

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE QUIMICA**

**RECOPILACION Y EVALUACION DE  
METODOS PARA LA ESTIMACION  
DE TEMPERATURA, PRESION Y  
VOLUMEN CRITICOS**

**MONOGRAFIA**

Que para obtener el título de

**INGENIERO QUIMICO**

**p r e s e n t a**

**J. A. ALFONSO CORNEJO LIZARRALDE**

---

*México, D. F.*

1970



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



Universidad Nacional  
Autónoma de  
México

FACULTAD DE QUÍMICA  
DEPTO. DE PASANTES Y  
EXAMENES PROFESIONALES.

FORMA C

( AUTORIZACION PARA ESCRIBIR DEFINITIVAMENTE EL TEMA REVISADO )

C. Director Gral. de Servicios Escolares  
Universidad Nacional Autónoma de México.  
P r e s e n t e .

Me permito comunicar a usted, que el tema de \_\_\_\_\_  
MONOGRAFIA Titulado: "RECOPILACION Y EVALUACION DE METODOS  
PARA LA ESTIMACION DE TEMPERATURA PRESION Y VOLUMEN CRITICOS"

que presenta: EL SR. JOSE ANTONIO ALPONSO CORNEJO LIZARRALDE  
Pasante de la Carrera de: INGENIERO QUIMICO

Fue aceptado por el Jurado nombrado para dicho examen, el cual  
quedó integrado en la siguiente forma:

Presidente Prof: OTHON CANALES VALVERDE  
V o c a l . " : RAUL MEYER STOFFEL  
Secretario " : ENRIQUE BARRIGA GUZMAN  
1er. Suplente : PABLO BARROETA GONZALEZ  
2do. Suplente : CARLOS ESCOBAR TOLEDO

A t e n t a m e n t e .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria D.F., a 31 de julio de 1970.

EL JEFE DEL DEPTO. DE PASANTES  
Y EXAMENES PROFESIONALES.

QUIM. JULIO TERAN Z.

JT2/rqm.

A mis padres

con el más profundo

cariño y agradecimiento

por su ejemplo.

A Rita y Neto

A mis familiares

A mis maestros

A mis amigos (dentro o fuera del club)

Quiero hacer patente mi agradecimiento a los Ingenieros Othón Canales V., Raúl Meyer, Pablo Barroeta G., Enrique Barriga, así como al personal de las Bibliotecas de PEMEX y de la Facultad de Química, por la amplia cooperación que brindaron para la consecución del presente trabajo.

Gracias

1

**"RECOPIACION Y EVALUACION DE METODOS PARA LA ESTIMACION  
DE TEMPERATURA PRESION Y VOLUMEN CRITICOS"**

**C O N T E N I D O**

**CAPITULO 1**

**GENERALIDADES**

**1.A.- Introducción**

**1.B.- Conceptos Generales**

**CAPITULO 2**

**METODOS DE ESTIMACION**

**2A.- Temperatura Critica**

**2B.- Presión Critica**

**2C.- Volumen Critico**

**2D.- Datos Directos**

**CAPITULO 3**

**CONCLUSIONES**

**3A.- Recomendaciones Generales**

**3B.- Análisis de los Métodos**

**CAPITULO 4**

**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

# CAPITULO I

*Generalidades*



CAPITULO 1

GENERALIDADES

- 1.A.- Introducción
- 1.B.- Conceptos Generales
  - 1.B 1.- Temperatura Crítica  $T_C$
  - 1.B 2.- Presión Crítica  $P_C$
  - 1.B 3.- Volumen Crítico  $V_C$
  - 1.B 4.- Estado Crítico
  - 1.B 5.- Unidades

### 1.A.- INTRODUCCION

En relación con la poca o mucha experiencia obtenida ya sea por medio de la cátedra, el trabajo o investigación en la resolución de problemas relacionados con la Ingeniería Química, uno de los problemas que se presentan con mayor frecuencia es la escasez de datos de propiedades termodinámicas, necesarios para realizar correctamente los cálculos, lo que ocasiona una pérdida de tiempo y esfuerzo.

El objeto de la presente monografía es facilitar el trabajo y reducir al máximo la pérdida de tiempo en lo relativo al cálculo y búsqueda de las Propiedades Críticas Temperatura, Presión y Volumen mediante la recopilación y evaluación de los métodos existentes para la determinación de los valores específicos de las mismas, en forma de un pequeño manual que nos permita encontrar los valores buscados en una forma correcta y rápida.

### 1.B.- CONCEPTOS GENERALES

El objetivo del presente trabajo NO es hacer un estudio fisicoquímico de las propiedades críticas, sino que es condensar y evaluar desde un punto de vista eminentemente práctico, los métodos existentes para la determinación de los valores específicos de las propiedades críticas: temperatura, presión y volumen en forma de un pequeño manual que, o bien contenga la respuesta requerida o bien dé la orientación bibliográfica para la mejor y más rápida resolución del problema.

#### 1.B 1.- Temperatura Crítica $T_C$

El que una sustancia pura pueda o no encontrarse en estado líquido depende de su temperatura. Si la temp. es lo suficientemente alta para que las energías cinéticas de translación de las moléculas excedan la máxima energía potencial de atracción entre ellas, el estado líquido de agregación es imposible.

La temp. a la que la Energía cinética molecular de translación es igual a la energía potencial máxima de atracción se denomina TEMPERATURA CRITICA. Por encima de la temp. crítica es imposible el estado líquido para un componente puro, y por compresión sólo resulta un gas altamente comprimido. Por

debajo de la temp. crítica un gas puede licuarse si se comprime suficientemente.

Es la temp. máxima a la que se puede licuar un gas.

También puede definirse como la temp. máxima a la cual las fases líquida y vapor pueden coexistir en equilibrio.

#### 1.B 2.- Presión Crítica $P_C$

La presión necesaria para licuar un gas a su temp. crítica se denomina PRESION CRITICA y es incidentalmente la presión de vapor máxima que el líquido puede ejercer.

#### 1.B 3.- Volumen Crítico $V_C$

El volumen ocupado por una mol de sustancia a la temp. y presión críticas se denomina VOLUMEN CRITICO.

Su inverso es la densidad crítica.

#### 1.B 4.- Estado Crítico

La presión y temp. críticas fijan el estado crítico en el cual no hay distinción entre el estado líquido y gaseoso.

A medida que se va alcanzando la temp. crítica los volúmenes y por tanto las densidades del líquido y vapor saturado se aproximan cada vez más, hasta resultar idénticos en el punto crítico.

El punto crítico de una sust. pura tiene 3 características:

debajo de la temp. crítica un gas puede licuarse si se comprime suficientemente.

Es la temp. máxima a la que se puede licuar un gas.

También puede definirse como la temp. máxima a la cual las fases líquida y vapor pueden coexistir en equilibrio.

#### 1.B 2.- Presión Crítica $P_C$

La presión necesaria para licuar un gas a su temp. crítica se denomina PRESION CRITICA y es incidentalmente la presión de vapor máxima que el líquido puede ejercer.

#### 1.B 3.- Volumen Crítico $V_C$

El volumen ocupado por una mol de sustancia a la temp. y presión críticas se denomina VOLUMEN CRITICO.

Su inverso es la densidad crítica.

#### 1.B 4.- Estado Crítico

La presión y temp. críticas fijan el estado crítico en el cual no hay distinción entre el estado líquido y gaseoso.

A medida que se va alcanzando la temp. crítica los volúmenes y por tanto las densidades del líquido y vapor saturado se aproximan cada vez más, hasta resultar idénticos en el punto crítico.

El punto crítico de una sust. pura tiene 3 características:

a) Las fases de vapor y líquido son idénticas.

b) La Temp. crítica es la máxima a la que pueden existir 2 fases.

c) La presión " " " " " " " " " " " "

### 1.B 5.- Unidades

Temperatura Crítica  $T_C$  puede ser  $^{\circ}C$ ,  $^{\circ}F$ ,  $^{\circ}K$ ,  $^{\circ}R$

Presión Crítica  $P_C$  puede ser atmósferas o  $lb/in^2$  (psi)

Volumen Crítico  $V_C$  puede ser  $cm^3/mol$  o  $ft^3/lbmol$

# **CAPITULO 2**

*Métodos de estimación*

## CAPITULO 2

MÉTODOS DE ESTIMACION

2A.- Temperatura Crítica

2AA.- Correlaciones

2AB.- Nomogramas

2AC.- Gráficas

2B.- Presión Crítica

2BA.- Correlaciones

2BB.- Nomogramas

2BC.- Gráficas

2C.- Volumen Crítico

2CA.- Correlaciones

2CB.- Nomogramas

2CC.- Gráficas

2D.- Datos directos



## CAPITULO 2

MÉTODOS DE ESTIMACION

## 2A.- Temperatura Crítica.

2AA.- Correlaciones

- 2AA-1 Guldberg-Guye
- 2AA-2 Guldberg-Guye (modificado)
- 2AA-3 Lydersen
- 2AA-4 Meissner-Redding
- 2AA-5 Nokay
- 2AA-6 Chen-Hu
- 2AA-7 Riedel
- 2AA-8 Eduljee
- 2AA-9 Francis
- 2AA-10 Varshni
- 2AA-11 Varshni & Srivastava
- 2AA-12 Stanley - A.P.I.
- 2AA-13 Lewis
- 2AA-14 Lautie
- 2AA-15 Watson
- 2AA-16 Forman y Thodos
- 2AA-17 Gates y Thodos
- Concepto de Temperatura Pseudocrítica - MEZCLAS
- 2AA-18 Kay
- 2AA-19 Edmister

2AA-20 Pawlewski

2AA-21 Joffe

2AA-22 Chueh

2AB.- Nomogramas

2AB-1 Riedel

2AB-2 Davis

2AB-3 Kharbanda

2AB-4 Thodos

2AB-5 API (1<sup>a</sup>)

2AB-6 API (2<sup>a</sup>)

2AB-7 API (3<sup>a</sup>)

2AC.- Gráficas

2AC-1 Kharbanda

2AC-2 Kay

2AC-3 Maxwell

2AC-4 Smith y Watson

2AC-5 Maxwell

2B.- Presión Crítica

2BA.- Correlaciones

2BA-1 Riedel

2BA-2 Lydersen

2BA-3 Meissner

2BA-4 Benko

2BA-5 Eduljee

2BA-6 Meissner & Redding

2BA-7 Wohl

2BA-8 Fishtine

2BA-9 Lautie  
2BA-10 Forman y Thodos  
2BA-11 Herzog  
2BA-12 Kay  
2BA-13 Edmister  
2BA-14 Mayfield  
2BA-15 Joffre

2BB.- Nomogramas

2BB-1 Riedel  
2BB-3 Edmister  
2BB-4 Thodos  
2BB-5 API (1ª)  
2BB-6 API (2ª)  
2BB-7 API (3ª)

2BC.- Gráficas

2BC-1 Kay  
2BC-2 Maxwell  
2BC-3 Maxwell (2ª)  
2BC-4 Smith y Watson

2C.- Volumen Crítico

2CA.- Correlaciones

2CA-1 Vowles  
2CA-2 Lydersen  
2CA-3 Meissner  
2CA-4 Meissner & Redding  
2CA-5 Lydersen (2ª)  
2CA-6 Riedel  
2CA-7 Benson

2CA-8 Herzog

2CA-9 Sugden

2CA-10 Ferguson

2CA-11 Lautie

2CA-12 Young

2CA-13 Natanson

2CA-14 Chueh

2CB.- Nomogramas

2CB-1 Meissner

2CB-2 Meissner (2)

2CB-3 Meissner (3)

2CC.- Gráficas

2CC-1 Gegg y Purchas

### 2AA-1 Método de Guldberg-Guye

**Características:** Este es el método más simple, solamente se necesitan saber las Temperaturas de ebullición de los compuestos para obtener las Temp. Críticas.

Este método no es muy exacto y en ocasiones puede ocasionar grandes errores.

**Ecuación:**

$$T_C = 1.5 T_B \quad \text{-----} \quad \text{Eq. 2AA-1-(221)}$$

Donde:  $T_C$  = Temperatura Crítica  $^{\circ}K$   
 $T_B$  = " de ebullición  $^{\circ}K$

**Procedimiento:** Simple aplicación de la fórmula.

**Precisión:**

Clave	Clase de Líquido	Nº de muestras	% de Error Promedio
A	Todos los orgánicos	217	-0.39 ± 11.35
ACER	Alcoholes y ácidos	24	+2.89 ± 6.63
ACLE	Orgánicos que contengan nitrógeno	12	-2.32 ± 8.13
ACN	Orgánicos halógenos fluorados	30	-5.27 ± 7.47
ACF	Hidrocarburos polares	42	-3.65 ± 6.03
AD	Orgánicos no polares	58	+1.73 ± 11.24
AC	Otros orgánicos polares	46	+0.38 ± 10.57
B	Inorgánicos	42	-5.36 - 29.07

(\*) ver significado Apéndice 1 pag 224

(\*) Sin incluir nitrilos. Con un número de muestras de 3 en el caso de los nitrilos se tiene un % de error promedio de  $-0.89 \pm 13.94$

Referencias : 1, 2, 3, 4

404-2 de la r. de la molificación de Goldberg-Guye.

Características: Este es un método muy simple pero no es muy exacto y puede ocasionar grandes errores. Solo se necesita saber la temp. de ebullición. Principalmente se utiliza para comp. inorgánicos.

$$t_0 = \frac{100}{1.0175}$$

Donde:  $T_0$  = temperatura crítica  $^{\circ}C$

$t_E$  = " " de ebullición  $^{\circ}K$

Procedimiento: Simple molificación de la fórmula.

Precisión:

(\*)Clave Clase de Mol. No. de muestras Error promedio

A	Todos los orgánicos	216	+4.57 ± 11.01
ACEK	Alcoholes y éteres	24	+5.39 ± 7.07
ACEL	Orgánicos que contienen nitrógeno (-)	14	+2.54 ± 8.45
ACU	Orgánicos que no contienen nitrógeno	30	+3.11 ± 8.06
ADP	Hidrocarburos alifáticos	42	+2.10 ± 6.11
AI	Orgánicos aromáticos	57	+3.89 ± 14.96
AC	Otros orgánicos pesados	46	+4.85 ± 12.14
B	Inorgánicos	39	-0.52 ± 5.9

(\*) ver significancia de los datos en el Cap. IV

(-) Sin incluir moléculas. El error promedio para 3 muestras de nitrógeno varía ± 11.84

## 2AA-3 Método de Lydersen.

Características: Este método da excelentes resultados para cualquier clase de líquidos, principalmente compuestos orgánicos. Es de los más usados. No necesita el conocimiento de la temp. de ebullición y conocer la estructura del compuesto.

Relación: 
$$T_C = \frac{T_B}{\Theta} \quad \text{-----} \quad \text{Ec. 2AA-3-(N=1)}$$

$$\Theta = 0.567 + \sum \Delta t - (\sum \Delta t)^2 \quad \text{-----} \quad \text{Ec. 2AA-3-(N=2)}$$

donde:  $T_C$  = Temp. Crítica.

$T_B$  = " de ebullición.

$\Delta t$  = Constantes que se obtienen por incrementos de valores atómicos o funcionales.

## Procedimiento:

- Se obtiene el  $\Delta t$  mediante incrementos de los valores atómicos o funcionales. ver tabla 2AA-3-(1) pag. 10
- Este  $\Delta t$  se sustituye en la Ec. 2AA-3-(N=2) y obtenemos  $\Theta$
- Este  $\Theta$  se sustituye en la Ec. 2AA-3-(N=1) y así obtenemos  $T_C$ .

Ejemplo: Obtener la  $T_C$  del éter etilproílico, el punto de ebullición es  $105.0^\circ\text{A}$ , y la  $T_C$  experimental es  $500.6^\circ\text{K}$ .

$$\begin{aligned} \Delta t &= 2 \text{ CH}_3 + 3 \text{ CH}_2 + \dots \\ &= 2(0.020) + (0.020) + 0.021 \\ &= 0.121 \end{aligned}$$

de la Ec. 2AA-3-(N=2)  $\Theta = 0.567 + 0.121 - (0.121)^2$



Sustituyendo  $\theta = 0.873$  en la ec. 2AA-3-(#21)

$$r_G = 335/0.873 = 497.3 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\text{Error} = \left[ (497.3 - 500.6) / 5 \right] \times 100 = -0.6\%$$

Precisión:

(*)Clave	Clase de Líquido	Nº de Muestras	error Promedio
A	Todos los orgánicos	215	-0.24 $\pm$ 5.14
ACEL	Alcoholes y ácidos	24	-0.45 $\pm$ 4.91
ACEL	Orgánicos que contengan nitrógeno (:)	12	+0.05 $\pm$ 4.03
ACF	hidrocarburos polares	42	+0.06 $\pm$ 3.20
ADF	" no polares	51	-0.37 $\pm$ 1.75
AD	Orgánicos no polares no hidrocarburos	7	-1.24 $\pm$ 11.33
AC	Todos los otros orgánicos polares	74	-0.03 $\pm$ 3.98
B	Inorgánicos	35	+9.18 $\pm$ 59

(\*) ver significado apéndice I pag 224

(:) Sin incluir nitrilos. El error promedio para 3  
muestras de nitrilos es +0.05  $\pm$  4.03

Referencias: 1, 2, 4, 5, 6

Tabla 2AA-3-(L) Valores de Lydersen

Group	Application*	Lydersen Method			Riedel Method	Wolles Method
		$\Delta_i$	$\Delta_p$	$\Delta_v$	$\Delta_p$	$\Delta_v$
-CH <sub>2</sub> - CH <sub>3</sub>	Alkanes and alkyl groups	0.020	0.227	55		
-CH <sub>2</sub> - in ring	Cycloalkanes	0.013	0.184	44.5		
-CH	Branched carbon in alkyl isomers	0.012	0.210	51		
-CH in ring	Substituted carbon in cycloalkanes, such as methyl cyclohexane	0.012	0.192	46		
=CH and =CH <sub>2</sub>	Unsaturated carbons (alkenes)	0.018	0.198	45		
=CH in ring	Unsaturated carbons in ring compounds (cycloalkenes)	0.011	0.154	37		
C	Quaternary carbon in alkanes	0.00	0.210	41		
C- in ring	Quaternary carbon in cycloalkanes	(-0.007)†	(0.154)	(31)		
=C- and =C	Substituted unsaturated carbon and unsaturated carbon	0.00	0.198	36		
=C in ring	Substituted unsaturated carbon in ring compounds	0.011	0.154	36		
≡C- and ≡C-††	Triple-bonded carbons (alkynes)	-0.005	0.153	(30)†		
-F	Fluorine, fluoride	0.018	0.224	33.1	0.23	18
-Cl	Chlorine, chloride	0.017	0.320	49	0.32	63.5
-Br	Bromine, bromide	0.010	(0.50)†	(70)	0.54	82.0
-I	Iodine, iodide	(0.012)†	(0.93)	(95)	0.87	110.9
-O	Ethers, -oxy compounds as dimethoxymethane (methylal)	0.021	0.16	20		
-O- in ring	-Oxy compounds in rings as in ethylene oxide	(0.014)†	(0.12)	(8)		
-OH	Alcohols	0.082	0.06	(18)		
-OH	Phenols	(0.035)†	(-0.02)	(3)		
CO	Ketones, including acetyl groups	0.040	0.29	60		
CO in ring		(0.033)†	(0.2)	(50)		
-CHO	Aldehydes, including formaldehyde, neglecting one hydrogen in formaldehyde	(0.048)†	0.33	73		
-COO-	Esters, including formates, neglecting remaining hydrogen in formates	0.047	0.47	80		
-COOH	Acids, including formic acid, neglecting remaining hydrogen in formic acid	0.085	(0.4)†	80		
-NH <sub>2</sub>	Amines	0.031	0.095	28		
>NH	Diamines as diethyl; also -NH	0.031	0.135	(37)†	-0.02	
NH in ring		(0.024)†	(0.09)	(27)	-0.02	
>N-	Tertiary amines as triethylamine, also -N-	0.014	0.17	(42)		
N- in ring	Nitrogen in rings, also -N- in rings as pyridine	(0.007)†	(0.13)	(32)		
-CN	Cyanides, cyanogens and nitriles	(0.000)†	(0.36)	(80)		
-SH and -S	Mercaptans and disulfides, such as diethyl sulfide	0.015	0.27	55		
-S- in ring	...	(0.008)†	(0.24)	(45)		
-O (except as above)	As CO <sub>2</sub>	(0.02)†	(0.12)	(11)		
-NO <sub>2</sub>	Nitro groups, as in nitromethane	(0.055)†	(0.42)	(78)		
-S		(0.003)†	(0.24)	(47)		
H	All hydrogen atoms				0.00	17.0
C	All carbon atoms				0.23	23.0
O	All oxygen atoms				0.18	21.0
N	All nitrogen atoms				0.14	13.5
S	All sulfur atoms				0.17	58.0
C=C	Carbon-carbon double bond				-0.06	13.2
C=O	Carbon-oxygen double bond				-0.12	18.0
C≡N	Carbon-nitrogen triple bond, as in cyanides, cyanogens and nitriles				0.00	60.5
OH	Alcohols, nonaromatic				-0.11	
OH	Aromatic alcohols				-0.21	
OH	Acids				0.00	
C≡C	Carbon-carbon triple bonds				-0.14	32.7
C-S					-0.15	18.0
Ring atoms	Sum of all atoms in a ring				-0.07	
Condensed rings	Rings sharing two carbons as naphthalenes				-0.10	
S=O						18.0
N=N						60.5
6-membered ring, aromatic and naphthenic	Sum of all six-membered aromatic or naphthenic rings					-22.5
Basic value	1 for all compounds (i. e., 2 contributions if basic value of 1)					40

\* The applications listed are by no means exhaustive, they simply represent interpretive comments for cases where ambiguity was encountered in the original references.

