solución de 25% en peso de etanol a -20°C (-4°F).

Uso del Nomograma:

Uniendo el valor del % en peso de etanol (25) con la temperatura (-20) encontramos que la viscosidad del etanol en estas condiciones es de 17.8 cp.

Nota:

Obsérvese que una solución al 48% a esta temperatura tiene la misma viscosidad.

Referencias:

28, 30, 32, 137.

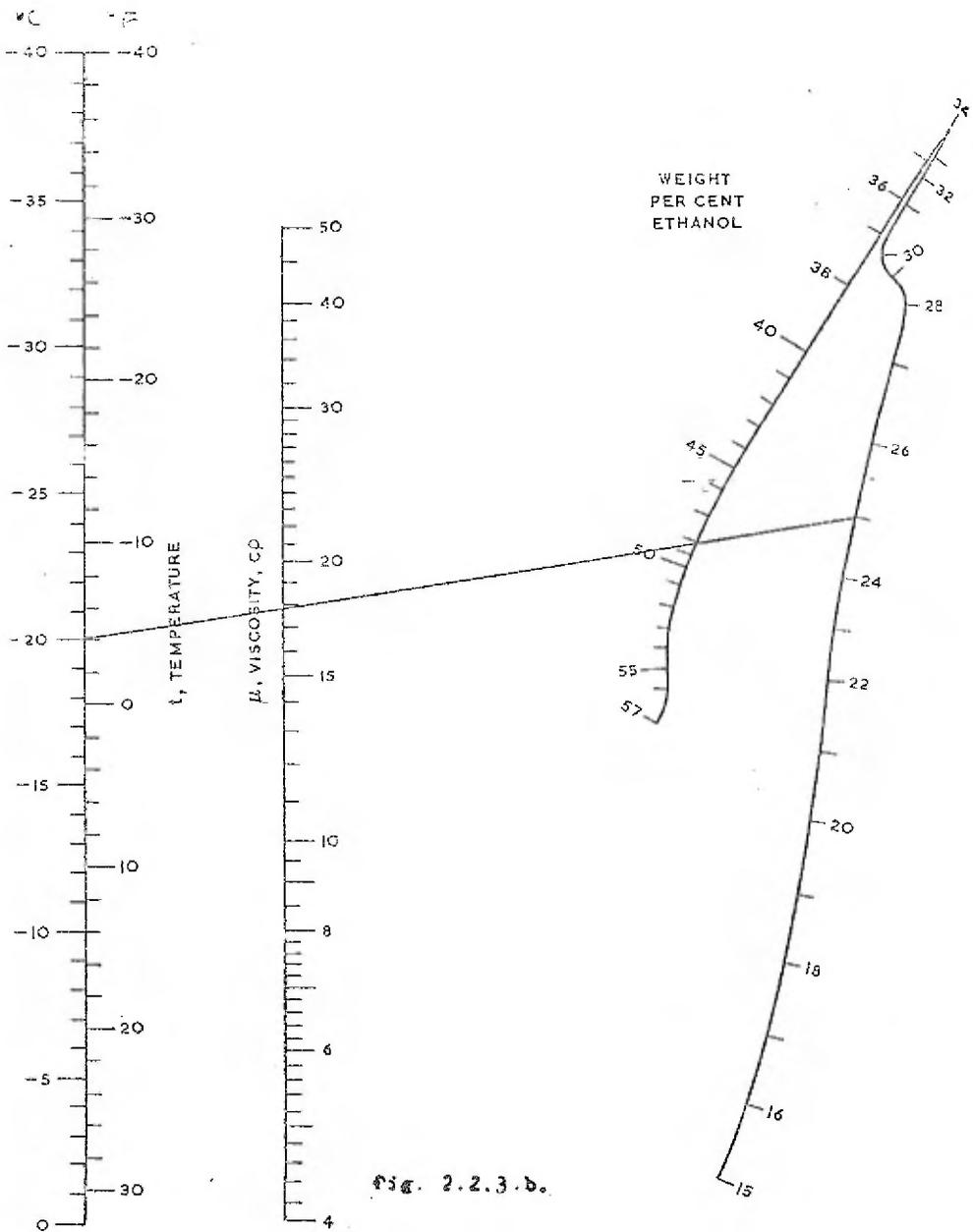


Fig. 2.2.3.b.

### 2.2.3.c.- VISCOSIDAD DE LODOS ACUOSOS.

#### Características:

Se basa en la siguiente ecuación:

$$\frac{\mu}{\mu_w} = \frac{1}{1 - x^{1/3}}$$

.... ec. 2.2.3.c

Donde:

- $\mu_w$  = viscosidad del agua
- $\mu$  = viscosidad del lodo acuoso a la misma temperatura que la viscosidad del agua.
- $x$  = fracción en volumen de sólidos en el lodo.

#### Ejemplo:

A 60 °F la viscosidad de un lodo acuoso que contiene 2 % en volumen de sólidos es de 2.7.  
Ver fig. 2.2.3.c.

#### Referencias:

31, 33, 119.

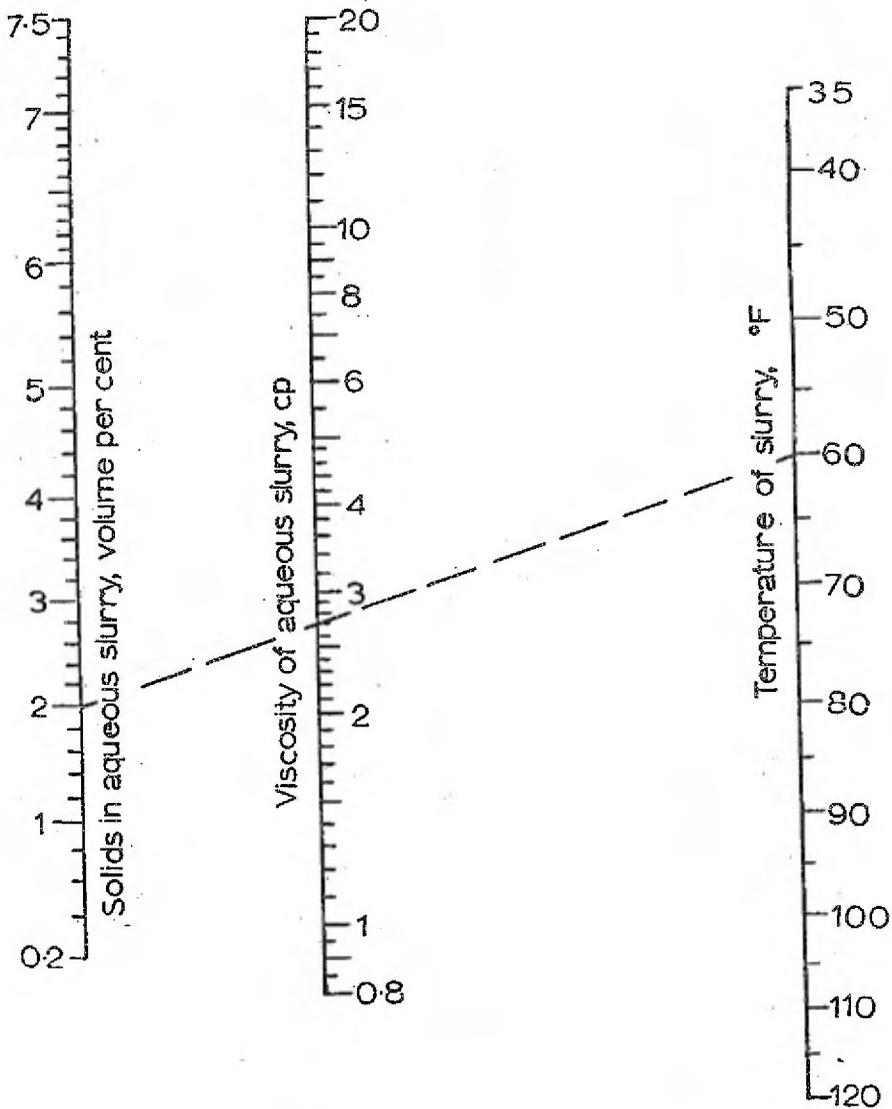


Fig. 2.2.3. c.

## 2.3.- GRAFICAS

2.3.1.- Generales

2.3.2.- Particulares

### 2.3.1.- GRÁFICA DE OTTMER.

#### Características:

Si se conoce la viscosidad de un vapor a dos temperaturas diferentes y a la misma presión, esta gráfica (que es una línea recta) es muy recomendable para extrapolaciones o interpolaciones.

Se trata de una gráfica de la viscosidad vs. la presión de vapor de un sustancia de referencia en papel logarítmico; cada punto representa una temperatura. Se puede sobreponer una escala de temperatura en base a la escala de presión de vapor.

Las líneas de dicha gráfica están calculada para presión atmosférica y amplios rangos de temperatura.

El efecto de la presión no es apreciable excepto para muy altas y muy bajas presiones.

Se obtienen, en general, muy buenas líneas rectas excepto en la región de temperatura crítica de la sustancia de referencia y cerca de la temperatura de condensado del vapor.

También se puede usar para la estimación de viscosidades de líquidos en función de la temperatura, siendo necesario conocer cuando menos dos puntos para extrapolar o interpolar datos; aunque se ha observado que miembros de series homólogas tienen pendientes similares.

#### Referencias:

18, 26, 90, 110, 129, 171.

### 2.3.1.b.- METODO DE UYEHARA Y WATSON.

Características:

Ecuación:

$$\mu = \mu_r \mu_c \quad \dots \text{ ec. 2.3.1.b.1}$$

Donde:

$$\begin{aligned} \mu &= \text{viscosidad del gas en cp} \\ \mu_r &= \text{viscosidad reducida del gas} \\ \mu_c &= \text{viscosidad crítica del gas en cp} \end{aligned}$$

- 1.- Este método se basa en una curva empírica de viscosidad reducida como una función de la temperatura y la presión reducidas.
- 2.- Nos permite estimar la viscosidad de un gas a cualquier presión y temperatura conociendo la masa molecular del mismo y sus propiedades críticas.
- 3.- Cuando el valor empírico de la viscosidad crítica no se conoce, en la literatura se estima con la siguiente ecuación:

$$\mu_c = \frac{1.3 (M)^{1/2} (P_c)^{2/3}}{(T_c)^{1/3}}$$

.... ec. 2.3.1.b.2

Donde:

$$\begin{aligned} P_c &= \text{presión crítica en psia} \\ T_c &= \text{temperatura crítica en } ^\circ\text{K} \\ M &= \text{peso molecular} \end{aligned}$$

Uso de la Gráfica:

- 1.- Se evalúa la viscosidad crítica con la ecuación 2.3.1.b.2.

2.- Se obtiene la viscosidad reducida de la figura 2.3.1.b a partir de las propiedades reducidas:  $Pr = P/P_c$ ;  $Tr = T/T_c$ , donde P y T deben tener las mismas unidades de  $P_c$  y  $T_c$  respectivamente.

3.- Se calcula la viscosidad del gas con la ecuación 2.3.1.b.1.

Ejemplo:

Estimar la viscosidad del acetileno a  $0^{\circ}\text{C}$  y 1 atm de presión. A estas condiciones:

$$T_c = 309.2^{\circ}\text{K} \quad M = 26$$

$$P_c = 62 \text{ atm}$$

Procedimiento:

1.- Sustituyendo los valores de  $P_c$  y  $T_c$  y M del acetileno en la ecuación 2.3.1.b.2:

$$\mu_c = \frac{1.3 (26)^{1/2} (62)^{2/3}}{(309.2)^{1/3}} \times 10^{-4}$$

$$\mu_c = 0.0237 \text{ cp}$$

2.- Se calcula la presión reducida y la temperatura reducida:

$$Tr = \frac{273.2}{309.2} = 0.884$$

$$Pr = \frac{1}{62} = 0.0161$$

Con estos valores, en la figura 2.3.1.b se obtiene:

$$\mu_r = 0.39$$

3.- Sustituyendo en la ecuación 2.3.1.b.1:

$$\mu = 0.0237 \times 0.39 = 0.00945 \text{ cp}$$

El valor experimental es:

$$\mu = 0.00935 \text{ cp}$$

**Precisión:**

El método se puede calificar como bueno especialmente para el agua, metanol, hidrógeno, neón, helio y bromo.

**Limitaciones:**

No es recomendable a altas temperaturas debido a la escasa información de datos empíricos.

**Referencias:**

26, 90, 96, 171.

$$\mu_c = \frac{M}{P_c}$$

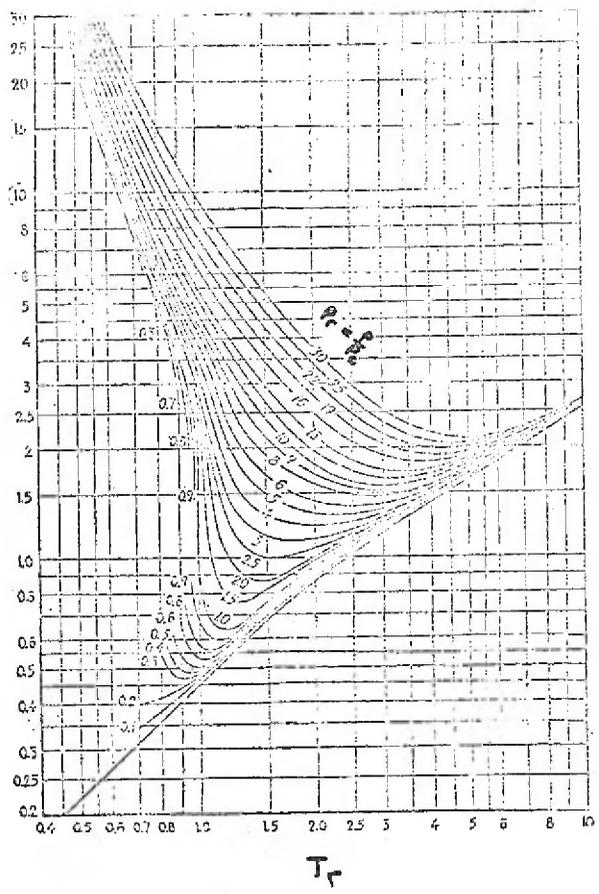


Fig. 2.3.1.b.

### 2.3.1.c.- VISCOSIDAD DE VAPOR DE AGUA.

#### Características:

La figura 2.3.1.c permite determinar la viscosidad del vapor de agua a cualquier temperatura y presión.

#### Uso de la Gráfica:

- 1.- Para vapor saturado referir la temperatura deseada (en las abscisa) a la curva de vapor saturado (la presión en este caso no interviene) y leer la viscosidad correspondiente en cp.
- 2.- Para vapor sobrecalentado referir la temperatura deseada (en las abscisas) a la curva correspondiente a la presión a que se encuentra el vapor (interpolando en caso necesario), y leer la viscosidad correspondiente (en las ordenadas).

#### Referencias:

134.

*μ*  
Centipoises

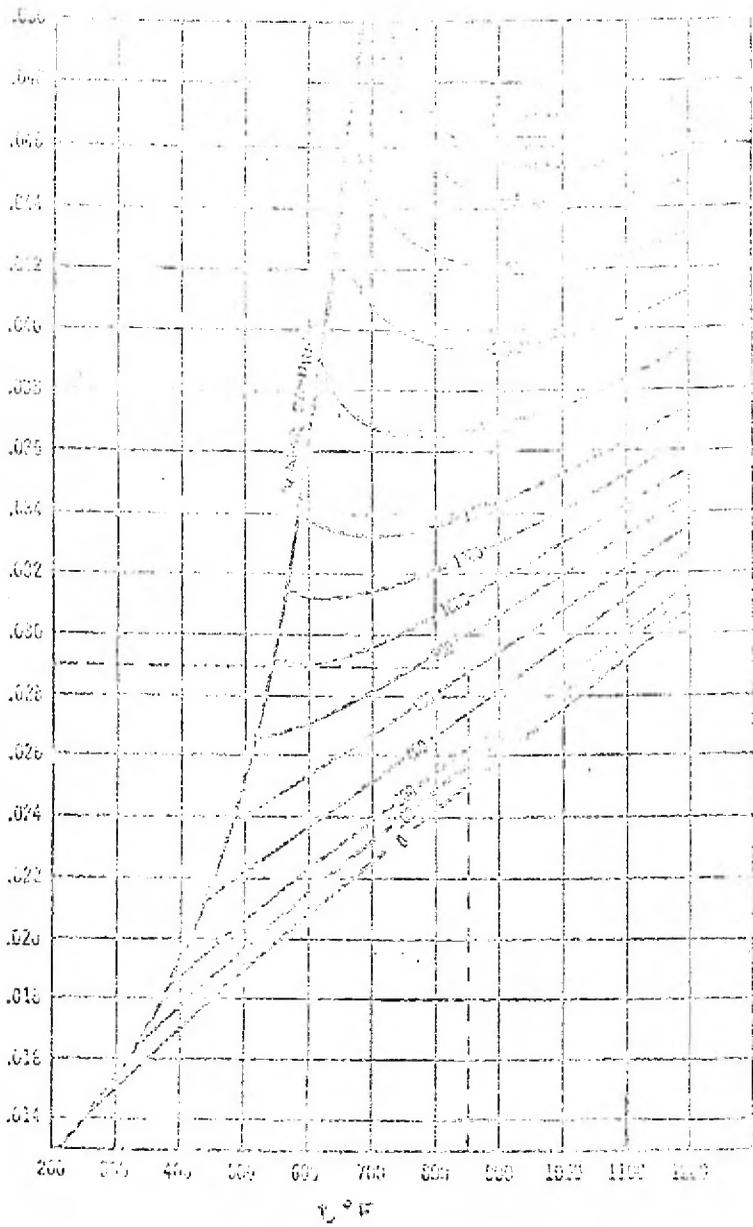


Fig. 2.3.1.c.

### 2.3.1.d.- VISCOSIDAD DE HIDROCARBUROS PARAFINICOS GASEOSOS.

#### Características:

La figura 2.3.1.d permite determinar la viscosidad de hidrocarburos parafínicos gaseosos a baja presión.

#### Uso de la Gráfica:

Referir la masa molecular del hidrocarburo  $M$  (en las abscisas) a la curva correspondiente a la temperatura a que se encuentra el mismo, ( $^{\circ}C$ ) y leer la viscosidad correspondiente (cp) en las ordenadas.

#### Referencias:

134.

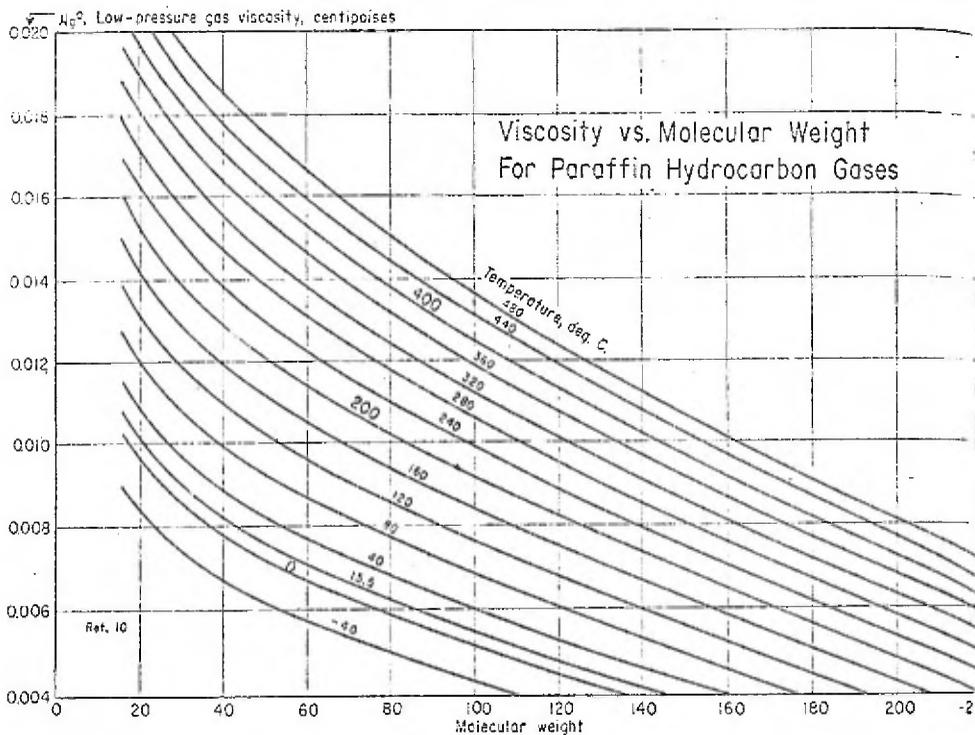


Fig. 2.3.1.3.

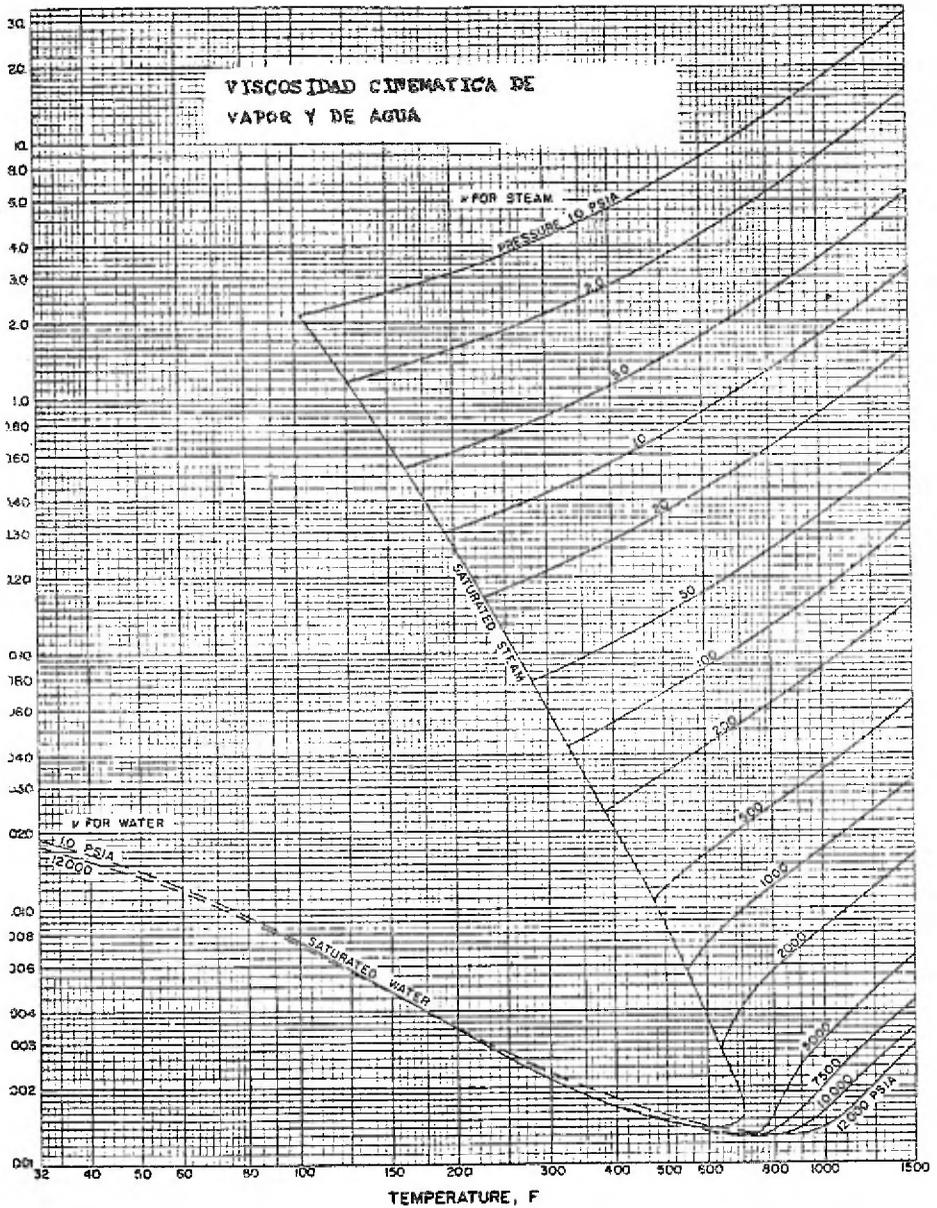


Fig 2.3.1.e.

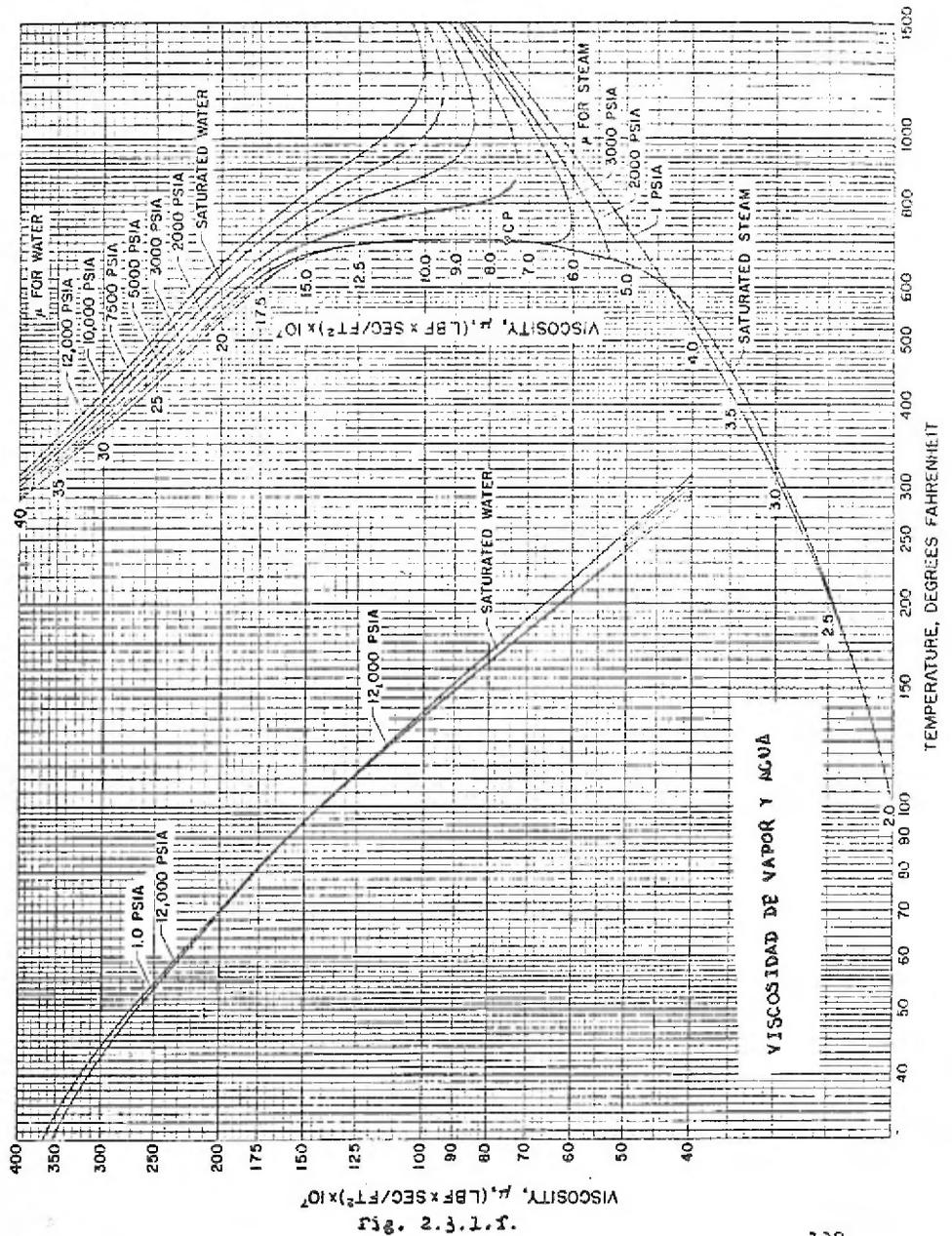


Fig. 2.3.1.1.

### 2.3.1.- VISCOSIDAD DE GASES DIATOMICOS.

#### Características:

Esta gráfica se basa en el estado reducido de los gases.

En las abscisas se encuentra la escala de la temperatura reducida que, refiriéndose al parámetro de presión reducida se lee en la ordenadas la viscosidad reducida.

Finalmente, para conocer la viscosidad deseada, se multiplica la viscosidad reducida por la viscosidad crítica cuyos valores se encuentran en la tabla 2.3.1.g para gases diatómicos.

#### Referencias:

10, 15, 16, 134.

TABLA 2.3.1.g

	$c \times 10^5 \text{ cp}$
Br <sub>2</sub> -----	6119
CO -----	1857
Cl <sub>2</sub> -----	3946
F <sub>2</sub> -----	1836
H <sub>2</sub> -----	374.6
HCl -----	3334
HI -----	5528
I <sub>2</sub> -----	7849
NO -----	2627
N <sub>2</sub> -----	1825
O <sub>2</sub> -----	2470

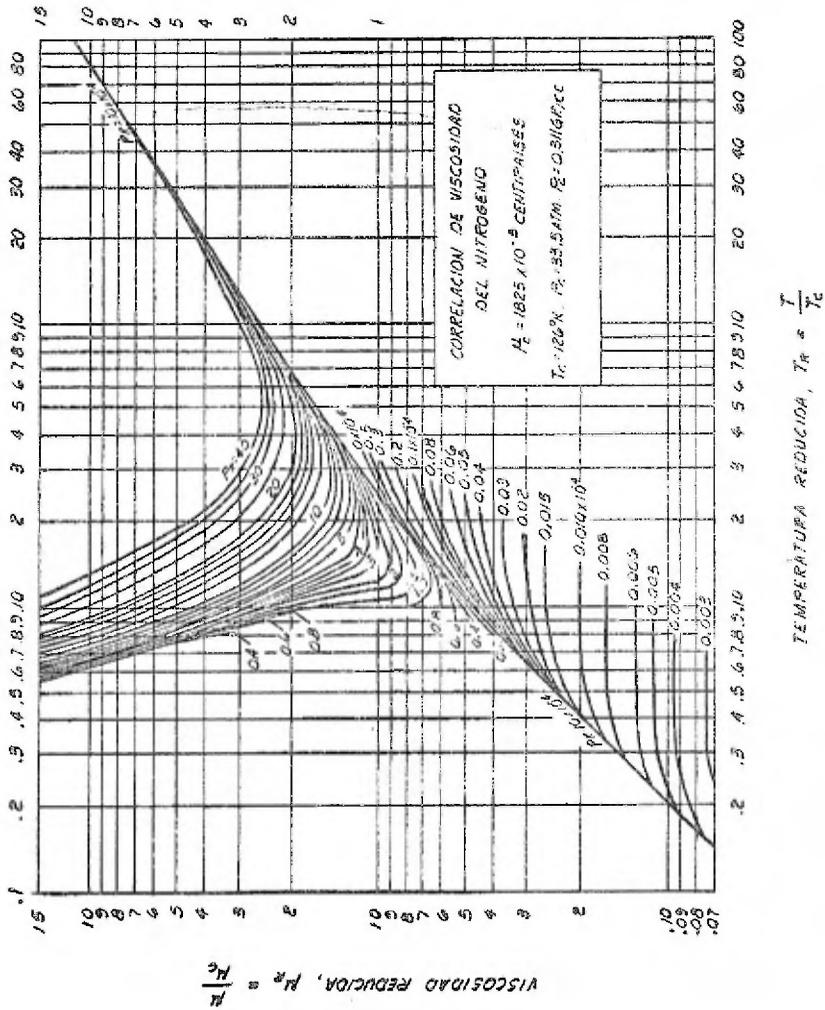


Fig. 2.3.1.9

### 2.3.1.h.- VISCOSIDAD DE LIQUIDOS ORGANICOS.

#### Características:

- 1.- Esta gráfica sirve para estimar la viscosidad de un líquido orgánico a una temperatura cualquiera, siempre y cuando se conozca la viscosidad del mismo a una temperatura dada ( $\mu_0$  a  $T_0$ ).
- 2.- El método es muy exacto para líquidos orgánicos muy viscosos.
- 3.- No es recomendable para el mercurio ni para suspensiones o emulsiones.