† Numbers in parentheses are somewhat different.

2AA-4 Weissner-Redding.

Características.- Este método da excelentes resultados para cualquier compuesto, solo se necesita saber la temp. de ebullición. Principalmente se utiliza para compuestos orgánicos.

Aplicación: Para cualquier elemento o compuesto con  $T_B < 235^\circ K$  :

$$T_C = 1.70 T_B - 2.0 \quad \text{--- ec. 2AA-4-(Nº1)}$$

Para compuestos de  $T_B > 235^\circ K$  que:

a) que contengan halógenos o Azufre:

$$T_C = 1.41 T_B + 66 - 11 F \quad \text{--- ec. 2AA-4-(Nº2)}$$

b) Para comp. aromáticos y naftalenos libres de halógenos o

Azufre:  $T_C = 1.41 T_B + 66 - r(0.383 T_B - 93) \quad \text{--- ec. 2AA-4-(Nº3)}$

c) Otros compuestos no aromáticos ni naftalenos (libres de ha-

lógenos o azufre):  $T_C = 1.027 T_B + 159 \quad \text{--- ec. 2AA-4-(Nº4)}$

Para hidrocarburos solamente:

La ec. 2AA-4-(Nº1) se transforma en:  $T_C = 1.725 T_B - 5.7 \quad \text{ec(Nº5)}$

La ec. 2AA-4-(Nº3) se transforma en:  $T_C = 1.112 T_B + 131.8 \quad \text{ec.(Nº6)}$

Donde:  $T_C$  = Temp. Crítica  $^\circ K$

$T_B$  = temp. de ebullición  $^\circ K$ .

$F$  = nº de átomos de flúor por molécula.

$r$  = la proporción de átomos de carbono no cíclicos con respecto al nº total de

Atos de carbono del combustible.

Cuando  $r = 1$  tenemos una cadena recta

y obtenemos la ec. 2.11-4 (14).

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula.

Precisión:

(\*) Clave Base de datos de 20 muestras y error estándar

A	Todos los orgánicos	216	-1.11 ± 7.00
ACa	Orgánicos que contienen oxígeno (:)	65	-1.01 ± 5.33
ACG	Orgánicos que contienen nitrógeno (:)	16	-3.37 ± 12.59
AF	hidrocarburos	92	-0.267 ± 5.794
AC	tres orgánicos volátiles	39	-2.70 ± 3.23
AD	Otros orgánicos no volátiles	7	+0.36 ± 11.54
B	Inorgánicos	41	-1.58 ± 13.5

(\*) ver significado de Ac. J. l. pag 224

(:) incluyendo líquidos asociados y no asociados.

Referencias: 1, 2, 5, 6, 8, 9.

2AA-5 Método de Kobay.

Características: Este método es bueno solamente para hidrocarburos con temp. de ebullición entre 400 y 1100 °R y una gravedad específica entre 0.5 y 1.0.

$$\log W_{11} = 19.073 + 0.2985 \log Sp. G. + 0.62164 \log T_b$$

NO. 2AA-5-(A21)

Donde:  $T_b$  = Temp. crítica °R

$T_b$  = Temp. de ebullición °R

Sp. G. = Gravedad específica.

Procedimiento: Simple aplicación de fórmula.

Resión:

Clase de hidrocarburos	Nº de muestras	% error promedio
hidrocarburos volátiles	38	-1.50 ± 4.25
" " " " no volátiles	46	+0.24 ± 6.45

(\*) ver Apéndice 1 pag. 224

Referencias: 1, 2, 5, 9.

21A-Cloruro de Chen- u.

Características: Este método se puede utilizar para cualquier compuesto que es bastante simple y no posee una buena exactitud principalmente a los compuestos inorgánicos.

$$\text{Ecuación: } \frac{T_C}{T_B} = 10^{1.59 \sqrt{M}}$$

Donde:  $T_B$  = Temp. de ebullición °

$T_C$  = Temp. crítica °

$M$  = peso molecular.

Procedimiento: Se le aplicó la fórmula.

Precisión:

Clave	Clase de líquido	N.º de muestras	Desapar. promedio
A	Todos los orgánicos	215	-1.42 ± 15.90
ACA	Esteres, éteres (I)	3	-1.71 ± 9.20
ACTH	Comp. aromáticos asociados	9	-4.59 ± 2.47
ACE	Ceras " " (II)	27	4.16 ± 11.25
ACFG	Hidrocarburos alifáticos polares	17	1.46 ± 9.68
ACH	Comp. halogenados no arom. (III)	24	-10.55 ± 9.39
AH	Otros Aromáticos	30	-3.15 ± 5.75
AC	Otros orgánicos polares	6	-1.00 ± 17.81
ADFE	Hidrocarburos alifáticos no polares (III)	11	-1.91 ± 4.57
AD	Comp. orgánicos no arom. (III)	1	-7.4 ± 11.00
ADH	Comp. aromáticos no polares (III)	1	1.00 ± 22.00

- (\*) ver Apéndice A. 10.
- (:) Sin incluir aromáticos.
- (:) Sin incluir metanol y etanol. Los alcoholes cortos tienen grandes errores.
- (:) Sin incluir fluoruro de metilo y de etilo con los cuales se tienen grandes errores.
- (:) Sin incluir metano, etano, propano y acetileno con los cuales se tienen grandes errores.

Referencias: 1,2,4,10,11.

## 2AA-7 Método de Riedel.

Características: Es un buen método que se puede utilizar para compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos, solo se necesita saber la estructura del compuesto.

Ecuación: 
$$\frac{T_B}{T_C} = 0.574 + \Sigma \Delta T \quad \text{---- Mc. 2AA-7-(191)}$$

Donde:  $T_B$  = Temp. de ebullición  $^{\circ}\text{K}$ .

$T_C$  = Temp. Crítica  $^{\circ}\text{K}$ .

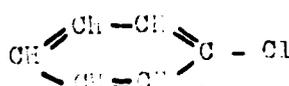
$\Sigma \Delta T$  = Constante que se obtiene por incrementos atómicos o funcionales.

## Procedimiento:

- Se obtiene el  $\Sigma \Delta T$  mediante la suma de los incrementos atómicos de la tabla 2AA-7-(1) pag. 28
- Este  $\Sigma \Delta T$  se sustituye en la ec. 2AA-7-(191) y así obtenemos la  $T_C$  que buscamos.

Ejemplo: Obtener la temp. crítica del clorobenceno. La  $T_B$  es de  $405.3^{\circ}\text{K}$ . La  $T_C$  experimental es de  $602.4^{\circ}\text{K}$ .

La estructura del clorobenceno es:



$$\Sigma \Delta T = 5 \text{ -C-H (en anillo)} + 1 \text{ =C-} + 1 \text{ -Cl} + 6 \times (0.03 \text{ atomos en anillo})$$

$$\Sigma \Delta T = 5 (0.015) + 1 (0.003) + 1 (0.003) + 6 (-0.005)$$

$$\Sigma \Delta T = 0.075 + 0.003 + 0.003 + 0.030 = 0.111$$

subst.  $\Sigma \Delta T$  en Ec. 2AA-7-(191)

$$\frac{T_B}{T_C} = 0.574 + 0.111$$



## 2AA-7 Método de Riedel.

Características: Es un buen método que se puede utilizar para compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos, solo se necesita saber la estructura del compuesto.

Ecuación: 
$$\frac{T_B}{T_C} = 0.574 + \Sigma \Delta T \quad \text{---- Ec. 2AA-7-(221)}$$

Donde:  $T_B$  = Temp. de ebullición °K.

$T_C$  = Temp. Crítica °K.

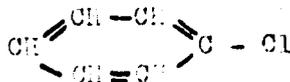
$\Sigma \Delta T$  = Constante que se obtiene por incrementos atómicos o funcionales.

## Procedimiento:

- Se obtiene el  $\Sigma \Delta T$  mediante la suma de los incrementos atómicos de la tabla 2AA-7-(1) pag. 28
- Este  $\Sigma \Delta T$  se sustituye en la ec. 2AA-7-(221) y así obtenemos la  $T_C$  que buscamos.

Ejemplo: Obtener la temp. crítica del clorobenceno. La  $T_B$  es de 405.3°K. La  $T_C$  experimental es de 602.4°K.

La estructura del clorobenceno es:



$$\Sigma \Delta T = 5 \text{ -C-H (en anillo)} + 1 \text{ =C-} + 1 \text{ -Cl} + 6 \times (\text{6 átomos en anillo})$$

$$\Sigma \Delta T = 5 (0.015) + 1 (0.003) + 1 (0.015) + 6 (-0.05)$$

$$\Sigma \Delta T = 0.075 + 0.003 + 0.015 + 0.30 = 0.393$$

Ent.  $\Sigma \Delta T$  en la ec. 2AA-7-(221)

$$\frac{T_B}{T_C} = 0.574 + 0.393$$

de donde:  $T_m = 405.3/0.635 = 640^{\circ}\text{K}$

El % de error es:  $(640-632.4)/532.4 = 1.2\%$

Precisión: Para 233 compuestos el % de error fue del 1%.

Dura da algunos ejemplos:

Pero ano	0.5 (%)
Ciclohexano	0.1
1-Butano	0.2
Etil-benceno	-0.5
Clorobenceno	1.2
Fenol	-0.5
n-Alcohol Propilico	-0.2
Anilina	-0.5
Acetona	-0.6
Acido Acético	-0.3
Cloruro de metilo	-0.6
Cloroformo	-0.5
Etil mercaptano	-0.2
Fosfeno	-4.2

Referencias: 5, 13, 21.

TABLA 2AA-7-(1)

Constantes de los valores atómicos funcionales, para el método de Riedel.

—CH <sub>3</sub> and —CH <sub>2</sub> —	0.016
—CH <sub>2</sub> — (in ring)	0.013
—CH	0.013
—C—	0.003
—C— (in ring)	0.000
H—	0.000
=C—H, =CH <sub>2</sub>	0.015
=C—H (in ring)	0.011
=C—, =C=	0.003
≡C—, ≡CH	0.005
Ring Atom	-0.005
—F	0.015
—Cl	0.013
—Br	0.010
—I	0.012
—O—	0.020
—OH (alcohols)	0.070
—OH (phenols)	0.029
C=O	0.046
—CHO	0.016
—COO—	0.039
—COOH	0.070
—NH <sub>2</sub>	0.027
N—H	0.027
N—	0.012
CN	0.053
—SH, —S—	0.012
—S— (in ring)	0.008
=S	0.003
O (except for combinations above)	0.020
—NO <sub>2</sub>	0.055

## 2AA-8 Método de Eduljee.

Características: Este método da bastante buenos resultados para cualquier compuesto orgánico en general, es un método muy versátil solo se necesita saber la temp. de ebullición y la estructura del compuesto.

Ecación: 
$$\frac{T_B}{T_C} = \sum \Delta T / 100 \quad \text{---- Ec. 2AA-8-(Nº1)}$$

Donde:  $T_B$  = Temp. de ebullición °K

$T_C$  = Temp. Crítica °K

$\sum \Delta T$  = Constante que se obtiene por incrementos de las contribuciones estructurales.

## Procedimiento:

- a) Se obtiene el  $\sum \Delta T$  mediante la suma de las contribuciones estructural de la tabla 2AA-8-(1) pag. 30
- b) Este  $\sum \Delta T$  junto con la  $T_B$  se sustituyen en la Ec. 2AA-8-(Nº1) y así obtenemos la  $T_C$  que buscamos.

Precisión: ver pag. 30

Referencias: 5, 22, 91.

Tabla 2AA-3-(1) Contribuciones estructurales del  
Método de Eduljee.

Valores atómicos	Ar	Remark
Carbon	-55.32	
Hydrogen	28.52	
Oxygen	1.59	Etheric oxygen.
Nitrogen	39.6	In amines.
Nitrogen	-26.29	As member of a ring.
Chlorine	29.89	
Bromine	31.15	
Fluorine	29.75	
Sulfur	1.31	
Silicon	-54.00	In silanes.
<b>Valores de Grupo</b>		
-OH	31.63	In phenols.
	35.62	In alcohols, $n \leq 3$ .
	34.0	In alcohols, $n = 4$ .
	32.72	In alcohols, $n = 5$ .
	31.40	In alcohols, $n = 6$ .
	30.1	In alcohols, $n = 7$ .
	29	In alcohols, $n = 8$ .
	28.52	In alcohols, $n > 8$ .
C = O	31.63	Ketone group
-COOH	35.94	Carboxyl group
-COO-	4.12	In esters
-C = N	33.83	Nitrile group.
(C) = (C)	56.61	For up to 3 carbon atoms per double bond.
	55.21	For 4 or more carbon atoms per double bond.
(C) = (C)	112.9	
(N) - (C)	-19.17	In amines
(N) - (H)	-18.37	In amines
5-membered ring	34.28	
6-membered ring	33.52	
Fusion of two rings	0.25	
Single bonding or substitution on second carbon atom	-0.34	
Two branches or substitutions on second carbon atom	-1.42	
Branching or substitution on number three or higher carbon atom	-0.98	The position of the branch or substituent is counted conventionally from the end of the chain

Precisión:

Average Error Associated With the Lubricant. - Table III

	Critical Temperatures		Critical Pressures	
	Total Number of Values	Average % Error	Total Number of Values	Average % Error
Normal paraffins	10	0.75	10	2.27
Branched paraffins	7	0.27	7	3.13
Heptane isomers	8	0.28	8	2.04
Octane and nonane isomers	17	1.07	16	3.07
Normal olefins	8	0.56	8	3.42
Branched olefins, diolefins, and acetylenes	12	2.06	7	6.31
Naphthenes	5	0.67	5	0.90
Aromatics	24	0.80	20	2.05
Alcohols	14	0.73	8	5.75
Phenols	5	0.40	4	9.07
Ethers	12	0.59	8	3.22
Ketones and aldehydes	7	0.88	6	2.93
Organic acids	7	1.55	5	8.77
Esters	33	1.14	10	3.27
Amines	12	0.69	12	1.78
Nitriles	6	1.24	7	1.32
Chlorides	10	0.54	9	2.80
Bromides	5	2.48	4	0.58
Fluorides and mixed halides	15	1.10	11	1.78
Sulfur compounds	8	1.07	5	2.79
Silanes	7	1.51	6	7.15
Heterocyclic compounds	7	0.98	2	3.66

Note: - All published values are used in the calculation of the average error. The values used in the comparison are the average of the calculated values and the experimental values, dividing the difference between calculated values and experimental values, dividing by the number of values, and then multiplying by 100.

## 2AA-9 Método de Francis

Características: Es aplicable solamente a hidrocarburos puros de 3 a 12 átomos de carbono, posee buena exactitud y solo se necesita saber la temp. de ebullición y el número de átomos de carbono del compuesto.

Ec. 2AA-9-(H<sup>21</sup>)

$$T_C = T_B + 180 - 214/n^{1.5}$$

Donde:  $T_B$  = Temp. de ebullición °C.

$T_C$  = Temp. Crítica °C.

$n$  = nº de átomos de carbono.  $3 < n < 12$ .

Procedimiento: Simple aplicación de fórmula.

Precisión: El máximo error es de un °C, ver tabla 2AA-9-(1)

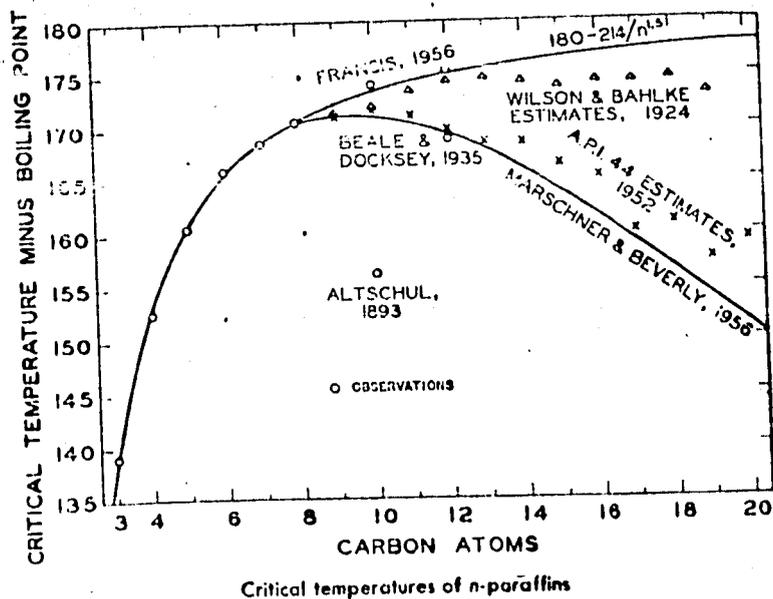
pag. 32

Referencias: 5, 33, 43.

Table I. Critical Temperatures of n-Paraffins

Carbon Atoms	Estimated		Crit. Temp., °C.	Caled.*
	(92)	(47)	Obsd. (33)(92)(93)	
1			- 92.5	...
2			+ 32.27	...
3			96.81	96.75
4			152.01	152.75
5			196.62	196.93
6			234.7	234.18
7			267	266.88
8			296.2	296.21
9			...	322.87
10	322	322.1	348.2	347.37
11	346	346.1	...	370.03
12	367	369.4	...	391.13
13	386	390.6	301.5	410.89
14	404	410	...	423.47
15	422	427.8	...	446.95
16	437	444.4	...	463.45
17	452	461.1	...	478.77
18	462	476.1	...	493.32
19	477	490.6	...	507.12
20	487	502.6	...	520.31
20	502			

\*  $t_c - t_b = 180 - 214/n^{1.5}$



Critical temperatures of n-paraffins

2AA-10 Método de Varshni.

Características: Es utilizable única mente para hidrocarburos normales (parafinas normales) solo es necesario conocer la temp. de ebullición, posee buena exactitud.

$$\text{Ecuación: } T_C = \frac{T_B}{(0.5405 + 0.0003937 T_B)} \quad \text{----- Ec. 2AA-10-(Nº1)}$$

Donde:  $T_B$  = temp. de ebullición °K.

$T_C$  = temp. crítica °K.

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula.

Precisión: El error promedio es de  $\pm 0.5\%$  y el error máximo puede ser de  $\pm 1.0\%$ .

Referencias: 5, 43.



2AA-11 Método de Varshni & Srivastava.

Características: Se puede utilizar solamente para hidrocarburos normales (parafinas normales) solo es necesario conocer el número de carbonos de la parafina, posee buena exactitud.

Ecuación:  $T_C = 644.5 \log(n + 2) - 75$  ---- Mc. 2AA-11-(Nº1)

Donde:  $T_C$  = Temp. Crítica °K.

$n$  = número de átomos de carbono  $4 < n < 19$

Procedimiento: Simple aplicación de fórmula.

Precisión: El error promedio es de 0.48% y el error máximo puede ser del 1.2%.

Referencias: 5. 42, 45.

## 2AA-12 Método de Stanley - A.P.A.

Características: Es utilizable únicamente para parafinas normales, solo es necesario conocer el peso molecular del hidrocarburo. Ofrece buena exactitud.

Ecuación:  $\log T_c = 2.1669 + 1.877 \log (\log M)$  EC. 2AA-12-(H91)

Donde:  $T_c$  = Temp. Crítica  $^{\circ}K$ .

$M$  = Peso molecular

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula.

Precisión: Se puede aplicar a cualquier parafina normal sin incluir el metano. El error promedio hasta el n-octano es de  $1.0^{\circ}C$  y el error máximo es de  $+ 3.2^{\circ}C$  que corresponde al propano (estos errores son sin considerar el metano).

Referencias: 28, 29, 32.

## 2AA-13 Método de Lewis.

Características: Este método se puede utilizar para compuestos inorgánicos como para orgánicos, se necesita saber la temp. de ebullición y el Parachor que se obtiene de constantes atómicas y estructurales.

Ecuación:  $T_C = a(P) + b$  ---- Ec. 2AA-13-(Nº1)

$T_C = c \log(P) + d$  ---- Ec. 2AA-13-(Nº2)

Donde:  $T_C$  = Temp. Crítica  $^{\circ}K$ .

(P) = Parachor ver tabla 2AA-13-(2) pag. 38

a, b, c, d, = constantes para series de compuestos homólogos.

Procedimiento: La ec. 2AA-13-(Nº1) es utilizada para compuestos que tienen el mismo número de átomos (p.e.  $CH_3I$ ,  $CH_3Br$ ,  $CH_3Cl$  y  $CH_3F$ ).

La ec. 2AA-13-(Nº2) es utilizada para series homólogas, las ctes. varían para cada serie homóloga.

Ver Tabla 2AA-13-(1) pag. 37 en la que están las ecuaciones para diferentes grupos obtenidas por mínimos cuadrados.

Precisión: Ver tabla 2AA-13-(1) pag. 37

Referencias: 6, 7, 54, 60.

TABLA 2AA - 13 - (1)

Ecuación Nº	Grupos ó compuestos (*)		Ecuación	Nº muestras	% error	
	Orgánicos	Inorgánicos				
2AA-13-(Nº3)	Hidrocarburos sat. y no sat. (aciclicos y no sust.)	Parafinas análogas tales como silicanos	$T_C/T_B = 2.501-0.4176$	$\log P$	20	2.2
2AA-13-(Nº4)	Aromáticos y Cíclicos (sust. y no sust.)	-----	$T_C/T_B = 2.640-0.4634$	$\log P$	28	5.4
2AA-13-(Nº5)	Alifáticos sust que contengan halógenos (:) y S como grupo funcional.	Comp. inorgánicos halogenados	$T_C/T_B = 2.602-0.4449$	$\log P$	26	4.7
2AA-13-(Nº6)	Esteres alifáticos, éteres acetales, oxidos.(:)	Algunos oxidos inorgánicos y comp. con $O_2$ tales como $SO_2, H_2O$	$T_C/T_B = 2.544-0.4429$	$\log P$	38	2.5
2AA-13-(Nº7)	Cetonas alifáticas, aldehidos, ácidos carboxilicos y comp. de Nitrógeno.	Algunos comp. inorgánicos con N tales como $N_2, N_2O, N_2O_4$	$T_C/T_B = 2.301-0.3548$	$\log P$	23	4.4
2AA-13-(Nº8)	Alcoholes Alifáticos y anhidridos.	Anhidridos inorgánicos como $CO_2, H_2O$	$T_C/T_B = 1.783-0.1479$	$\log P$	14	2.3

(\*) Para comp. que caen dentro de 2 o más grupos como el ac. cloro acético en las ecs. (Nº5) y (Nº7) ambas pueden utilizarse. Compuestos no cubiertos en cualquiera de estos grupos se deben de tratar por similitud con los otros grupos.

(:) Todos los fluorometanos y fluorometanos moderadamente sustituidos (como  $C_2H_4F_2$ ) pueden ser calculados con la ec. Nº6. La ec. Nº5 da resultados 10% altos. Fluorometanos altamente sust. (como  $C_2Cl_3F_3$ ) usan la ec. Nº5.

Correlaciones de PARACOR por Lumford y Phillips (Ref. 61)

Constantes atómicas y estructurales.

CH <sub>2</sub>	40.0	O	20	Triple ligadura	38
C	9.2	S	50	Doble ligadura	19
H (*)	15.4	Se	63	Simple ligadura; doble	0
F	25.5	B	21.5	Ligadura sesipolar	
Cl	55	Si	31	Singlet lineal e	-9.5
Br	69	Be	42		
I	90	Al	55		
		Cr	58	Anillo de 3 miembros	12.5
N	17.5	Tl	62	" " 4 "	6
P	40.5	Sn	64.5	" " 5 "	3
As	54	Hg	69	" " 6 "	0.6
Sb	68	Bi	80	" " 7 "	-4.0

Constantes de esfuerzo (estiramiento)(:)

	+3	0	-3	-6	-9	-12	-15
Carbónico	RCH <sub>2</sub> R	RCHX <sub>2</sub>	RCX <sub>3</sub>	CX <sub>4</sub>			
en anillo.	RCH <sub>2</sub> X	R <sub>2</sub> CHX	R <sub>3</sub> CX	R <sub>4</sub> C			
	RCHO	R <sub>2</sub> CHR	R <sub>3</sub> CR	CCl <sub>4</sub>			
	RCOR	R <del>CO</del> OH	ClCOCl				
		RCOOR	-C(COOEt) <sub>2</sub>				
		RCOCl					
		RCOMl <sub>2</sub>	ClSOCl	SCl <sub>4</sub>			SCl <sub>6</sub>
		ROCOOR	SO <sub>2</sub> Cl				
		ROCOC1	RSO <sub>2</sub> Cl	SO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	SCl <sub>4</sub>		
			RCSO <sub>2</sub> R				
		RSOOR	ROSO <sub>2</sub> Cl				
		RCSOOR	Cl <sub>3</sub>				
	RCl <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> Cl	ClCl <sub>3</sub>	ClCl <sub>3</sub>	Cl		
	ROR	ROCl	Cl <sub>2</sub> Cl				
	NOOR	NO <sub>2</sub> R					

(continuación tabla 2AA-13-(2) )

+3	0	-3	-6	-9	-12	-15
		NO <sub>2</sub> OR	PX <sub>3</sub>	POCl <sub>3</sub>	PCl <sub>5</sub>	
		H <sub>2</sub> O	R <sub>3</sub> P	SiX <sub>4</sub>	SbCl <sub>5</sub>	
		ácidos	PO(OR) <sub>3</sub>	SnX <sub>4</sub>		
	R <sub>2</sub> SeO	RSeOOH	ClSeOCl	CrO <sub>2</sub> Cl		
			BX <sub>3</sub> , AsX <sub>3</sub>			
			SbX <sub>3</sub> .			

(\*) Valores del hidrógeno en combinación con otros elementos:

C	15.4	S	15.4	Cl	12.8
H	12.5	O	10.0	Br	16.4

(:) R = Hidrocarbon radical

X = Grupo negativo, Cl, CN, COOR, OR, etc. Cuando X = Br multiplicar el valor de la cte. de esfuerzo por 1.5.

Ejemplo: Trimetil amina (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>N.

6 grupos CH <sub>2</sub>	-----	6 x 40.0	=	240.0
3 Hidrógenos unidos con C	---	3 x 15.4	=	46.2
1 Nitrógeno	-----	1 x 17.5	=	17.5
				<u>303.7</u>
		Constante de esf.		<u>-6.0</u>
		PARACHOR corregido		297.7
		PARACHOR experimental		297.8

## 2AA-14 Método de Latic.

Características: Esta ecuación es derivada de la ec. de Ramsay-Parsons y Shields que relaciona la  $T_c$  crítica con la tensión superficial. Este método no es un método exacto y no es un método rápido.

$$\text{Ecuación: } \left[ \frac{D}{M} \right]^{10/3} \frac{(P)^4}{k} + T + 6 = T_c \quad \text{---ec. 2AA-14-(199)}$$

Donde:  $T$  =  $T_c$  a la cual la densidad  $D$  es medida, K.

$T_c$  =  $T_c$  emp. crítica  $^{\circ}K$ .

$P$  = Parachor (ver pag. 38)

$D$  = Densidad del líquido  $g/cm^3$ .

$M$  = Peso molecular.

$k$  = Constante de Ramsay-Shields que tiene el valor de 2.12 para líquidos polares normales. Desafortunadamente este  $k$  varía grandemente también para éstos porque depende de la estructura molecular y tamaño (ver referencia 51). Para sustancias normales que contengan menos de 12 carbonos  $k$  varía usualmente entre 2 y 2.5.

Procedimiento: Simple aplicación de fórmula. Para líquidos no polares el valor utilizado de  $k$  se debe de comprobar con mediciones de tensión superficial.

precisión: Este método no es un método exacto que requiere el valor correcto de  $k$ .

Referencias: 7, 56.

## 2AA-15 Método de Watson.

Características: Este método es aplicable a líquidos no polares o muy ligeramente polares, para líquidos polares éste método no es recomendable, posee buena exactitud.

$$\text{Ecuación: } T_C = \frac{T_B + \Delta}{0.293 (M/\rho_B)^{0.18}} \quad \text{--- ec. 2AA-15-(Nº1)}$$

Donde:  $T_C$  = Temp. Crítica °K.

$T_B$  = Temp. de ebullición °K.

$M$  = Peso molecular.

$\rho_B$  = Densidad del líquido a la  $T_B$  en  $\text{gr/cm}^3$ .

$\Delta$  = Factor de corrección igual a  $T_e - T_B$ .

$T_e$  = temp. absoluta a la cual un gramo mol de vapor saturado ocupa 22.4 litros.

ver gráfica 2AA-15- 1 pag. 42

## Procedimiento:

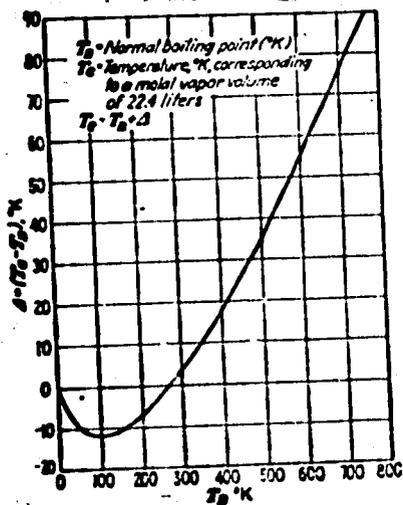
- Con la  $T_B$  del compuesto no polar vamos a la gráfica 2AA-15 -1 de la pag. 42 y obtenemos en las ordenadas el factor  $\Delta$ .
- Sustituimos el factor  $\Delta$  en la fórmula 2AA-15-(Nº1) y así obtenemos la  $T_C$  buscada.

Precisión: Para sustancias no polares o polares ligeramente el error es de  $\pm 2\%$ .

Referencias: 7, 57, 94.



Gráfica 2AA-15-1



$T_B$  = Temp. de ebullición  $^{\circ}\text{K}$

$T_e$  = Temp.  $^{\circ}\text{K}$  correspondiente a un volúmen molar de vapor de 22.4 litros.

## 2AA-16 Método de Forman y Thodos.

Características: Este método es utilizado para comp. orgánicos que no contengan azufre, aldehidos y alcoholes secundarios o terciarios. No es necesario conocer la temp. de ebullición para calcular la  $T_C$ . Este método es bastante complicado; posee buena exactitud.

Ecuación:  $T_C = 8a/27bR$  ----- Ec. 2AA-16-(Nº1)

Donde:  $T_C$  = Temp. Crítica  $^{\circ}K$ .

$R$  = Constante del edo. gaseoso =  $0.082 \frac{lt-atm}{mol \cdot K}$

$a$  y  $b$  = Constantes de van der Waals' obtenidas a partir de contribuciones moleculares de grupo o estructurales.

## Procedimiento:

La molécula se considera como una cadena de átomos de carbono con ciertos grupos funcionales plena mente identificados como  $\dots$  etc. Cada uno de estos contribuye con un incremento no  $a$  a  $b$  pero si  $a^{2/3}$  y  $b^{3/4}$ . La suma de todos los incrementos de  $a^{2/3}$  y de  $b^{3/4}$  deberán de ser elevados a las potencias  $3/2$  y  $4/3$  respectivamente para obtener  $a$  y  $b$ . Estos valores se utilizan en la Ec. 2AA-16-(Nº1).

En este método se debe considerar: si les  $\dots$  bobles ligaduras, anillos, isómeros o etc.

El procedimiento correcto para evaluar  $\Delta a^{2/3}$  y  $\Delta b^{3/4}$  es un análisis de la estructura de la molécula:

2AA-16 Método de For an y Thodos.

Características: Este método es utilizado para comp. orgánicos que no contengan azufre, aldehidos y alcoholes secundarios o terciarios. No es necesario conocer la temp. de ebullición para calcular la  $T_c$ . Este método es bastante complicado; posee buena exactitud.

Ecuación:

$$T_c = 2a/27bR \quad \text{----- Ec. 2AA-16-(Nº1)}$$

Donde:  $T_c$  = Temp. Crítica °K.

$R$  = Constante del edo. gaseoso =  $0.082 \frac{\text{lt-atm}}{\text{gmol}^\circ\text{K}}$

$a$  y  $b$  = Constantes de van der Waals' obtenidas a partir de contribuciones moleculares de grupo o estructurales.

Procedimiento:

La molécula se considera como una cadena de átomos de carbono con ciertos grupos funcionales plenamente identificados como -OH etc. Cada uno de estos contribuye con un incremento no a  $a$  o  $b$  pero sí a  $a^{2/3}$  y  $b^{3/4}$ . La suma de todos los incrementos de  $a^{2/3}$  y de  $b^{3/4}$  deberán de ser elevados a las potencias  $3/2$  y  $4/3$  respectivamente para obtener  $a$  y  $b$ . Estos valores se utilizan en la Ec. 2AA-16-(Nº1).

En este método se que considerar: si les / bobles ligaduras, anillos, isomeris o etc.

El procedimiento correcto para evaluar  $\Delta a^{2/3}$  y  $\Delta b^{3/4}$  es un análisis de la estructura de la molécula:

a) Hidrocarburos Alifáticos Saturados: Los átomos de Carbono en Hidrocarburos Alifáticos están divididos en 4 tipos:



Las contribuciones a  $a^{2/3}$  y  $b^{3/4}$  por cada carbono son función del tipo de carbono y del valor de "n" que es el número de átomos de carbono más todos los átomos funcionales (átomos diferentes al hidrógeno tales como -NH<sub>2</sub>, -OH, -COOH). ver tabla 2AA-16-1. pag. 46

Para corregir el valor total de  $\Delta a^{2/3}$  y  $\Delta b^{3/4}$  por isomerismo podemos utilizar:

$$\Sigma \Delta a^{2/3} (\text{corregido}) = f_a \Sigma \Delta a^{2/3} (\text{calc.}) \quad \text{ec. 2AA-16-(N22)}$$

$$\Sigma \Delta b^{3/4} (\text{corregido}) = f_b \Sigma \Delta b^{3/4} (\text{calc.}) \quad \text{" (N23)}$$

$$\text{donde: } f_a = 1/3 \left[ W_i/W_s + 2 + 0.087m + 0.0045 \sum_{k=1}^m k(k-1) \right] \quad \text{-(N24)}$$

$$f_b = 1/2 (W_i/W_s + 1 + 0.101m - 0.005m^2) \quad \text{-(N25)}$$

m = Número total de cadenas laterales a la cadena de carbonos principal.

k = Constante de Boltzmann ver tabla 2AA-16-4 pag. 51

W = Número de Wiener; W<sub>s</sub> para hidrocarburos de cadena recta, W<sub>i</sub> para hidrocarburos con ramificaciones.

W es calculada multiplicando el número de carbonos de un lado de cualquier ligadura por el correspondiente número de carbonos del otro lado de la ligadura y haciendo la suma total.