#### Uso de la Gráfica:

- 1.- Localizar la intersección del valor conocido de la viscosidad ( $\mu_0$ ) en centipoises con la curva y leer el punto correspondiente en las abscisas.
- 2.- El punto determinado en las abscisas corresponde a  $T_0$  en  $^{\circ}\text{C}$ . Para encontrar la viscosidad correspondiente a la temperatura  $T$ , buscar el punto correspondiente en las abscisas sumando algebraicamente a  $T_0$  el valor  $(T - T_0)$ . El resultado se lee así en las ordenadas.

#### Precisión:

Su desviación máxima es de 20% siendo la desviación promedio menor.

#### Referencias:

28, 30.

$\mu$   
cp.

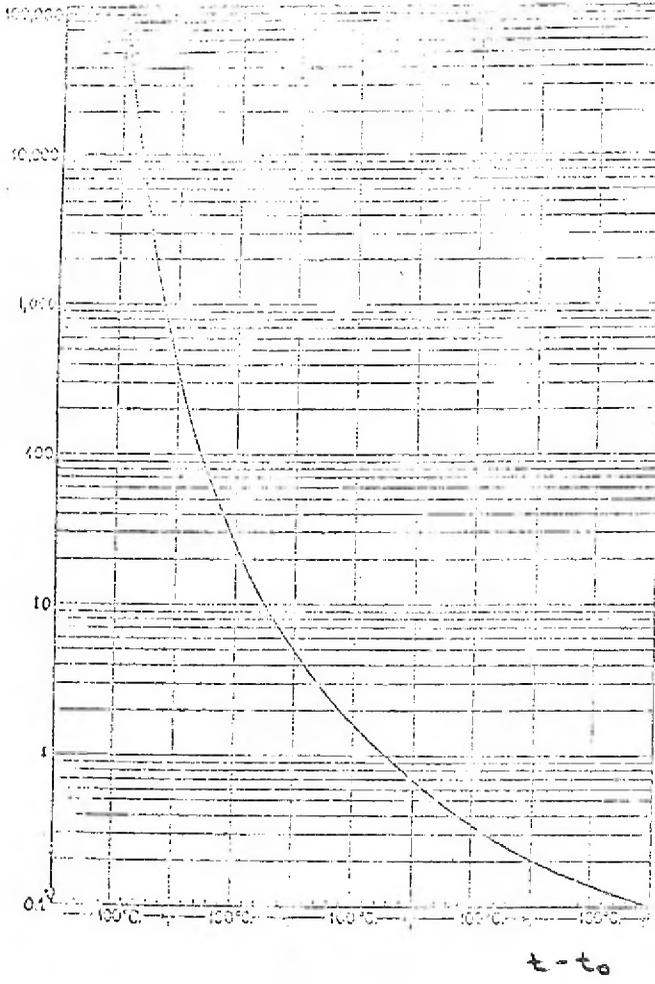
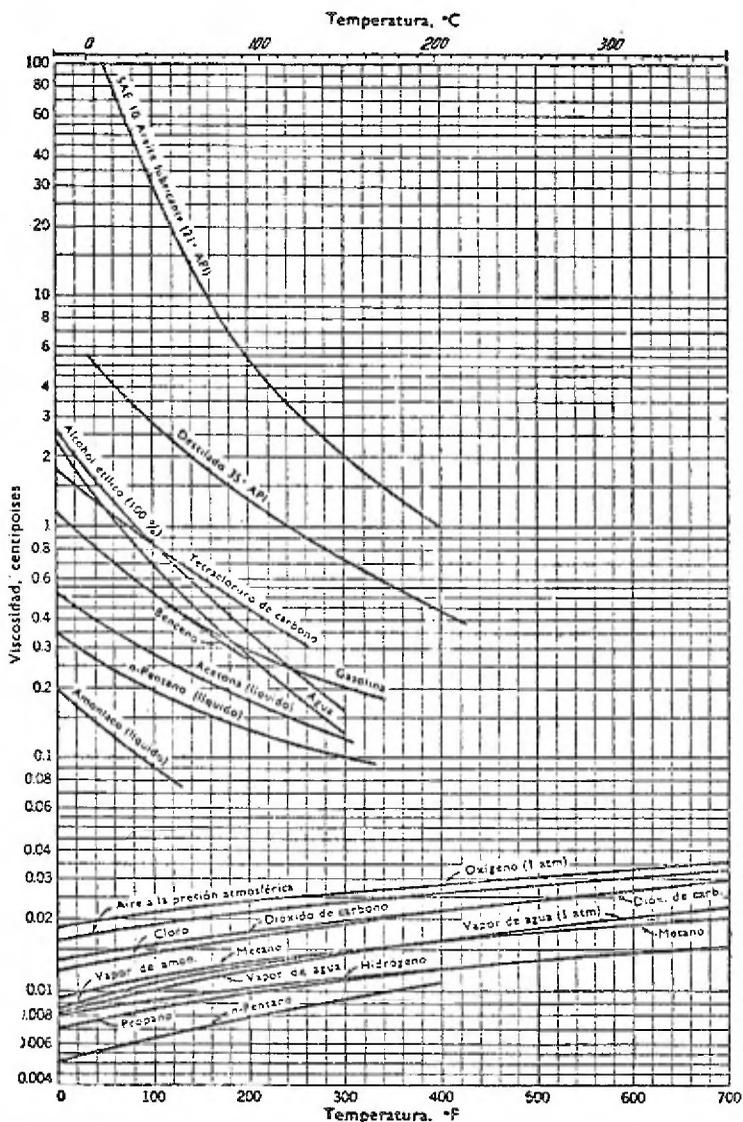


Fig. 2.3.1.h.



Viscosidad de diversos líquidos y gases en función de la temperatura, a la presión de 1 atmósfera.

Fig. 2.3.1.1.

### 2.3.1.j.- GRAFICA ASTM PARA ACEITES DEL PETROLEO.

#### Características:

La figura 2.3.1.j es una gráfica de viscosidad contra temperatura que se basa en la siguiente ecuación:

$$\log \log (\nu + 0.8) = -n \log (T/T_1) + \log (\nu T_1 + 0,8)$$

.... ec. 2.3.1.j

Donde:

$\nu$  = viscosidad cinemática en centistokes  
n = constante  
T = temperatura absoluta

#### Referencias:

14, 17, 84, 100.



Si la pendiente B se expresa como una función de la ec. 2.3.1.k, se puede usar para determinar las curvas de viscosidad de miembros mayores de una serie dada.

Ejemplo 2:

La figura 2.3.1.k.b muestra una gráfica de la pendiente en función del peso molecular para la serie de hidrocarburos normales. Esta curva se puede aproximar por la ecuación:

$$B = -0.404 + 0.011 M - 0.0000281 M^2$$

... ec. 2.3.1.k.b

Donde:

B = pendiente de la ecuación

M = peso molecular del hidrocarburo normal

Referencias:

3, 18, 22, 24, 26, 90.

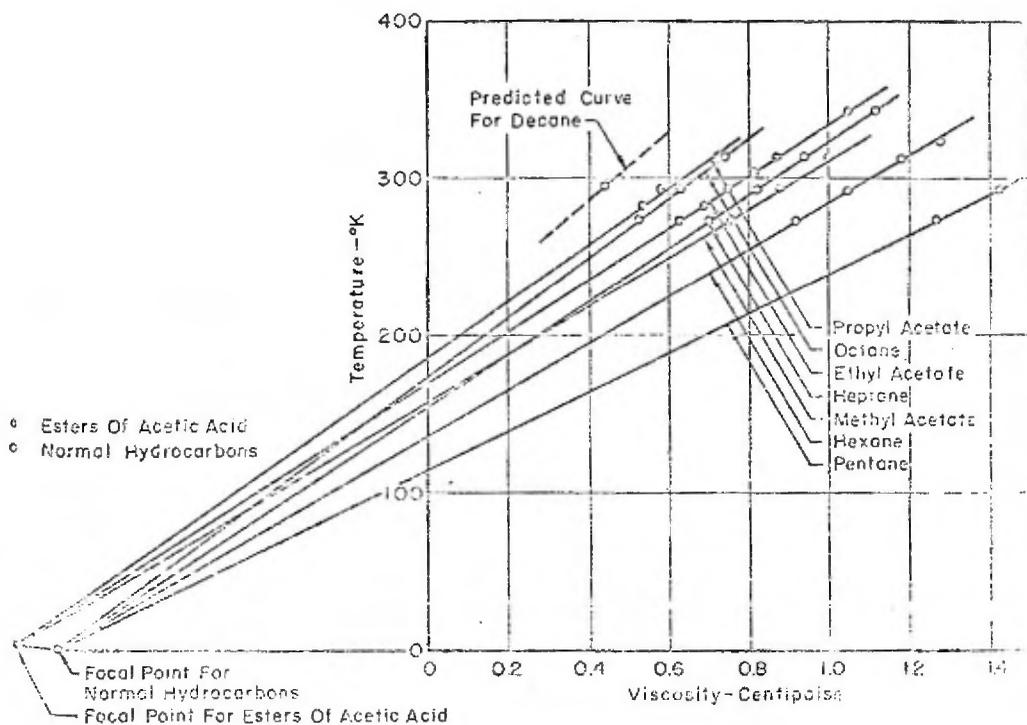


Fig. 2.3.1.k.a.

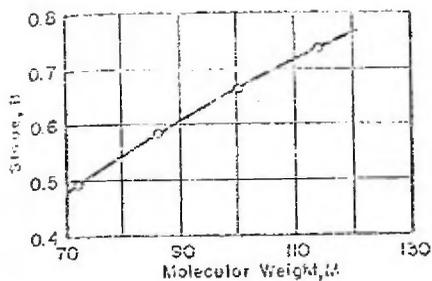


Fig. 2.3.1.k.b.

### 2.3.1.1.- VISCOSIDAD PARA FRACCIONES DEL PETROLEO.

#### Características:

- 1.- Esta gráfica nos muestra el efecto isotérmico de la presión sobre la viscosidad de hidrocarburos líquidos a temperatura reducidas bajas.
- 2.- Es necesario conocer el factor de caracterización  $K_w$  que queda definido en la siguiente ecuación:

$$K_w = \frac{3\sqrt{T_b}}{\rho_{60}} \quad \dots \text{ ec. 2.3.1.1}$$

Donde:

$K_w$  = factor de caracterización

$T_b$  = promedio de puntos de ebullición de la fracción del petróleo en  $^{\circ}R$ .

$\rho_{60}$  = densidad a  $60^{\circ}F$  y a presión atmosférica en  $g/cc$ .

3.- La ordenada de la gráfica es una relación de viscosidades =  $\mu_1/\mu_0$ ; donde  $\mu_1$  = viscosidad a alta presión y  $\mu_0$  = viscosidad a presión atmosférica.

#### Ejemplo:

Calcular la viscosidad de un aceite a 2400 psia con un factor de caracterización de 11.8 y una viscosidad a 14.7 psia de 90 cp.

**Solución:**

Siguiendo la línea punteada que se muestra en la figura 2.3.1.1 se obtiene una relación de viscosidades de 2.37 para un factor  $K_w = 12.50$ . Interpolando entre las curvas como una función de  $K_w$ , para  $K_w = 11.8$ , la relación de viscosidades es de 2.6; de donde:

$$\text{aceite} = 2.6 \times 90 = 234 \text{ cp.}$$

**Referencias:**

16, 112.

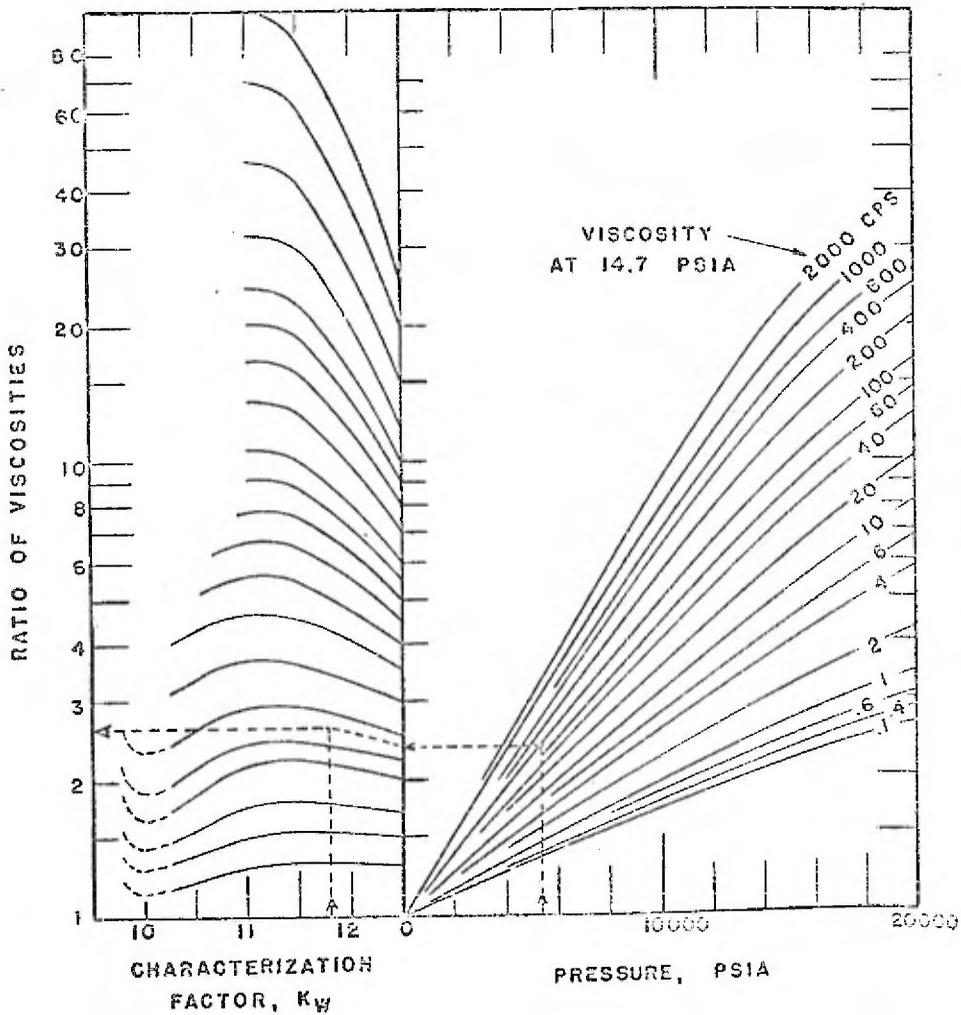


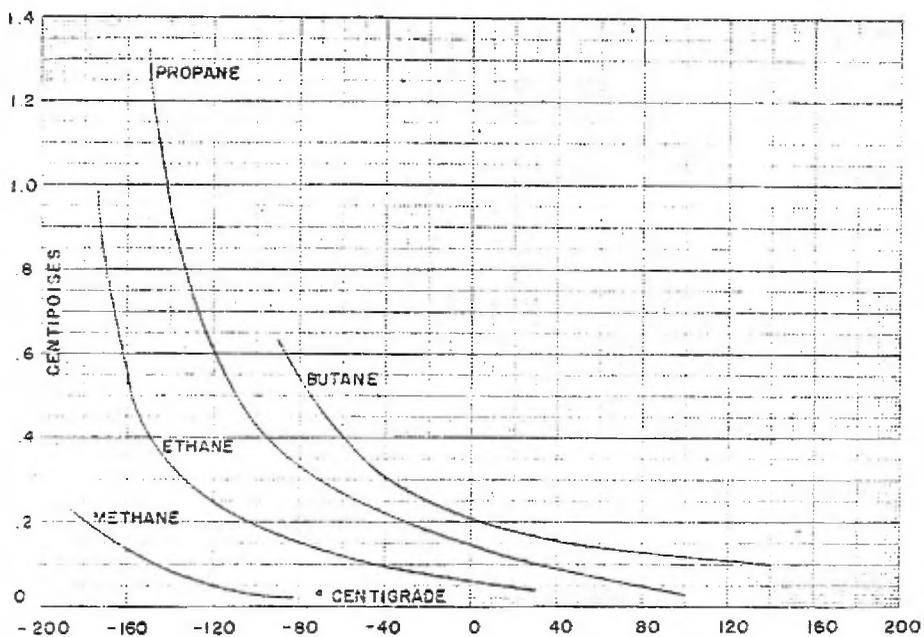
Fig. 2.3.1.1.

LISTA DE COMPUESTOS CONTENIDOS EN LAS GRAFICAS  
PARTICULARES I A XLIII

COMPUESTO	FASE	No. DE GRAFICA
Parafinas de C <sub>1</sub> a C <sub>4</sub>	Líquido	I.1
	Vapor	I.2
Olefinas de C <sub>2</sub> a C <sub>4</sub>	Líquido	II.1
	Vapor	II.2
Alquinos de C <sub>2</sub> a C <sub>4</sub>	Líquido	III.1
	Vapor	III.2
Biolefinas de C <sub>3</sub> a C <sub>4</sub>	Líquido	IV.1
	Vapor	IV.2
Metanos Clorados	Líquido	V.1
	Vapor	V.2
Etilenos Clorados	Vapor	VI.1
	Líquido	VI.2
Alifáticos Clorados	Vapor	VII.1
	Líquido	VII.2
Alcoholes	Vapor	VIII.1
	Líquido	VIII.2
Alcoholes C <sub>4</sub>	Vapor	IX.1
	Líquido	IX.2
Diversos Alcoholes	Vapor	X.1
	Líquido	X.2
Oxidos de C <sub>2</sub> a C <sub>4</sub>	Vapor	XI.1
	Líquido	XI.2
Etilenglicoles	Vapor	XII.1
	Líquido	XII.2
Propilenglicoles y Glicerina	Vapor	XIII.1
	Líquido	XIII.2
Parafinas de C <sub>5</sub> a C <sub>8</sub>	Vapor	XIV.1
	Líquido	XIV.2
Olefinas de C <sub>5</sub> a C <sub>8</sub>	Vapor	XV.1
	Líquido	XV.2

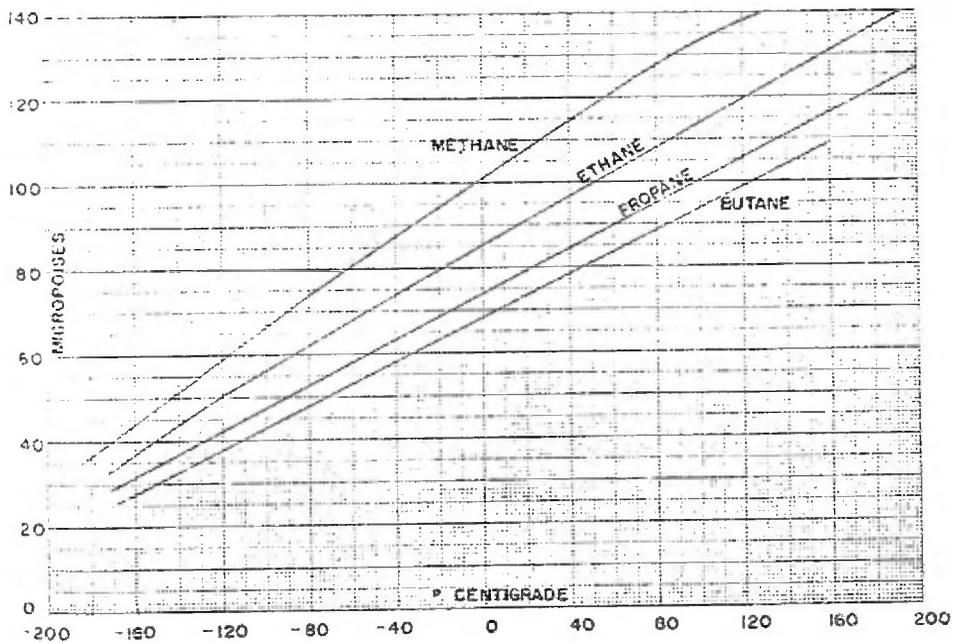
COMPUESTOS	FASE	No. DE GRAFICA
Hidrocarburos ramificados de C <sub>4</sub> a C <sub>5</sub>	Líquido	XVI.1
Hidrocarburos ramificados de C <sub>6</sub> a C <sub>8</sub>	Vapor	XVII.1
	Líquido	XVII.2
Hidrocarburos clorados C <sub>2</sub>	Vapor	XVIII.1
	Líquido	XVIII.2
Metanos halogenados	Vapor	XIX.1
	Líquido	XIX.2
Hidrocarburos halogenados	Vapor	XX.1
	Líquido	XX.2
Hidrocarburos Fluorados	Vapor	XXI.1
	Líquido	XXI.2
Hidrocarburos Bromados	Vapor	XXII.1
	Líquido	XXII.2
Aldehidos de C <sub>1</sub> a C <sub>4</sub>	Vapor	XXIII.1
	Líquido	XXIII.2
Acidos de C <sub>1</sub> a C <sub>4</sub>	Vapor	XXIV.1
	Líquido	XXIV.2
Varios aldehidos	Vapor	XXV.1
	Líquido	XXV.2
Cetonas	Vapor	XXVI.1
	Líquido	XXVI.2
Eteres	Vapor	XXVII.1
	Líquido	XXVII.2
Acetatos	Vapor	XXVIII.1
	Líquido	XXVIII.2
Acrilatos	Vapor	XXIX.1
	Líquido	XXIX.2
Esteres	Vapor	XXX.1
	Líquido	XXX.2
Eteres cíclicos	Vapor	XXXI.1
	Líquido	XXXI.2

COMPUESTOS	FASE	No. DE GRAFICA
Metilaminas	Vapor	XXXII.1
	Líquido	XXXII.2
Etilenaminas	Vapor	XXXIII.1
	Líquido	XXXIII.2
Aminas	Vapor	XXXIV.1
	Líquido	XXXIV.2
Nitrilos	Vapor	XXXV.1
	Líquido	XXXV.2
Compuestos nitrogenados	Vapor	XXXVI.1
	Líquido	XXXVI.2
Varios comp. nitrogenados	Vapor	XXXVII.1
	Líquido	XXXVII.2
Compuestos del benceno	Vapor	XXXVIII.1
	Líquido	XXXVIII.2
Toluenos y Xilenos	Vapor	XXXIX.1
	Líquido	XXXIX.2
Hidrocarburos cíclicos	Vapor	XL.1
	Líquido	XL.2
Varios comp. cíclicos	Vapor	XLI.1
	Líquido	XLI.2
Comp. aromáticos halo- genados	Vapor	XLII.1
	Líquido	XLII.2
Hidrocarburos sulfurosos	Vapor	XLIII.1
	Líquido	XLIII.2



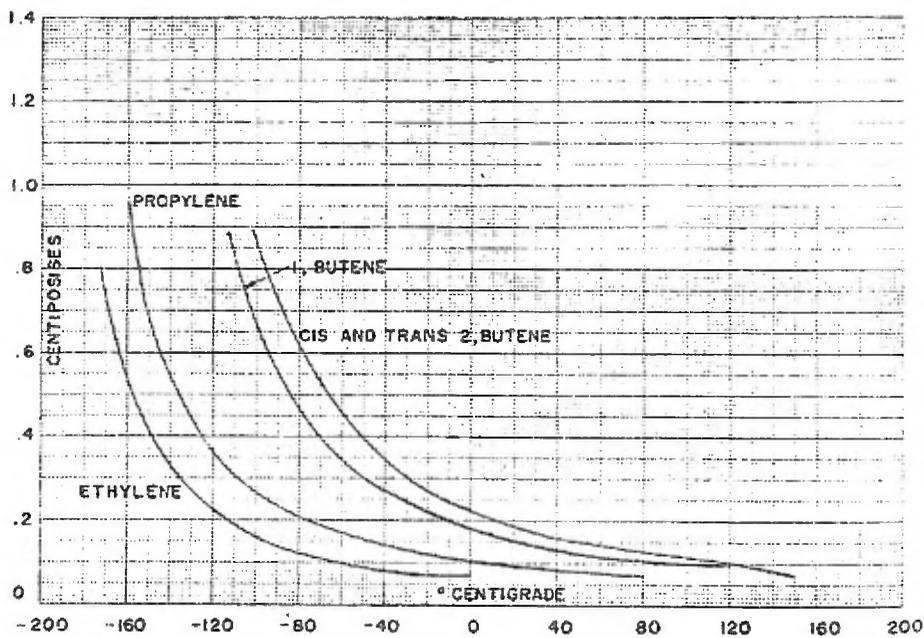
I.1.- Parafinas de  $C_1$  a  $C_4$ . Líquido de  $-200$  a  $+140$  ° C.

Referencias: 36, 118, 130, 157, 161.



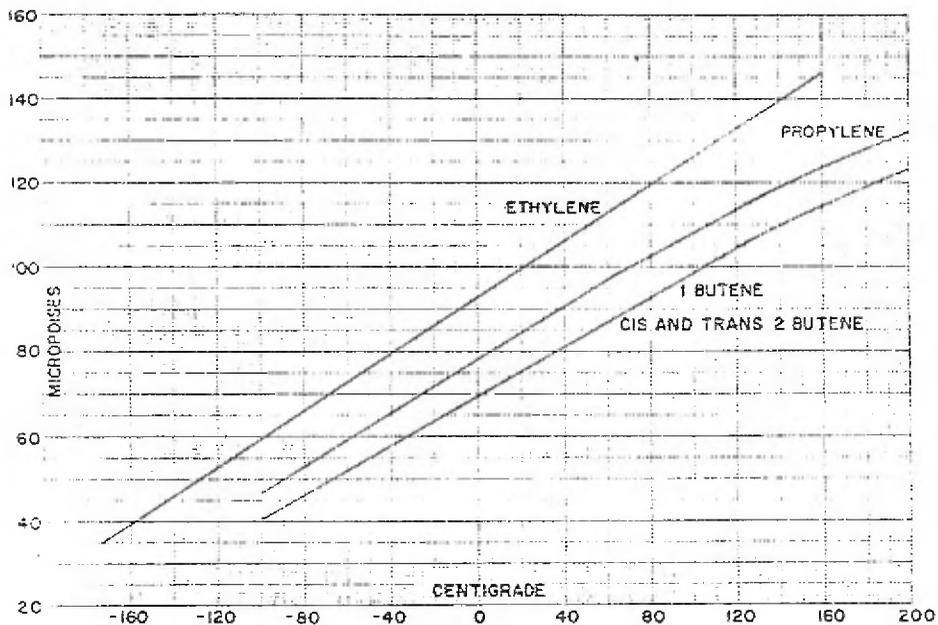
I.2.- Parafinas de  $C_1$  a  $C_4$ . Vapor de  $-200$  a  $+200^\circ C$ , a  $14.7$  psia.

Referencias: 36, 118, 130, 157, 161.



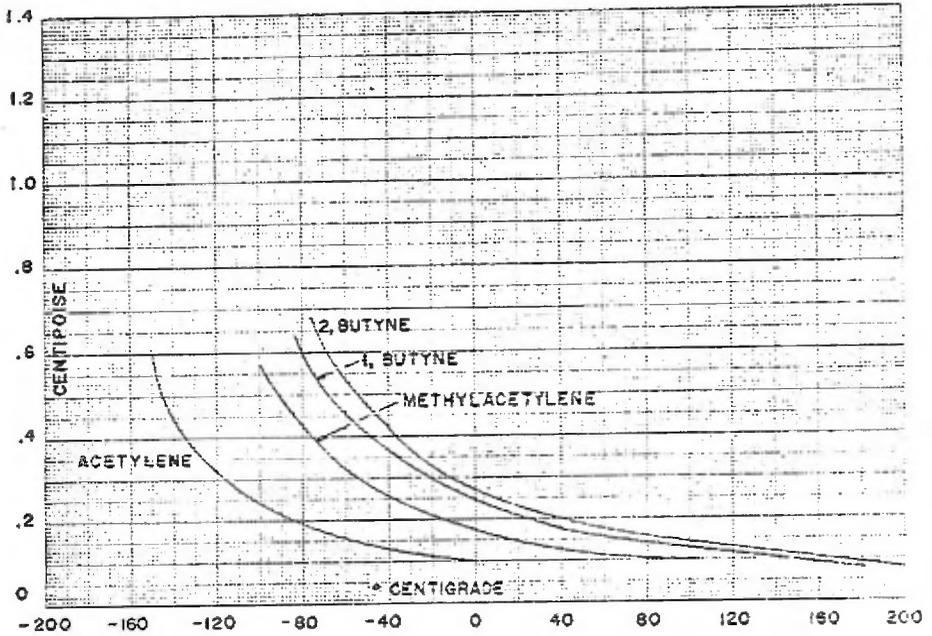
II.1.- Olefinas de  $C_2$  a  $C_4$ . Líquido de  $-180$  a  $+150^{\circ}$  C.

Referencias: 37, 118.



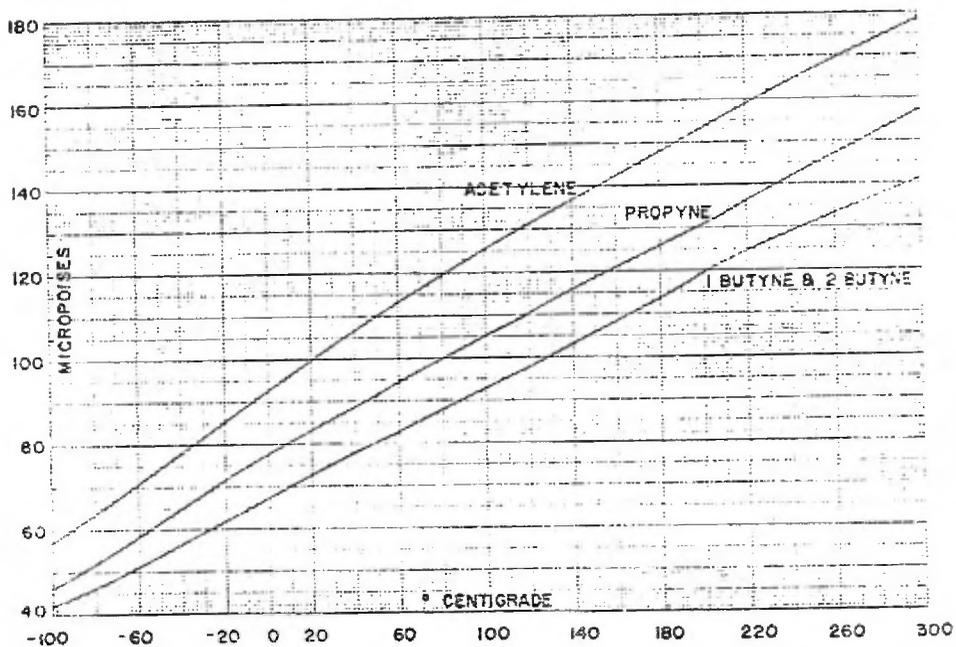
II.2.- Vapor de  $-180$  a  $+200^{\circ}$  C.

Referencias: 37, 118.