TABLA 2AA-16 -(1)

Contribuciones de los hidrocarburos Alifáticos Saturados para  $a^{2/3}$  y  $b^{3/4}$ . (Referencia 95)

n	Type 1		Type 2		Type 3		Type 4	
	$\Delta a^{2/3}$	$\Delta b^{3/4}$	$\Delta a^{2/3}$	$\Delta b^{3/4}$	$\Delta a^{2/3}$	$\Delta b^{3/4}$	$\Delta a^{2/3}$	$\Delta b^{3/4}$
1								
2	15,577	11.453						
3	15,216	11.453	13,678	6.262				
4	15,035	11.453	13,678	6.262	12,567	2.064		
5	14,927	11.453	13,678	6.262	11,189	0.886	6,191	- 4.937
6	14,854	11.453	13,678	6.262	10,270	0.101	4,980	- 6.670
7	14,803	11.453	13,678	6.262	9,614	-0.460	4,123	- 7.909
8	14,764	11.453	13,678	6.262	9,122	-0.880	3,480	- 9.837
9	14,734	11.453	13,678	6.262	8,739	-1.207	2,979	- 9.559
10	14,710	11.453	13,678	6.262	8,433	-1.469	2,579	-10.337
11	14,690	11.453	13,678	6.262	8,182	-1.683	2,252	-10.160
12	14,674	11.453	13,678	6.262	7,974	-1.862	1,973	-11.004
13	14,660	11.453	13,678	6.262	7,797	-2.012	1,718	-11.337
14	14,648	11.453	13,678	6.262	7,646	-2.142	1,509	-11.623
15	14,638	11.453	13,678	6.262	7,514	-2.254	1,319	-11.870

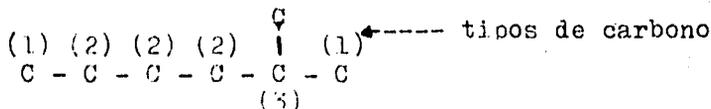
TABLA 2AA-16 - (2)

Contribuciones por doble y triple ligadura a  $a^{2/3}$  y  $b^{3/4}$  (Referencia 95)

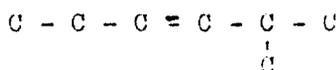
	$\Delta a^{2/3}$	$\Delta b^{3/4}$
<b>First double bond:</b>		
(1-1)	-3,868	-2.021
(2-1)	-3,154	-1.895
(2-2)	-2,551	-2.009
(3-1)	-1,548	-1.706
(3-2)	- 928	-1.820
(3-3)	- 540	-1.930
<b>Second double bond:</b>		
(3-1)	- 828	-1.259
(3-2)	- 406	-1.343
(3-1)	-1,332	-1.745
(2-2)	-1,324	-1.862
(2-3)	-1,318	-1.979
(3 ← 2-1)	-1,687	-1.399
(3 ← 2-2)	- 910	-1.485
<b>Triple bond:</b>		
(1-1)	-4,200	-3.680
(2-1)	-1,934	-3.003
(2-2)	-1,331	-3.122

Nota: La flecha se utiliza únicamente en sistemas conjugados, donde la doble ligadura puede estar con los 2 tipos diferentes de carbonos.

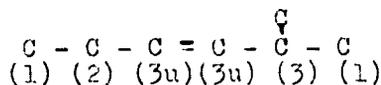
b) Ligaduras Olefinicas y Acetilenicas. Las contribuciones por concepto de dobles y triples ligaduras estan expresadas en la TABLA 2AA-16 -(2) pag. 46. En aquellos casos donde más de una doble ligadura se presente es necesario definir un nuevo tipo de carbono que es  $\overset{\cdot}{\text{C}} - \text{H}$  que es llamado 3u. Por ejemplo si tenemos el compuesto:



y si la primera doble ligadura es:



entonces la sustitución fue de tipo (2-2) y se le llama así por que se tienen en cuenta los tipos de carbonos entre los cuales la doble ligadura es insertada, pero antes de que esta sea insertada. Entonces nos queda:

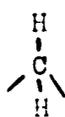


Si la segunda doble ligadura estuviera:  $\text{C} - \text{C} = \text{C} = \text{C} - \overset{\text{C}}{\text{I}} - \text{C}$  entonces esta segunda doble ligadura sería del tipo (3u-2).

Si la segunda doble ligadura estuviera:  $\text{C} = \text{C} - \text{C} = \text{C} - \overset{\text{C}}{\text{I}} - \text{C}$  sería del tipo (3u ← -2-1).

Si por ejemplo para una segunda doble ligadura fuera del tipo (2,1) y al ver su contribución en la tabla 2AA-16 -(2) pag. 46 no tiene valor para doble ligadura (segunda) por lo que tomaríamos el valor correspondiente a (2-1) de la lista de primera doble ligadura.

c) Formas Naftalénicas. Si la molécula contiene uno o más anillos naftalénico, los anillos de carbonos deben de ser tratados en forma diferente y en forma separada sus contribuciones. Ahora vamos a definir tres tipos nuevos de carbonos:



2n



3n

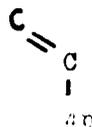
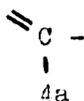
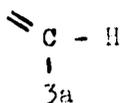


4n

Las contribuciones están en la tabla 2AA-16 - (3) pag. 50

Hay que hacer notar que una contribución separada es necesario para el anillo naftalénico también para las multisustituciones en el anillo.

d) Formas Aromáticas. Del mismo modo que para las formas Naftalénicas, los tipos de carbonos asociados con las formas aromáticas se definen como:



Los tipos 3a y 4a se presentan en los anillos simples aromáticos; el tipo 4b cuando son tratados sistemas de anillos fusionados. La lista de contribuciones a  $\Delta a^{2/3}$  y  $\Delta b^{3/4}$  es la tabla 2AA-16 - (3) pag. 50, para aromáticos trisustituidos o más altamente sustituidos esos compuestos son tratados según las consideraciones de la nota de la tabla 2AA-16 - (3) pag. 50

e) Grupos Funcionales: Describiendo de considerar todos los incrementos correspondientes a carbonos-hidrógeno, tales de ser considerados los grupos funcionales. Los valores de  $\Delta a^{2/3}$  y  $\Delta b^{3/4}$



son diferentes para cada grupo funcional y también dependen de "n" el número total de átomos de carbono y átomos funcionales presentes. Las fórmulas analíticas son:

$$\Delta a^{2/3} = q/n + k \quad \text{----- ec. 2AA-16-(N-6)}$$

$$\Delta b^{3/4} = s/n + t \quad \text{----- ec. 2AA-16-(N-7)}$$

donde q, k, s, y t están tabulados en la tabla 2AA-16 - (4)

pag. 51. Debe de ser notado que si el compuesto contiene más de un halógeno en un átomo de carbono, el halógeno de peso molecular menor es considerado primero y después el halógeno de peso más próximo al primero.

f) Tabulación. Después de que todos los valores de  $\Delta a^{2/3}$  y  $\Delta b^{3/4}$  están ya calculados se elevan a los exponentes  $3/2$  y  $4/3$  respectivamente para calcular a y b. Las unidades de a son  $\text{cm}^6\text{-at.}/(\text{gmol})^2$  y para b son  $\text{cm}^3/\text{gmol}$ ; entonces R deberá ser 82.06 para dar  $T_C$  en  $^{\circ}\text{K}$  y  $P_C$  en atm.

Ejemplo: Calcular la  $T_C$  del etil-propil eter. El valor experimental es de  $500.6^{\circ}\text{K}$ .

- Tenemos que "n" es 6

primero considerando el grupo eter: tabla 2AA-16 - (4) pag 51

$$\Delta a^{2/3} = q/n + k = \frac{14,500}{6} + 6,500 = 8,917$$

$$\Delta b^{3/4} = s/n + t = 0/6 + 3.26 = 3.26$$

Ahora considerando el grupo propilo etilo.

de la tabla 2AA-16 - (4) pag. 46

Tabla 2AA-16- (3)

Contribuciones por formas Naftalenicas y Aromaticas. (Ref 95)

		$\Delta\delta^H$	$\Delta\delta^M$
<b>Carbon type:</b>			
	2.	12,535	5.338
	3.	9,910	0.023
	4.	2,066	-8.094
	3.	11,646	5.991
	4.	11,144	1.043
	4.	11,561	1.634
<b>Naphthenic ring contribution</b>		2,648	9.073
<b>Aromatic ring contribution</b>		0	0
<b>Position contribution from multiple substitution:</b>			
<b>Naphthene rings</b>			
	<b>cis-1,2</b>	- 427	-0.866
	1,3	-2,525	-1.493
	<b>trans-1,2</b>	-2,525	-1.493
	1,3	-4,195	-2.494
<b>Aromatic rings</b>			
	1-2	- 830	-1.253
	1-3	-1,597	-0.806
	1-4	155	0.212
	1-5	279	0.254
	1-6	498	0.525

NOTA: Si varios anillos naftalenicos estan presentes en la misma molécula, una contribución por cada anillo debe ser hecha. Si solo hay una sola sustitución en el anillo la contribución de posición no es necesaria. Comp. disustituídos de la forma (1,1), (1,4), (1,5) etc. no estan definidos, pero en esos casos es recomendable utilizar el (1,3). También los comp. trisustituídos no estan definidos, deben de ser calculados utilizando las reglas de distribución procediendo alrededor de la molécula en el sentido de las manecillas del reloj.

Tabla 2AA-16 - (Nº4)

Constantes para las ecuaciones 2AA-16 (Nº6) y (Nº7)  
para compuestos que contienen grupos funcionales. (Ref96)

	Functional group	$\Delta s^{\circ} = q/n + k$		$\Delta s^{\circ} = s/n + l$	
		q	k	s	l
Alcohols.....	-OH	30,200	14,000	9.96	7.50
Phenols.....	-OH	0	8,500	0	4.19
Ethers (noncyclic).....	-O-	14,500	6,500	0	3.26
Ethers (cyclic).....		0	9,440	0	2.74
Ketones.....		62,800	16,700	27.20	4.55
Carboxylic acids.....	-COH	142,670	16,730	66.80	5.10
Acid anhydrides.....		0	43,880	0	14.78
Esters:					
Formates.....	HCO-	35,140	26,800	2.29	15.80
Others.....	-CO-	37,430	25,500	-3.09	12.20
Amines:					
Primary.....	-NH <sub>2</sub>	4,800	18,900	0	10.15
Secondary.....		51,800	0	19.60	-1.10
Tertiary.....	-N-	60,200	-4,300	29.20	-7.90
Nitriles.....	-CN	86,000	25,900	39.70	12.10
Aliphatic halides:					
Fluorides:	-F				
First.....		2,420	12,240	-3.70	10.92
Second.....		-28,500	4,510	-48.50	12.86
Third.....		0	3,450	0	6.92
Chlorides:	-Cl				
First.....		0	22,580	0	11.54
Second.....		64,000	-5,100	19.00	3.90
Third.....		-60,250	29,100	-40.80	19.40
Fourth.....		0	16,500	0	11.46
Bromides:	-Br				
First.....		-2,720	23,550	-4.35	11.49
Second.....		0	20,860	0	5.37
Iodides:	-I				
First.....		0	33,590	0	13.91
Aromatic halides:					
Fluoride.....	-F	0	4,210	0	7.22
Chloride.....	-Cl	0	17,200	0	10.88
Bromide.....	-Br	0	24,150	0	12.74
Iodide.....	-I	0	34,780	0	15.22

	$\Delta a^{2/3}$	$\Delta b^{1/4}$
2 carbonos tipo 1	2(14.54)	2(11.154)
3 " " 2	3(13.67)	3(6.262)
Grupo eter	8.917	3.66
	<hr/> 79,659	<hr/> 44,952

Entonces:  $a = (79,659)^{3/2} = 22.49 \times 10^6 \text{ cm}^3\text{-atm}/(\text{mol})^2$

$b = (44,952)^{4/3} = 159.8 \text{ cm}^3/\text{mol}$

Sustituyendo en la ec. 2A-16-(21) pag. 43

$$t_c = \frac{8a}{27bR} = \frac{8(22.49) \times 10^6}{27(82.06)(159.8)} = 508^\circ$$

Error:  $(508-500.6) \times 100 / 500.6 = +1.5\%$

Precisión: En hidrocarburos el error es del 1% en compuestos que contengan grupos funcionales es del 2%.

Referencias: 4, 91, 95, 96, 97, 98, 23.

2AA-17 Método de Gates y Rhodos.

Características: Este método solo es utilizado para el caso de elementos puros, el método es bastante rápido y posee buena exactitud.

Equación: 
$$T_C = 1.47 T_B^{1.03}$$

Donde:  $T_C$  = Temp. Crítica °K.

$T_B$  = Temp. de ebullición °K.

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula.

Precisión: El error promedio es del 1.4%.

Referencias: 4, 24.

## ESTADO CRÍTICO DE MEZCLAS Y SISTEMAS DE 2 FASES.

Las condiciones de equilibrio para la coexistencia de las fases líquida y vapor están definidas por la curva de presión de vapor en un diagrama de presión-temperatura. Esta curva empieza en el punto triple donde las fases sólida, líquida y vapor están en equilibrio y termina en el punto crítico. A medida que nos acercamos al punto crítico mediante las fases coexistentes, sus propiedades se van haciendo similares hasta ser idénticas a Temp. crítica y presión crítica donde se presenta una sola fase homogénea.

En el caso de mezclas homogéneas de líquidos, la vaporización a presión cte. toma un rango de temperatura en lugar de una sola temperatura asociada con la presión de vapor de la sustancia pura. Consecuentemente la vaporización de un líquido multicomponente requiere de 2 curvas en el diagrama Presión-Temperatura para definir las características de ebullición en lugar de una sola curva de presión de vapor. Como ilustración (pág. 56) la figura muestra una parte de un diagrama Presión-Temperatura para una mezcla hipotética de líquidos. En este diagrama la presión de 2 atmósferas

contenida en la curva  $Lp, C, M, V$  que esta formada en la curva de punto de burbuja  $Lp, C$  y la curva de punto de rocío  $V, C$ . El punto común  $C$  es el punto crítico donde coexisten líquido y vapor en una sola fase homogénea.

El significado de las curvas de punto de burbuja y de punto de rocío puede ser demostrado siguiendo una trayectoria isobárica o isotérmica a través de la curva, cruzando ambas regiones de punto de burbuja y rocío. Por ejemplo: Siguiendo una trayectoria isobárica (presión constante) en el caso 2-1 (pag. 36) entre los puntos 1 y 2; cruza la curva de punto de burbuja en  $A$  y la curva de punto de rocío en  $B$ . Empezando por 1 que es la región de líquido homogéneo, incrementando la temp. del sistema no ocasionando cambios en el sistema de agregación de la mezcla, hasta que la temp. sobrepasa el punto  $A$ . En este punto la vaporización comienza y de seguir aumentando la temp. la cantidad de líquido en el sistema irá decreciendo mientras que la fase gaseosa se irá incrementando. Siguiendo la misma línea pero ahora en sentido contrario, del punto 2 en la región de vapor homogéneo hacia el punto 1, no hay cambio en la fase de vapor hasta que se cruza el punto de rocío  $B$  donde la condensación del vapor comienza. De seguir reduciendo la temp. más vapor se irá condensando hasta el punto  $A$  (punto de burbuja) en que

contenida en la curva  $Lp\ C_{M}V$  que esta formada en la curva de punto de burbuja  $Lp\ C$  y la curva de punto de rocío  $Vp\ C$ . El punto común  $C$  es el punto crítico donde coexisten líquido y vapor en un solo fase homogénea.

El significado de las curvas de punto de burbuja y de punto de rocío puede ser demostrado siguiendo una trayectoria isobárica o isotérmica a través de la curva, cruzando ambas regiones de punto de burbuja y rocío. Por ejemplo: siguiendo una trayectoria isobárica (presión constante) en el caso 2-1 (Fig. 36) entre los puntos 1 y 2; cruza la curva de punto de burbuja en  $A$  y la curva de punto de rocío en  $B$ . Empezando por 1 que es la región de líquido homogéneo, incrementando la temp. del sistema no ocasionando cambios en el sistema de la relación de la mezcla, hasta que la temp. sobrepasa el punto  $A$ . En este punto la vaporización comienza y de seguir aumentando la temp. la cantidad de líquido en el sistema irá decreciendo mientras que la fase gaseosa se irá incrementando. Siguiendo la misma línea pero ahora en sentido contrario, del punto 2 en la región de vapor homogéneo hacia el punto 1, no hay cambio en la fase de vapor hasta que se cruza el punto de rocío  $B$  donde la condensación del vapor comienza. De seguir reduciendo la temp. más vapor se irá condensando hasta el punto  $A$  (punto de burbuja) en que





el sistema es completamente líquido.

El caso II (Fig. 50) muestra un ejemplo típico de vaporización ó condensación a temp. cte. En este caso entre los puntos 3 y 4 la trayectoria es en la región de valor homogénea. Entre D (punto de rocío) y el punto 3 en la curva de punto de burbuja el vapor se va condensando a medida que aumentamos la presión hasta ser completamente líquido en el punto 3. De 3 hasta el punto 4 el estado de vaporización de la mezcla no varía si continuamos aumentando la presión.

Una de las características más importantes de los diagramas Presión-Temperatura de mezclas es que la curva que envuelve la región de 2 fases puede tener valores máximos de Presión y Temperatura los cuales no necesariamente coinciden con el punto crítico. Esto se ve en la Fig. 50, donde la presión máxima es  $p_{H1}$  y la temp. máxima es  $T_{H1}$ . La presión máxima  $p_{H1}$  es denominada frecuentemente "cricondenbar" que es la abreviación de presión crítica de condensación (critical condensation pressure). Similarmente a la  $T_{H1}$  se le denomina "cricondenbar" de temperatura crítica de condensación. Los puntos  $p_{H1}$  y  $T_{H1}$  en las curvas de punto de burbuja y de rocío hacen posible:

1.- Siguiendo una trayectoria isobárica a una presión mayor que la presión crítica como se ve en el caso III pag. 56 . se cruza la curva de punto de ebullición en 2 puntos sin cruzar la curva de punto de rocío.

2.- Siguiendo una trayectoria isobárica a una temperatura mayor que la temp. crítica como se ve en el caso IV pag. 56 . la cual cruza la curva de punto de rocío en 2 puntos sin cruzar la curva de punto de ebullición.