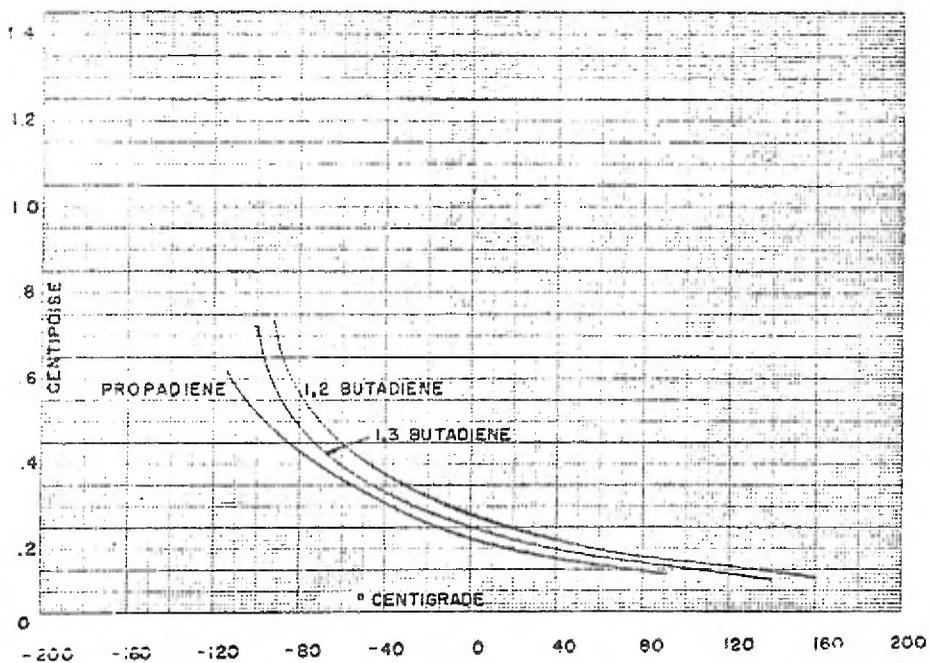
III.1.- Alquinos de  $C_2$  a  $C_4$ . Líquido de  $-150$  a  $+200^\circ C$ .

Referencias: 38, 157.



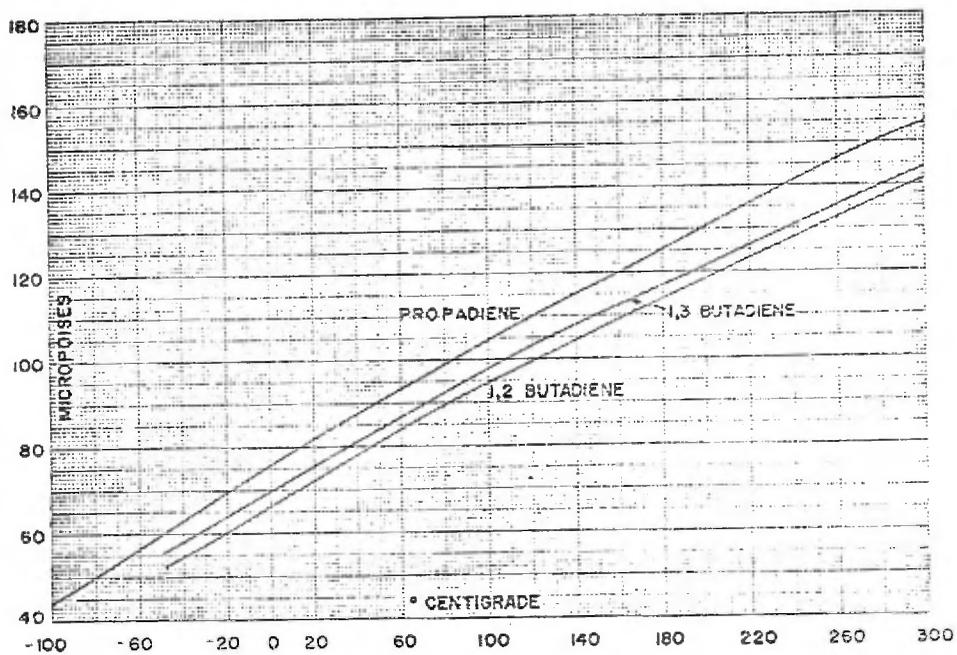
III.2.- Vapor de -100 a +300° C.

Referencias: 38, 157.



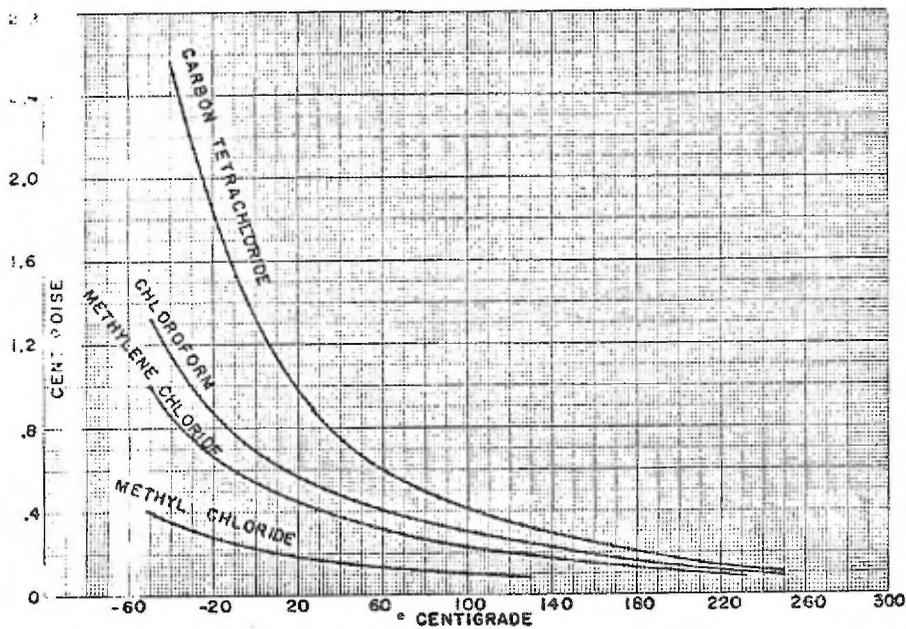
IV.1.- Diolefinas de  $C_3$  a  $C_4$ . Líquido de  $-100$  a  $+160^\circ C$ .

Referencias: 39, 161.



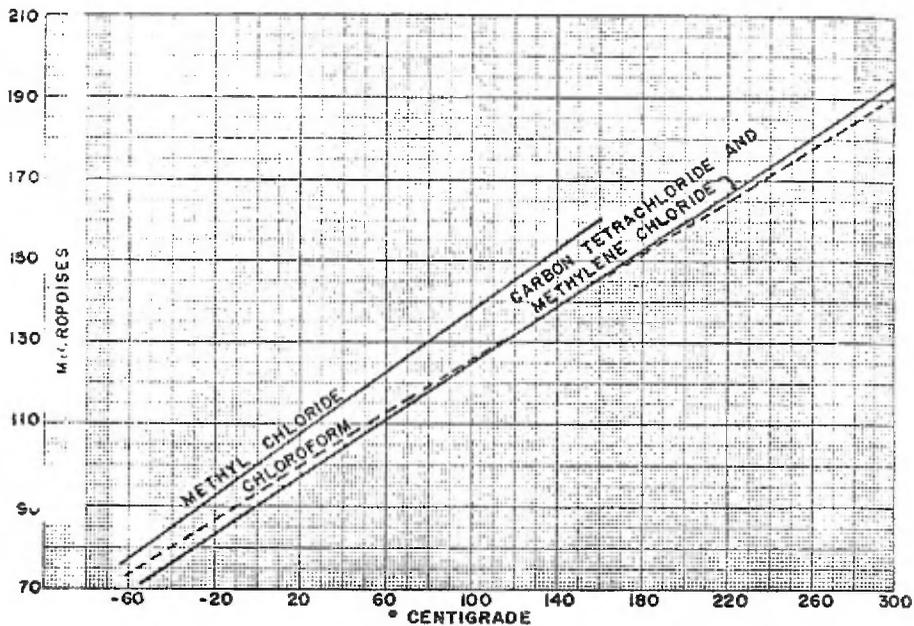
IV.2.- Vapor de  $-50$  a  $+300^{\circ}$  C.

Referencias: 39, 161.



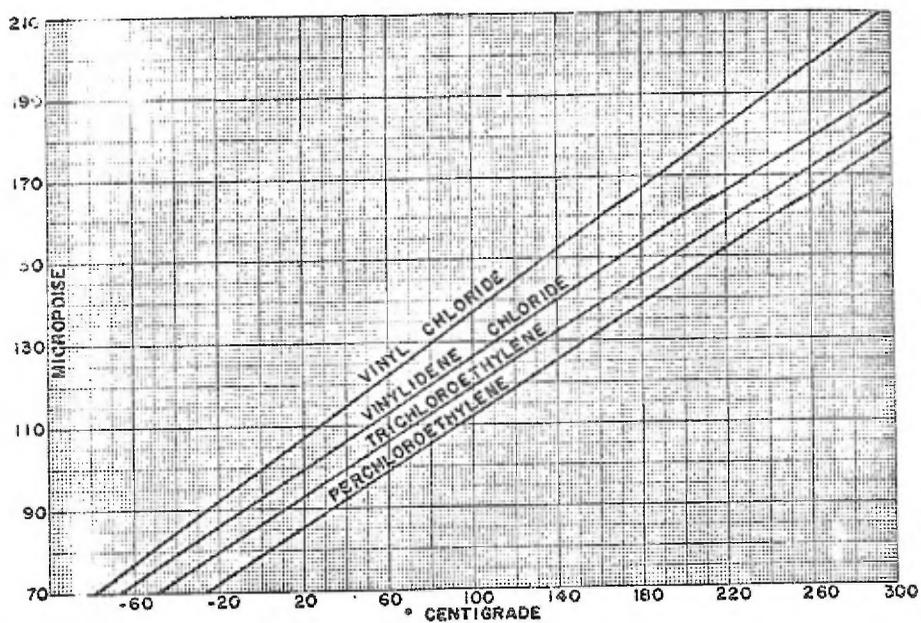
V.1.- Metanos clorados. Líquido de -60 a +250° C.

Referencias: 40, 166.



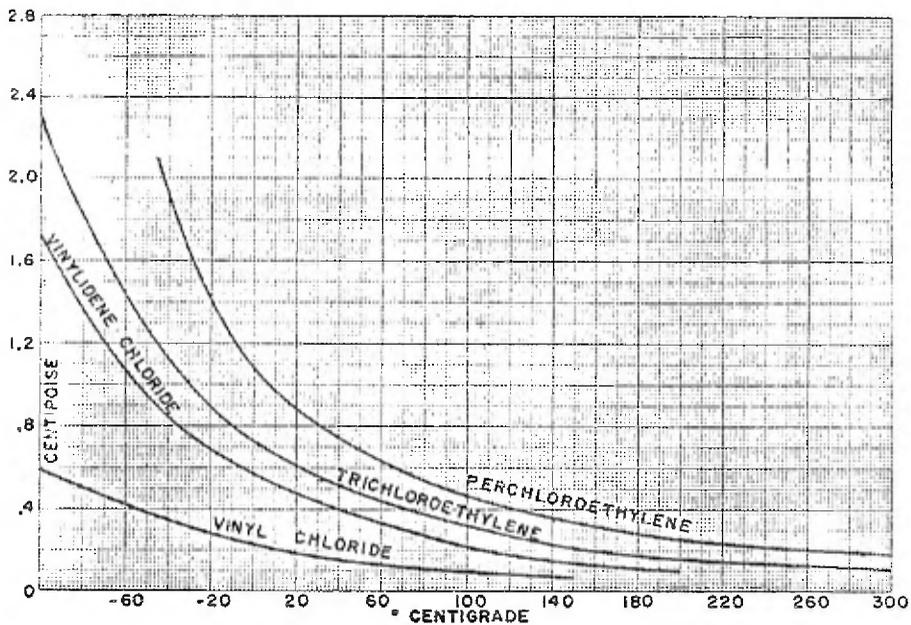
V.2.- Vapor de -60 a +300° C.

Referencias: 40, 166.



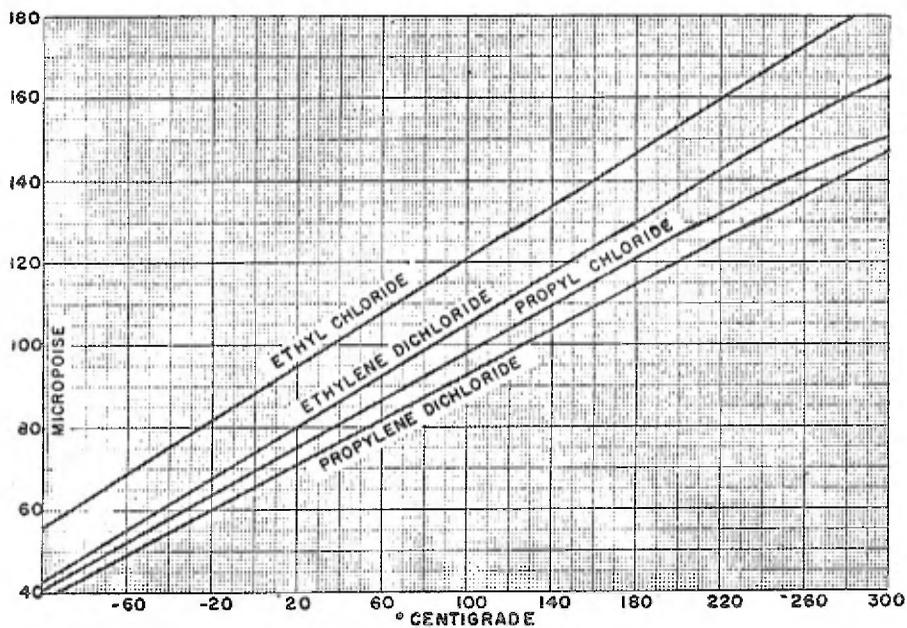
VI.1.- Etilenos clorados. Vapor de -60 a +300° C.

Referencias: 41, 107, 109.



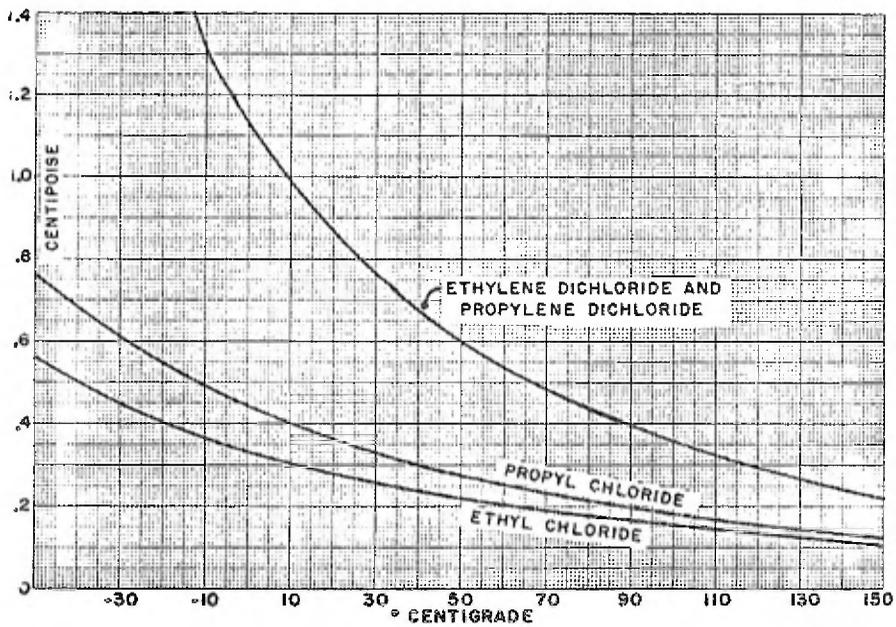
VI.2.- Líquido de  $-60$  a  $+300^{\circ}$  C.

Referencias: 41, 107, 109.



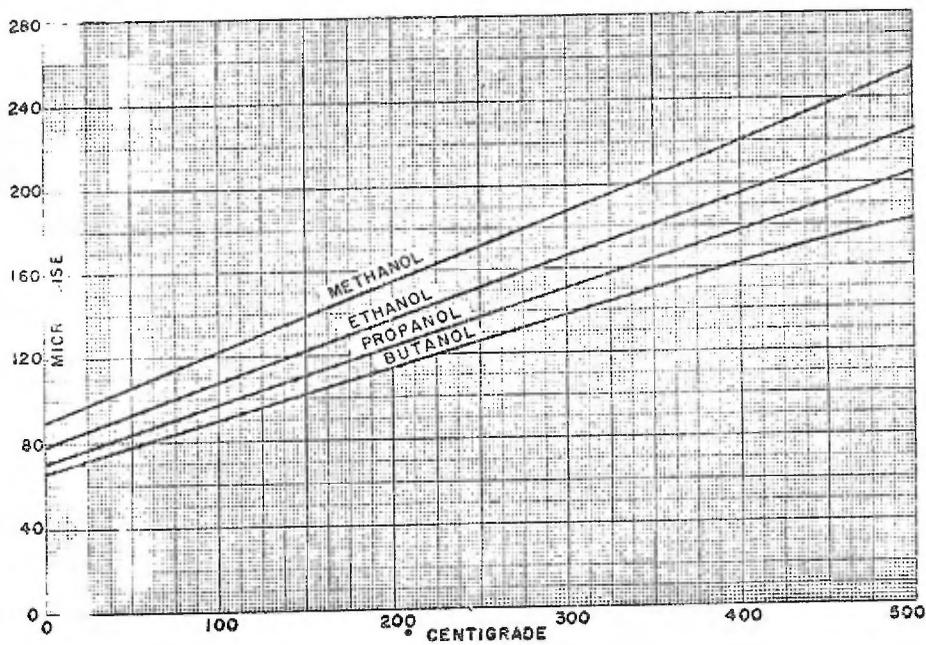
VII.1.- Compuestos alifáticos clorados. Vapor de -60 a +300° C

Referencias: 42, 143, 159.



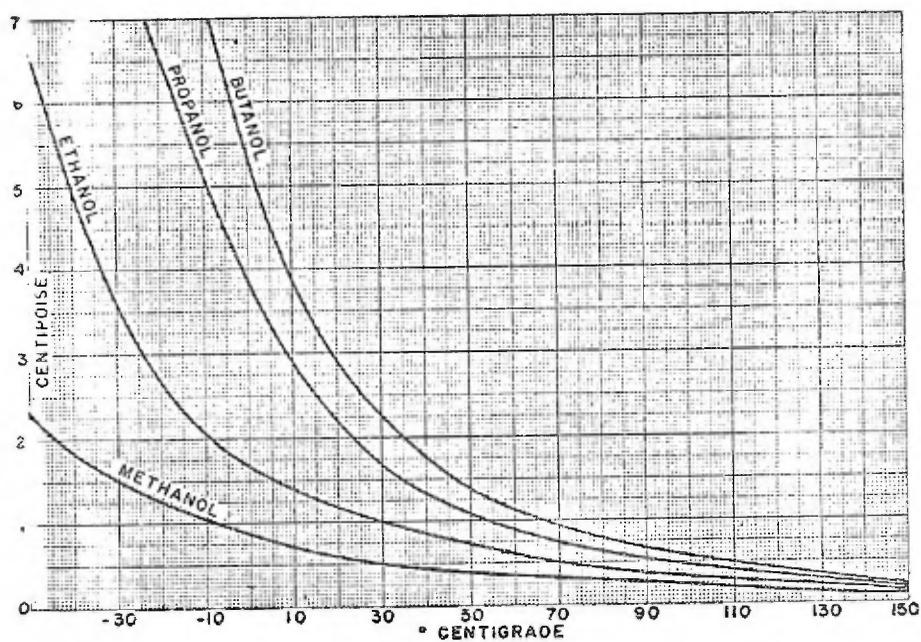
VII.2.- Líquido de -30 a +150° C.

Referencias: 42, 143, 159.



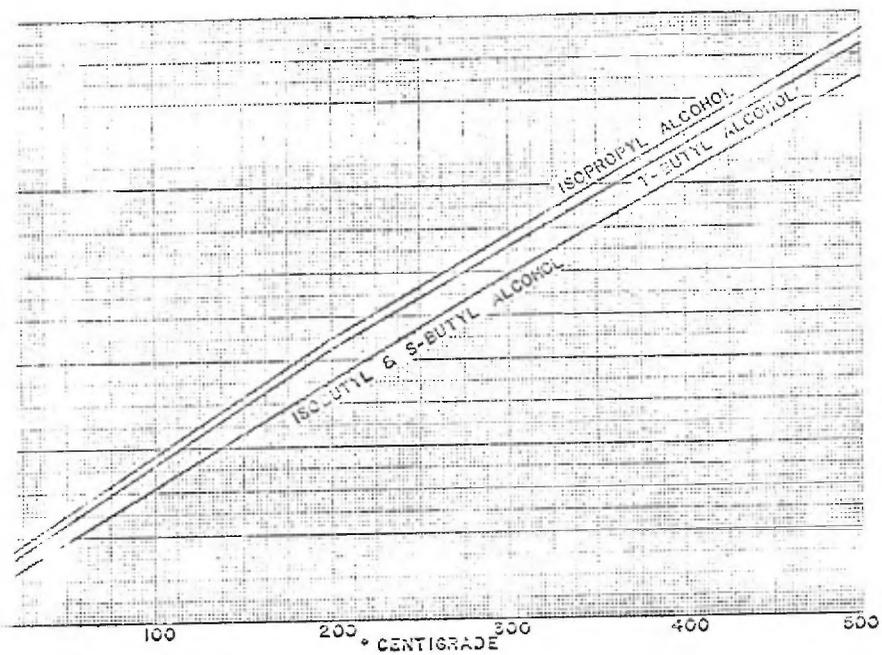
VIII.1.- Alcoholes. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 43, 162.



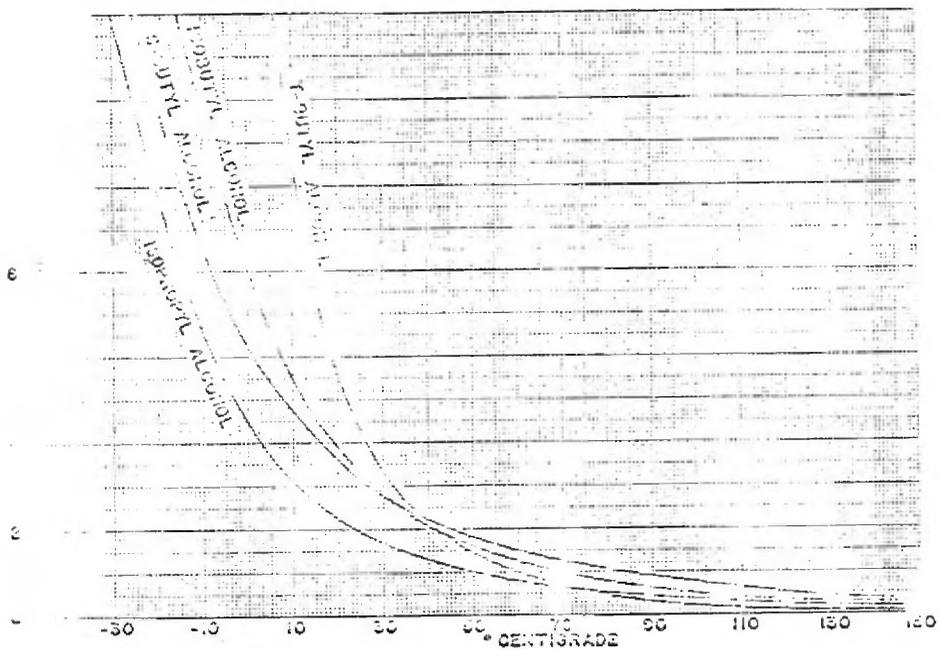
VIII.2.- Líquido de  $-30$  a  $+150^{\circ}$  C.

Referencias: 43, 162, 120.



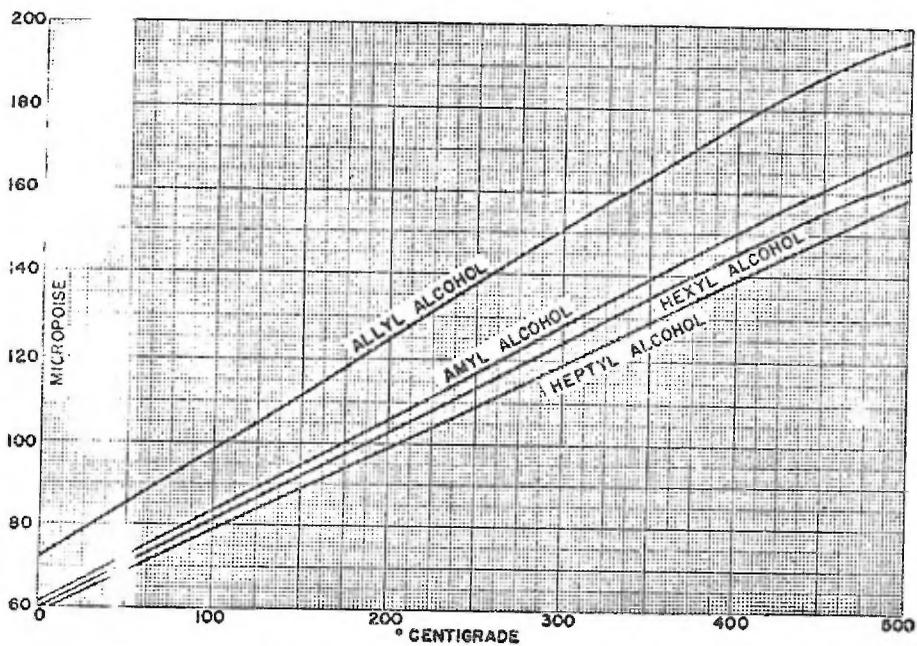
IX.1.- Alcoholes C<sub>4</sub>. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 44, 120, 159.



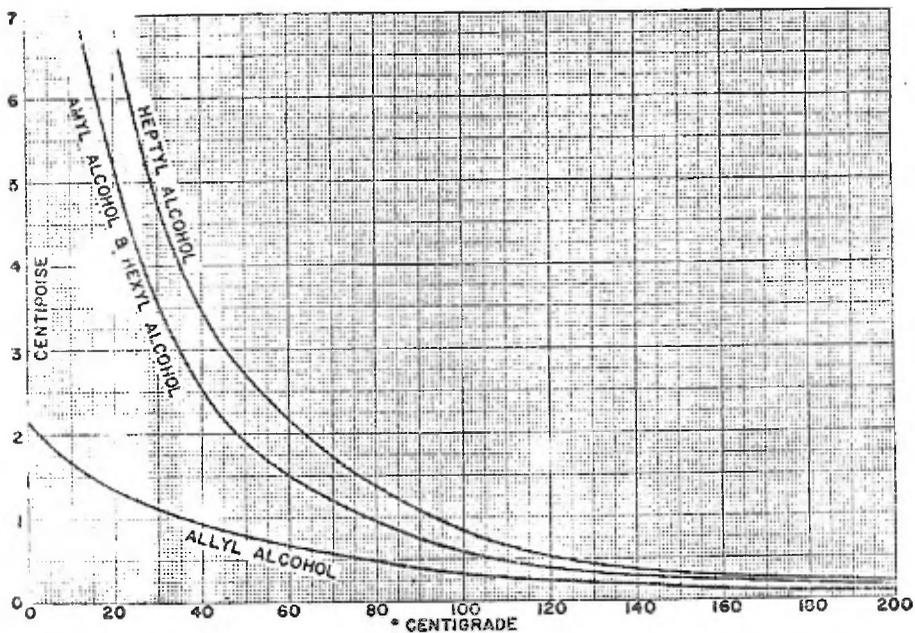
Ix.2.- Alcoholes C<sub>4</sub>. Líquido de -50 a +150° C.

Referencias: 44, 120, 159.



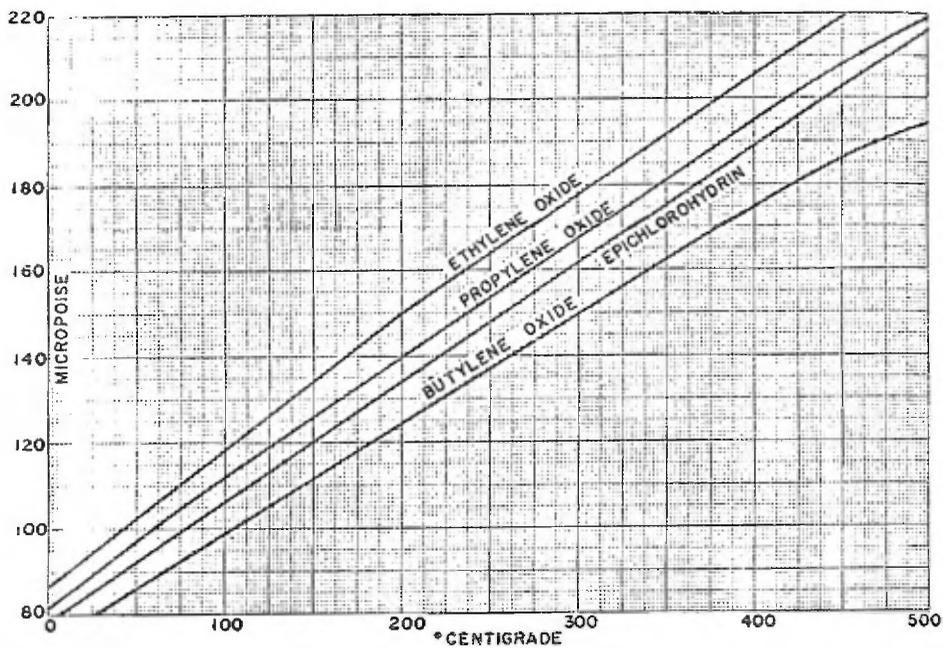
X.1.- Viscosidad de vapor de diversos alcoholes.

Referencias: 45, 159.



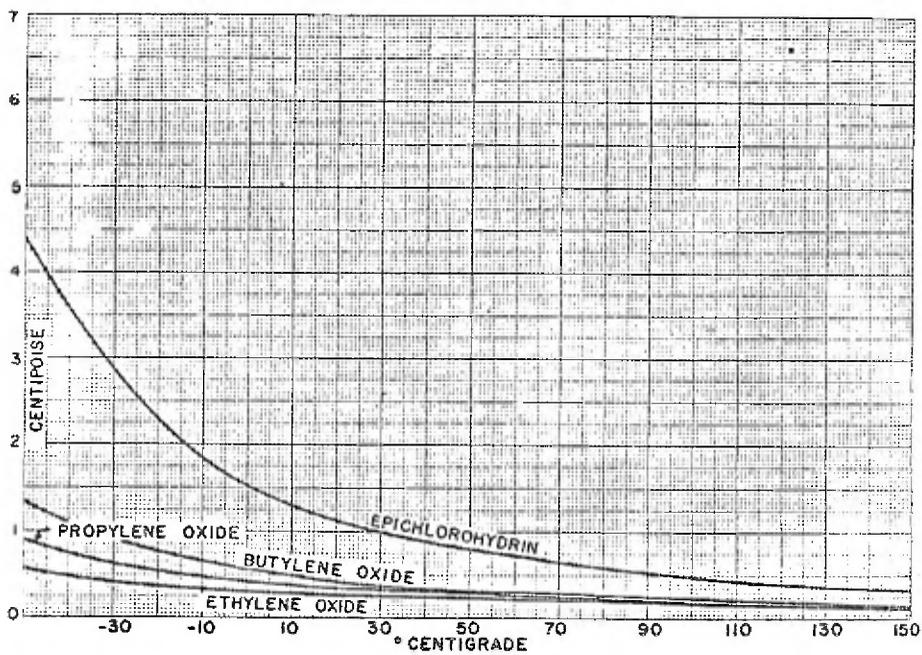
X.2.- Viscosidad de líquidos de diversos alcoholes.

Referencias: 45, 159.



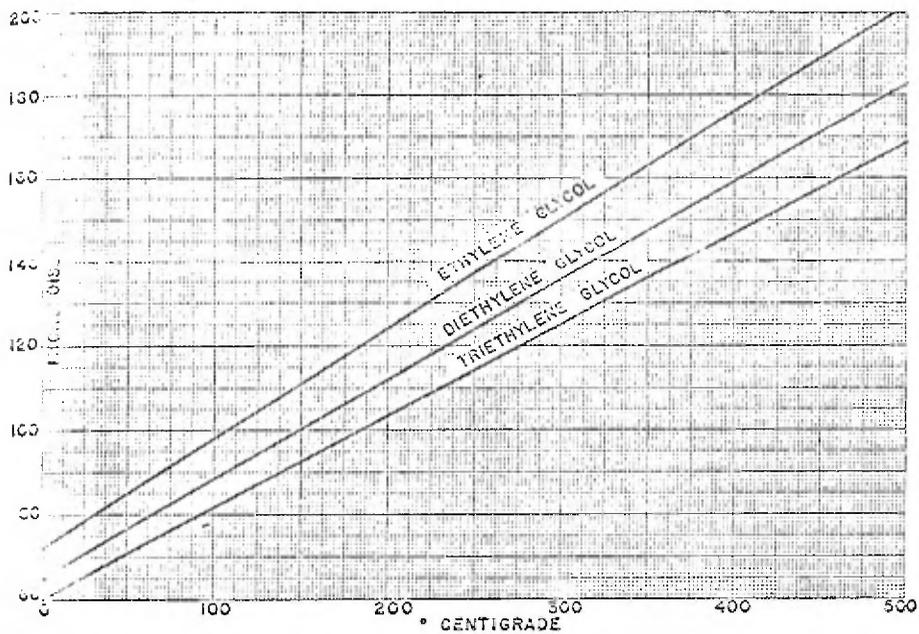
XI.1.- Oxidos de C<sub>2</sub> a C<sub>4</sub>. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 46, 160, 175.



XI.2.- Líquido de  $-50$  a  $+150^{\circ}$  C.

Referencias: 46, 160, 175.



XII.1.- Etilenglicoles. Vapor de 0 a +500°C.

Referencias: 47, 143.

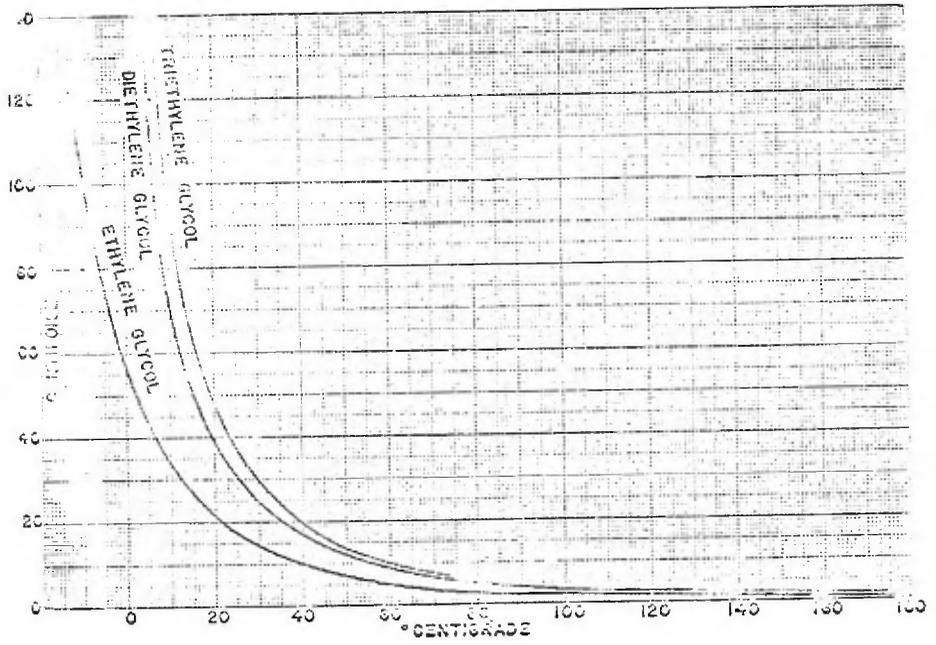
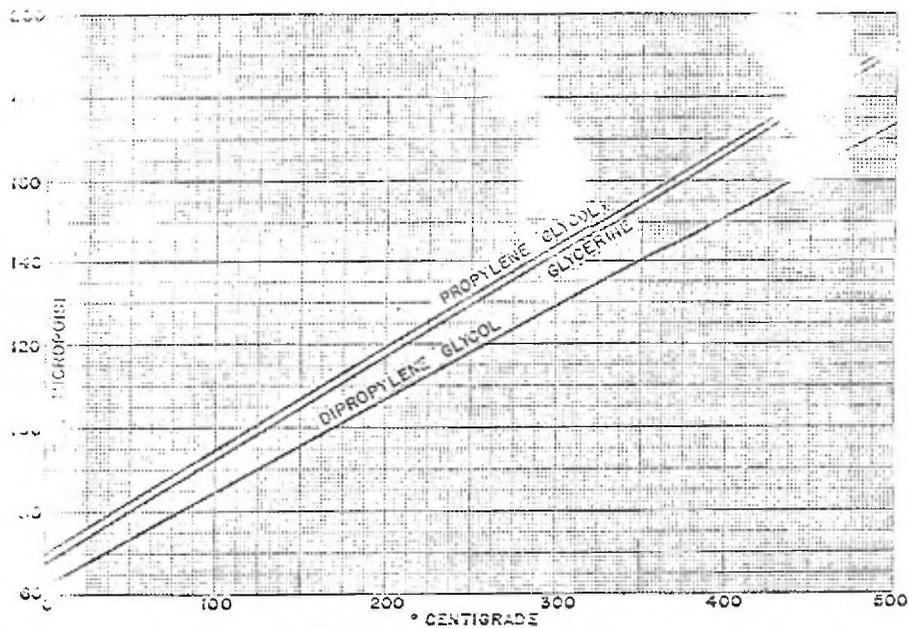


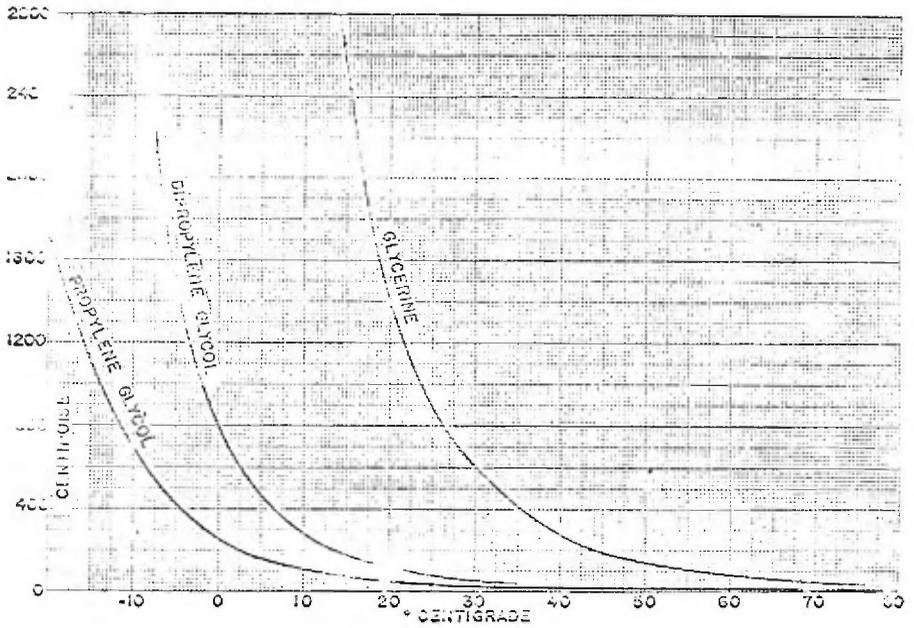
FIG. 2.- Líquido de -40 a +180° C.

Referencias: 47, 143.



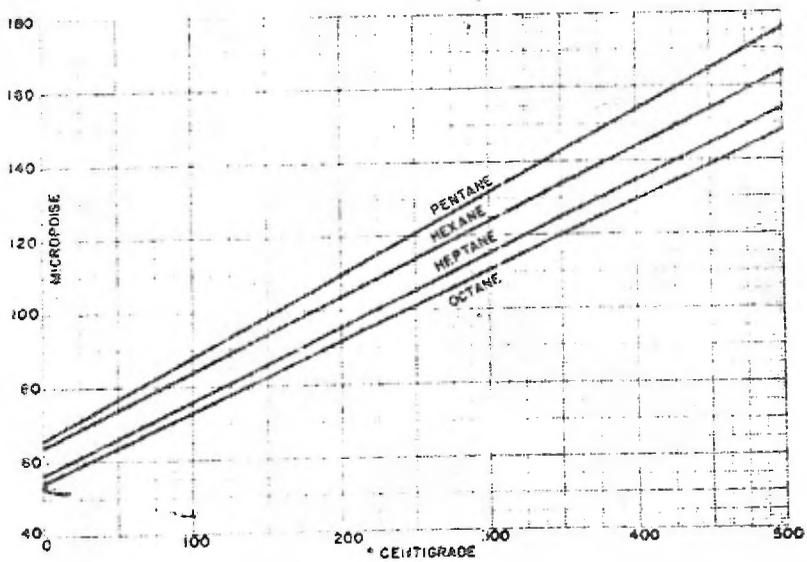
XIII.1.- Propilenglicoles y glicerina. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 48, 179.



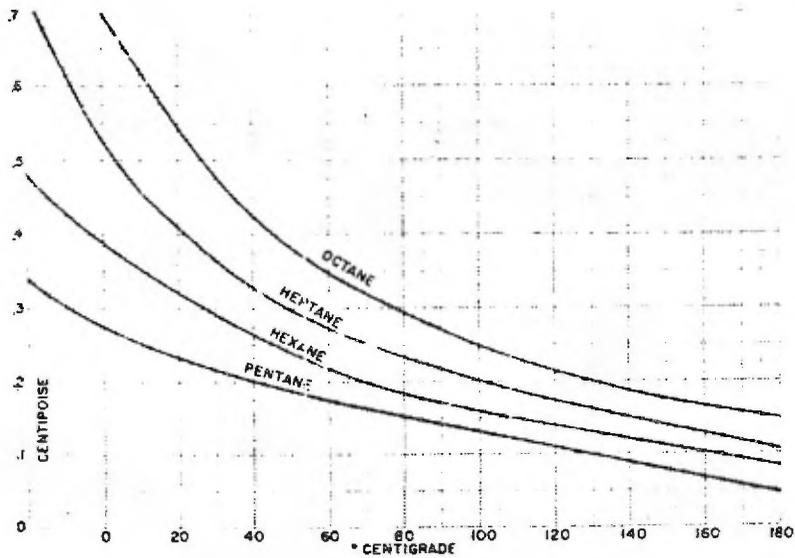
XIII.2.- Líquido de -20 a +80° C.

Referencias: 48, 179.



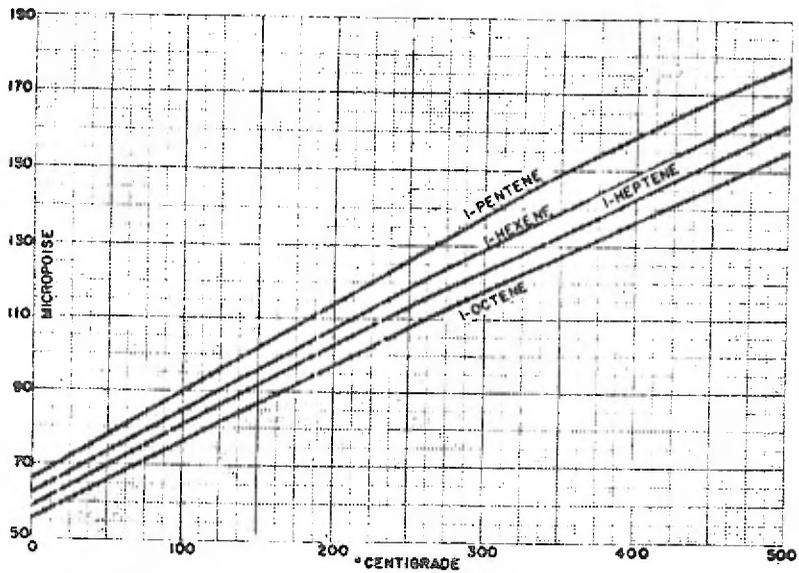
XIV.1.- Parafinas de  $C_5$  a  $C_8$ . Vapor de 0 a  $+600^{\circ}$  C.

Referencias: 49, 131, 178.



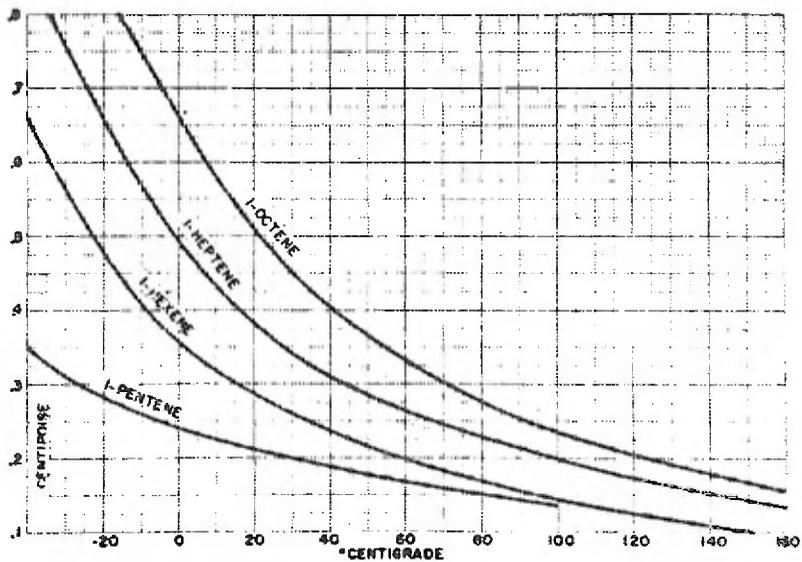
XIV.2.- Líquido de  $-20$  a  $+180^{\circ}$  C.

Referencias: 49, 131, 178.



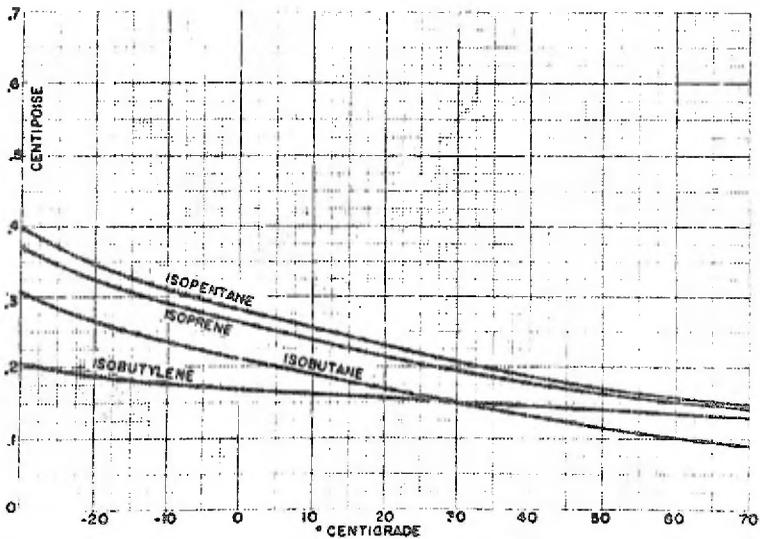
XV.1.- Olefinas de  $C_5$  a  $C_8$ . Vapor de 0 a  $+500^{\circ}$  C.

Referencias: 50, 139, 146.



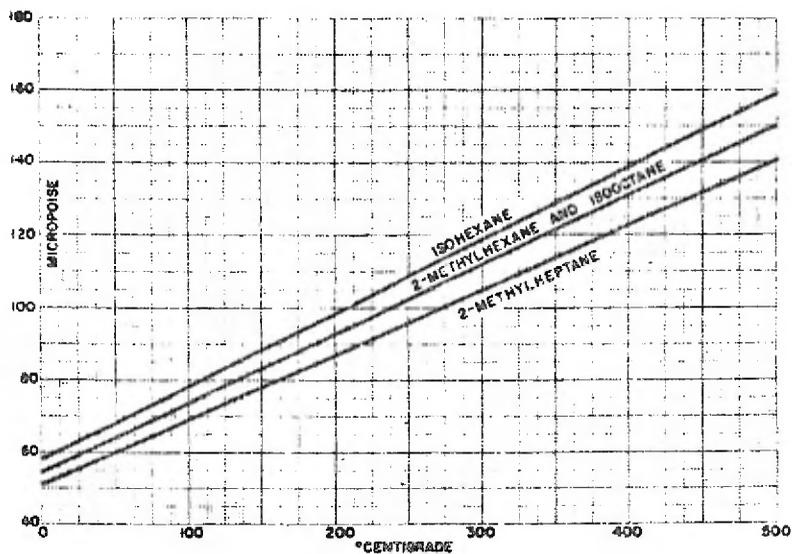
XV.2.- Líquido de  $-40$  a  $+160^{\circ}$  C.

Referencias: 50, 139, 146.



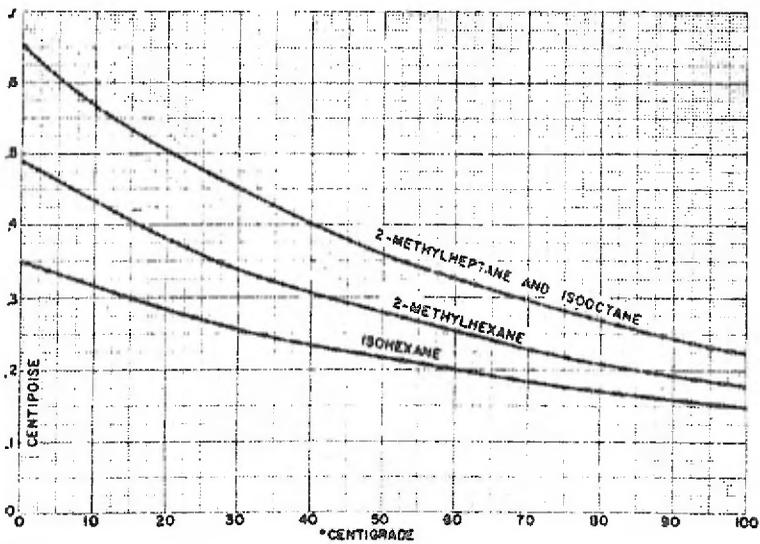
XVI.1.- Hidrocarburos ramificados de  $C_4$  a  $C_5$ . Líquido de  $-30$  a  $+70^{\circ}$  C.

Referencias: 51, 121, 147.



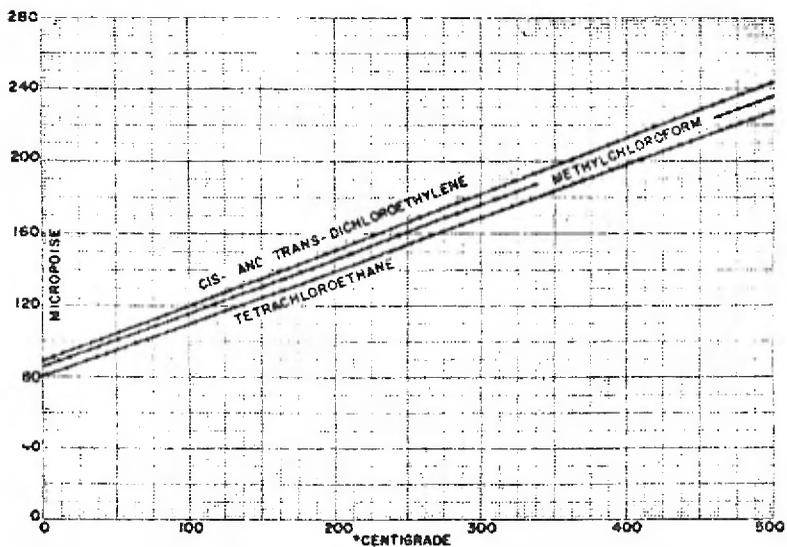
XVII.1.- Hidrocarburos ramificados de  $C_6$  a  $C_8$ . Vapor de  $40$  a  $+500^{\circ} C$ .

Referencias: 52, 121, 147.



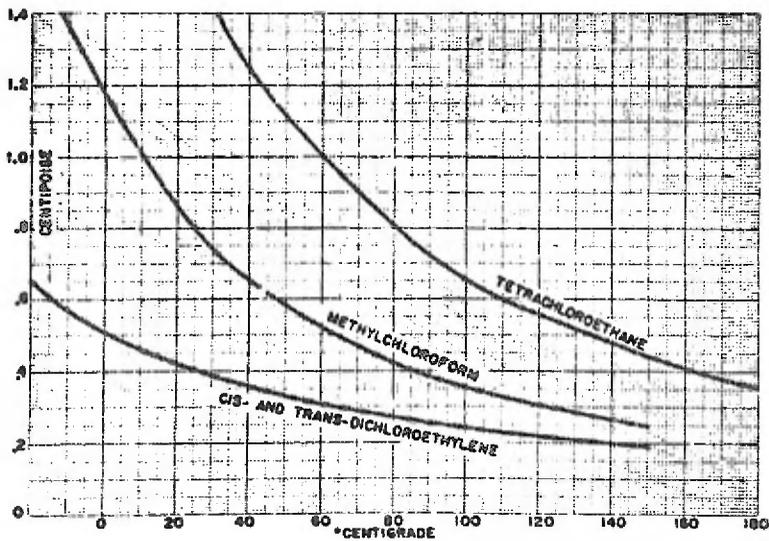
XVII.2.- Líquido de 0 a +100° C.

Referencias: 52, 121, 147.



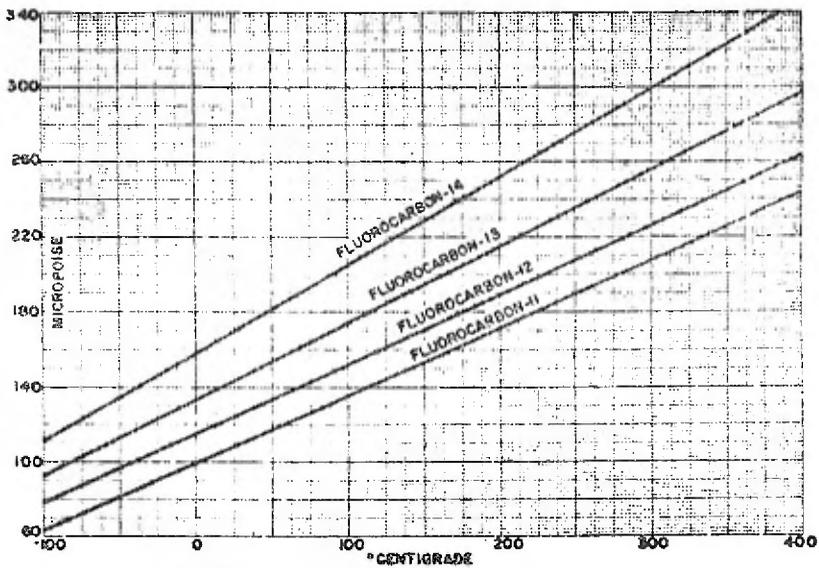
XVIII.1.- Hidrocarburos clorados de  $C_2$ . Vapor de 0 a  $+500^{\circ} C$ .

Referencias: 53, 126, 147.



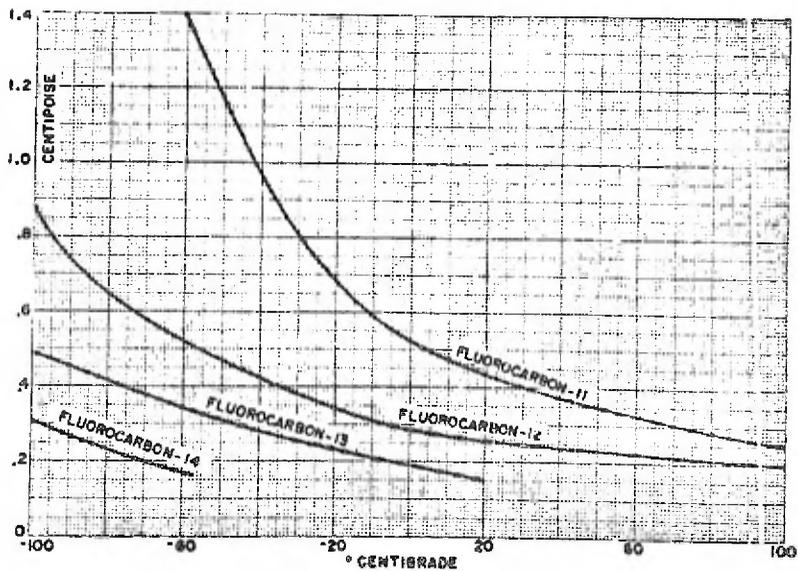
XVIII.2.- Líquido de  $-20$  a  $+180^{\circ}$  C.

Referencias: 53, 126, 147.



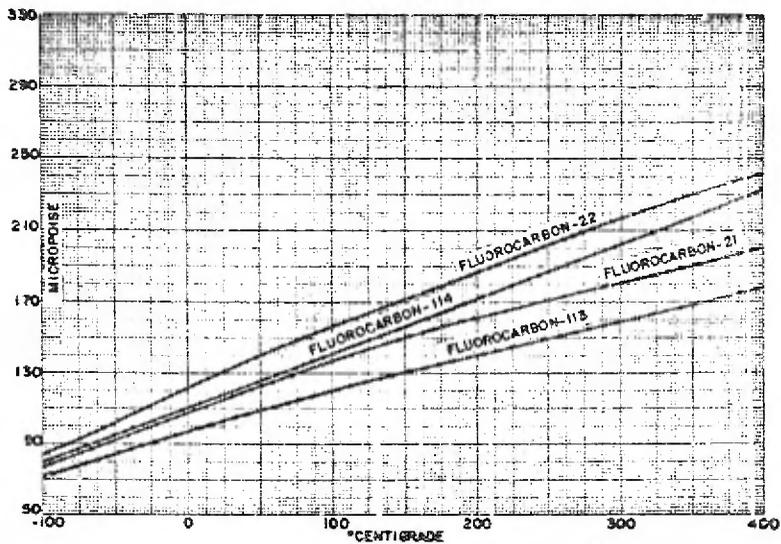
XIX.1.- Metanos halogenados. Vapor de  $-100$  a  $+400^{\circ}$  C.

Referencias: 54, 138, 181.



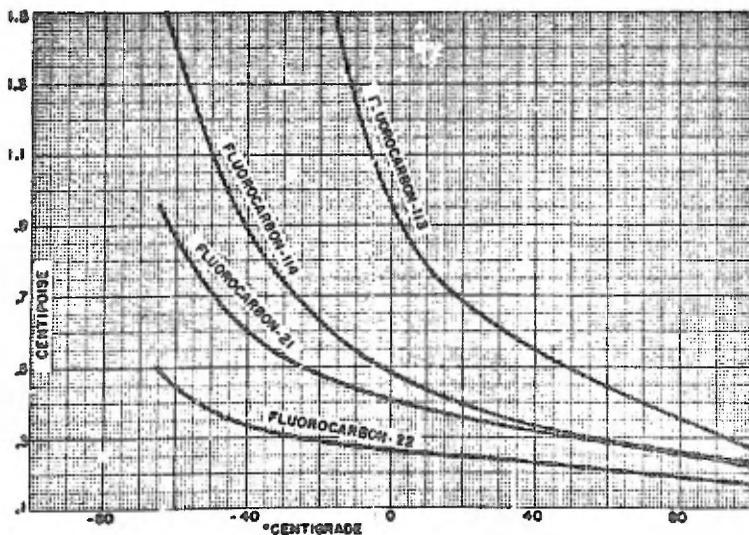
XIX.2.- Líquido de -100 a +100° C.

Referencias: 54, 138, 181.



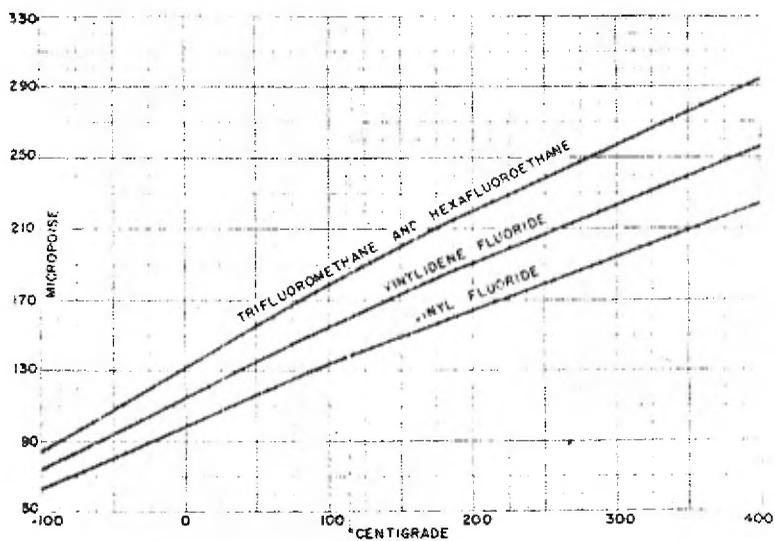
XX.1.- Hidrocarburos halogenados. Vapor de  $-100$  a  $+400^{\circ}$  C.

Referencias: 55, 104, 138, 146.



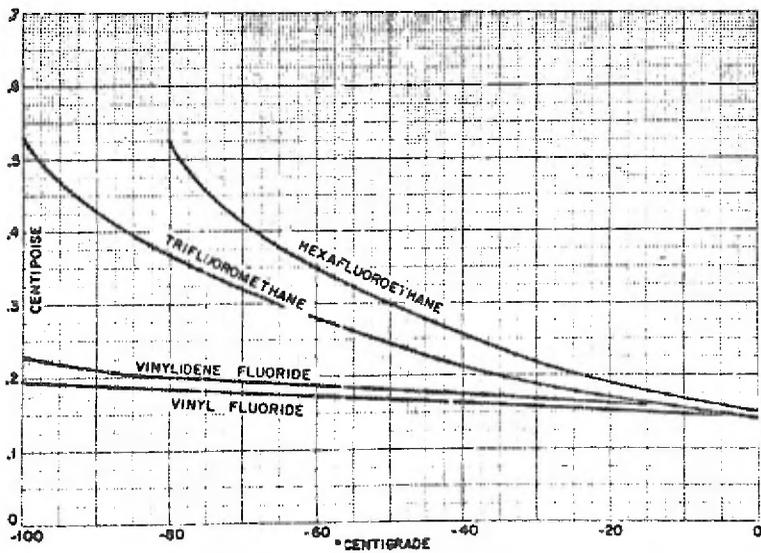
XX.2.- Líquido de -60 a +100° C.