Estas posibilidades nos muestran los fenómenos de vaporización y condensación en una forma diferente de los casos I y II en los cuales las trayectorias fueran respectivamente a una temp. y presión menores que las críticas. En el caso III por ejemplo, la trayectoria isobárica entre los puntos 5 y 6 es a una presión intermedia entre las presiones crítica y máxima, cruza la curva de punto de ebullición en F y G. Ya sea que la temp. suba o baje, el punto inicial de intersección con la curva de punto de ebullición coincide con el principio de la vaporización si la trayectoria se sigue. En lo mucho que esta trayectoria se aleja de pasar a la fase líq. homogénea sin cruzar la curva de punto de rocío, si se continua hasta el segundo punto de intersección, es evidente que la vaporización se incrementa desde 0 hasta un valor máximo y volverá a decrecer hasta 0 cuando

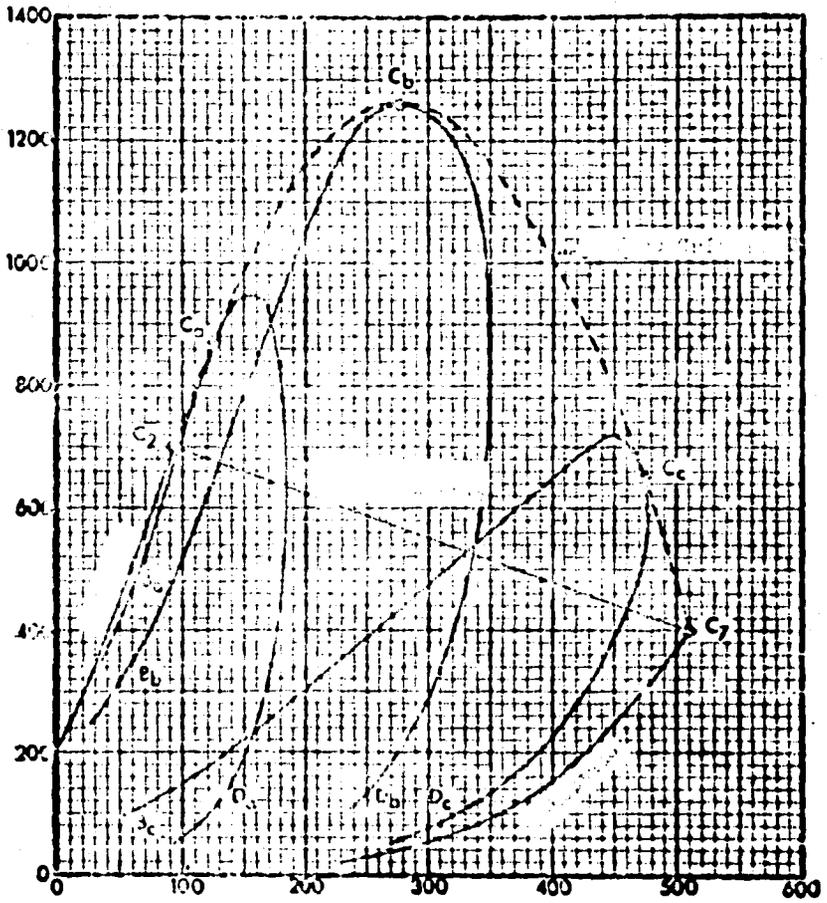
al cruzar por segunda ocasión la curva de punto de burbuja. En estas circunstancias una parte de la trayectoria isobárica entre los puntos F y G que cae entre el punto de vaporización máxima y G puede significar condensación con un incremento de temperatura o una vaporización con un decremento en la temp. dependiendo de la dirección que se tome. Este comportamiento anormal es denominado "vaporización isobárica retrograda" por Sage y Lacey (Ref. 124).

En el caso IV se tiene una trayectoria isotérmica a una temp. entre la temp. crítica del sistema y la temp. máxima en la curva de punto de burbuja esta señalada entre los puntos 7 y 8 (pag. 36) en la región de vapor homogéneo. Esta trayectoria cruza la curva de punto de rocío en los puntos 9 y 10 ocasionando con esto un comportamiento anormal de los fenómenos de vaporización y condensación como se muestra en el caso III. En este caso es denominado condensación isotérmica retrograda Ref. 124 y 125.

**EL POCO CRÍTICO:** La región de 2 fases de la pag. 39 reorienta la relación entre la Presión y la temp. en la región crítica para una mezcla con la composición definida. Cualquier cambio en la composición de la mezcla produce alteraciones en la curva que envuelve la región de 2 fases. La Temp. crítica, presión crítica,  $T_{c1}$ ,  $p_{c1}$  y las pendientes

de la curva de punto de burbuja y de punto de rocío serán diferentes.

En la pag. 61 se puede observar los efectos del cambio de composición en la pendiente (forma) de la curva que envuelve la región de 2 fases. La figura es la gráfica de Kay (Ref. 137) nos muestra el diagrama de Presión-Temperatura para etano y n-heptano en 5 diferentes mezclas en la región crítica. De las 3 curvas que envuelven la región de 2 fa es de la fig. 1B 2 de la pag. 61. la que esta señalada con  $C_0$  para la mezcla binaria que contiene el 9.78% de etano es la más parecida al diagrama presentado en la pag. 56 . que es el correspondiente a una mezcla hipotética. En las curvas marcadas con  $C_a$  y  $C_b$  la diferencia es visible en todas las variables. El cambio de posición del punto crítico con relación a los valores máximos de temp. y presión se observó en los 3 casos. Comparando las 3 curvas de la fig. 1B 2 pag. 61 con la curva de la fig. 1B 1 pag. 56 se ve que el punto crítico aparentemente puede ser localizado en cualquier lugar de la curva entre los puntos A y H (Fig. 1B 1). . Cuando la mezcla contiene una alta proporción del componente más ligero el punto crítico probablemente estará entre los puntos A y B (Fig. 1B 1). Cuando la concentración del comp. volátil es la menor el punto crítico probablemente estará



entre los puntos  $U$  y  $V$  (Fig. 1B 1). Una de las consecuencias de esta variación en la posición relativa al punto crítico de la presión crítica de condensación, temp. crítica de condensación es que las características del fenómeno retrogrado descrito anteriormente varían en cada caso. Los diferentes tipos del fenómeno retrogrado descrito con anterioridad son solo 2 de un total de 8 posibilidades descritas por Sage y Lacey Ref 124. en todo el rango de composiciones entre los componentes líquido y gaseoso.

La línea punteada de la fig. 1B 2 que el punto crítico del etano con el del n-hexano y es tangente a los puntos críticos de las mezclas y se conoce como  $U$  de C. Así asociamos un punto crítico para cada composición, y que hay una presión crítica para cada temp. crítica.

En la práctica, el foco crítico de sistemas multicomponentes es interesante a diferencia de los sistemas binarios. Las características expresadas en la gráfica 1B 2 sugieren que una mezcla de multicomponentes pueden resolverse fácilmente en la misma forma es necesario solamente demostrar que una de las dos curvas de presión de vapor del sistema binario han reconstruido por diagramas Presión-temperatura de esas de compuestos. Entonces cada punto del foco crítico representa un punto crítico de una mezcla, así el punto  $U$  de la fig. 1B 1

puede ser considerado como el punto crítico de un pseudocomponente.

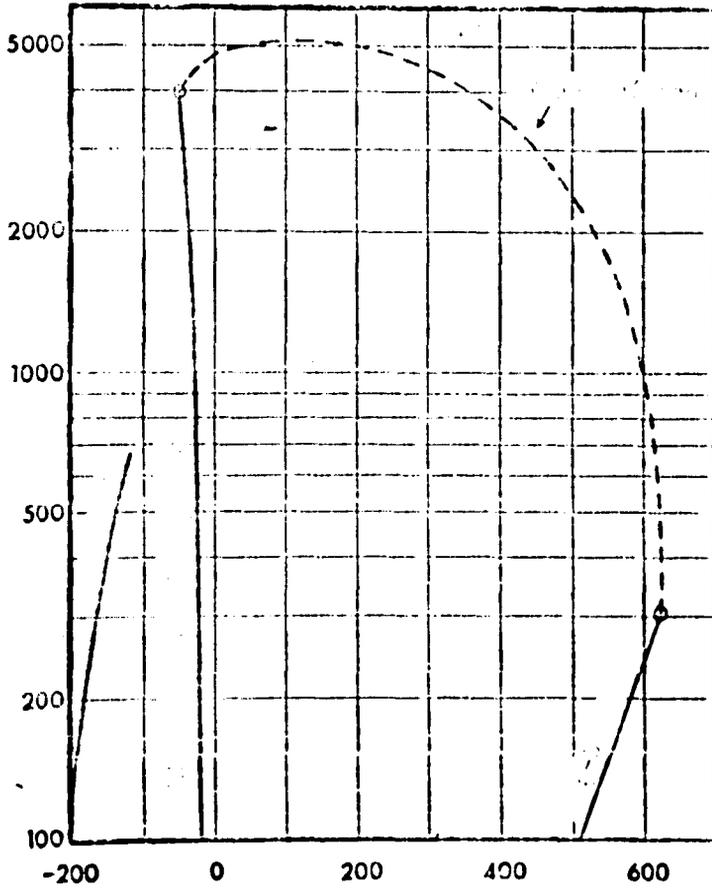
En una mezcla de varios componentes puros de volatibilidad variable, por ejemplo, los 2 pseudocomponentes requeridos para establecer los términos del foco crítico para la mezcla se deben escoger de manera que la curva de presión de vapor del comp. más volátil nos proporcione las relaciones presión-temperatura de uno de los componentes de la mezcla binaria hipotética. El otro componente necesitado para establecer el foco crítico y poder hacer la curva que envuelve la región de 2 fases que nos defina las relaciones Presión-Temperatura de la mezcla multicomponente consistente en todos los compuestos complementantes de la mezcla en consideración. Esto significa que en el diagrama Presión-Temperatura como la fig. 10-2 la curva de presión de vapor del componente pesado en el sistema binario es reemplazado por la curva que envuelve la región de 2 fases de una mezcla producto de la combinación de los componentes pesados, se considera como un pseudocomponente. Al mismo tiempo, la curva de presión de vapor del comp. ligero puro representa las relaciones Presión-Temperatura del comp. más volátil del sistema pseudo-binario como la forma más sencilla como sustitución del sistema multicomponente total considerado.



Com estos considerados como pseudocriticos deben de tener rigidas como de mezcla tales que las curvas que representan las com. intermedias puedan ser definidas como mezclas binarias de los 2 pseudocriticos. Cualquier cambio de composicion en un pseudocritico desplazara obviamente el punto critico, variando el foco critico o sea se convierte en un sistema diferente.

El foco critico que se ilustra en la fig 1B 3 pag. 65 es muy similar al de muchos sistemas comunmente conocidos. Recibe el nombre de tipo 1. Todos los metodos que aqui se presentan para calcular temp. o presiones criticas de mezclas de hidrocarburos se basan en este foco critico tipo 1.

Existen por lo menos otros 3 tipos de foco critico para las cuales estos metodos (2AB-5 y 6 pag. 86, 89 y 2AB-6, 7 pag. 137). no son aplicables. Los de estos tres tipos de foco critico reportados son para sistemas binarios que contienen metano, pero estos fenomenos no estan lo suficientemente estudiado para excluir con seguridad compuestos como etano, propano, butano y etileno por un comportamiento semejante bajo las mismas condiciones. En ausencia de datos experimentales, por lo menos en el caso de mezclas binarias se puede decir que cuando el comp. pesado tiene un punto de fusion igual o mayor que la  $T_f$  del comp. ligero, el foco critico



tipo de la mezcla se apartará de la forma del tipo I. De un modo o otro se apartará continuamente cuando componentes de volatilidad intermedia son agregados a la mezcla simple. Si los componentes de volatilidad intermedia están presentes en concentración y número suficientes, el foco crítico de la mezcla multicomponente resultante puede acercarse a la forma del tipo I.

Los siguientes sistemas se conocen como focos críticos anormales.

Tipo II.- El sistema etano-n-heptano (Ref. 127 y 128). El foco crítico se extiende del punto crítico del n-heptano a bajas temp. y termina a una temp. abajo de la  $T_C$  del metano y a una presión arriba de la  $P_C$  del metano. El final de este foco crítico es la intersección con otro foco crítico de 2 fases líquidas.

Tipo III.- El sistema metano-n-decano (Ref. 128). El foco crítico se extiende del punto crítico del n-decano a bajas temp. y termina a mayor temp. y presión que los valores críticos del metano. Este foco crítico termina en un punto crítico que es también el final del foco gas-líquido-sólido. Ver pag. 85 que nos representa el diagrama presión-temp. para este sistema.

Fig. 17.- Sistema binario n-hexano-1-hexano. En todos los casos, el foco crítico cambia del tipo crítico con  $T_c$  menor, ver pag. 66 que es general el sistema sustituido-estileno.

Temperatura y presión pseudocríticas: Al uso del teorema de los estados correspondientes (ref.129) para la correlación de las propiedades de una familia de hidrocarburos requiere de los parámetros que se conocen como  $T_c$  y  $P_c$  reducidos. Para estos valores es el equivalente de la  $T_c$  o presión críticas respectivas para la  $T_c$  y  $P_c$  del compuesto. Para correlacionar las propiedades de los estados correspondientes se aplica cuando se utilizan la temp. y presión pseudocríticas. Las propiedades pseudocríticas no son valores experimentales sino que son obtenidos por las ec. empíricas de Kay (ver pag. 70 y eq. 124.).

- 1.- La temp. pseudocrítica de una familia de hidrocarburos es la suma de los productos de la fracción molar de cada uno de los comp. por su respectiva  $T_c$ . (ver . 70 )
- 2.- La presión pseudocrítica de una familia de hidrocarburos es la suma de los productos de la fracción molar de cada uno de los comp. por su respectiva  $P_c$ . (ver . 124 )

Figure 10-4

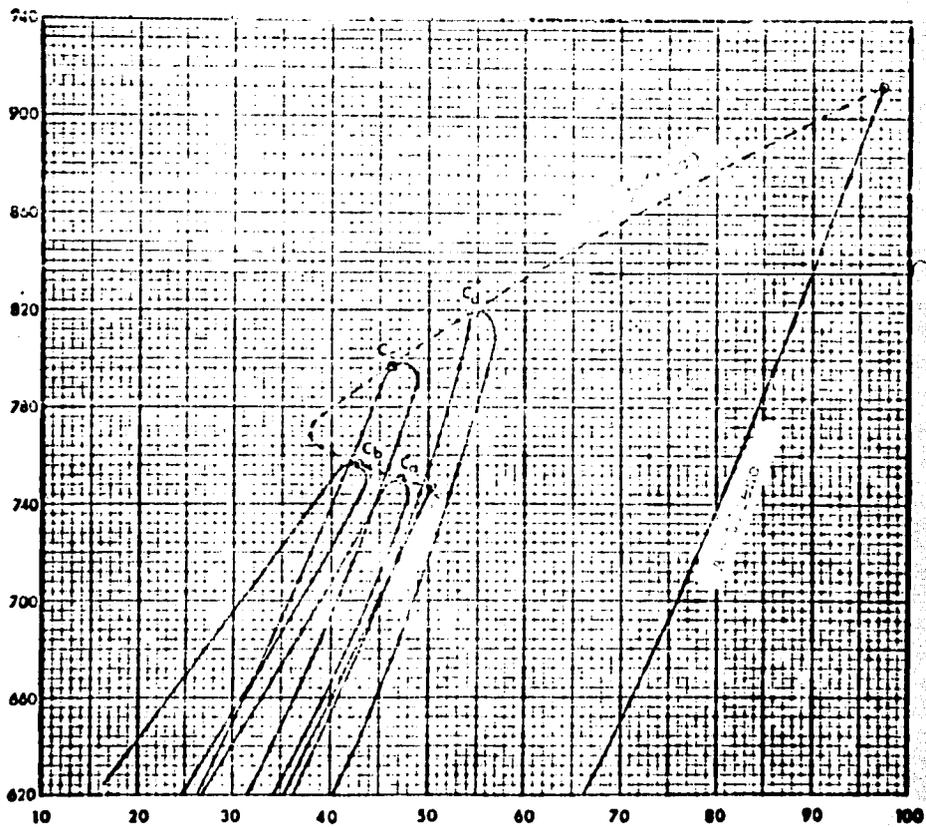


Figure 10-4

Por otro método de cálculo, la temp. y presión pseudocrítica son siempre menores que los valores críticos verdaderos. En la fig. **1B 2 pag. 61** el punto  $(p_{pc}, T_{pc})$  puede representar la temp. y presión pseudocríticas de la mezcla de la cual los valores críticos verdaderos están en el punto C. Por la misma razón el punto del punto pseudocrítico es una línea recta entre el rango de composiciones de la mezcla como se ilustra en la fig. **1B2 pag. 61**.

Los valores críticos verdaderos son utilizados con el propósito de definir el punto crítico de la mezcla por lo menos con un cierto grado de realismo, a pesar de tener las condiciones más favorables nos encontramos que los valores de la temp. y presión críticas varían bastante de los valores encontrados experimentalmente.

Para encontrar los valores de la temp. crítica y pseudocrítica de mezclas de hidrocarburos conocidos podremos utilizar principalmente los métodos **2AB-5** y **2AB-6** de las pags. **86** y **89**. dependiendo si la mezcla tiene una gravedad específica mayor o menor de 0.6. También la temp. pseudocrítica se puede calcular por el método de Kay pag.

Para encontrar los valores de la presión crítica y pseudocrítica podremos utilizar los métodos **2BB-5**, **2BB-6** y **2BB-7** de las pags. **137, 140** y **143**. También por el método de Kay pag. **124**.

## 2AA-18 Método de Kay.

Características: Este método se emplea para calcular la  $T_{pc}$  en las mezclas, puede considerarse tomando en cuenta su simplicidad y su buena exactitud que este es uno de los mejores métodos.

Ecuación:  $T_{pc} = x_1 T_{C1} + x_2 T_{C2} + \dots$  cc. 2AA-18-(Nº1)

Donde:  $T_{pc}$  = Temp. Pseudocrítica °R, °K.

$T_C$  = Temp. Crítica °R, °K.

$x_{1,2}$  = Fracción mol.

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula; se sustituyen las diferentes fracciones mol de la mezcla por sus respectivas temp. críticas.

Precisión: Posee un error promedio del 3%.

Referencias: 14, 32, 105, 106, 117, 118.

### 2AA-19 Método de Edmister.

Características: Este método se emplea para mezclas de gas natural solamente. Posee buena exactitud.

Relación:  $T_{pc} = 190 + 283s$  ----- ec. 2AA-(191)

Donde:  $T_{pc}$  = Temp. pseudocrítica °R.

$s$  = gravedad específica del gas.

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula, el aire tiene un  $\underline{s}$  de uno, se calcula con  $M/29$  ( $M$  = Peso molecular) esta ecuación solo se aplica para mezclas con un  $M$  entre 16 y 26 o sea con un  $\underline{s}$  entre 0.55 y 0.90.

Precisión: Tiene buena exactitud. No se tiene el dato del valor del error estadístico promedio.

Diferencias: 14, 100.

Otro método para mezclas de gas natural es el propuesto por Runkle Ref 110.





## 2AA-21 Método de Joffe.

Características: Este método se utiliza para calcular las propiedades Pseudocríticas de mezclas gaseosas, este investigador relaciono el método de Kay, el de van der Waals y la teoría cinética de Lorentz. Este método posee buena exactitud.

$$T_C/P_C^{1/2} = x_1 T_1/P_1^{1/2} + x_2 T_2/P_2^{1/2} \quad \text{---- ec. 2AA-21-(Nº1)}$$

$$T_C/P_C = x_1^2 T_1/P_1 + x_2^2 T_2/P_2 + 1/4 \left[ (T_1/P_1)^{1/3} + (T_2/P_2)^{1/3} \right]^3 x_1 x_2 \quad \text{---- ec. 2AA-21-(Nº2)}$$

Donde:  $T_C$  = Temp. Pseudocrítica de la mezcla °K.

$P_C$  = Presión Pseudocrítica de la mezcla atm.

$T_1, T_2$  = Temp. Crítica de los comp. °K.

$P_1, P_2$  = Presión Crítica de los comp. atm.

$x_1, x_2$  = Fracción mol de los componentes.

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula.