Referencias: 55, 104, 138, 146.



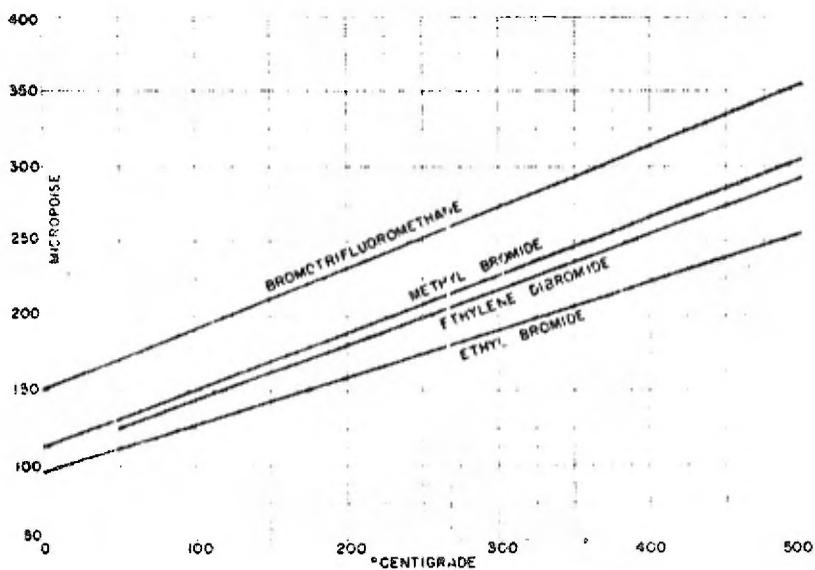
XXI.1.- Hidrocarburos fluorados. Vapor de  $-100$  a  $+400^{\circ}$  C.

Referencias: 56, 115, 138.



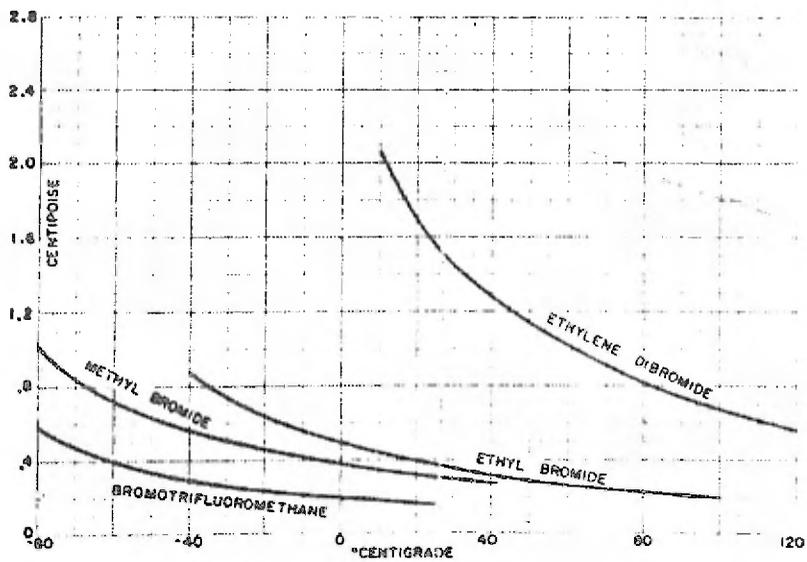
XXI.2.- Líquido de -100 a 0° C.

Referencias: 56, 115, 138.



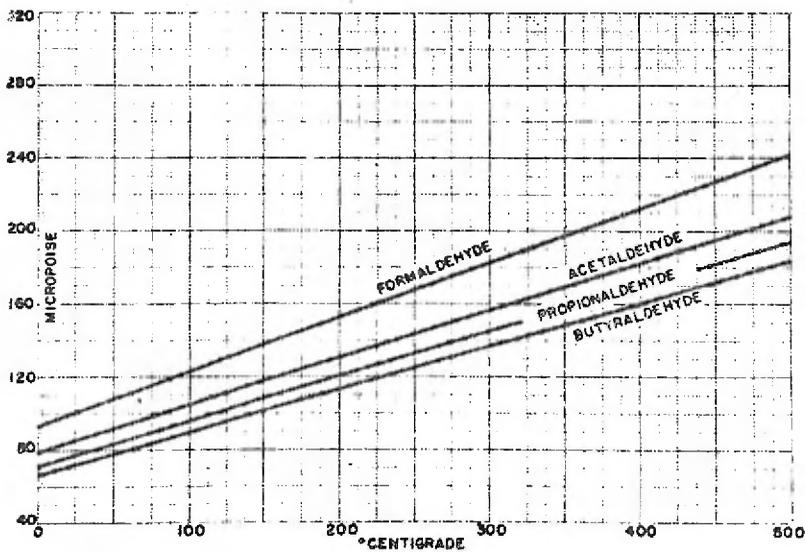
XXII.1.- Hidrocarburos bromados. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 57, 172.



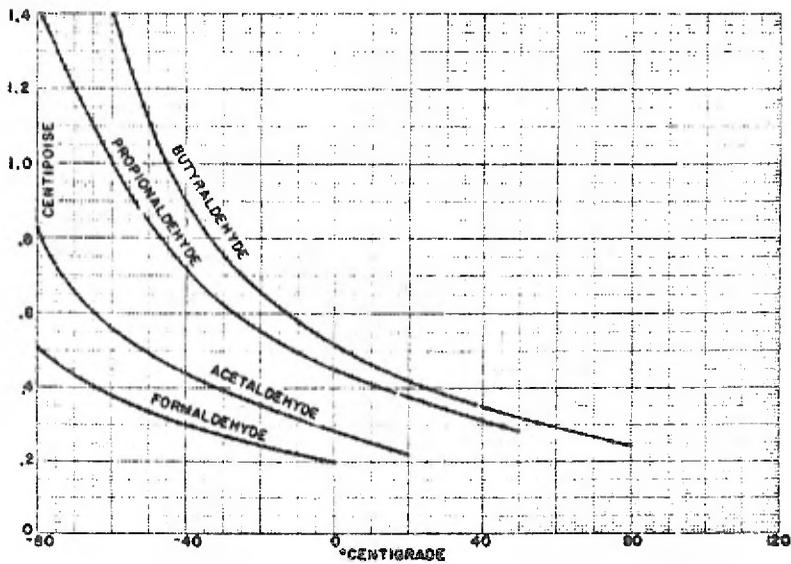
XXII.2.- Líquido de -80 a +120° C.

Referencias: 57, 172.



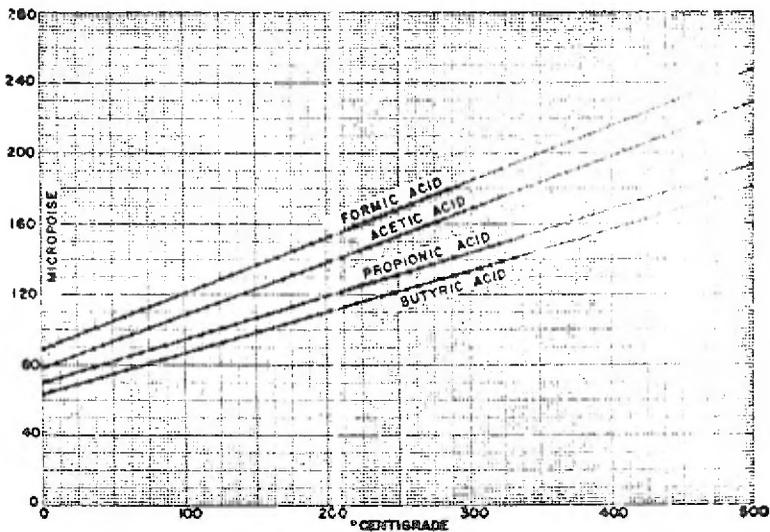
XXIII.1.- Aldehydos de C<sub>1</sub> a C<sub>4</sub>. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 58, 142.



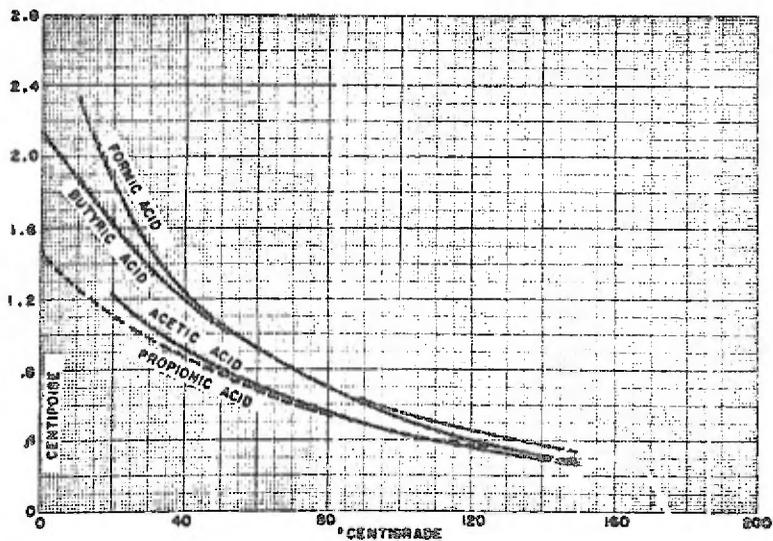
XXIII.2.- Líquido de  $-80$  a  $+80^{\circ}$  C.

Referencias: 58, 142.



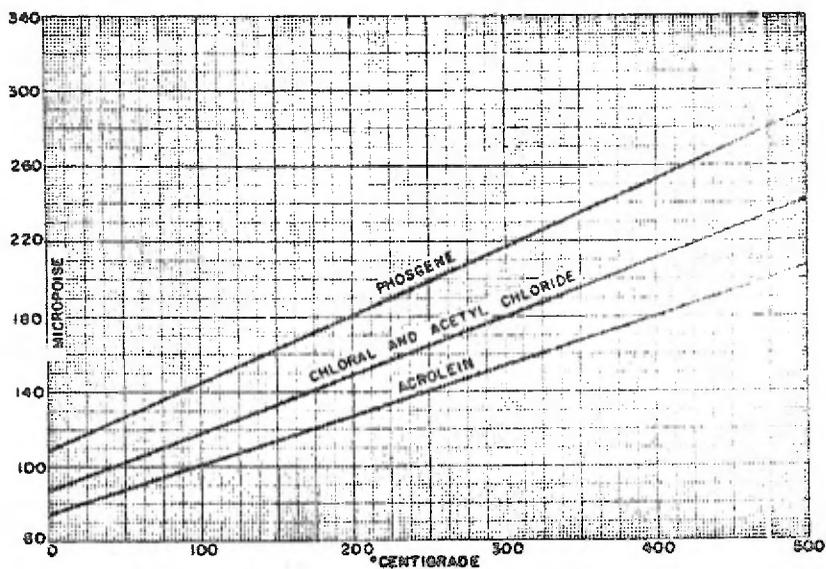
XXIV.1.- Acidos de  $C_1$ , a  $C_4$ . Vapor de 0 a  $+500^{\circ}$  C.

Referencias: 59, 108, 168.



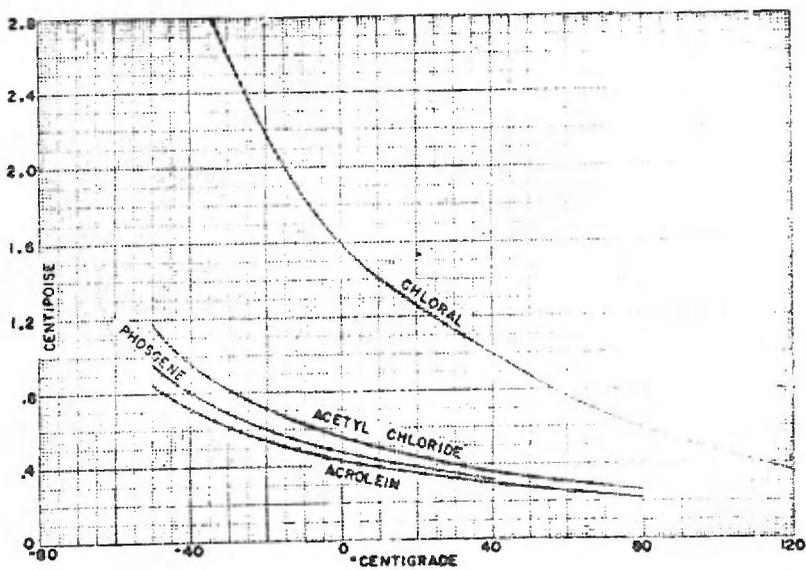
XXIV.2.- Líquido de 0 a +160° C.

Referencias: 59, 108, 168.



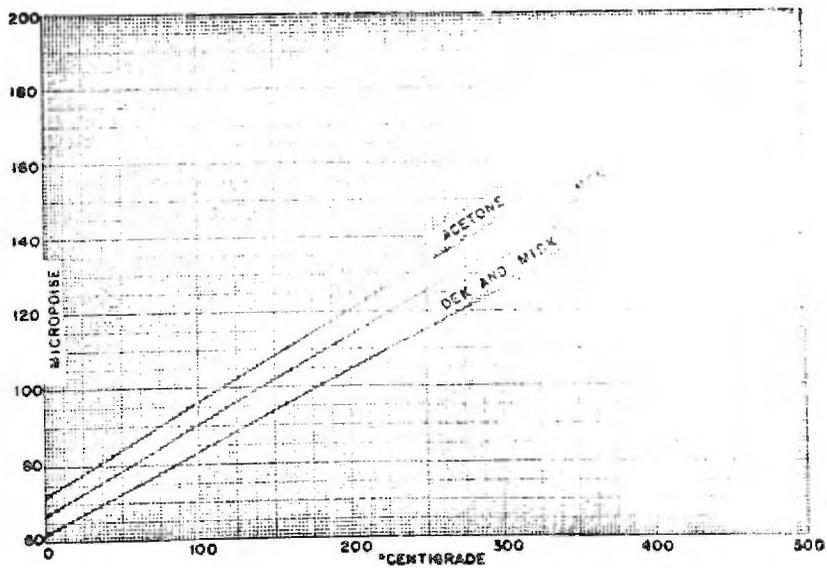
XXV.1.- Varios aldehidos. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 60, 106, 147.



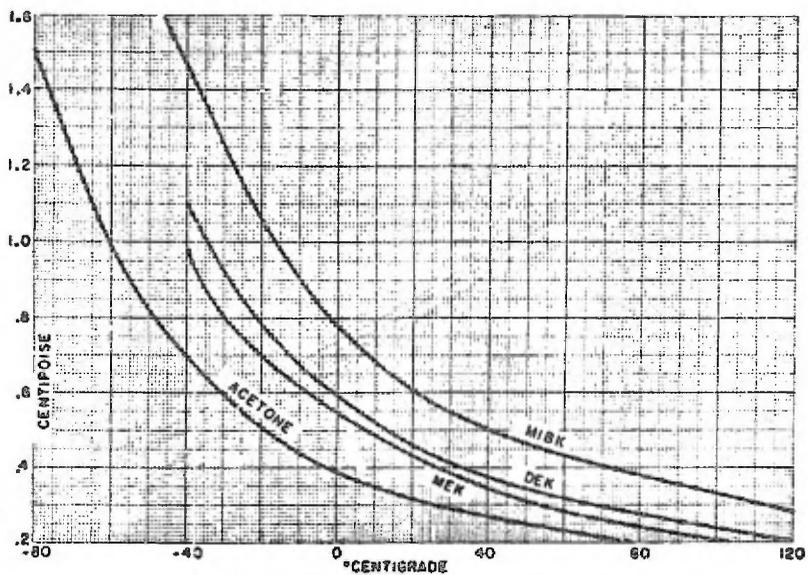
XXV.2.- Líquido de  $-80$  a  $+120^{\circ}$  C.

Referencias: 60, 106, 147.



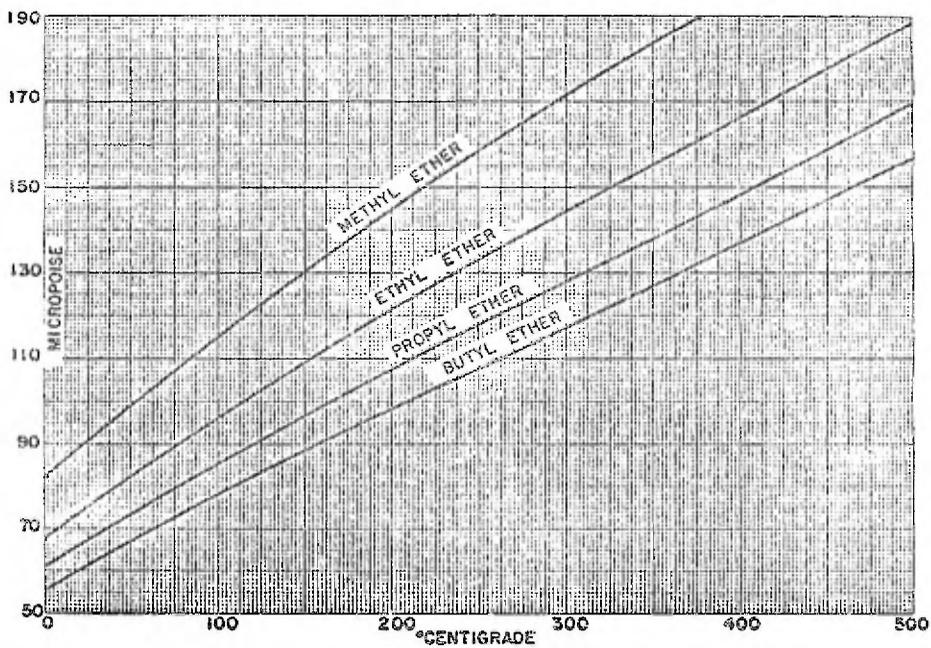
XXVI.1.- Cetonas. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 61, 103, 128.



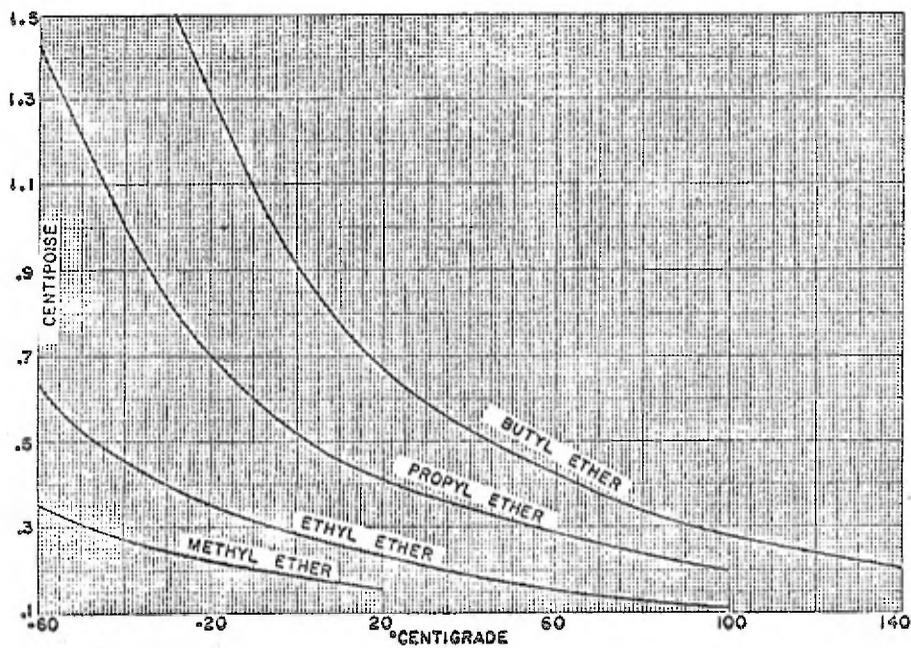
XXVI.2.- Líquido de -80 a +120° C.

Referencias: 61, 103, 128.



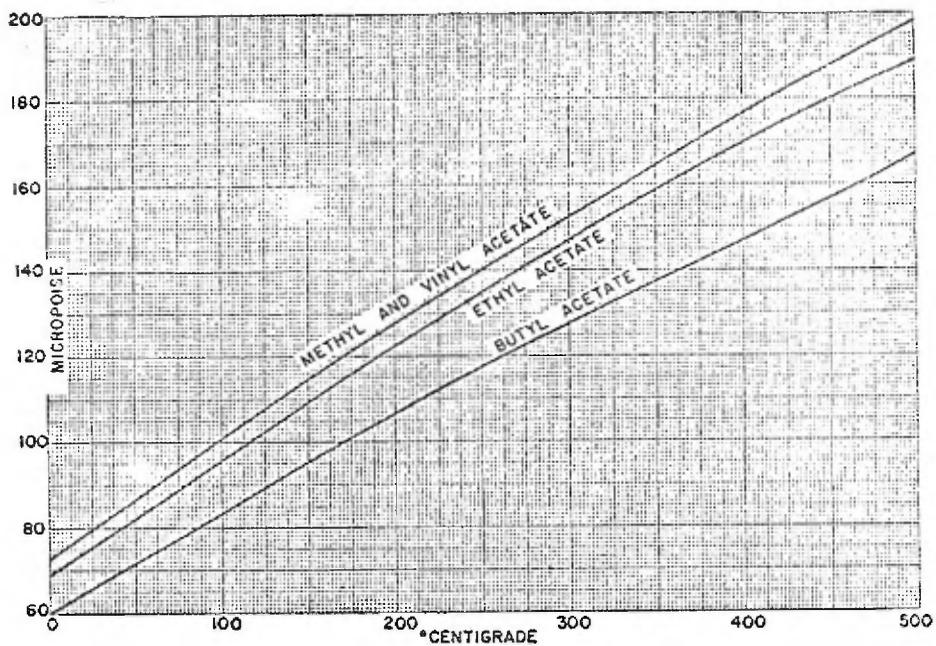
XXVII.1.- Eteres. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 62, 126, 170.



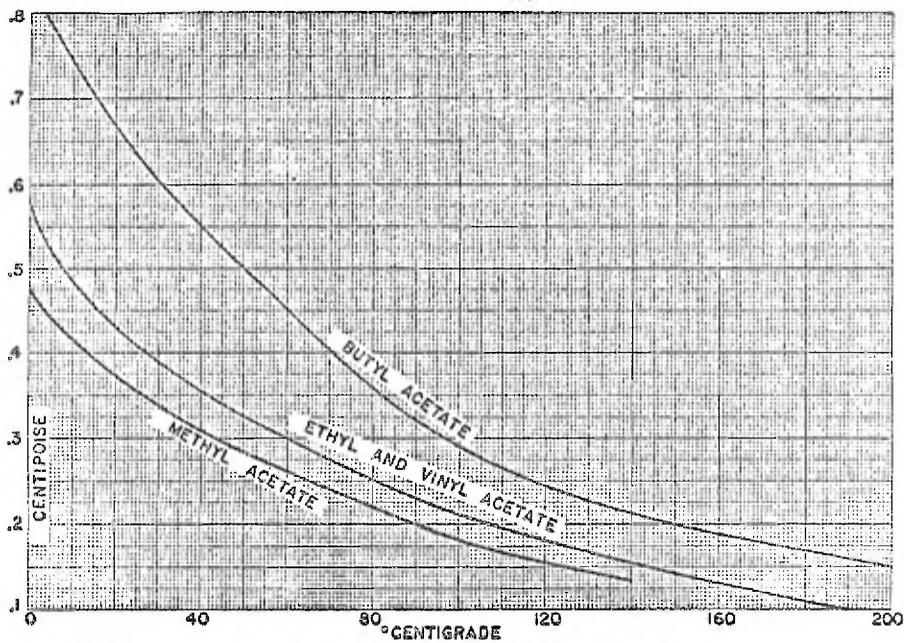
XXVII.2.- Líquido de -60 a +140° C.

Referencias: 62, 126, 170.



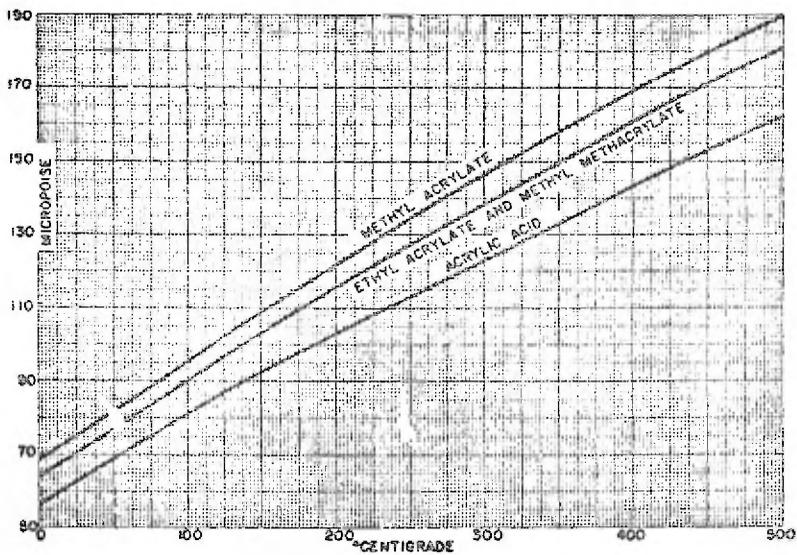
XXVIII.1.- Acetatos. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 63, 145.



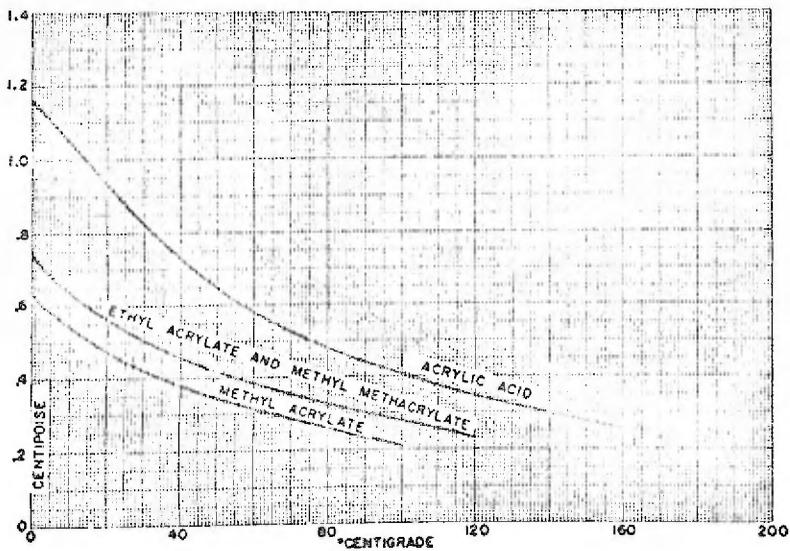
XXVIII.2.- líquido de 0 a +200° C.

Referencias: 63, 145.



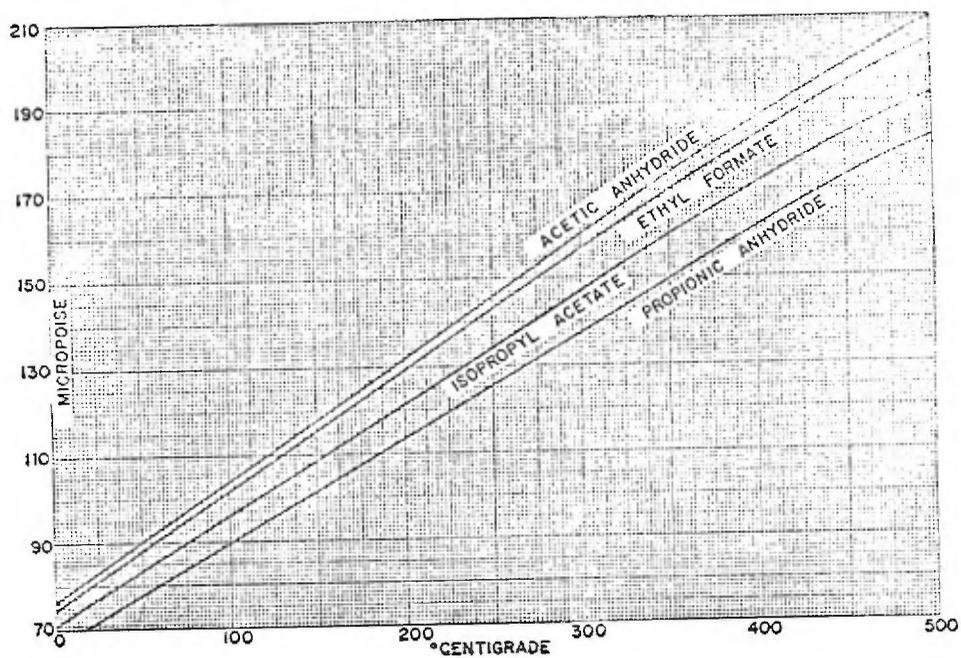
XXIX.1.- Acrilatos. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 64, 145.



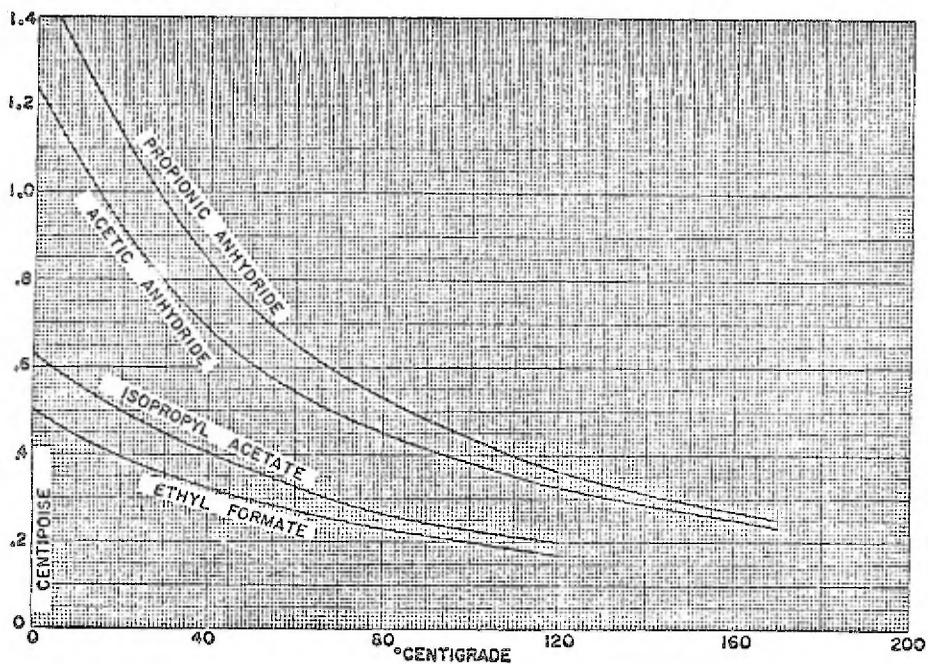
XXII.2.- Líquido de 0 a +160° C.

Referencias: 64, 145.



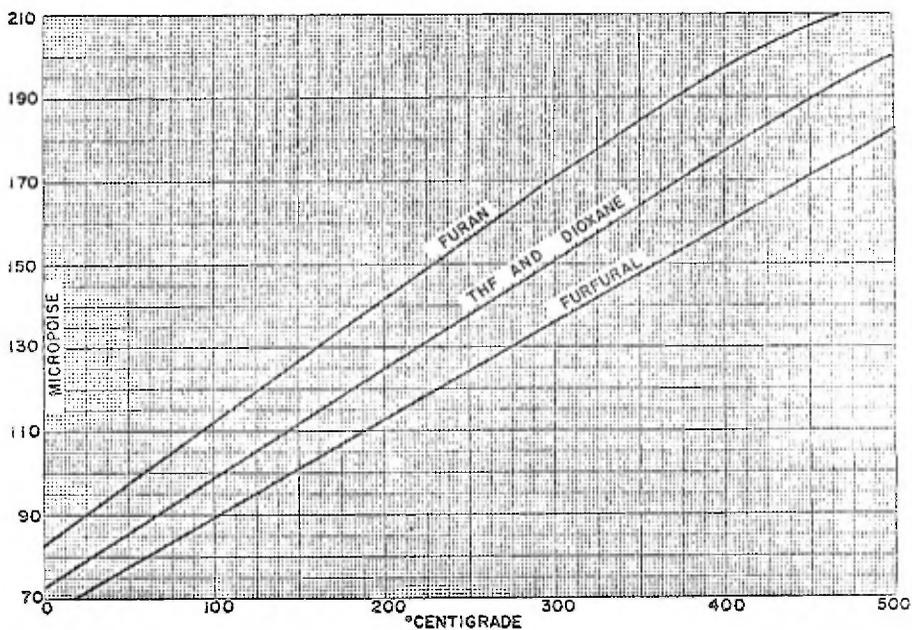
XXX.1.- Esteres. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 65, 104, 146.



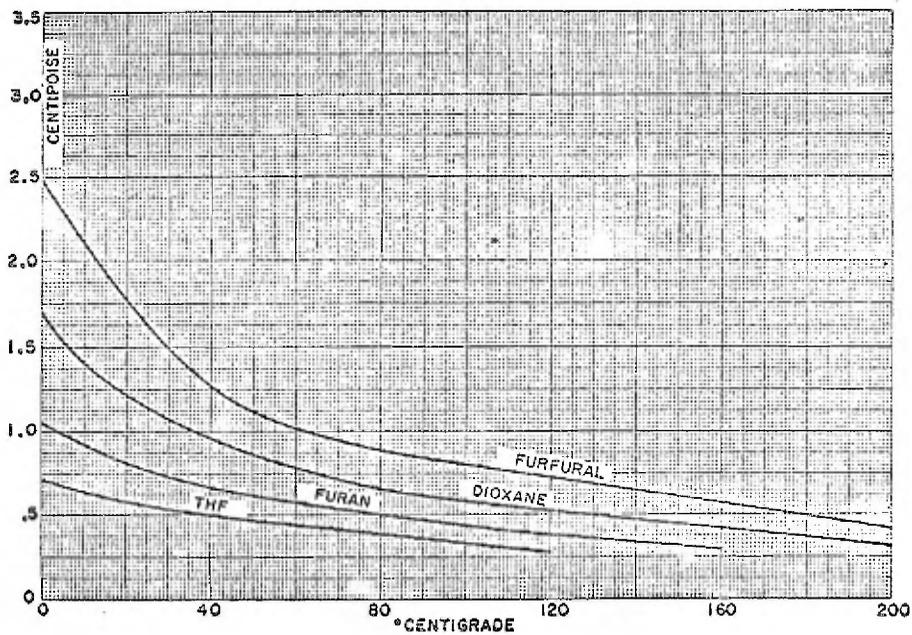
XXX.2.- Líquido de 0 a +180° C.

Referencias: 65, 104, 146.



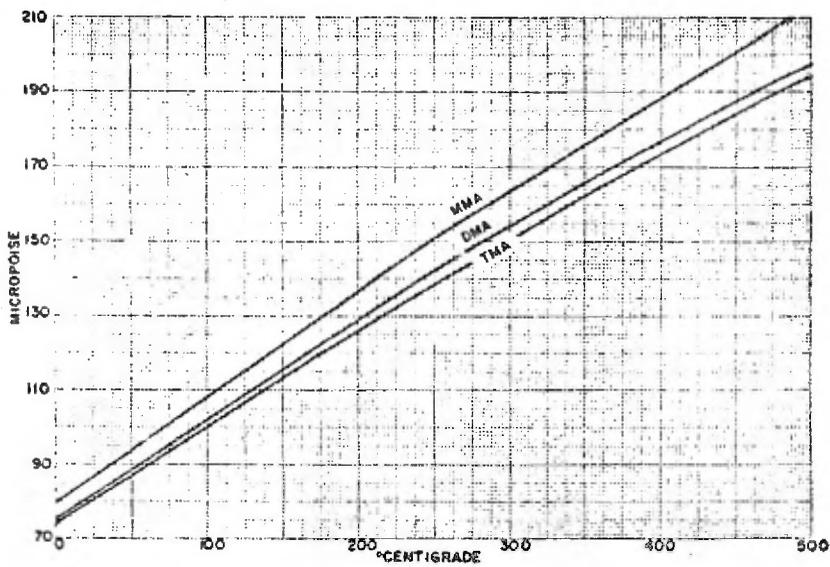
XXXI.1.- Eteres cíclicos. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 66, 146, 147, 181.



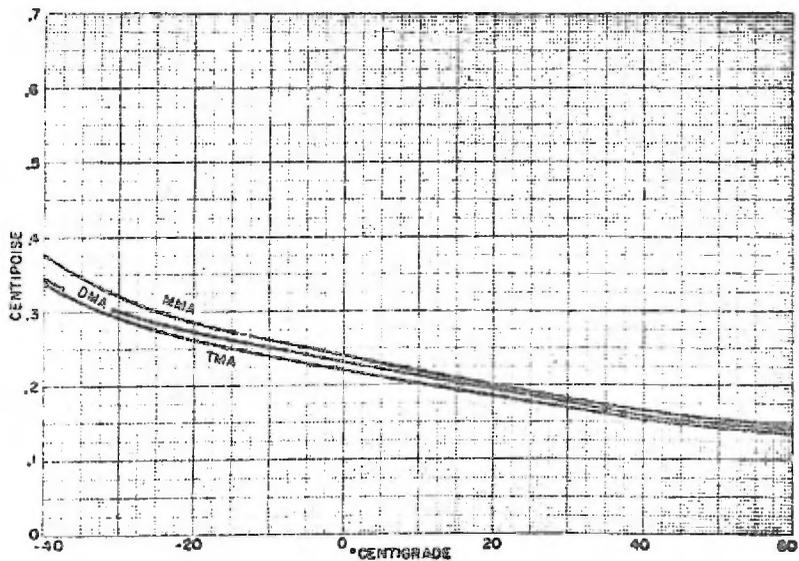
XXXI.2.- Líquido de 0 a +200° C.

Referencias: 66, 146, 147, 181.



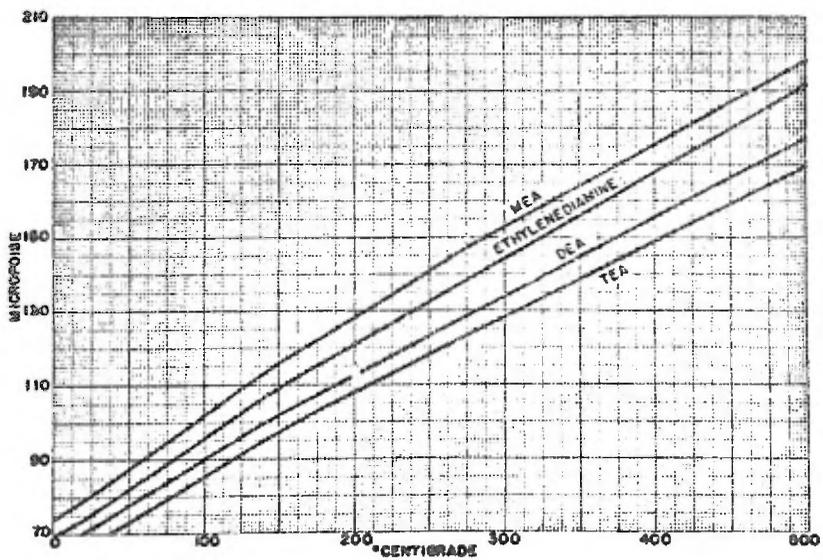
XXXII.1.- Metilaminas. Vapor de 0 a +500 ° C.

Referencias: 67, 124, 125.



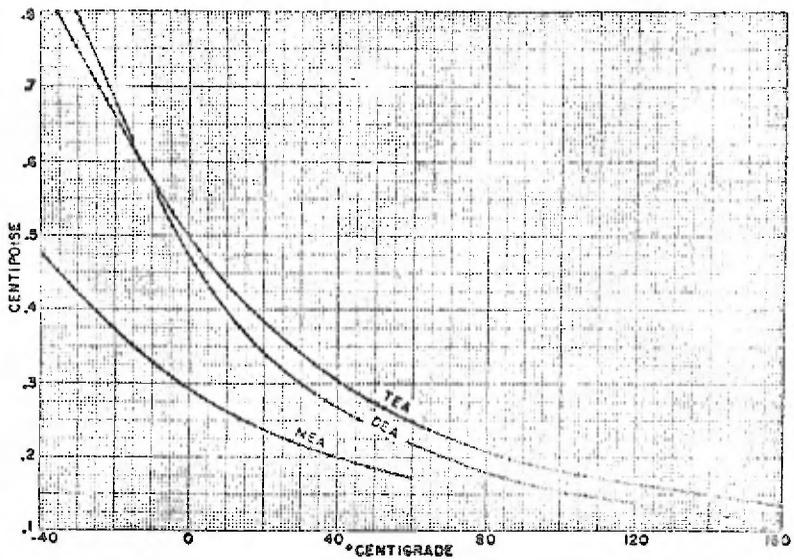
XXXII.2.- Líquido de  $-40$  a  $+60^{\circ}$  C.

Referencias: 67, 124, 125.



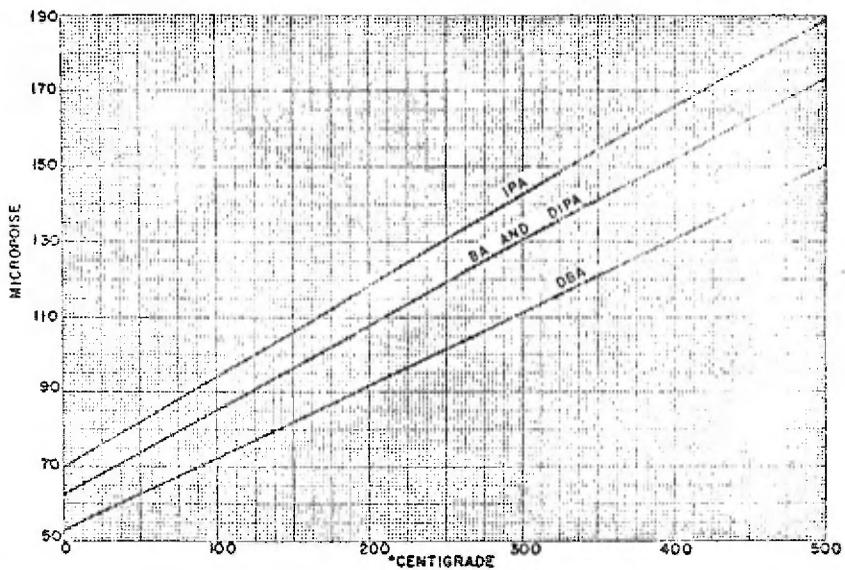
XXXIII.1.- Etilenaminas. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 68, 173.



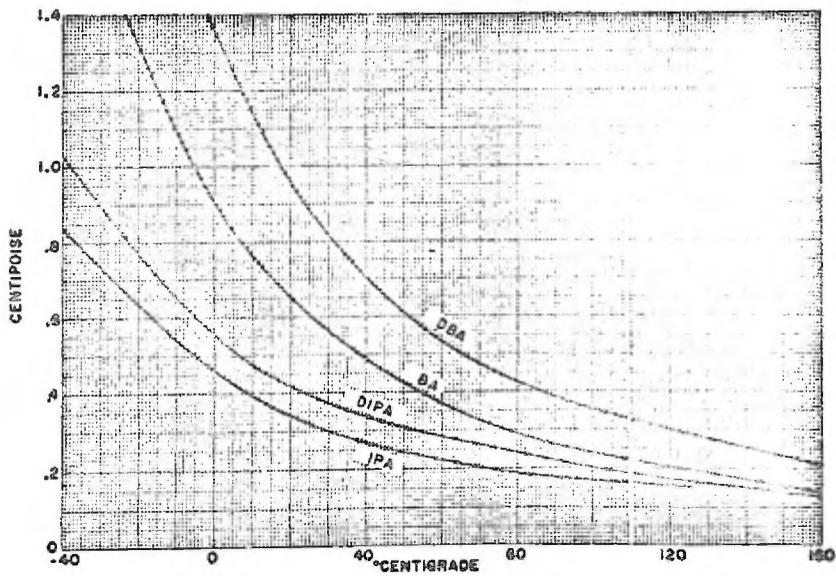
XXXIII.2.- Líquido de -40 a +160° C.

Referencias: 68, 173.



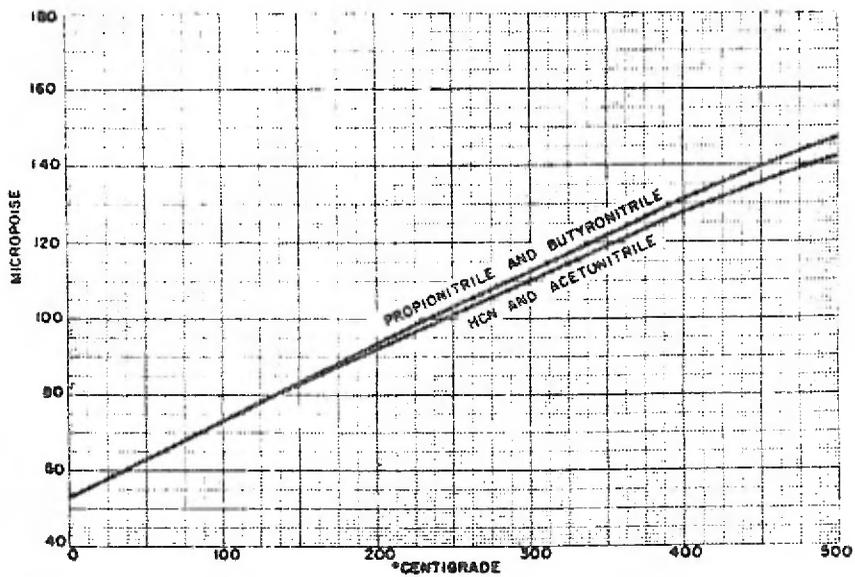
XXXIV.1.- Aminas. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 69, 145, 173.



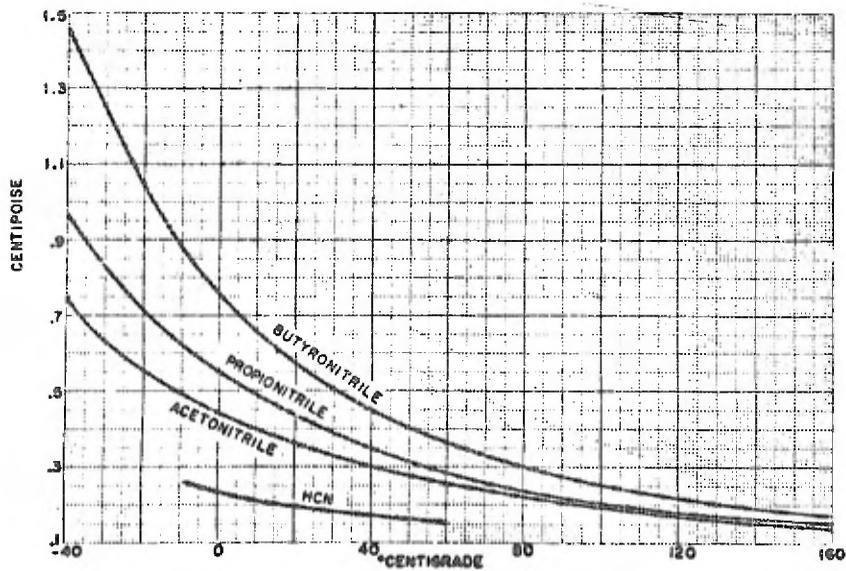
XXXIV.2.- Líquido de -40 a +160° C.

Referencias: 69, 145, 173.



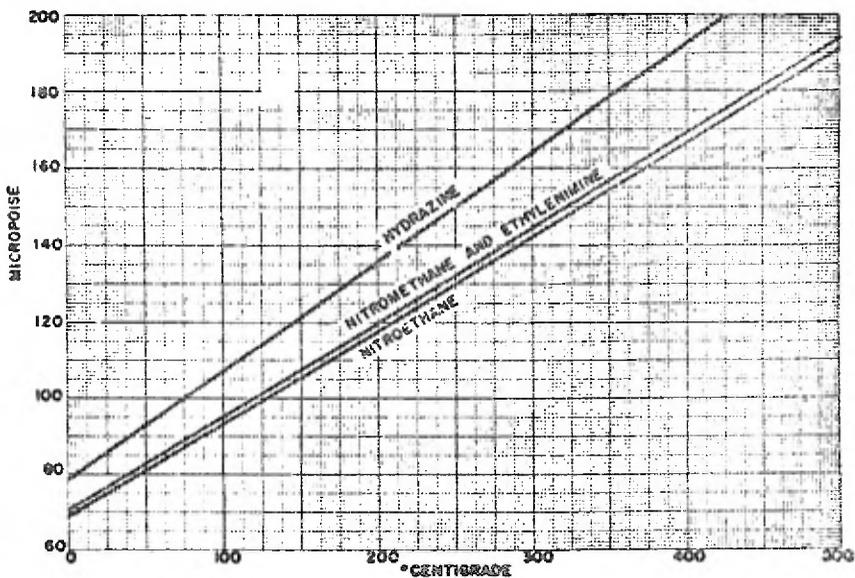
XXXV.1.- Nitrilos. Vapor de 0 a +500<sup>o</sup> C.

Referencias: 70, 180.



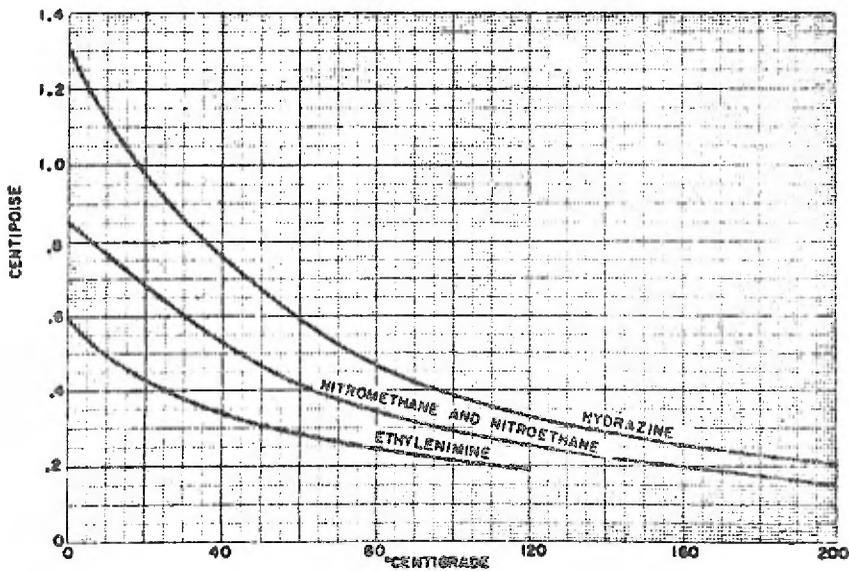
XXXV.2.- Líquido de -40 a +160° C.

Referencias: 70, 180.



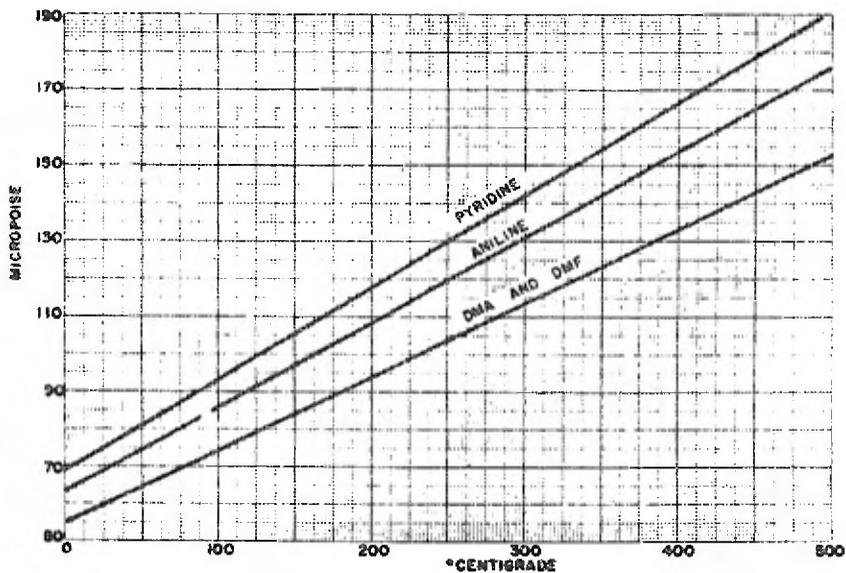
XXXVI.1.- Compuestos nitrogenados. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 71, 152, 155.



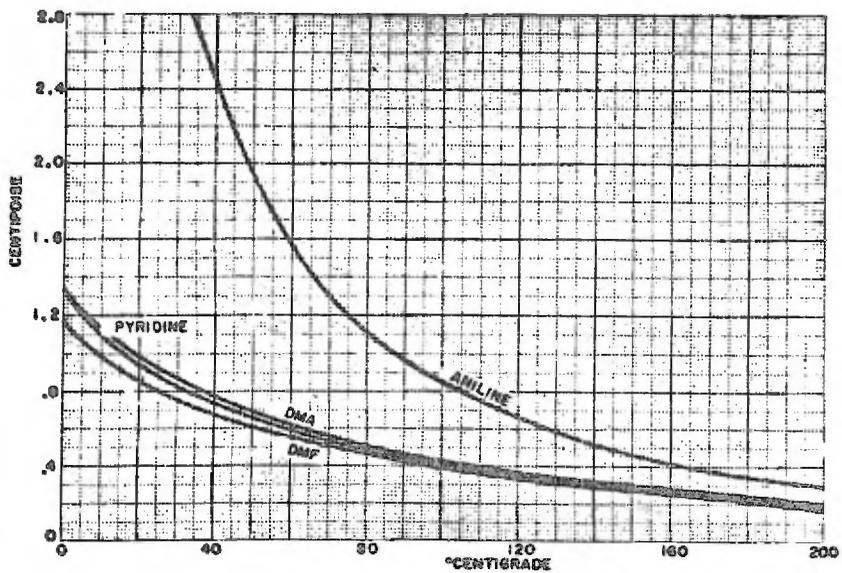
XXXVI.2.- Líquido de 0 a +200° C.

Referencias: 71, 152, 155.



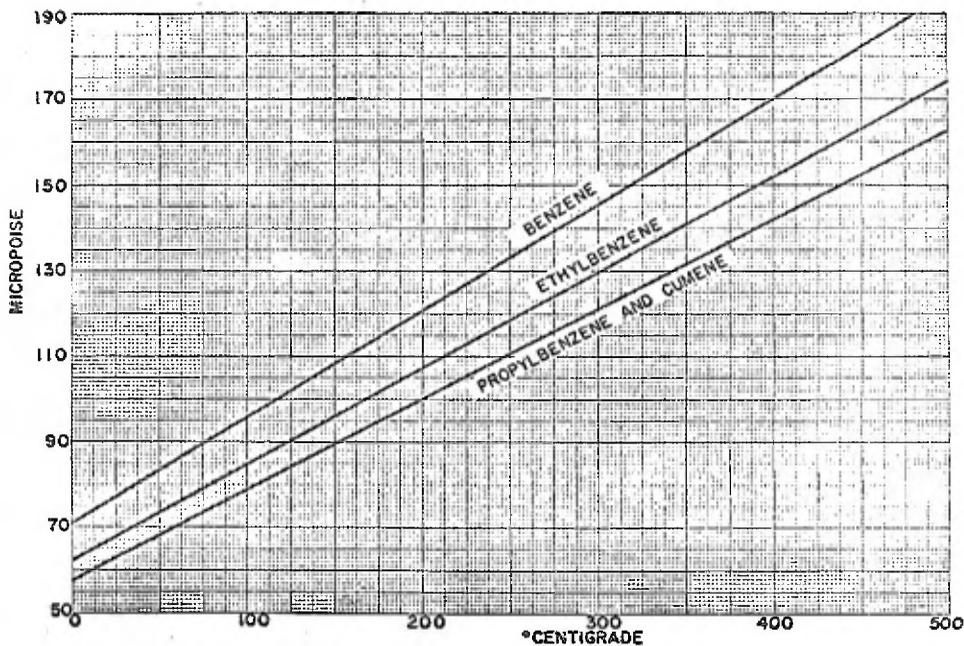
XXXVII.1.- Varios compuestos nitrogenados. Vapor de 0 a +500<sup>o</sup> C,

Referencias: 72, 131, 158.



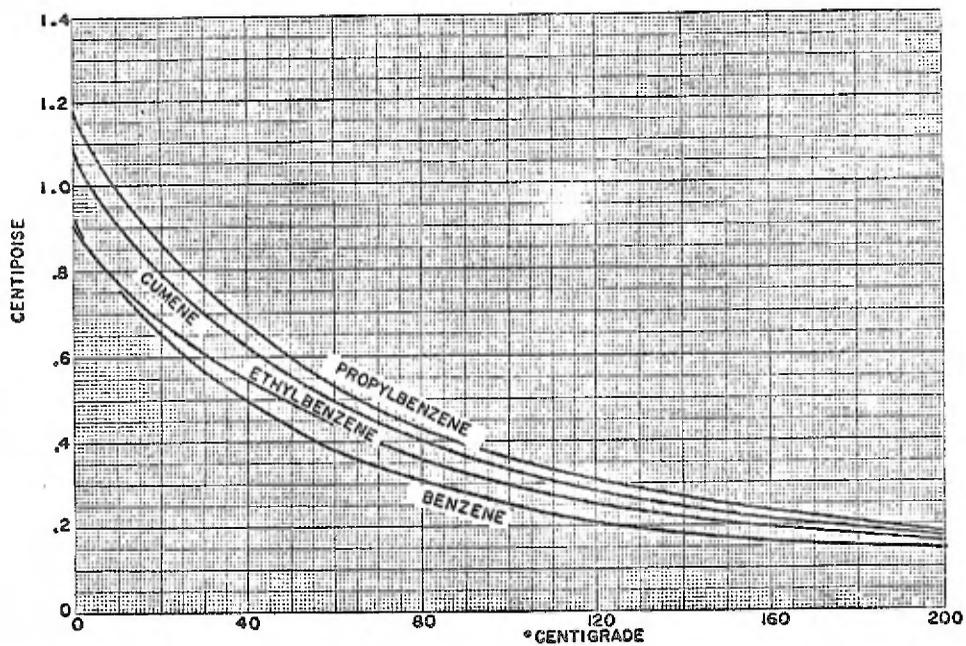
XXXVII.2.- Líquido de 0 a +200° C.

Referencias: 72, 131, 158.



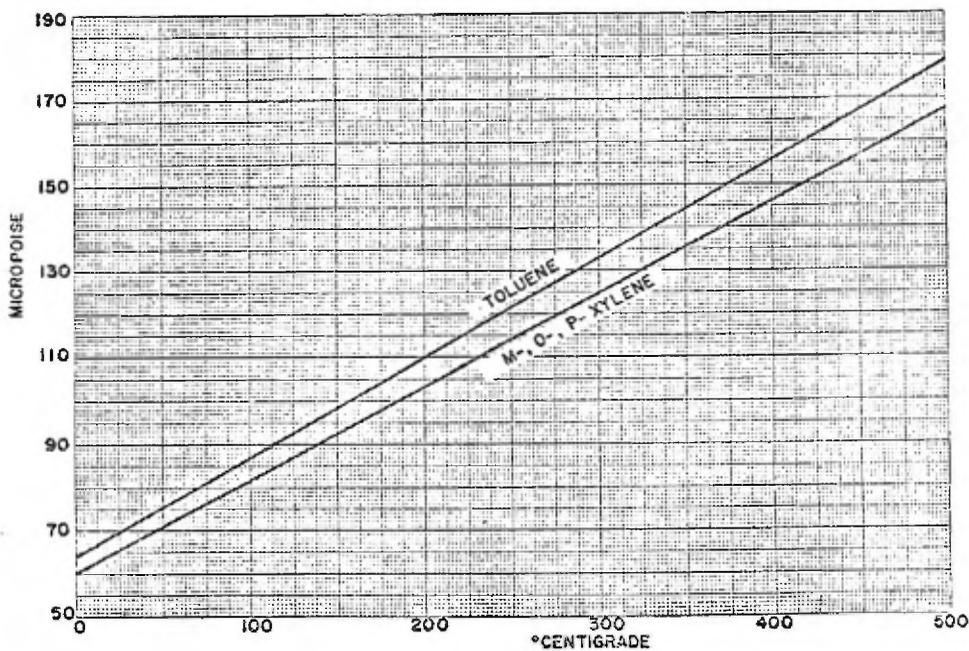
XXXVIII.1.- Compuestos del benceno. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 73, 143, 166, 174.



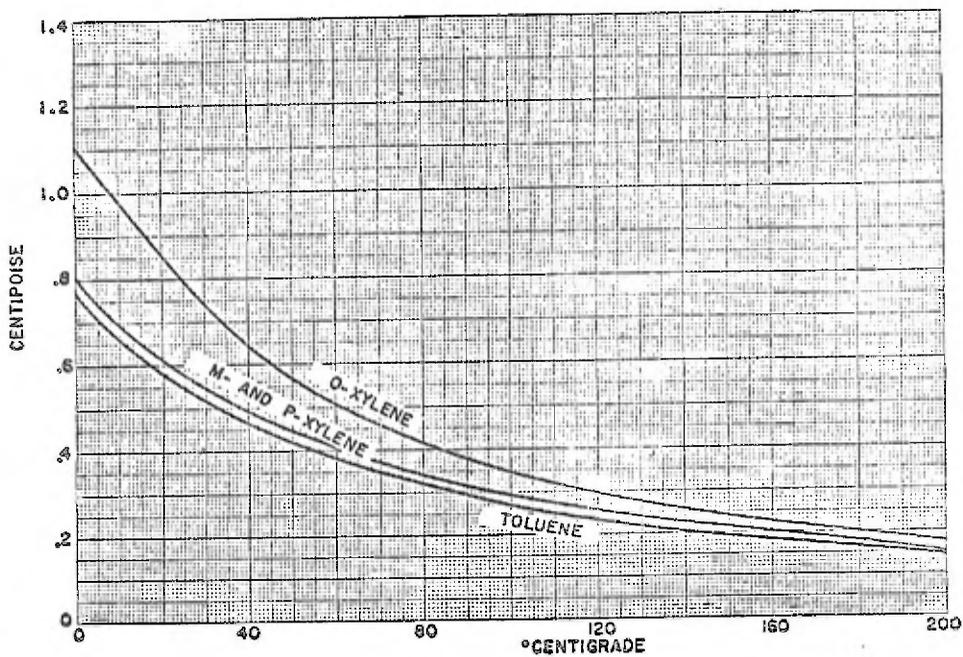
XXXVIII.2.- Líquido de 0 a +200° C.

Referencias: 73, 143, 166, 174.