Precisión: Para el caso  $CH_4-n-C_4H_{10}$  el error promedio 1.09%  
el error máximo 3.19%

Para el caso  $CH_4-C_3H_8$  el error prom. 1.62%  
el error máx. 4.17%

Para el caso  $CH_4-C_2H_6$  el error prom. 1.44%  
el error máx. 1.08%

Para el caso  $CH_4-CO_2$  el error prom. 2.26%  
el error máx. 4.59%

Para el caso  $\text{CO}_2^-$ , el error rel. 1.77  
el error abs. 3.12

Referencias: 105, 106.

2AA-22 Método de Chueh.

Características: Este método está basado en que los experimentales es una función cuadrática de la fracción de superficie, posee buena exactitud.

Relación:

$$T_G = \theta_1 T_{c1} + \theta_2 T_{c2} + 2 r_{12} \theta_1 \theta_2 \quad \text{eq. 2AA-22-(Nº1)}$$

Donde:  $T_G$  = Temp. Crítica de la mezcla  $^{\circ}\text{K}$ .

$\theta_1$  = Fracción de superficie del componente 1.

$T_{c1}$  = Temp. Crítica del componente 1.

$r_{12}$  = parámetros característicos de la interacción de los componentes 1 y 2. (Ref. 31).

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula, para lo cual ver Ref. 30, 31, 32.

Precisión:

sistema	$T_G$ desviación promedio
n-octano-n-heptano	0.01
n-hexano-n-heptano	0.01
n-hexano-n-octano	0.02
o-xileno-benceno	0.04
o-xileno-tolueno	0.02
o-xileno-etilbenceno	0.02
tolueno-benceno	0.02
tolueno-etilbenceno	0.02
etilbenceno-benceno	0.03
ciclohexano-metilciclohexano	0.01
ciclohexano-etilciclohexano	0.02
ciclohexano-o-ciclohexano	0.03
ciclohexano-etilciclohexano	0.05

metilciclohexano-cicloheptano	0.01
metilciclopentano-ciclohexano	0.04
metilcicloheptano-n-hexano	0.02
benceno-ciclopentano	0.01
benceno-metilciclopentano	0.02
benceno-n-hexano	0.03
benceno-n-heptano	0.02
benceno-n-octano	0.05
benceno-n-nonano	0.05

referencias: 30, 31, 32.

2AE-1 Diagrama para el método de Riedel.

Características: Ver pag. 26 .

Procedimiento: Se traza una línea que una la temp. de ebullición y el valor de  $T_B/T_C$  de la ec. 2AA-7-(191) pag. y prolongando esta línea encontramos la temp. crítica que buscamos.

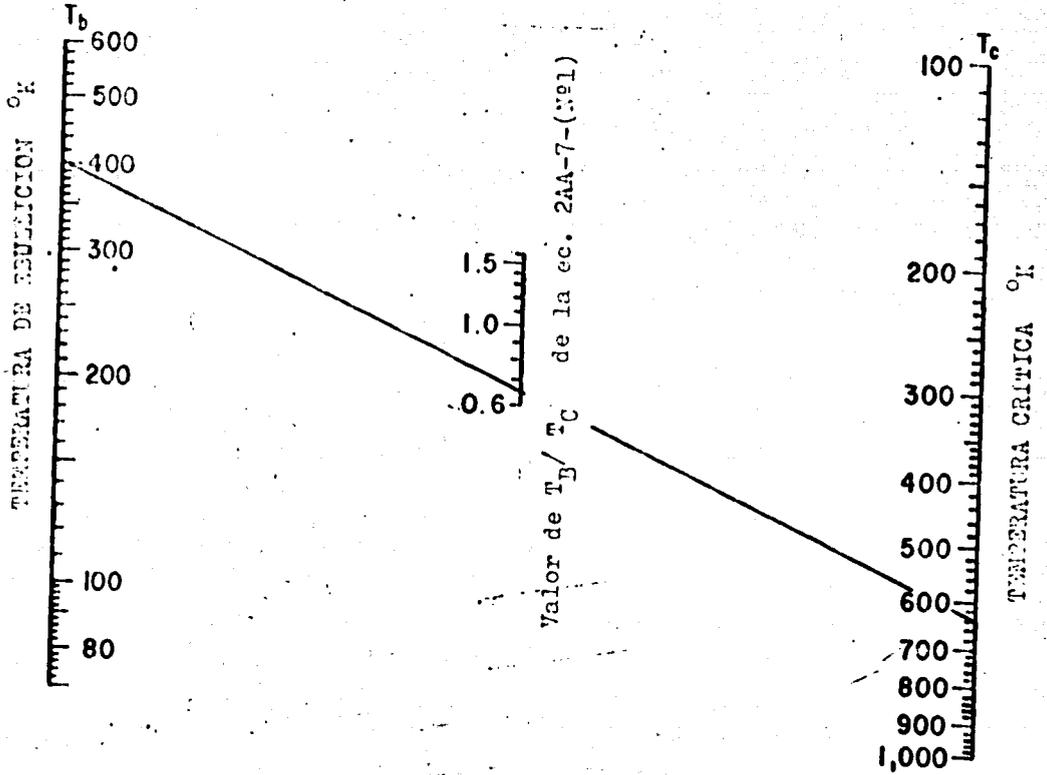
Ejemplo: ver pag. 26 . de la ec. 2AA-7-(191)

$$T_B/T_C = 0.576 + 0.061 = 0.637$$

con  $T_B = 495^\circ\text{F}$  y  $T_B/T_C = 0.637$  obtenemos  $T_C = 640^\circ\text{K}$ .

Referencias: 27

2AB-1 Homograma método Riedel.



2AB-2 Monograma Davis.

Características: Wan (Ref.113) demostró que para 6 grupos de compuestos orgánicos: ácidos, alcoholes, ésteres, hidrocarburos y nitrilos, la temp. crítica es una función lineal de la refracción molar.

Ecuación:  $T_c = k_1 R + k_2$  ----- eq. 2AB-2-(11)

Donde:  $T_c$  = Temp. Crítica (°C).

$R$  = Refracción molecular

$k_1$  y  $k_2$  = coef. que varían en cada grupo de comp.

		$k_1$	$k_2$
1	Acidos	4.09	268.5
2	Alcoholes	3.74	133.0
3	Ésteres	4.61	150.8
4	Éteres	5.81	67.1
5	Hidrocarburos	7.02	23.1
6	Nitrilos	4.02	228.4

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula.

Se traza una línea que una el valor de la refracción molar y que pase por el punto correspondiente y en la relación de esta línea se obtiene la  $T_c$  crítica.



QUÍMICO

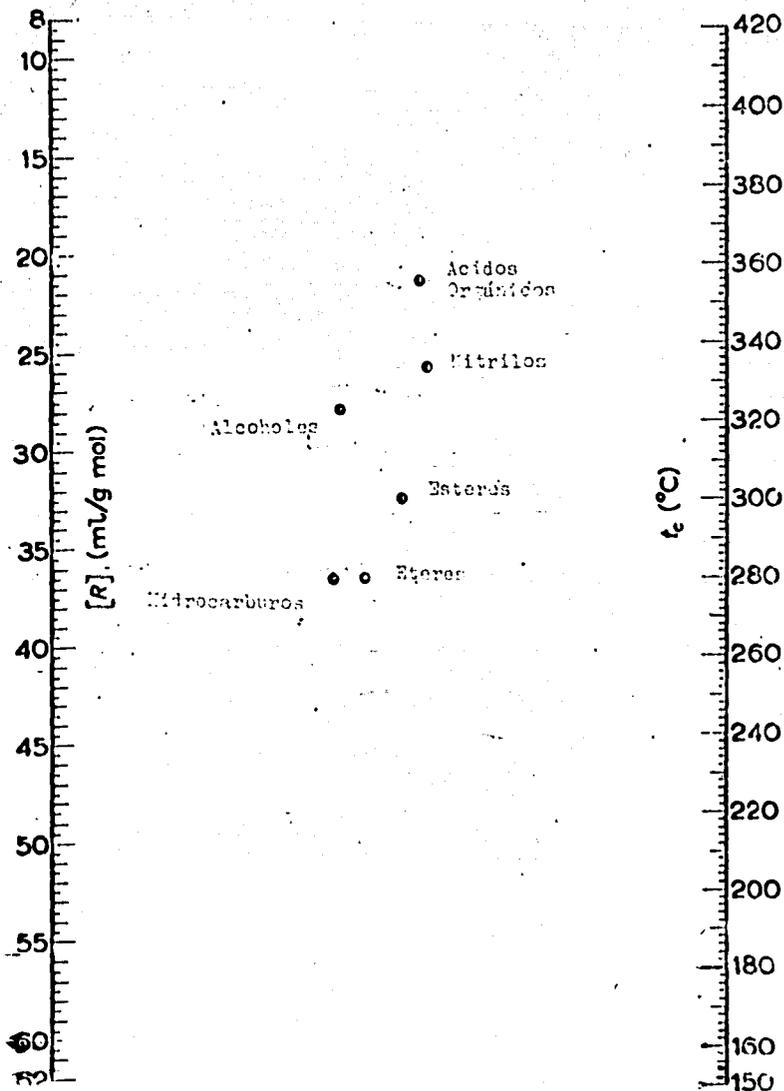


Ejemplo: Para el caso del etil- zedil eter, tiene una refracción molar de 27.2 y es del grupo nº 4, utilizando el mismo trama obtenemos una  $T_c$  de  $225^{\circ}\text{C}$ . El valor observado de las Tablas Críticas Internacionales es de  $227.4^{\circ}\text{C}$ .

Precisión: No se tiene el valor de la desviación estadística promedio.

Referencias: 66, 113, 114

2AB-2 Nomograma de Davis.



2AB-3 Nomograma Acarbonda.

Características: Este nomograma fué elaborado a partir de constantes críticas de hidrocarburos puros.

$T_c$  = Temp. Crítica °F.

$T_b$  = Temp. de ebullición °F.

$P_c$  = Presión Crítica lb/in<sup>2</sup> abs.

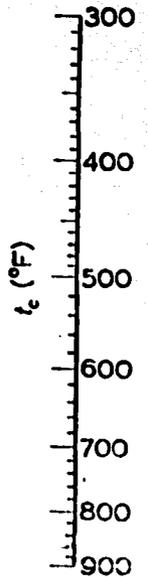
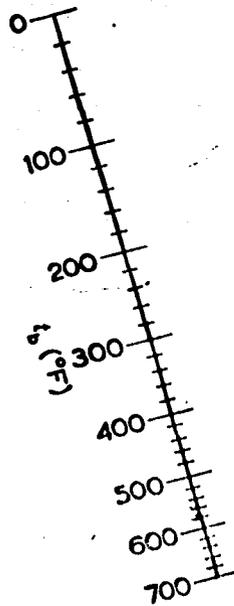
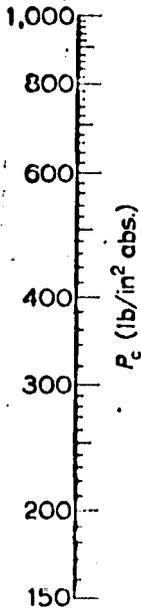
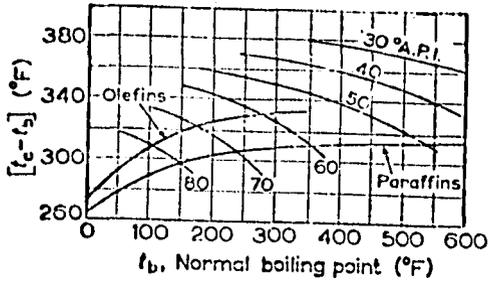
Procedimiento: En la parte superior derecha del nomograma se indica la temp. de ebullición del hidrocarburo y conociendo su densidad en grados A.P.I. puede encontrarse la temp. crítica correspondiente.

En el nomograma puede calcularse la temp. o presión críticas; se traza una línea que una la temp. de ebullición y la presión crítica y se prolonga hasta encontrar la temp. crítica buscada.

Precisión: No se tiene el valor del error promedio estadístico.

Referencias: 114, 115.

2AB-3 Diagram Kharbada



2AB-4 nomograma de Thodos.

Características: ver pag. 43 . (2AA-16 Método de Forman y Thodos).

Este nomograma se emplea para calcular la temp. crítica de hidrocarburos alifáticos saturados y no saturados.

Relación:  $T_C = 8a / 27 R b$  ----- ec. 2AB-4-(191)

Donde:  $T_C$  = Temp. Crítica  $^{\circ}K$ .

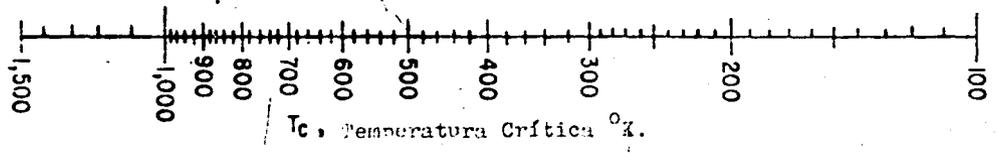
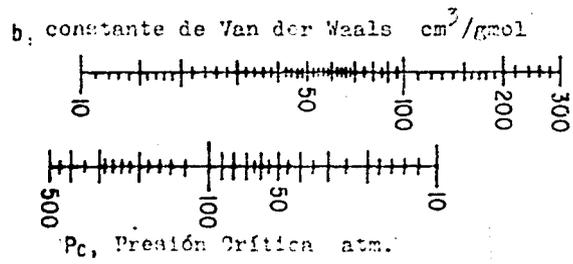
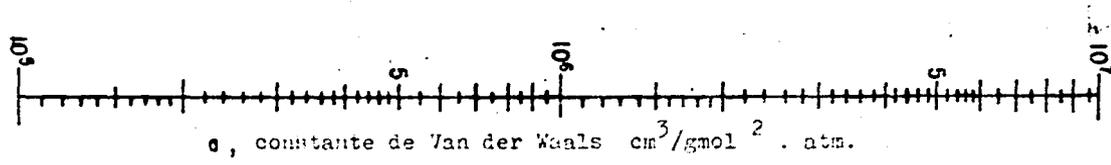
$a$  = Constante de Van Der Waals  $(cm^3/gmol)^2(atm)$ .

$R$  = Constante del edo, gaseoso  $82.06 \text{ Cm}^3\text{atm}/^{\circ}K \text{ gmol}$ .

Procedimiento: Para calcular las ctes.  $a$  y  $b$  ver pag. 43 .

Una vez que tenemos las ctes  $a$  y  $b$  unir las mediante una línea recta y la prolongación de esta nos dará el valor de la  $T_C$  buscada.

Referencias: 4, 91, 95, 96, 97, 98, 117 y 118.



## 2.15-3 Método API (L-)

**Características:** Este método no es apropiado para mezclas que contengan metano que lo  $T_c$  es menor de  $100^{\circ}\text{F}$ . Este método se emplea para sust. que tengan un punto crítico del tipo I pag. 64

Para mezclas de gravedad específica menor de 0.6 . . . o se debe extraer bien.

**Procedimiento:** Necesitamos sacar el WABP (punto de ebullición promedio total (ver ejemplo), el punto de ebullición en peso promedio WABP, también necesitamos la gravedad específica volumétrica promedio (ver ejemplo) ó la gravedad en peso promedio en  $^{\circ}\text{API}$ , el punto de ebullición promedio en  $^{\circ}\text{F}$ .

Se toma el valor que tenemos de gravedad específica promedio ó el de la mezcla en  $^{\circ}\text{API}$  con el valor WABP y se obtiene la temp. pseudo-crítica  $T_{pc}$  y si se une con el valor WABP obtenemos la temp. crítica verdadera  $T_c$ .

**Ejemplo:** Estimar las  $T_{pc}$  y  $T_c$  de una mezcla de 55. mol de propano y 45. mol de n-pentano.

funcióna en los dos casos. Los.

	Fracción mol	Fracción en peso	Gravedad específica	Punto de ebul. °F
Propano	0.350	0.248	0.508	-43.7
n-butano	0.650	0.752	0.631	+96.9

$$LADP = 0.350(-43.7) + 0.650(96.9) = 47.7 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$WABP = 0.248(-43.7) + 0.752(96.9) = 62.1 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Gravedad específica volumétrica promedio 60F/60F =

$$= \frac{1}{\frac{.248}{.508} + \frac{0.752}{0.631}} = \frac{1}{1.68} = 0.595$$

Esta gravedad específica es un poco menor que 0.6 por lo que el empleo de esta nomenclatura es correcto.

Así observamos los valores  $T_C = 347^\circ\text{F}$  y  $T_{pc} = 329^\circ\text{F}$ .

La  $T_C$  observada es de  $339.0^\circ\text{F}$

Utilizando la ec. de Ray (2AA-18 pag. 70) obtenemos  $T_{pc} = 323^\circ\text{F}$ .

**Precisión:** El error absoluto promedio en la estimación de  $T_C$  es el 4% de la  $T_C$  n. abs. con una desviación máxima de  $48^\circ\text{F}$ . Estos errores no comprenden mezclas que contengan metano con una  $T_C$  menor de  $100^\circ\text{F}$ .

Referencias: 92, 120.





2AB-6 Método API (2<sup>a</sup>)

**Características:** Este método es solo aplicable a sistemas que tengan un foco crítico de  $1.0$  seg. 64 para viscosidades de gravedad específica mayor de  $0.6$  o se debe extrapolar.

**Procedimiento:** Se calculan VABP y VABP como en el método anterior. Cuando se utilizan datos de destilación ASTM D para obtener puntos de ebullición para temp. arriba de  $415^{\circ}\text{F}$  deberán de corregirse por cracking por:  $\log D = -1.587 + 0.00473 T$  donde:  $D$  = corrección que debiera a cracking  
 $T$  = temp. observada de dest.  $^{\circ}\text{F}$ .

El camino a seguir es igual al método anterior.

**Ejemplo:** Calcular la  $T_{90}$  de una cierta kerosina que tiene una gravedad  $^{\circ}\text{API}$  de  $41.0$  y las siguientes temp. de destilación ASTM D

%Volumen Destilación	10	30	50	70	90
Temperatura $^{\circ}\text{F}$	394	406	418	434	460

$$\text{La pendiente de dest. ASTM (10 a 90)} = \frac{460 - 394}{90 - 10} = 0.83^{\circ}\text{F}/\% \text{ dest.}$$

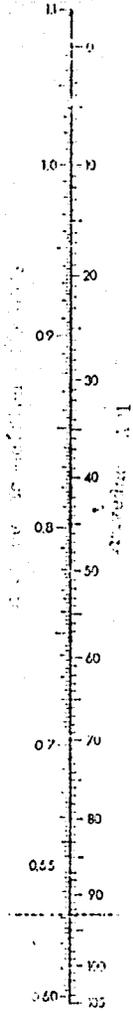
$$\text{ASTM } \# \text{ VABP} = \frac{394 + 406 + 418 + 434 + 460}{5} = 422^{\circ}\text{F.}$$

Utilizando la ley de A.P.I. de 41 y el J.A.P.P. leemos en este  
no programa pag. 91 el valor de  $T_G = 758$ .