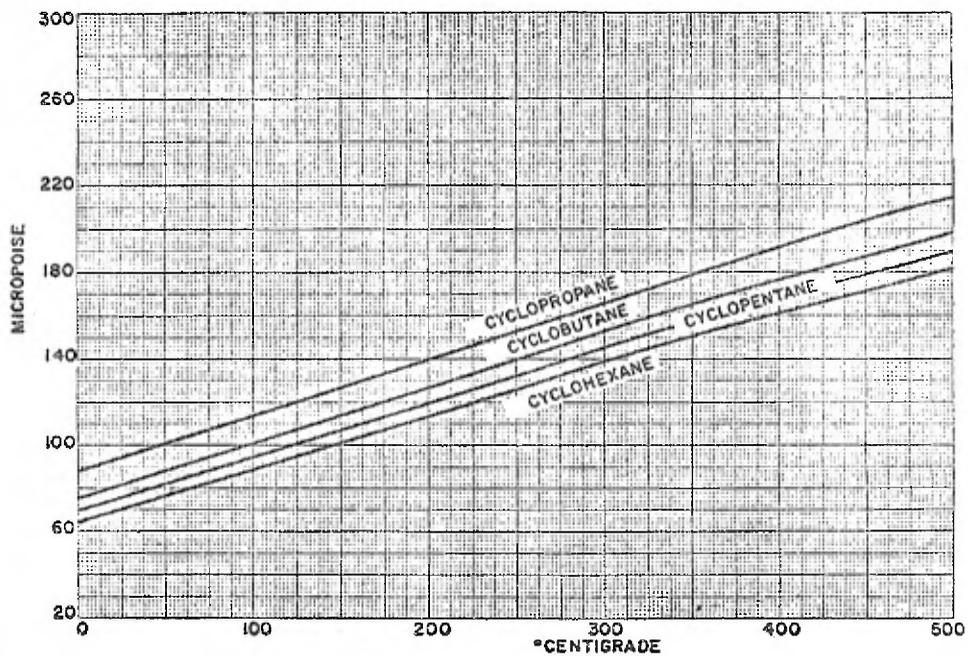
XXXIX.1.- Toluenos y xilenos. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 74, 143, 166.



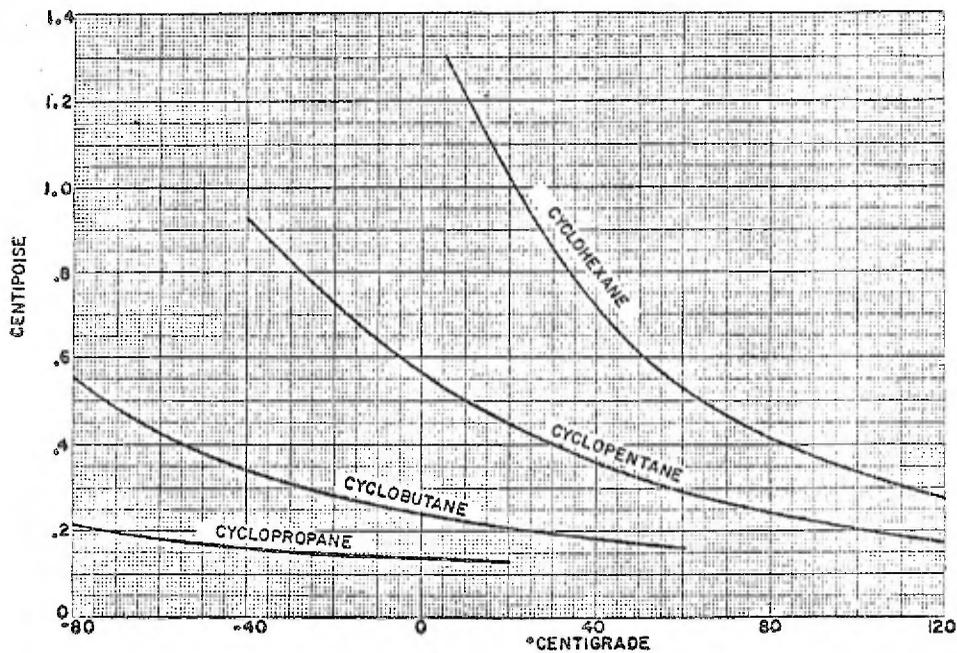
XXXIX.2.- Líquido de 0 a +200° C.

Referencias: 74, 143, 166.



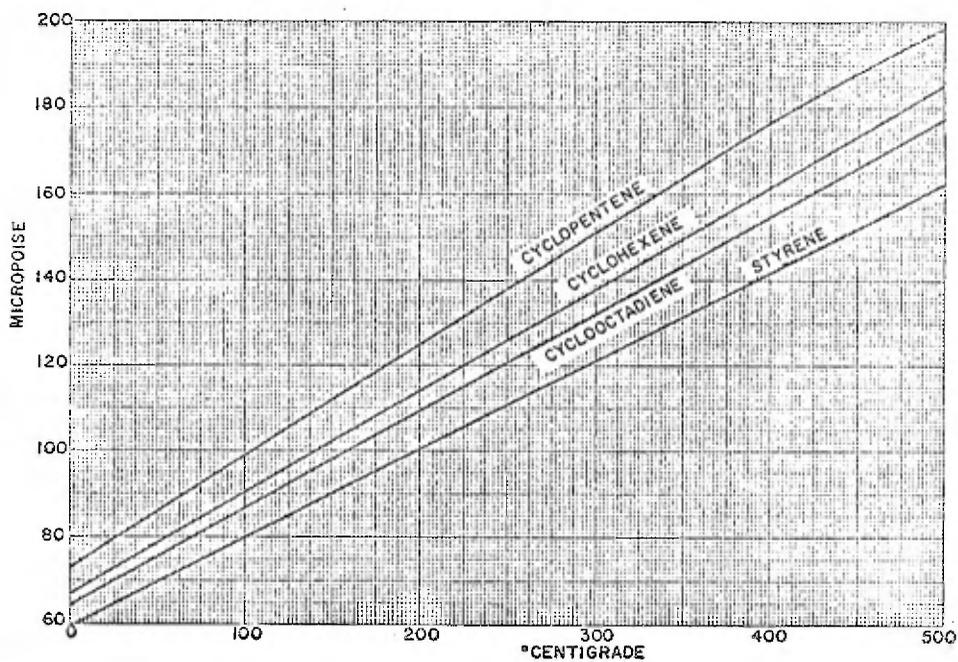
XL.1.- Hidrocarburos cíclicos. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 74, 131, 178.



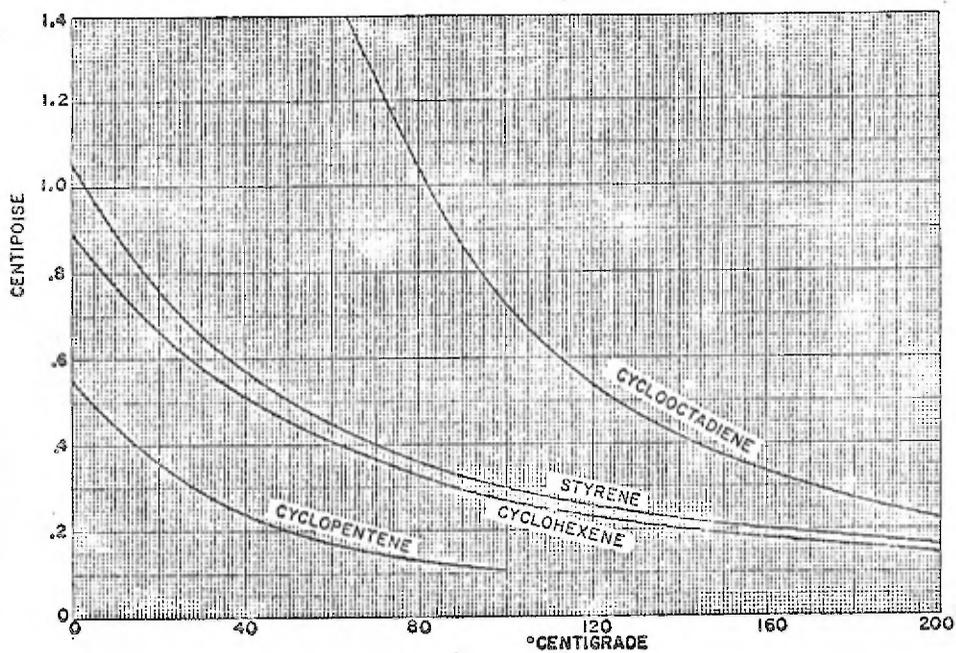
XL.2.- Líquido de -80 a +120° C.

Referencias: 75, 131, 178.



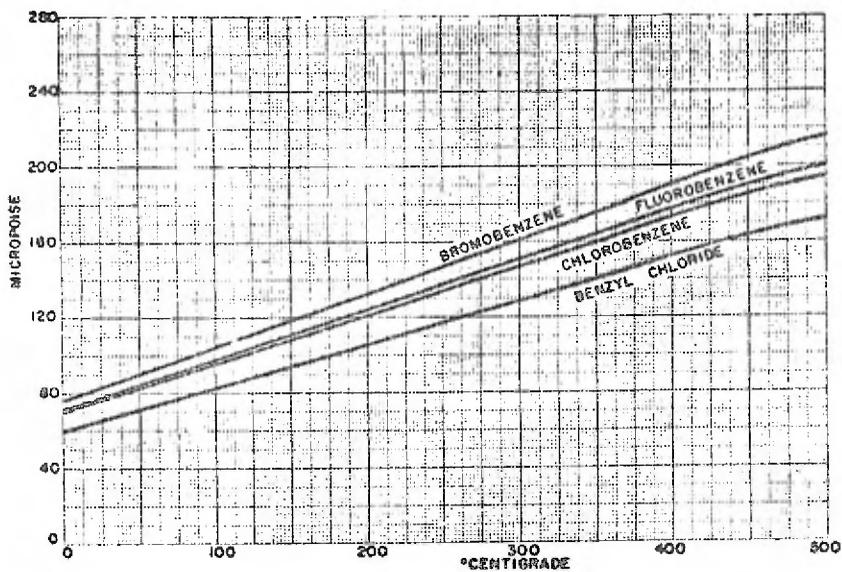
XII.1.- Varios compuestos cíclicos. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 76, 116.



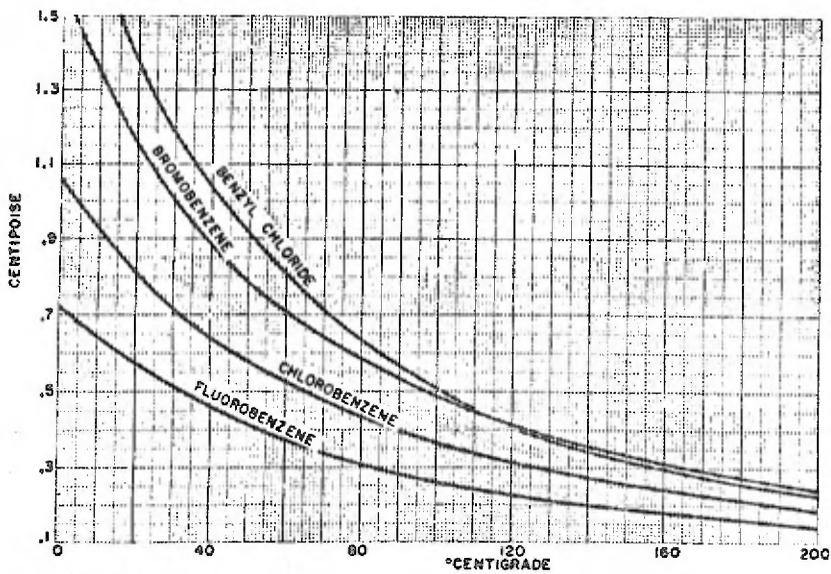
XLI.2.- Líquido de 0 a +200° C.

Referencias: 76, 116.



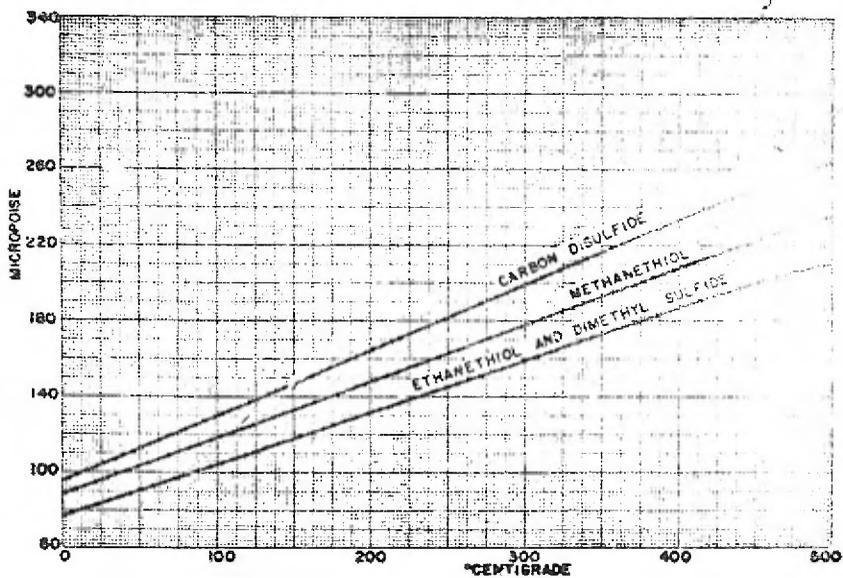
XLIII.1.- Compuestos aromáticos halogenados. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 77, 127, 148.



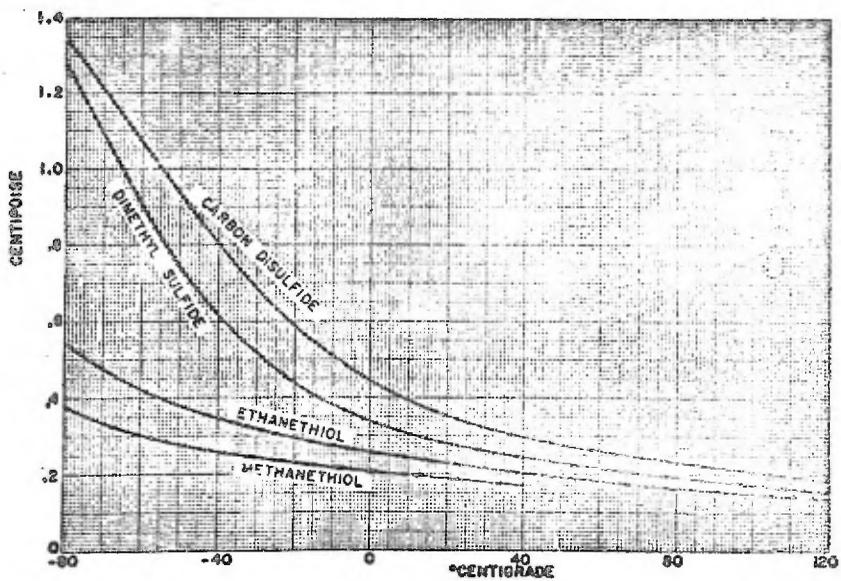
XLII.2.- Líquido de 0 a +200° C.

Referencias: 77, 127, 148.



XLIII.1.- Hidrocarburos sulfurados. Vapor de 0 a +500° C.

Referencias: 78, 148, 174.



XLIII.2.- Líquido de -80 a +120° C.

Referencias: 78, 148, 174.

#### 2.4.- TABLAS

Tabla 2.4.1.- Factores de Conversión para Viscosidad

To obtain Multiply, by	$\frac{\text{lb} \times \text{sec}}{\text{ft}^2}$	$\frac{\text{lbm}}{\text{ft} \times \text{sec}}$	$\frac{\text{lbm}}{\text{hr} \times \text{ft}}$	$\frac{\text{lb} \times \text{hr}}{\text{ft}^2}$	$\frac{\text{g}}{\text{(poise)}}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{sec}}$
$\frac{\text{lb} \times \text{sec}}{\text{ft}^2}$	1	$\frac{980.665}{30.48}$ = 32.174 048 6	$\frac{980.665 \times 3 600}{30.48}$ = 115 826.575	$\frac{1.0}{3 600}$ = 0.000 277 777 778	$\frac{980.665 \times 453.592 37}{30.48^2}$ = 478.802 590	$\frac{980.665 \times 453.592 37}{10 \times 30.48^2}$ = 47.880 259 0
$\frac{\text{lbm}}{\text{ft} \times \text{sec}}$	$\frac{30.48}{980.665}$ = 0.031 080 950 2	1	3 600	$\frac{30.48}{980.665 \times 3 600}$ = 8.633 597 27 $\times 10^{-6}$	$\frac{453.592 37}{30.48}$ = 14.881 639 4	$\frac{453.592 37}{304.8}$ = 1.488 163 94
$\frac{\text{lbm}}{\text{hr} \times \text{ft}}$	$\frac{30.48}{980.665 \times 3 600}$ = 8.633 597 27 $\times 10^{-6}$	$\frac{1.0}{3 600}$ = 0.000 277 777 778	1	$\frac{30.48}{980.665 \times 3 600^2}$ = 2.398 221 46 $\times 10^{-9}$	$\frac{453.592 37}{30.48 \times 3 600}$ = 0.004 133 788 73	$\frac{453.592 37}{304.8 \times 3 600}$ = 0.000 413 378 873
$\frac{\text{lb} \times \text{hr}}{\text{ft}^2}$	3 600	$\frac{980.665 \times 3 600}{30.48}$ = 115 826.575	$\frac{980.665 \times 3 600^2}{30.48}$ = 416 975 669	1	$\frac{980.665 \times 453.592 37}{30.48^2/3 600}$ = 1 723 689.32	$\frac{980.665 \times 453.592 37}{30.48^2 \times 10/3 600}$ = 172 368.932
$\frac{\text{g}}{\text{(poise)}}$	$\frac{30.48^2}{980.665 \times 453.592 37}$ = 0.002 088 543 42	$\frac{30.48}{453.592 37}$ = 0.067 196 897 5	$\frac{3 600 \times 30.48}{453.592 37}$ = 241.908 831	$\frac{30.48^2/3 600}{980.665 \times 453.592 37}$ = 5.801 509 51 $\times 10^{-7}$	1	0.1
$\frac{\text{kg}}{\text{m} \times \text{sec}}$	$\frac{10 \times 30.48^2}{980.665 \times 453.592 37}$ = 0.020 885 434 2	$\frac{304.8}{453.592 37}$ = 0.671 968 975	$\frac{10 \times 3 600 \times 30.48}{453.592 37}$ = 2 419.088 31	$\frac{10 \times 30.48^2/3 600}{980.665 \times 453.592 37}$ = 5.801 509 51 $\times 10^{-6}$	10	1

234

Todos los valores dados en los quebrados son exactos.

Ejemplo:  $1 \text{ lb} \times \text{seg}/\text{ft}^2 = 32.174 048 6 \text{ lbm}/(\text{ft} \times \text{seg})$

$1 \text{ poise} = 1 \text{ p} = 1 \text{ g}/\text{cm} \times \text{seg} = 1 \text{ dina} \times \text{seg}/\text{cm}^2 = 0.1 \text{ Kg}/\text{m} \times \text{seg} = 0.1 \text{ Newton} \times \text{seg}/\text{m}^2 = 0.1 \text{ Pascal} \times \text{seg}$

Tabla. 2.4.2.- Factores de Conversión para Viscosidad Cinemática (Área/tiempo)

o obtain multiply, by	$\frac{\text{ft}^2}{\text{sec}}$	$\frac{\text{ft}^2}{\text{hr}}$	$\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}$ (stoke)	$\frac{\text{cm}^2}{\text{hr}}$	$\frac{\text{m}^2}{\text{hr}}$
$\frac{\text{ft}^2}{\text{sec}}$	1	3 600	$(30.48)^2$ = 929.030 4	$(30.48)^2 \times 3 600$ = 3 344 509.440 000	$(0.304 8)^2 \times 3 600$ = 334.450 944 000
$\frac{\text{ft}^2}{\text{hr}}$	$\frac{1.0}{3 600}$ = 2.777 777 78 $\times 10^{-4}$	1	$\frac{(30.48)^2}{3 600}$ = 0.258 064	$(30.48)^2$ = 929.030 4	$(0.304 8)^2$ = 0.092 903 04
$\frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}$	$\frac{1.0}{(30.48)^2}$ = 0.001 076 391 04	$\frac{3 600}{(30.48)^2}$ = 3.875 007 75	1	3 600	$\frac{3 600}{(100)^2}$ = 0.36
$\frac{\text{cm}^2}{\text{hr}}$	$\frac{1.0}{(30.48)^2 \times 3 600}$ = 2.989 975 12 $\times 10^{-7}$	$\frac{1.0}{(30.48)^2}$ = 0.001 076 391 04	$\frac{1.0}{3 600}$ = 0.000 277 777 778	1	$\frac{1.0}{(100)^2}$ = 0.000 1
$\frac{\text{m}^2}{\text{hr}}$	$\frac{1.0}{(0.304 8)^2 \times 3 600}$ = 2.989 975 12 $\times 10^{-2}$	$\frac{1.0}{(0.3048)^2}$ = 10.763 910 4	$\frac{(100)^2}{3 600}$ = 2.777 777 78	$(100)^2$ = 10 000	1

Todos los valores dados en los quebrados son exactos

Ejemplo:  $1 \text{ ft}^2/\text{seg} = 3600 \text{ ft}^2/\text{hr}$

TABLA 2.4.3

VALORES PARA CONVERTIR VISCOSIDAD CINEMATICA A VISCOSIDAD U.S.

Kinematic Viscosity, centistokes	Equivalent Saybolt Universal Viscosity, sec.			Kinematic Viscosity, centistokes	Equivalent Saybolt Universal Viscosity, sec.		
	At 100 F (Basic Values, see Note)	At 130 F	At 210 F		At 100 F (Basic Values, see Note)	At 130 F	At 210 F
2	32.6	32.7	32.8	31	145.3	145.6	146.3
2.5	34.4	34.5	34.6	32	149.7	150.0	150.8
3	36.0	36.1	36.3	33	154.2	154.5	155.3
3.5	37.6	37.7	37.9	34	158.7	159.0	159.8
4	39.1	39.2	39.4	35	163.2	163.5	164.3
4.5	40.7	40.8	41.0				
5	42.3	42.4	42.6				
6	45.5	45.6	45.8	36	167.7	168.0	168.9
7	48.7	48.8	49.0	37	172.2	172.5	173.4
8	52.0	52.1	52.4	38	176.7	177.0	177.9
9	55.4	55.5	55.8	39	181.2	181.5	182.5
10	58.8	58.9	59.2	40	185.7	186.1	187.0
11	62.3	62.4	62.7	41	190.2	190.6	191.5
12	65.9	66.0	66.4	42	194.7	195.1	196.1
13	69.6	69.7	70.1	43	199.2	199.6	200.6
14	73.4	73.5	73.9	44	203.8	204.2	205.2
15	77.2	77.3	77.7	45	208.4	208.8	209.9
16	81.1	81.3	81.7	46	213.0	213.4	214.5
17	85.1	85.3	85.7	47	217.6	218.0	219.1
18	89.2	89.4	89.8	48	222.2	222.6	223.8
19	93.3	93.5	94.0	49	226.8	227.2	228.4
20	97.5	97.7	98.2	50	231.4	231.8	233.0
21	101.7	101.9	102.4	55	254.4	254.9	256.2
22	106.0	106.2	106.7	60	277.4	277.9	279.3
23	110.3	110.5	111.1	65	300.4	301.0	302.5
24	114.6	114.8	115.4	70	323.4	324.0	325.7
25	118.9	119.1	119.7				
26	123.3	123.5	124.2	Over 70.	Saybolt sec- onds = cen- tistokes X 4.620	Saybolt sec- onds = cen- tistokes X 4.629	Saybolt sec- onds = cen- tistokes X 4.632
27	127.7	127.9	128.6				
28	132.1	132.4	133.0				
29	136.5	136.8	137.5				
30	140.9	141.2	141.9				

Nota: Para obtener la viscosidad universal Saybolt equivalente a la viscosidad cinemática, determinada a t °F, multiplicar la equivalente viscosidad Universal Saybolt a 100 °F por 1 + (t-100) x 0.000064; por ejemplo: 10 centistokes a 210 °F equivalen a 58.8 x 1.0070 = 59.2 segundos universal Saybolt a 210 °F.

CAPITULO 3

CONCLUSIONES

Quando es necesario conocer la viscosidad para cálculos en ingeniería, siempre lo más recomendable es tener datos experimentales de dicha viscosidad; pero esto en muchas ocasiones no es posible, siendo entonces muy conveniente el uso de correlaciones, nomogramas o gráficas que permitirán calcularla con bastante exactitud dependiendo del método que se use.

A continuación se presenta una tabla comparativa de los métodos expuestos anteriormente, en la que se tomaron en cuenta las siguientes características:

- 1.- Precisión
- 2.- Areas de aplicación
- 3.- Facilidad de uso

Según esto, dichos métodos se clasificaron en:

- a.- Método muy bueno (MB)
- b.- Método bueno (B)
- c.- Método regular (R)
- d.- Método malo (M)

Obviamente, los métodos más recomendables son los correspondientes a los dos primeros en la clasificación anterior; los que queden dentro de los dos segundos solo deberán emplearse cuando no haya posibilidad de emplear un método mejor o cuando se desee una estimación rápida y poco precisa.

TABLA COMPARATIVA

1.- Correlaciones

a.- Líquidos

CLAVE	% DE ERROR	AREAS DE APLICACION	OBSERVACIONES
2.1.1 (B)	ep 10 %	Líquidos	No es recomendable para agua, fenol y comp. altamente halogenados.
2.1.2 (MB)	ep 5 %	Líquidos	No es recomendable para el benceno y haluros de alquilo.
2.1.3.a (MB)	-----	Líquidos a presiones menores de 2000 atm.	Para el mercurio monoatómico la presión debe ser inferior a 1200 atm.
2.1.3.b (MB)	ep = 1.2%	Líquidos poco polares y muy polares.	Ecuación muy recomendable para conocer el efecto de la T en la $L^o$ . Se necesitan conocer dos valores de $L^o$ .
2.1.4 (MB)	-----	Líquidos orgánicos, sales fundidas, aceites minerales y metales líquidos.	No es recomendable para agua y alcoholes terciarios.
2.1.5 (B)	-----	Líquidos	Exacta para estimación de viscosidades en rangos amplios de temperatura.
2.1.6 (M)	10 - 25 %	Hidrocarburos parafínicos.	Sumamente difícil de aplicar.

continuación TABLA COMPARATIVA

CLAVE	% DE ERROR	AREAS DE APLICACION	OBSERVACIONES
2.1.7 (MB)	2 - 7 %	Parafinas normales, benceno, isobutano, 1-buteno, metilciclopentano, agua, mercurio y alcohol metílico.	Aplicable en rangos amplios de temperatura.
2.1.8 (MB)	0.3 - 0.9%	Agua	Aplicable a temperaturas entre 5 y 70 °C.
2.1.9 (MB)	4 - 8 %	Líquidos orgánicos	Solo es necesario conocer el peso molecular.
2.1.10 (R)	ep = 30 %	Líquidos puros a cualquier temperatura.	No es recomendable para hidrocarburos con más de veinte átomos de carbono.

b.- Gases

2.1.11 (B)	ep 2- 3 %	Gases puros no polares y simétricos.	Aplicable en rangos amplios de temperatura.
2.1.12 (B)	ep = 4.4% em = 15 %	Gases y vapores a cualquier T y presiones bajas.	No es recomendable para hidrógeno y helio.
2.1.13 (B)	ep = 5 %	Gases	Es una modificación de la ecuación de Bromley y Wilke.

continuación TABLA COMPARATIVA

CLAVE	% DE ERROR	AREAS DE APLICACION	OBSERVACIONES
2.1.14 (B)	em = 5.1 %	Gases que pueden considerarse ideales.	-----
2.1.15 (R)	-----	Gases a alta presión	Solo se puede aplicar si se conoce la viscosidad del mismo gas a baja presión y a la misma temperatura. Aplicable a mezclas gaseosas si se trabaja con prop. pseudocríticas.
2.1.16 (B)	-----	Gases abajo de la presión crítica.	Se trata de una extrapolación por temperatura.
c.- Mezclas			
2.1.17.a (R)	-----	Mezclas binarias de líquidos inmiscibles.	Correlación muy exacta si la fracción en volumen de la fase dispersa no es mayor de 0.03.
2.1.17.b (B)	-----	Líquidos poco polares.	Ecuación muy exacta especialmente en los límites extremos de concentración.
2.1.17.c (R)	-----	Líquidos no iónicos y no asociados.	Ecuación exacta mientras mayor es la diferencia entre las

Continuación TABLA COMPARATIVA

CLAVE	% DE ERROR	AREAS DE APLICACION	OBSERVACIONES
			masas moleculares y las viscosidades de los componentes.
2.1.17.d (B)	-----	Mezclas de un líquido orgánico en otro líquido orgánico o en agua.	Ecuación muy exacta.
2.1.18.a (R)	-----	Mezclas solido-líquido	Aplicable en soluciones acuosas de sales con una fracción en peso de la sal menor a 30 %.
2.1.18.b (R)	-----	Mezclas sólido-líquido.	Aplicables en suspensiones.
2.1.19.a (MB)	ep = 0.9 - 2.2 %	Mezclas de vapores	Método más exacto para mezclas de vapores.
2.1.19.b (B)	ep = 1.9%	Mezclas multicomponentes de vapores.	Presenta la ventaja de que se puede conocer la viscosidad de la mezcla conociendo la viscosidad de los componentes puros.
2.1.20 (B)	ep = 1.9 %	Mezclas multicomponentes de vapores.	Especialmente recomendable para mezclas de hidrocarburos. No es recomendable en mezclas binarias

continuación TABLA COMPARATIVA

CLAVE	% DE ERROR	AREAS DE APLICACION	OBSERVACIONES
2.1.21 (R)	-----	Mezclas multicomponentes gaseosas a temperaturas altas.	con más de 25 % de hidrógeno. Es necesario conocer los coeficientes de difusión binaria y las viscosidades de los componentes puros.

C A P I T U L O 4

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

- 1.- Agaev, N.A. & I.F. Golubev.- Gazavaya Prom.-  
Voã. 8.- p. 45.- (1963).
- 2.- Albright, L.F. & K.K. Innes.- Petroleum Refiner.-  
Vol. 36.- No. 12.- pp. 155-8.  
(Dec. 1957).
- 3.- Albright, L.F. & J. Lohrenz.- A.I.C.H.E. Journal.-  
Vol. 2.- p. 290.- (1956).
- 4.- Amdur, I. & E.A. Mason.- Phys. Fluids.- Vol. 1.-  
p. 370.- (1958).
- 5.- Amdur, I. & T.F. Schatzki.- Journal of Chem. Phys.-  
Vol. 27.- p. 1049.- (1957).
- 6.- Andrade, E.N. da C.- Phil. Mag.- Vol. 17.- p. 497.  
(1934).
- 7.- A.P.I. Research Project 44.
- 8.- A.S.T.M. Standard Viscosity Temperature Charts for  
Liquid Petroleum Products (D 341-  
39).- Cahrt A.- Saybolt.
- 9.- A.S.T.M. Standard Viscosity Temperature Cahrts for  
Liquid Petroleum Products (D 341-  
39).- Cahrt D.- Saybolt.
- 10.- Baly, E.C. & F.G. Donnan.- J. Chem. Soc.- Vol. 81.-  
p. 907.- (1902).
- 11.- Baron, J.D. & L.G. Roof & F.W. Wells.- J. Chem. Eng.  
Data.- Vol. 4.- p. 293.- (1959).
- 12.- Baron, J.D. & L.G. Roof.- J. Chem. Eng. Data.- Vol.  
3.- (1958).
- 13.- Boas, A.- Ind. Eng. Chem.- Vol. 40.- pp. 2202-03.-  
(Nov. 1948).
- 14.- Bondi, A.- Petroleum Refiener.- (July 1958).
- 15.- Brebach, W.J. & G. Thodos.- Vol. 50.- No. 7.- pp.  
1095 - 1100.- (Julio 1958).
- 16.- Bridgman, P.W.- "The Physics of High Pressure".-  
Chapt. 12.- G. Bell & Sons.-  
London.- (1949).