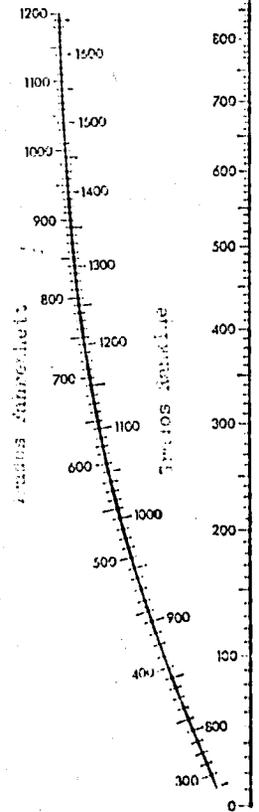
La  $T_G$  observada es de  $755^{\circ}F$ .

Precisión: El error absoluto promedio en la estimación de  $T_G$   
es el 4% de la temp. abs. con una desviación máx.  
de  $70^{\circ}F$ .

Referencias: 92, 120.



Temperatura variable  
 4 mm. de columna.



## 2.6-7 Método API (52)

**Características:** Se utiliza para calcular  $\gamma_{API}$  y  $\gamma_{WABP}$  de mezclas de hidrocarburos y fracciones de petróleo ambas bien definidas, y es aplicable solamente a compuestos que tengan un punto crítico tipo 1.

**Procedimiento:** Es muy parecido al método anterior, ver ejemplo.

**Ejemplo:** Calcular la  $\gamma_{API}$  y la  $\gamma_{WABP}$  del crudo Conoco el cual tiene la composición.

	Peso Molecular	Fracción Mol	$T_{c,API}^{\circ}F$	Fracción peso	Gravedad API	$T_{c,WABP}^{\circ}F$
Hetano	16.0	0.3223	-259	0.0433	440	-259
Etano	30.1	0.0424	-123	0.0120	213	-123
Propano	44.1	0.0333	-44	0.0139	147.2	-44
2-metilpropano	58.1	0.0108	11	0.0053	119.1	11
n-butano	58.1	0.0143	31	0.0081	110.6	31
Pentanos	72.2	0.0213	9	0.0143	93.6	89
Hexano y pasados	172	0.5544	335	0.8987	38.0	498
		<u>1.0000</u>		<u>1.0000</u>		

Las prop. de destilación ASTM D 86 son:

% vol. destilado	10	30	50	70	90
Temp. $^{\circ}F$	214	372	478	522	722

De la destilación el  $T_{c,API}$  es  $440^{\circ}F$ . a pendiente de dest.

10. a 90. es  $6.10^{\circ}F/\%$  destilado.

El  $T_{c,API}$  y  $T_{c,WABP}$  son iguales al punto de ebullición si la dest.

es pura.

De las columnas 1 y 2 sacamos que el  $P_n$  promedio es 106.3 valor que se utilizó para la columna 4.

Los valores promedio de la mezcla son: Gravedad API = 63.1

$$n_{60} = 477.5^{\circ} \text{F} \quad n_{100} = 131.7^{\circ} \text{F}$$

Dado que la gravedad API es menor que 105 utilizando el nomograma 213-c pag. obtenemos  $T_G = 713^{\circ} \text{F}$  y  $T_{GC} = 442^{\circ} \text{F}$ .

Referencias: 92, 130.

24C-1 Gráfica Sharbana.

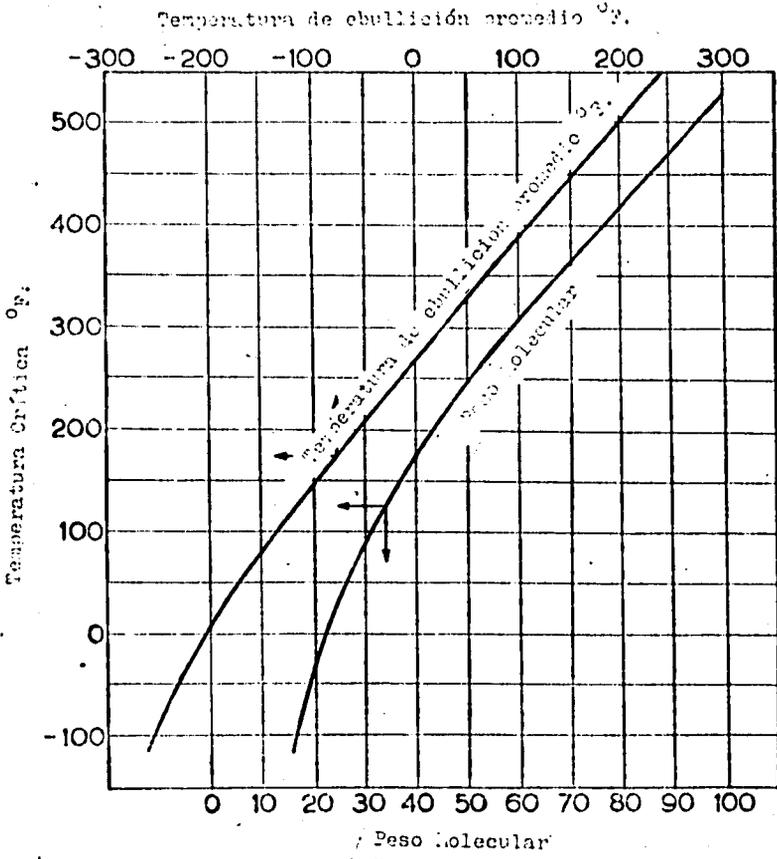
**Características:** Esta gráfica fué elaborada a partir de todos los datos de temp. críticas de hidrocarburos y de sus mezclas, las curvas se generalizaron con respecto al peso molecular y al punto de ebullición promedio de la mezcla de hidrocarburos ó el hidrocarburo puro.

**Procedimiento:** Se calcula el peso molecular del hidrocarburo o de la mezcla de hidrocarburos ó se calcula el punto de ebullición promedio de la mezcla de hidrocarburos y se va hacia la curva correspondiente.

**Precisión:** La variación puede ser  $\pm 10^{\circ}F$ .

**Referencias:** 114, 116.

243-1 Técnica Khar'landa.





## 2AC-2 Gráfica de Ray.

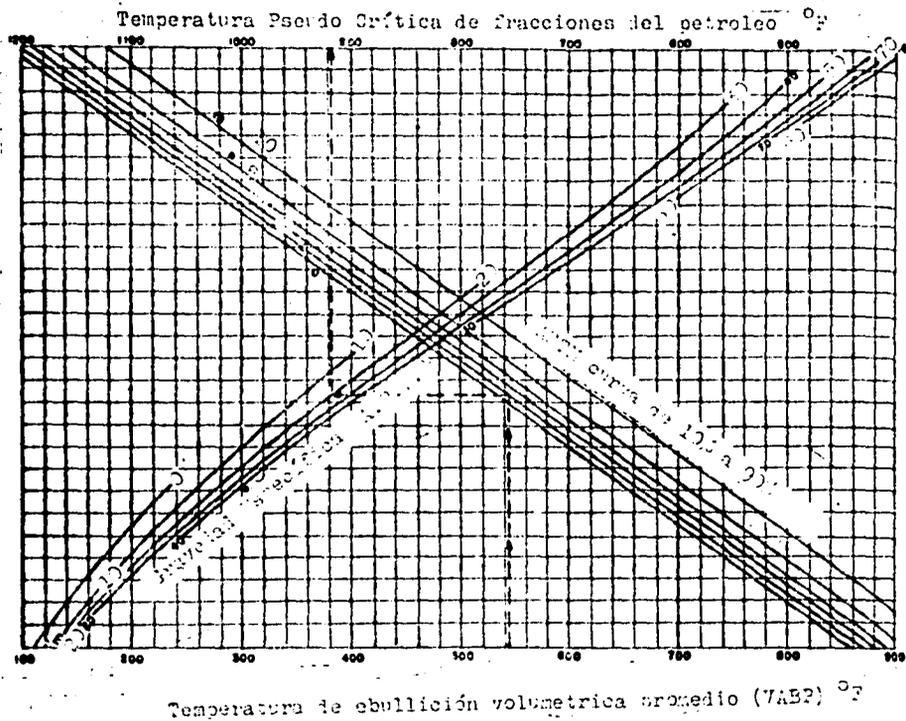
Características: Esta gráfica fue hecha correlacionando el peso molecular, la gravedad específica, la curva de destilación ASTM y la temp. de ebullición volumétrica promedio (VABP).

Procedimiento: A partir del valor que tengamos de VABP nos vamos a la curva de destilación ASTM y de ahí nos vamos hasta tocar la curva correspondiente a la gravedad específica API y de ahí ya leemos la correspondiente temp. pseudocrítica buscada.

Esta gráfica se emplea para fracciones de petróleo.

Referencias: 115.

## 2AC-2 Gráfica de Kay.



2AC-3 Gráfica de Maxwell.

Características: Esta gráfica se emplea para calcular la temp.

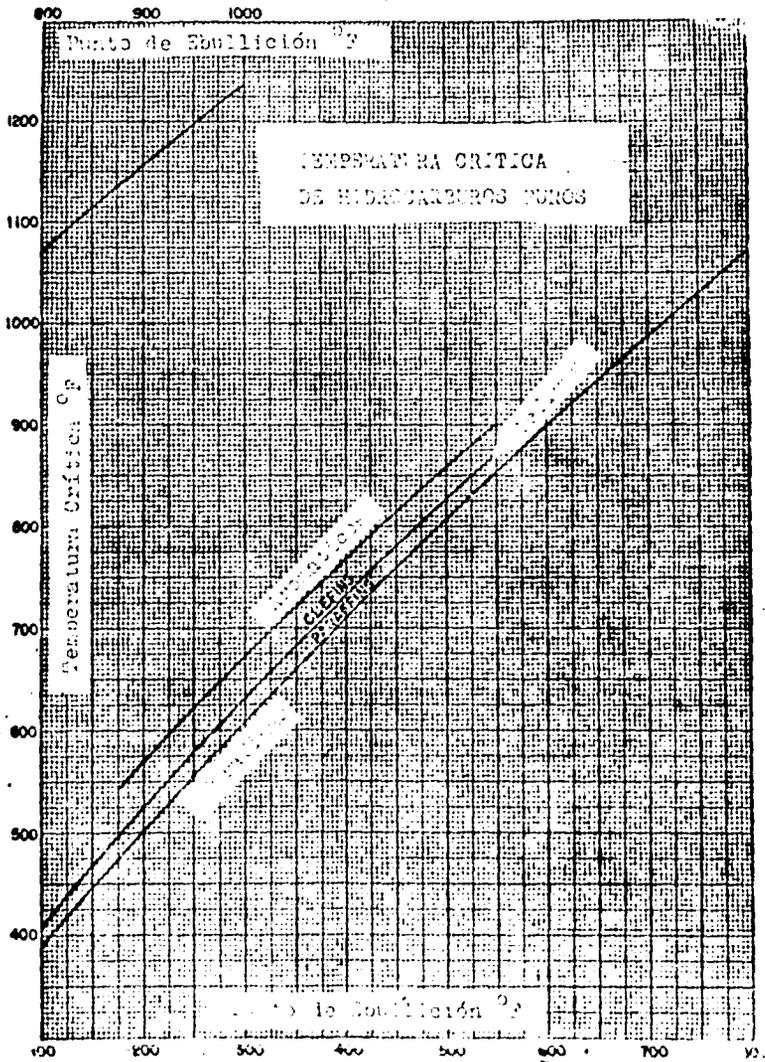
Crítica de hidrocarburos puros tales como: Olefinas, Parafinas y comp. aromáticos.

Procedimiento: Con el valor de la temp. de ebullición del compuesto que tengamos nos vamos a la curva correspondiente y en las ordenadas obtenemos la temp. crítica buscada.

Precisión: No se tiene el dato del error estadístico promedio.

Referencias: 119.

2AC-3 Gráfica de Maxwell.



### 2AC-4 Gráfica de Smith y Watson.

Características: Smith y Watson se estructuraron de que las temp. críticas verdaderas y las pseudocríticas se deben de acercar entre sí como el rango de la temp. de ebullición de una mezcla y el punto de ebullición de un comp. puro.

La gráfica sirve para calcular la temp. crítica de hidrocarburos ligeros, compuestos puros y mezclas.

La curva base muestra la temp. crítica contra la temp. de ebullición del hidrocarburo puro y la temp. pseudo-crítica contra temp. de ebullición promedio molar para mezclas.

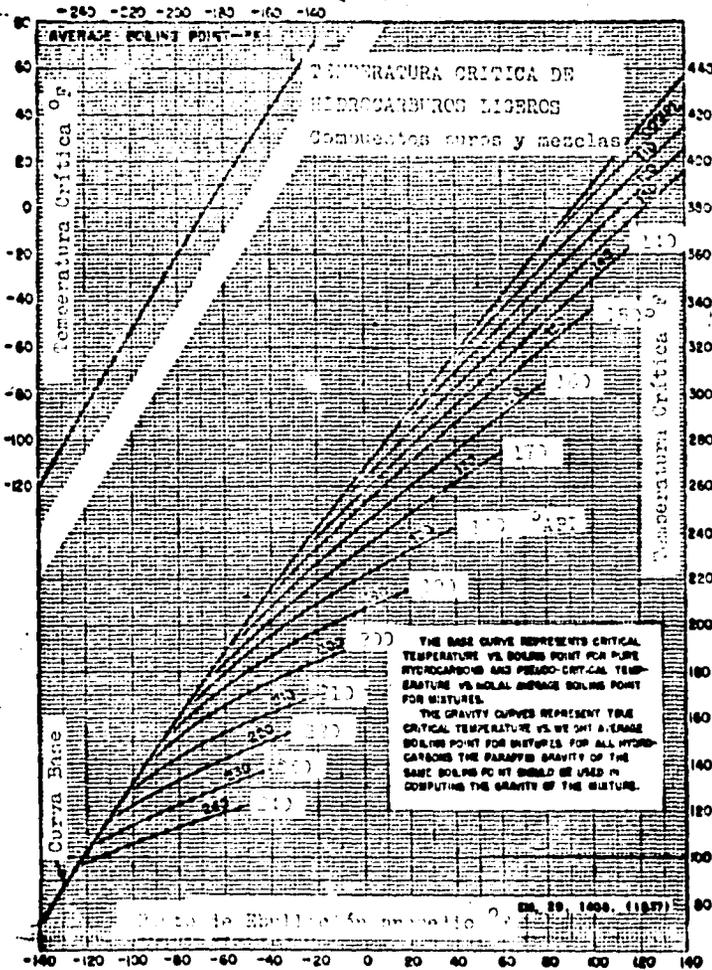
Las curvas de densidad representan la temp. crítica verdadera contra el punto de ebullición promedio molar de mezclas. Para todos los hidrocarburos la densidad de las parafinas del mismo punto de ebullición debe de ser considerada como densidad de la mezcla.

Procedimiento: Con el punto de ebullición promedio nos vamos a nuestra curva correspondiente y obtenemos la temp. crítica buscada en las ordenadas.

Referencias: 120, 119.

2AC-4 Gráfica de Smith y Watson.

Punto de Ebullición promedio  $^{\circ}F$



2AC-5 Gráfica de Maxwell. (19)

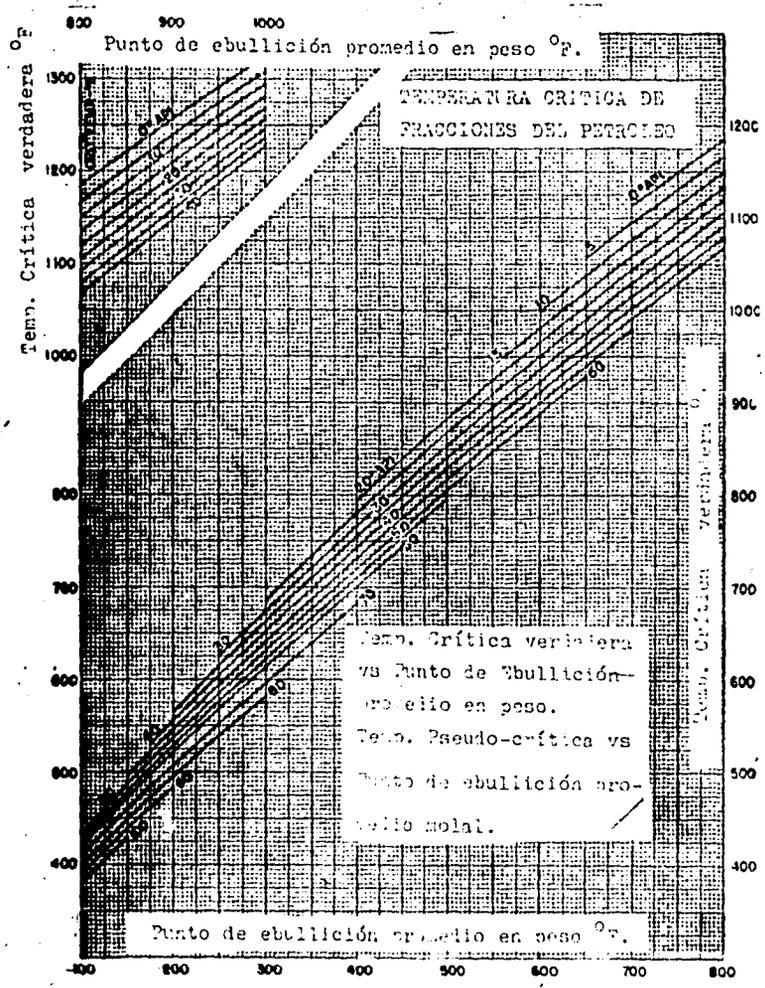
**Características:** Esta gráfica se emplea para calcular la temp. crítica de fracciones del petróleo. Se tiene temp. crítica verdadera contra temp. de ebullición promedio en peso ó temp. Pseudo-crítica contra temp. de ebullición promedio molar.

**Procedimiento:** Con la temp. de ebullición promedio en peso nos vamos a nuestra curva de densidad en grados API correspondiente a nuestra fracción de petróleo y en las ordenadas obtenemos la temp. crítica verdadera.

**Precisión:** No se tiene el dato del error estadístico promedio.

**Referencias:** 119.

2AC-5 Gráfica de Maxwell (2)





2E. Presión Crítica

2E. Presión Crítica

## 2BA-1 Método de Riedel.

Características: Este método da buenos resultados para cualquier clase de líquidos principalmente compuestos orgánicos. Es uno de los más usados. Es necesario conocer el peso molecular y la estructura del compuesto.

$$\text{Ecuación: } P_C = M / (0.35 + \Sigma \Delta p)^2 \quad \text{---- ec. 2BA-1-(191)}$$

Donde:  $P_C$  = Presión Crítica en atm.

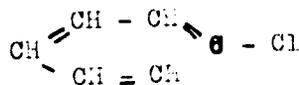
$M$  = Peso Molecular.

$\Sigma \Delta p$  = Constantes que se obtienen por incrementos de valores atómicos o funcionales.

Procedimiento: Se obtiene el  $\Sigma \Delta p$  mediante los incrementos atómicos o funcionales de la tabla 2AA-3-(1) pag 20. Éste  $\Sigma \Delta p$  se sustituye junto con el Peso Molecular en la ec. 2BA-1-(191) y obtenemos la  $P_C$  buscada.