- 17.- Bridgman, P.W.- Journal of Physical Chemistry.-  
Vol. 65.- (1959).
- 18.- Bromley, L.A. & C.R. Wilke.- Ind. Eng. Chem.-  
Vol. 43.- (1941).
- 19.- Bromley, L.A. & L.R. Wilke.- Ind. Eng. Chem.-  
Vol. 43.- pp. 1642-48.-  
(1951).
- 20.- Brown, G.G. & Asso.- "Unit Operations".- Apén-  
dice.- John Wiley & Sons. Inc.-  
N.Y.- (1965).
- 21.- Brush, S.G.- Chem. Revs.- Vol. 62.- p. 513.-  
(1962).
- 22.- Buddenburg, J.W. & C.R. Wilke.- Ind. Eng. Chem.-  
Vol. 41.- p. 1345.- (1951).
- 23.- Carmichael, L.T., U.M. Berry & B.H. Sage.- J.  
Chem. Eng. Data.- Vol. 16.-  
p. 57.- (1965).
- 24.- Champan, S. & T.G. Cowling.- "Mathematical Theory  
of Non-Uniform Gases".- Camb-  
ridge University Press.- (1939).
- 25.- Coming, E.W. & R.S. Egly.- Ind. Eng. Chem.- Vol.  
32.- p. 714.- (1940).
- 26.- Davis, D.S.- Ind. Eng. Chem.- Vol. 34.- p. 1232.-  
(1942).
- 27.- Davis, D.S.- Chem. Eng.- p. 142.- (July 1951).
- 28.- Davis, D.S.- "Nomography & Empirical Equations".-  
Reinhold.- N.Y.- Chapt. 10.-  
(1955).
- 29.- Davis, D.S.- Petr. Refiner.- Vol. 38.- No. 1.-  
p. 216.- (1959).
- 30.- Davis, D.S.- "Chemical Processing Nomographs".-  
Unidad 1.- Chemical Publishing  
Co.- N.Y.- (1960).
- 31.- Davis, D.S.- British Chem. Eng.- Vol. 12.- no. 4.  
p. 587.- (April, 1967).
- 32.- Davis, D.S.- British Chemical Engineering.- p. 294.  
Vol. 12.- (1967).

- 33.- Davis, D.S.- British Chemical Engineering.- Vol. 12.  
No. 4.- p. 587.- (1967).
- 34.- Devore, A.- Chemical Engineering.- p. 210.- (abril  
1964).
- 35.- Fox, J.W., & A. Ch. Smith.- J. Chem. Phys.- Vol. 33.  
p. 623.- (1960).
- 36.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 1.- Methane, Ethane, Propane,  
Butane.- Hydroc. Process.- V. 44.  
No. 7.- 95-103.- (julio de 1965).
- 37.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 2.- C<sub>2</sub> to C<sub>4</sub> Monoolefins.-  
Hydroc. Process.- V. 44.- No. 8.-  
127-133.- (Agosto de 1965).
- 38.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 3.- C<sub>2</sub> to C<sub>4</sub> Alkynes.- Hydroc.  
Process.- V. 44.- No. 9.- 225-  
231.- (Septiembre de 1965).
- 39.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 4.- C<sub>2</sub> to C<sub>4</sub> Diolefinas.-  
Hydroc. Process.- V. 44.- No. 10.-  
151-156.- (octubre de 1965).
- 40.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 5.- Clorinated Methanes.-  
Hydroc. Process.- V. 45.- No. 3.-  
161-169.- (Marzo de 1966).
- 41.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 6.- Clorinated Ethylenes.-  
Hydroc. Process.- V. 45.- No. 4.-  
157-160.- (Junio de 1966).
- 42.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 7.- Clorinated Aliphatics.-  
Hydroc. Process.- V. 45.- No. 7.-  
11-118.- (Julio de 1966).

- 43.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 8.- Primary Alcohols.-  
Hydroc. Process.- V. 45.- No. 10.-  
171-183.- (Octubre de 1966).
- 44.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 10.- C<sub>3</sub> to C<sub>4</sub> Alcohols.-  
Hydroc. Process.- V. 46.- No. 1.-  
183-190.- (Enero de 1967).
- 45.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 10.- Miscellaneous Alcohols.-  
Hydroc. Process.- V. 46.- No. 2.-  
133-139.- (Febrero de 1967).
- 46.- Gallant, R.W. "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 12.- C<sub>2</sub> to C<sub>4</sub> Oxides.- Hydroc.  
Process.- V. 46.- No. 3.- 143-  
150.- (Marzo de 1967).
- 47.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 13.- Ethylene Glycols.-  
Hydroc. Process.- No. 4.- 183-196.  
(Abril de 1967).
- 48.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 14.- Propylene Glycols and  
Glycerine.- V. 46.- NO. 5.- 201-  
215.- (Mayo de 1967).
- 49.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 15.- C<sub>5</sub> to C<sub>8</sub> Alkanes.- Hydroc.  
Process.- V. 46.- No. 7.- 121-129.  
(Julio de 1967).
- 50.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 16.- C<sub>5</sub> to C<sub>8</sub> Alkenes.-  
Hydroc. Process.- V. 46.- No. 8.-  
135-148.- 'Agosto de 1967).
- 51.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 17.- C<sub>4</sub> to C<sub>5</sub> Branched Hydrocar-  
bons.- Hydroc. Process.- V. 46.-  
No. 9.- 155-163.- (Septiembre de 1967).

- 52.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
 Pte. 18.-  $C_6$  to  $C_8$  Branched  
 Hydrocarbons.- Hydroc. Process.-  
 V. 46.- No. 10.- 135-141.-  
 (Octubre de 1967).
- 53.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
 Pte. 19.- Chlorinated  $C_2$ 's.-  
 Hydrocarbon Process.- V. 46.-  
 No. 12.- 119-125.- (Diciembre de  
 1967).
- 54.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
 Pte. 20.- Halogenated Methanes.-  
 Hydroc. Process.- V. 47.- No. 1.-  
 135-142.- (Enero de 1968).
- 55.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
 Pte. 21.- Halogenated Hydrocarbons.  
 Hydroc. Process.- V. 47.- No. 2.-  
 (Febrero de 1968).
- 556- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
 Pte. 22.- Fluorinated Hydrocarbons.  
 Hydroc. Process.- V. 47.- No. 3.-  
 89-95.- (Marzo de 1968).
- 57.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
 Pte. 23.- Brominated Hydrocarbons.  
 Hydroc. Process.- V. 47.- NO. 4.-  
 128-136.- (Abril de 1968).
- 58.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
 Pte. 24.-  $C_1$  to  $C_4$  Aldehydes.-  
 Hydroc. Process.- V. 47.- No. 5.-  
 151-160.- (Mayo de 1968).
- 59.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
 Pte. 25.-  $C_1$  to  $C_4$  Acids.- Hydroc.  
 Process.- V. 47.- No. 6.- 139-  
 148.- (Junio de 1968).
- 60.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-

- Pte. 26.- Miscellaneous Aldehydes.  
Hydroc. Process.- V. 47.- No. 7.-  
141-148.- (Julio de 1968).
- 61.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 27.- Ketones.- Hydroc. Process.  
V. 47.- NO. 8.- 127-136.- (Agos-  
to de 1968).
- 62.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 28.- Ethers.- Hydroc. Process.  
V. 47.- No. 9.- 269-276.- (Sep-  
tiembre de 1968).
- 63.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 29.- Acetates.- Hydroc, Pro-  
cess.- Vol. 47.- No. 10.- 115-  
121.- (Octubre de 1968).
- 64.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 30.- Acrylates.- Hydroc.  
Process.- Vol. 47.- No. 11.- 223-  
228.- (Noviembre de 1968).
- 65.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 31.- Esters.- Hydroc. Process.  
Vol. 47.- No. 12.- 89-96.- (Di-  
ciembre de 1968).
- 66.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 32.- Cyclic Ethers.- Hydroc.  
Process.- Vol. 48.- No. 1.- 153-  
160.- (Enero de 1969).
- 67.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 33.- Methylamines.- Hydroc.  
Process.- Vol. 48.- No. 4.- 151-  
160.- (Abril de 1969).
- 68.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 34.- Ethylamines.- Hydroc.  
Process.- Vol. 48.- No. 5.- 143-  
151.- (Mayo de 1969).

- 69.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 35.- Miscellaneous Amines.-  
Hydroc. Process.- Vol. 48.- No. 6.  
146.- (Junio de 1969).
- 70.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 36.- Nitriles.- Hydroc.  
Process.- Vol. 48.- No. 7.- 139-  
141.- (Julio de 1969).
- 71.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 37.- Nitrogen Containing Com-  
pounds.- Hydroc. Process.- Vol. 48.  
No. 8.- 122-126.- (Agosto de 1969).
- 72.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 38.- Miscellaneous Nitrogen  
Compounds.- Hydroc. Process.- Vol.  
48.- No. 9.- 203-209.- (Septiem-  
bre de 1969).
- 73.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 39.- Benzene Compounds.-  
Hydroc. Process.- Vol. 48.- No.  
11.- 265-270.- (Noviembre de 1969).
- 74.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 40.- Toluene and Xylenes.-  
Hydroc. Process.- Vol. 48.- No.  
12.- 115-120.- (Diciembre de 1969).
- 75.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 41.- Cyclic Hydrocarbons.-  
Hydroc. Process.- V. 49.- No. 1.-  
139-141.- (Enero de 1970).
- 76.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 42.- Miscellaneous Cyclic  
Hydrocarbons.- Hydroc. Process.-  
V. 49.- No. 2.- 116-118.- (Febre-  
ro de 1970).

- 77.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 43.- Halogenated Aromatics.-  
Hydroc. Process.- V. 49.- No. 3.-  
135-137.- (Marzo de 1970).
- 78.- Gallant, R.W.- "Physical Properties of Hydrocarbons".-  
Pte. 44.- Sulfur Containing Com-  
pounds.- Hydroc. Process.- V. 49.  
No. 4.- 132-138.- (Abril de 1970).
- 79.- "Gas Engineers Handbook".- The Industrial Press.- 1st  
edition.- N.Y.- 1966.
- 80.- Gambill, W.R.- Ind. Eng. Chem.- 169-172.- (Septiem-  
bre de 1958).
- 81.- Gambill, W.R.- Chemical Engineering.- 157-160.-  
(No. 17, 1958).
- 82.- Gambill, W.R.- Chemical Engineering.- 157-160.-  
(Octubre 20, 1958).
- 83.- Gambill, W.R.- Chemical Engineering.- p. 123.-  
(Febrero 9, 1959).
- 84.- Gambill, W.R.- Chemical Engineering.- p. 296.-  
(Diciembre, 1960).
- 85.- Gegg, D.G.- British Chemical Engineering.- Vol. 10.  
No. 12.- 850-851.- (1965).
- 86.- Glasstone, S., Laidler, K.G. & E. Eyring.- "The  
Theory of Rate Processes".- Mc  
Graw Hill Book Co, Inc.- N.Y.-  
(1943).
- 87.- González, M.H.- A.I.C.H.E. Journal.- Vol. 14.-  
No. 2.- 2242-48.- (March, 1968).
- 88.- Grunberg, E. & A.H. Nissan.- Ind. Eng. Chem.-  
Vol. 32.- p. 714.- (1940).
- 89.- Hill, J.B. & H.B. Coats.- Ind. Eng. Chem.- Vol. 20.  
p. 641.- (1928).
- 90.- Hirschfelder, J.O., Bird, R.B. & E.L. Spatz.- Chem.  
Revs.- Vol. 45.- (1950).

- 91.- Hirschfelder, J.O. , Bird, R.B. & E.L. Spatz.-  
"Molecular Theory of Gases and  
Liquids".- Wiley.- N.Y.-  
(1954).
- 92.- Hirschfelder, J.O. & E.L. Spatz.- Chemical Rev.-  
Vol. 45.- (1950).
- 93.- Hodgman, L.D.- "Handbook of Chemistry and Physics".-  
ed. 44.- Chemical Rubber Publ-  
ishing Co.- p. 2264.- Cleveland.-  
(1962).
- 94.- Holmes, J.Y. & M.G. Baerns.- Chemical Engineering.-  
p. 103.- (Mayo 24, 1965).
- 95.- Hougen, O.A. & K.M. Watson.- "Chemical Process  
Principles".- John Wiley & Sons.-  
N.Y.- (1950).
- 96.- Huang, C. & A.L. Johnson.- Petroleum Refineering.-  
Vol. 38.- No. 5.- pp. 227-226.-  
(May, 1959).
- 97.- Huang, E.T.S., Swift, G.W. & F. Kurata.- A.I.C.H.E.  
Journal.- Vol. 13.- No. 5.- pp.  
846-849.- (Septiembre, 1967).
- 98.- Ibrahim, S.H. & M.R. Kuloor.- Chemical Engineering.-  
(December 5, 1960).
- 99.- I.C.T.- "International Critical Tables". 1926/30.-  
7 Vols.- Mc Graw Hill Book Co. Inc.  
N.Y.
- 100.- Johnson, A.L., Huang, C., Barry, T.W., Kemp, J.D. &  
E.A.L. Laverger.- Chemical Engin-  
eering of Canada.- 23-29.-  
(August 1954).
- 101.- Johnson, A.L. & K.K. Innen.- Petroleum Refiner.-  
Vol. 61.- No. 12.- 195-196.-  
(December, 1954).

- 102.- Kendall, J. & K.D. Moore.- Journal of American  
Chemical Society.- (1917).
- 103.- "Ketones".- Product Bulletin of Union Carbide  
Corporation.-
- 104.- Kharbanda, P.O.- The Industrial Chemist.- 124-127.  
(March, 1955).
- 105.- Klibanova, T.M., Ponerantsev, U.V. & D.S. Frank.-  
J. Tech. Phys.- Vol. 12.- p. 14.  
U. S.S.R.- (.942).
- 106.- Kobe, K.A.- Petroleum Refiner.- Vol. 30.- pp. 131-  
134.- (1951).
- 107.- Kobe, K.A. & H.R. Kobe.- Petroleum Refiner.- Vol.  
37.- No. 7.- 125-1230.- (1958).
- 108.- Kobe, K.A. & E.G. Long.- Petroleum Refiner.- Vol.  
29.- No. 3.- 157-162.- (1950).
- 109.- Lange, N.A. ed.- Handbook of Chemistry.- Handbook  
Publishers, Inc.- Sandusky, Ohio.
- 110.- Licht, W. Jr. & D.G. Stetchert.- Journal of Physical  
Chemistry.- Vol. 44.- 23-47.-  
(1944).
- 111.- Licht, W. & D.G. Stetchert.- J. Phys. Chem.- Vol.  
45.- p. 28.- (1945).
- 112.- Lockhardt, F.J. & J.M. Lenoir.- Hydroc. Process.-  
Vol. 40.- No. 3.- 209-210.- (1961).
- 113.- Lohrenz, J.- Petroleum Refiner.- Vol. 35.- No. 11.-  
p. 169.- (1956).
- 114.- Mapstone, G.E.- Chem. Ind.- Vol. 62.- p. 812.-  
(1948).
- 115.- Marin, J.J.- Journal of Chemical Engineering Data.-  
Vol. 5.- No. 3.- 334-336.- (1960).
- 116.- Mason, E.A. & H. Von Ubisch.- Ibid. 3.- p. 355.-  
(1960).
- 117.- Mason, D.M. et al.- Ibid 56.- 10008-10.- (1956).
- 118.- Maxwell, J.B.- Data Book of Hydrocarbons.- D. Van  
Nostrand Co inc.- Princeton, N.J.-  
(1958).

- 119.- Mc Adams, W.H.- "Heat Transmission".- 3rd.  
edition.- p. 223.- Mc Graw  
Hill Book Co. Inc.- N.Y.-  
(1954).
- 120.- Mc Cardy, K.G.- Canadian Journal of Chemistry.-  
Vol. 41.- 1867-1871.- (1963).
- 121.- Mc Coubrey, J.G. & N.M. Singh.- Journal of  
Physical Chemistry.- Vol. 67.  
pp. 517-518.- (1963).
- 122.- Mc Kelvey, F.E.- Hydrocarbon Processing & Petro-  
leum Refiner.- Vol. 43.- No. 7.  
pp. 146-148.- (julio 954).
- 123.- Meissner, H.P. & E.M. Redding.- Ind. Eng. Chem.-  
Vol. 34.- p. 521.- (1942).
- 124.- "Methylamines".- Product Bulletin of teh Comercial  
Solvents Corporation.
- 125.- "Methylamines".. Product Bulletin of the Rohm  
& Hass Company.
- 126.- Miller, D.G.- Ibid. 56.- Vol. 3.- pp. 44-57.-  
(1964).
- 127.- Montgomery, J.B. & T. de Vries.- Journal of the  
American Chemical Society.- Vol.  
64.- pp. 2375-2377.- (1942).
- 128.- Nickerson, J.K. et al.- Journal of Physical Chem-  
istry.- Vol. 65.- pp. 1037-  
1043.- (1961).
- 129.- Othmer, D.F. & S. Josefowitz.- Ind. Eng. Chem.-  
Vol. 38.- p. 111.- (1946).
- 130.- Othmer, D.F.- Correlations Viscosities of Gases  
with Temperature and Pressure.-  
Ind. Eng. Chem.- Vol. 38.- pp.  
111-116.- (1946).
- 131.- Owens, E.J. & G. Thodos.- A.I.C.H.E. Journal.-  
Vol. 6.- No. 4.- 676-681.- (1960).

- 132.- Pachaiyappan, V., Ibrahim, S/H. & N.R. Kulsoor.-  
Chemical Engineering.- p.  
140.- (Feb. 13, 1967).
- 133.- Pachaiyappan, V. & S.H. Ibrahim.- Chemical Enri-  
neering.- Vol. 74.- pp. 193-  
195.- (May 22, 1967).
- 134.- Perry, J.H.- "Chemical Engineer's Handbook".-  
p. 206.- Mc Graw Hill Book  
Co. inc.- N.Y.- (1950).
- 135.- Perry, J.H.- "Chemical Engineer's Handbook".-  
3rd edition.- pp. 372-3.- Mc  
Graw Hill Book Co. Inc.- N/Y.-  
(1950).
- 136.- Perry, J.H.- "Chemical Engineer's Handbook".-  
3rd editon.- pp. 370-1.- Mc  
Graw Hill Book Co. Inc.- N.Y.-  
(1950).
- 137.- Perry, J.H.- "Chemical Engineer's Handbook".-  
rd edition.- p. 1596.- Mc  
Graw Hill Book Co. Inc.- N.Y.-  
(1950).
- 138.- Perry, J.H.- "Chemical Engineer's Handbook".-  
3rd edition.- Mc Graw Hill.-  
N.Y.- (1950).
- 139.- "Physical Constants of Hydrocarbons C<sub>1</sub> - C<sub>10</sub>".-  
A.S.T.M. Special Technical Publi-  
cations.- No. 109 A.- (1963).
- 140.- Forges, N. & T.F. Clark.- J. Chem. Ed.- 17.-  
pp. 571-573.- (1940).
- 141.- Powell, R.E., Roseveare, W.E. & H. Eyring.- Ind.  
Eng. Chem.- Vol. 33.- p. 430.-  
(1941).
- 142.- Reed, J.F. & B.S. Rabinovitch.- Journal of Chemi-  
cal and Engineering Data.- Vol. 2.  
No. 1.- p. 75.- (1957).

- 143.- Redi, R.G. & T.K. Sherwood.- "The Properties of Gases and Liquids".- Mc Graw Hill Book Co, Inc.- N.Y. (1958).
- 144.- Redi, R.G. & T.K. Sherwood.- "The Properties of Gases and Liquids".- Mc Graw Hill Book Co. Inc.- N.Y.- (1956).
- 145.- Riddle, E.H.- "Monomeric Acrylic Esters".- Reinhold Publishing Corporation.- N.Y.- (.954).
- 146.- Rihani, D.N. & L.K. Doraiswamy.- Ind. Eng. Chem.- Fundamentals.- Vol. 4.- No. 1.- pp. 17-21.- (1965).
- 147.- Robbins, L.A. & C.L. Kingrea.- American Petroleum Institute.- Division of Refining. Vol. 42.- No. III.- pp. 52-51.- (1962).
- 148.- Rusell, H. et al.- Journal of the American Chemical Society.- Vol. 64.- pp. 165-169.- (1942).
- 149.- Sage, B.H., Yale, W.D. & W.N. Lacey.- Ind. Eng. Chem.- Vol. 31.- p. 223.- (1939).
- 150.- Sanz, M.C.- Ind. Eng. Chem.- Anal.- Ed. 5.- p. 218.- (1933).
- 151.- Saxena, S.C. & T.K.S. Barayanan.- Ind. Eng. Chem.- Vol. 1.- No. 3.- pp. 191-195.- (August, 1962).
- 152.- Scott, C.C. & H.I. Clever.- Journal of Chemical & Engineering Data.- Vol. 7.- No. 3.- pp. 393-394.- (1962).
- 153.- Scovill.- Oil and Gas Journal.
- 154.- Shefflan, L. & M.B. Jacobs.- "The Handbook of Solvents".- (compilation).- D. Van Nostrand.- N.Y.- (1953).

- 155.- Snead, C.C. & H.L. Clever.- Journal of Chemical & Engineering Data.- (1961).
- 156.- Souders, M. Jr.- Journal of American Chemical Society.- Vol. 60.- p. 154.- (1938).
- 157.- Starling, K.E.- "Liquid, Gas and Dense Fluid Viscosity of Propane".- A.I.C.H.E. Journal.- Vol. 6.- pp. 438-442. (1960).
- 158.- Steiner, L.A.- Ibid.- Analytical Ed.- Vol. 10.- pp. 582-4.- (1958).
- 159.- Stull, D.B.- Industrial & Engineering Chemistry.- Vol. 39.- pp. 512-550.- (april, 1947).
- 160.- Stull, D.B.- Journal of Chemical and Engineering Data.- Vol. 4.- pp. 311-315.- (1959).
- 161.- Swift, G.W.- "Liquid Viscosities of Methane and Propane".- A.I.C.H.E. Journal.- Vol. 5.- pp. 98-102.- (1959).
- 162.- "Synthetic Methane".- Commercial Solvents Corporation.
- 163.- Tadayon, J. et al.- J. Inst. Petrol.- Vol. 35.- p. 28.- (1949).
- 164.- Tans, A.M.P.- British Chemical Engineering.- Vol. 12.- (1967).
- 165.- Thangappan, R.- British Chemical Engineering.- Vol. 12.- No. 4.- p. 488.- (Nov. 1967).
- 166.- Timmermans, J.- Physical Chemical Constants of Pure Organic Compounds.- Ehevier Publishing Co. Inc.- N.Y.- (1956).
- 167.- Trautz, Maz, Ruf, Fritz.- Ibid.- Vol. 20.- p. 127. (1934).

- 168.- Udovenko, U.V.- Journal of General Chemistry.-  
Vol. 17.- pp. 665-668.- U.S.  
S.R.- (1947).
- 169.- Unterberg, W.- British Chemical Engineering.- p.  
494.-
- 170.- Uyehara, O.A. & K.M. Watson.- National Petroleum  
News Technical Society.- Vol.  
36.- No. B 764.- (1944).
- 171.- U.S.I.- Ethyl Ether.- Product Bulletin of U.S.  
Industrial Chemicals Co.
- 172.- Venart, J.E.S.- Journal of Chemical & Engineering  
Data.- Vol. 10.- No. 3.- pp.  
239-241.- (July, 1965).
- 173.- "Virginia Amines".- Product Bulletin of Virginia  
Chemical Inc.
- 174.- Waddington, G. et al.- Journal of Physical Chemistry.  
Vol. 66.- pp. 1074-1077.- (1962).
- 175.- Walters, C.J.- Chemical Engineering Progress.-  
Vol. 48.- pp. 337-345.- (july,  
1952).
- 176.- Watson, K/M.- Ind. Eng. Chem.- Vol. 23.- p. 364.  
(1934).
- 177.- Weintraub, M. & P.E. Corey.- Chemical Engineering  
p. 204.- (Oct. 23, 1967).
- 178.- Wiley, J.S.- Journal of Chemical & Engineering Data.-  
Vol. 5.- pp. 316-321.- (1966).
- 179.- Woolf, J. & Sibbert, W.- Industrial & Engineering.-  
Chemistry.- Vol. 46.- (1954).
- 180.- Wright, F.G.- Journal of Chemical & Engineering  
Data.- Vol. 6.- pp. 454-456.-  
(1961).
- 181.- Zalouidik, P.- Chem.- Prunyst 12.- pp. 81-83.-  
(1962).
- 182.- Cárdenas y Olalde José Luis.- "Recopilación de Mé-  
todos para la Estimación de la Ca-  
pacidad Calorífica".- Tesis.- Mé-  
xico, D.F.- (1969).

- 183.- Cornejo Lizarralde Alfonso.- "Recopilación de Método para la Estimación de Propiedades Críticas".- Tesis.- México, D.F.- (1970).
- 184.- González y Reyna Ignacio.- "Recopilación de Métodos para la Estimación de la Presión de Vapor".- Tesis.- México, D.F.- (1969).
- 185.- Herrera y Márquez Luis.- "Recopilación de Metodos para la Estimación de la Conductividad Térmica".- Tesis.- México, D.F.- (1970).
- 186.- Maure Ezeta Carlos R.- "Recopilación de Métodos para la Estimación de la Densidad". Tesis.- México, D.F.- (1969).
- 187.- Rasso Sánchez Fco. Manuel.- "Recopilación de Métodos para la Estimación del Calor Latente de Vaporización".- Tesis.- México, D.F.- (1970).

INDICE

	Página
CONTENIDO	1
CAPITULO 1.- GENERALIDADES	2 - 8
1.1.- Introducción	3
1.2.- Definiciones y Unidades	4 - 6
1.3.- Conceptos Generales	7 - 8
CAPITULO 2.- METODOS DE ESTIMACION	9 - 236
2.1.- Correlaciones	10 - 65
2.1.1.- Metodo de Souders	12 - 14
2.1.2.- Correlación de Thomas	15 - 16
2.1.3.- Metodo de Andrade	17 - 20
2.1.4.- Modificación de Andrade	21
2.1.5.- Correlación de Powell, Rosevears y Eyring	22
2.1.6.- Método de Albright y Lohrenz	23
2.1.7.- Correlación de Innes	24 - 28
2.1.8.- Correlación de Davis y Eckhardt	29
2.1.9.- Correlación de Pachaiyappan, Ibrahim y Kuloor	30 - 37
2.1.10.- Método de Mínimos Cuadrados	38
2.1.11.- Método de Hirschfelder	39 - 40
2.1.12.- Método de Bromley y Wilke	41 - 43
2.1.13.- Correlación de Gambill	44
2.1.14.- Método de Mc Kelvey	45 -47
2.1.15.- Viscosidad de Gases a Alta Presión	48 - 49
2.1.16.- Extrapolación por Temperatura	50 - 51
2.1.17.- Viscosidad de Mezclas Binarias de Líquidos	52 - 54
2.1.18.- Viscosidad de Mezclas Sólido- Líquido	55 - 56

	Página
2.1.19.- Métodos de Buddenburg, Bromley y Wilke	57 - 62
2.1.20.- Método de Herning y Zipperer	63
2.1.21.- Método de Chapman y Enskog	64 - 65
2.2.- Nomogramas	66 - 119
2.2.1.a.- Nomograma de Chen-Ung Huang, Johnson y Czerny	68 - 70
2.2.1.b.- Nomograma de Souders	71 - 72
2.2.1.c.- Viscosidad de Hidrocarburos Líquidos	73 - 74
2.2.1.d.- Nomograma de Viscosidad de Líquidos a una Atmósfera de Presión	75 - 77
2.2.1.e.- Constante de Viscosidad-Gra- vedad de Aceites	78 - 79
2.2.1.f.- Índice de Viscosidad Racional para Aceites	80 - 81
2.2.1.g.- Nomograma de Grunberg y Nissan	82 - 84
2.2.1.h.- Viscosidad de Algunos Solven- tes Orgánicos	85 - 86
2.2.2.a.- Nomograma para Viscosidad de Vapores	87 - 89
2.2.2.b.- Nomograma para Gases Ideales	90 - 91
2.2.2.c.- Nomograma para Viscosidad de Vapores a Altas Presiones	92 - 93
2.2.2.d.- Nomograma para Viscosidad de Gases Puros	94 - 96
2.2.2.e.- Método de Licht y Stetchert	97 - 99
2.2.2.f.- Método de Licht y Stetchert Modificado	100 - 102
2.2.2.g.- Método de Bromley y Wilke	103 - 106

	Página
2.2.2.h.- Método de Davis	107 - 108
2.2.2.i.- Viscosidad del Gas Metano	109 - 110
2.2.2.j.- Método de Murray y Corey	111 - 112
2.2.3.a.- Nomograma para Mezclas de Aceites	113 - 115
2.2.3.b.- Viscosidad de Soluciones Acuosas de Etanol	116 - 117
2.2.3.c.- Viscosidad de Lodos Acuosos	118 - 119
2.3.- Gráficas	120 - 232
2.3.1.- Generales	120 - 144
2.3.1.- Gráfica de Othmer	121 - 122
2.3.1.b.- Método de Uyenara y Watson	123 - 126
2.3.1.c.- Viscosidad de Vapor de Agua	127 - 128
2.3.1.d.- Viscosidad de Hidrocarburos Gaseosos	129 - 130
2.3.1.e.- Viscosidad Cinemática de Vapor y de Agua	131
2.3.1.f.- Viscosidad de Vapor y Agua	132
2.3.1.g.- Viscosidad de Gases Diatómicos	133 - 134
2.3.1.h.- Viscosidad de Líquidos Orgánicos	135 - 136
2.3.1.i.- Viscosidad de Diversos Líquidos y Gases	137
2.3.1.j.- Gráfica ASYM para Aceites del Petróleo	138 - 139
2.3.1.l.- Viscosidad para Fracciones del Petróleo	142 - 144
2.3.2.- Particulares	145 - 232

	Página
2.4.- Tablas	233 - 236
2.4.1.- Factores de Conversión para Viscosidad	234
2.4.2.- Factores de Conversión para Viscosidad Cinemática	235
2.4.3.- Valores para Convertir Viscosidad Cinemática a Viscosidad U.S.	236
CAPITULO 3.- CONCLUSIONES	237 - 243
CAPITULO 4.- BIBLIOGRAFIA	244 - 260
INDICE	261 - 265

Esta Tesis se Imprimió en Mayo de 1973  
empleando el sistema de reproducción Xerox-Offset,  
en los Talleres de Impresos Offsali-G, S A , Av.  
Colonia del Valle No. 531 (Esq. Adolfo Prieto).  
Tel. 523-21-05      Oficinas Mier y Pesado 349-A  
Tel. 523-03-33      México 12, D. F.