Ejemplo: Calcular la  $P_C$  del cloro-benceno la  $P_C$  experimental es de 44.6 atm.

La estructura del clorobenceno es:



Para el cálculo de  $\Sigma \Delta p$  hacemos: (de la tabla 2AA-3-(1) pag 20 ).

			Incrementos	
Atomos de carbono	6	x	0.23	= 1.38
Atomos de Hidrógeno	5	x	0.00	= 0.00
Atomos de cloro	1	x	0.32	= 0.32
C = C	3	x	-0.06	= -0.18
atomos en el anillo	6	x	-0.043	= -0.258
$\Sigma \Delta p$				= 1.262

sustituyendo en la ec. 2BA-1-(Nº1)

$$P_C = 113 / (1.262 + 0.33)^2 = 44.7 \text{ atm.}$$

$$\text{Error: } (44.7 - 44.6) / 44.6 = 0.4\%$$

#### Precisión:

(*)Clave	Clase de líquido	Nº de muestras	Error promedio
A	Todos los orgánicos	188	-2.90 ± 17.42
ACP	Hidrocarburos polares	35	-1.58 ± 8.42
AC	Otros orgánicos polares	57	-1.85 ± 13.92
AD	Orgánicos no polares	55	-3.80 ± 12.87
B	Inorgánicos	20	-4.69 ± 70

(\*) ver significado apendice 1 pag.

Errores para algunos compuestos usando ec. 2BA-1-(Nº1)

Propano	1.2%	Ciclopentano	-1.6%
1-Butano	0.3%	Acetileno	0.1%
Etil benceno	-7.0%	Cloro benceno	0.4%
Fenol	-0.8%	Alcohol n-propilico	0.8%
Anilina	-5.2%	Cloroformo	-4.3%
Etil mercaptano	1.9%	Fosfeno	11.0%

Referencias: 2, 4, 13.

## 2BA-2 Método de Lydersen.

**Características:** Este método da excelentes resultados para cualquier clase de líquidos, principal ente comp. orgánicos. Es uno de los más usados. Es necesario conocer el peso molecular y la estructura del compuesto.

$$\text{Ecuación: } P_C = M / (0.34 + \sum \Delta p)^2 \quad \text{---- ec. 2BA-2-(N+1)}$$

Donde:  $P_C$  = Presión Crítica atm.

$M$  = Peso molecular.

$\sum \Delta p$  = Constante que se obtiene por incrementos de valores atómicos o funcionales. Ver tabla 2AA-3-(1) pag. 20 .

**Procedimiento:**

- Se obtiene el  $\sum \Delta p$  mediante incrementos de los valores atómicos o funcionales de la tabla 2AA-3-(1) pag. 20 .
- Este  $\sum \Delta p$  se sustituye en la ec. 2BA-2-(21) junto con el Peso Molecular y así obtenemos la  $P_C$  buscada.

**Precisión:**

(*)Clave	Clase de Líquido	Nº de muestras	%error promedio
A	Todos los orgánicos	192	-0.60 ± 15.17
ACE	Comp. orgánicos Asociados (:) )	26	-0.91 ± 17.13
ACFP	Hidrocarburos Bencénicos Aromáticos	18	+1.15 ± 6.16
ACK	Ésteres, Éteres, Cetonas (:) )	31	-0.92 ± 13.85
ACI	Orgánicos que contengan halógenos	28	-0.95 ± 26.03

ACF	Hidrocarburos Polares (::)	12	$-0.50 \pm 12.64$
AC	Otros Orgánicos polares	7	$1.43 \pm 19.75$
AD	Comp. Orgánicos no polares	52	$-1.41 \pm 13.06$
B	Comp. Inorgánicos	12	$6.45 \pm 89$

( $\cdot$ ) ver significado Apéndice 1 pag. .

( $\cdot$ ) Sin incluir nitrilos. El % de error promedio para 3 muestras de nitrilos es de  $-0.39 \pm 13.94$

( $\cdot\cdot$ ) Sin incluir nitrilos. El % de error promedio para 3 muestras es de  $+4.05 \pm 14.64$ .

( $\cdot\cdot$ ) Sin incluir nitrilos. El % de error promedio para 3 muestras es de  $+0.65 \pm 4.03$ .

Referencias: 2, 4, 12, 14.

## 2BA-3 Método de Reissner.

**Características:** Este método se puede emplear para compuestos polares y no polares, es bastante complicado y no posee muy buena exactitud. Se utiliza con sustancias que tengan punto de ebullición mayor a 250°K y es necesario el conocimiento de la temp. Crítica, el Parachor y la refracción molar.

Ecuación: 
$$P_C = 60.3 T_C (1.5 [P] + 4 - 4.34 [R_D])^{-1.226} \quad \text{ec. 2BA-3-(191)}$$

Donde:  $P_C$  = Presión Crítica atm. abs.

$T_C$  = Temp. Crítica °K.

$[P]$  = Parachor. em  $[(\text{din}^2/\text{cm})^{1/4} (\text{cm}^3)] / \text{g. mol.}$

$[R_D]$  = Refracción molar.  $\text{cm}^3/\text{gmol.}$

**Procedimiento:**

- Se calculan  $[P]$  y la  $[R_D]$  mediante la suma de los incrementos de los valores atómicos funcionales de la tabla 2BA-3-(1) pag. III.
- Se sustituyen el  $[P]$ ,  $[R_D]$  y la  $T_C$  en la ec. 2BA-3-(191) y así obtenemos la  $P_C$  buscada.

**Precisión:**

Clave	Clase de líquido	Nº de muestras	%error promedio
A	Todos los orgánicos	106	1.77 ± 20.71
ACE	Líquidos orgánicos asociados	16	10.13 ± 44.93
ACE	Hidrocarburos asociados	25	4.46 ± 12.43

AC	Otros orgánicos polares	19	$-1.90 \pm 31.02$
AD	Orgánicos no polares	47	$-0.95 \pm 9.76$

Referencias: 2, 14, 15, 100.



TABLE 33A-3-(2) Contributions to the Refraction Index  
 and Parachor (Weissner).

Contributions to Molar Refraction and Parachor—Table III\*

Structure	Molar Refraction [ $R_D$ ]	Parachor [ $P$ ]
C (singly bound).....	2.418	9.2
H.....	1.100	15.4 <sup>b</sup>
—CH <sub>2</sub> —.....	4.618	40.0
O (hydroxyl).....	1.525	20
O (in ethers, esters).....	1.643	20
O (carbonyl).....	2.211 <sup>c</sup>	39 <sup>c</sup>
F.....	0.95 <sup>d</sup>	23.5
Cl.....	5.967	55
Br.....	8.865	69
I.....	13.900	90
N (primary amine).....	2.322	17.5
N (secondary amine).....	2.502	17.5
N (tertiary amine).....	2.840	17.5
N (nitrite).....	5.516 <sup>e</sup>	55.5 <sup>e</sup>
S.....	—	50
P.....	—	40.5
Other elements.....	—	—
3-member ring.....	0	12.5
4-member ring.....	0	6
5-member ring.....	0	3
6-member ring.....	0	0.8
7-member ring.....	0	-4.0
Double bond.....	1.733	19.0
Semipolar double bond.....	1.733	0
Triple bond.....	2.398	38
Single linkage.....	—	-9.5

Parachor Strain Constants—In the listings below, R is a hydrocarbon radical; X is a negative group; and when the negative group happens to be Br, multiply the strain constant by 1.5.

Use +3 for carbonyl in the ring.

Use zero for RCH<sub>2</sub>X, RCHO, RCOBr, RCH<sub>2</sub>R, RNH<sub>2</sub>, NOBr, NOOR and R<sub>2</sub>SeO.

Use -3 for RCHX<sub>2</sub>, RCOOH, RCOOR, RCOCl, R<sub>2</sub>CX<sub>2</sub>, R<sub>2</sub>CNR, RCONH<sub>2</sub>, ROCOOR, ROCOCl, RSOOR, ROSOOR, R<sub>2</sub>NH, NOCl, NO<sub>2</sub>R, NO<sub>2</sub>OR, N<sub>2</sub>O, azides and RSeOOH.

Use -6 for RCX<sub>4</sub>, R<sub>2</sub>CX<sub>2</sub>, ClCOCl, ClSOCl, NO<sub>2</sub>Cl, R<sub>2</sub>CR, RSO<sub>2</sub>R, ROSO<sub>2</sub>OR, R<sub>2</sub>N, NCl<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>Cl, PX<sub>3</sub>, R<sub>2</sub>P, PO(OR)<sub>3</sub>, BX<sub>3</sub>, AsX<sub>3</sub>, SbX<sub>3</sub>, and ClSeOCl.

Use -9 for CX<sub>4</sub>, R<sub>2</sub>C, SCl<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, NOCl<sub>2</sub>, POCl<sub>2</sub>, SiX<sub>4</sub>, SnX<sub>4</sub>, and CrO<sub>2</sub>Cl.

Use -12 for SOCl<sub>2</sub>, NCl, SbCl<sub>3</sub> and PCl<sub>3</sub>.

Use -15 for SCl<sub>2</sub>.

Notes—*a.* Values in this table are taken from R. Herzog, *Ind. & Eng. Chem.*, Vol. 36, p. 998 (1944); M. P. Meissner, *Chem. Eng. Progress*, Vol. 45, p. 151 (1949); and other sources.

*b.* Hydrogen on bromine has a parachor of 16.4; on chlorine, 12.8; on oxygen, 10; on nitrogen, 12.5; on sulfur and carbon, 15.4.

*c.* Includes allowance for double bond.

*d.* Only for one fluorine atom attached to carbon. 1.1 for each F in polyfluorides.

*e.* Includes allowance for triple bond.

*f.* As SH, 7.69; as SSR, 7.97; as RCNS, 7.91; as RSSR, 8.11.

*g.* Value depends on type of compound, apparently differing for various combining forms.

*h.* As, 54; Sb, 68; Se, 63; S, 21.5; Si, 31; Sn, 42; Al, 55; Cr, 58; Ti, 62; Sn, 64.5; Hg, 69 and Bi, 80.

Chow and Bright Constants at 20 C.—Table IV

Homologous Series	A	B
Paraffinic hydrocarbons.....	18.5	24
Aromatic hydrocarbons.....	19.8	8
Acids.....	19.5	-5.8
Alcohols.....	15.9	-5.8
Is-alcohols.....	21.5	74
Esters.....	20.25	-5.8
Ketones.....	15.8	-18
Nitriles.....	16.5	-20
Amines.....	17.8	45
Monochlorides.....	17.5	-37
Dichlorides.....	26	-21
Trichlorides.....	20	-89
Chloroacetates.....	18	-58
Dichloroacetates.....	20.6	-76
Trichloroacetates.....	22.6	-94
Benzoates.....	15.75	-97
Phenyl ethers.....	16.75	-41
para-Cresyl ethers.....	14.6	-88

\* These are revised values of Bies (*Chem. Eng. Progress*, Jan. 1954, p. 8A), who noted that some of the specific heats used by Chow and Bright in calculating A and B for aromatic hydrocarbons were not actually at 20 C.

## 2BA-4 Método de Benko.

Características: Este método es bastante rápido. Se puede emplear para cualquier clase de líquidos, de preferencia con. densidades. Como se necesita saber la temp. de ebullición, el peso molecular y el nº de átomos de carbono.

Equación: 
$$P_0 = 4 P / (Mn)^{1/2} \quad \text{ec. 2BA-4-(21)}$$

Donde:  $P_0$  = Presión crítica en atm.

$T_B$  = Temp. de ebullición °K.

$M$  = peso molecular.

$n$  = Número de átomos de carbono.

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula.

## Precisión:

*Clase	Clase de Líquido	nº de muestras	Porcentaje de error prom.
A	Todos los orgánicos	175	5.15 ± 1.7
ACE	Alifáticos orgánicos sencillos	29	4.59 ± 1.95
ACE	" " " " " " " "	34	6.01 ± 11.42
AC	Otros orgánicos sencillos	76	10.75 ± 14.32
AD	Orgánicos no volátiles	54	13.0 ± 15.69
B	Comp. inorgánicos	50	10.4 ± 62.87

(\*) ver el método de Benko pág. 224

Referencias: 2, 15.

## 2BA-5 Método de Mulien.

Características: Este es uno de los mejores métodos para el cálculo de la presión crítica. Es de los más sencillos, solo es necesario conocer el peso molecular y la estructura del compuesto.

$$P_c = 10^4 M / (\sum \Delta p)^2 \quad \text{----- ec. 2BA-5-(191)}$$

Donde:  $P_c$  = Presión Crítica atm abs.

$M$  = Peso molecular.

$\sum \Delta p$  = Constantes que se obtienen por incrementos de valores atómicos y funcionales.

## Procedimiento:

- Se obtiene el  $\sum \Delta p$  mediante incrementos de los valores atómicos y funcionales. Ver tabla 2BA-5-(1) pag. 115 .
- Este  $\sum \Delta p$  obtenido se sustituye junto con el Peso Molecular en la ec. 2BA-5-(191) y así obtenemos el  $P_c$  buscado.

## Precisión:

Compuestos	Nº muestras	%error promedio
Parafinas normales	10	2.27
Parafinas ramificadas	7	3.13
Isómeros de heptano	8	2.03
" del octano y nonano	16	3.07
Olefinas normales	8	3.42
" ramificadas, olefinas		
Alcoholes y acetatos	7	6.31

Compuestos	Nº de muestras	%error prom.
Naftaleno	5	0.90
Aromaticos	20	2.05
Alcoholes	3	5.75
Terpenos	4	9.07
Esteres	8	3.22
Cetonas y Aldehidos	6	2.93
Acidos orgánicos	5	8.77
Esteres	16	3.27
Aminas	12	4.78
Nitrilos	5	4.52
Cloruros	9	2.20
Bromuros	4	9.58
Fluoruros y comp. con mezclas de halógenos	11	4.78
Comp. que contengan azufre	5	2.79
Comp. de Silicio	6	7.45
Comp. Heterociclicos	2	3.66
TOTAL	182	3.7%

Referencias: 5, 14, 22, 91.

Tabla 2BA-5-(1) Contribuciones estructurales para el Método de Eduljee. Ref 14.

<u>Valores atómicos.</u>	<u>Ap</u>	<u>Observaciones.</u>
Carbono	-9.35	
Hidrógeno	16.20	
Oxígeno	17.20	Oxígeno en Eteres
Nitrógeno	0.0	
Cloro	48.0	
Bromo	68.8	
Fluor	39.9	
Azufre	27.8	
Silicio	22.4	En silicatos
<u>Valores de Grupo.</u>		
-OH	23.7	En alcoholes y fenoles.
-C = O	30.2	Grupo cetona
-COOH	57.7	Grupo carboxílico
-C ≡ N	52.5	" nitrilo
<u>Valores de ligadura.</u>		
(C) = (C)	28.6	para n = 2 El valor depende
	27.9	n = 3 del número n de
	25.2	n = 4 átomos de carbono
	21.2	n = 5 en cadena.
	16.4	n = 6
	11.0	n = 7
	5.5	n = 8
	0.0	n > 8
(C) ≡ (C)	51.1	Como los acetilenos.
(H) - (H)	-3.15	Como en las aminas.
<u>Valores de estructura de anillo.</u>		
Anillo de 5 miembros	10.5	Cíclico o heterocíclico (anillo saturado)
Anillo de 6 miembros	7.2	
Anillo de benceno	84.5	
<u>Valores de Posición.</u>		
Rama simple o sustitución en un átomo de carbon secundario	-1.6	Para ramificaciones múltiples se utilizan valores
Rama simple o sustitución en un átomo de carbon terciario o más sust.	-4.75	positivos. En la posición 1, 2, 3 y 4 se toma a partir de los extremos tomando el más cercano.

## 2BA-6 Método de Weissner &amp; Redding.

Características: Este método es bastante simple, no es propio para usarse en compuestos asociados, su exactitud depende de la exactitud con la que se calcularon anteriormente  $T_C$  y  $P_C$ .

Ecuación:  $P_C = 20.8 T_C / (V_C - 8.0)$  ----- ec. 2BA-6-(Nº1)

$P_C = 20.8 T_C / (M/D_C - 8.0)$  ----- ec. 2BA-6-(Nº2)

Donde:  $P_C$  = Presión Crítica atm. abs.

$T_C$  = Temp. Crítica °K.

$V_C$  = Vol. Crítico  $\text{cm}^3/\text{gmol}$ .

$M$  = Peso Molecular.

$D_C$  = Densidad en el punto crítico  $\text{g./cm}^3$ .

Procedimiento: Cualquiera de las 2 ecuaciones puede utilizarse en el caso de ser un comp. asociado y si la  $D_C$  posee cierta exactitud es preferible utilizar la ec. 2BA-6-(Nº2) por dar un error menor.

Precisión: El % de error promedio es del 11% sin incluir comp. asociados como el agua, fenol, ácido acético, naftaleno y alcohol metílico.

En comp. asociados es posible encontrar errores del 20%.

Referencias: 6, 7, 14, 94.

**2BA-7 Método de Wohl.**

**Características:** Este método es bastante simple, su exactitud depende en gran parte de la exactitud con que se hayan calculado anteriormente  $T_C$  y  $V_C$ . No es recomendable para el caso de comp. asociados.

$$\begin{aligned} \text{Ecuación: } P_C &= 21.8 T_C/V_C && \text{---- ec. 2BA-7-(191)} \\ P_C &= 21.75 T_C/V_C && \text{---- ec. 2BA-7-(192) (*)} \end{aligned}$$

Donde:  $P_C$  = Presión Crítica atm.

$T_C$  = Temp. Crítica °K.

$V_C$  = Vol. Crítico cm<sup>3</sup>/mol.

**Procedimiento:** Simple aplicación de fórmula.

**Precisión:** El máximo error es del 18.1% (en el 95% de los casos).

(\*) La ec. 2BA-7-(192) es una reevaluación de la ec. 2BA-7-(191) obtenida por mínimos cuadrados de 39 comp. puros.

**Referencias:** 6, 11, 64, 65.

## 2PA-8 Método de Pishine.

Características: Este método es una reevaluación del método de Lyderson. Solo es aplicable a parafinas normales con excepción del metano. Posee bastante buena exactitud.

$$\text{Ecuación: } P_c = M / (0.3353 + 0.2273n)^2 \quad \text{---- ec. 2BA-8-(N91)}$$

Donde:  $P_c$  = Presión Crítica atm.

$M$  = Peso molecular.

$n$  = Número de átomos de carbono.

Procedimiento: Simple aplicación de fórmula.

Precisión: A partir del etano hasta el octano (sin incluir propano) inclusive el error es solamente del 0.05%, el error en el caso del propano es de  $\pm 1.46\%$ .

Referencias: 28, 29.



## 2BA-9 Método de Lautie.

**Características:** Este método es bastante complicado, solo es aplicable a líquidos normales. Ofrece buena exactitud.

Ecuaación:  $P_C = (C[P]/V_C)^4$  ---- ec. 2BA-9-(NEL)

Donde:  $P_C$  = Presión crítica atm.

$C$  = Constante.

$[P]$  =  $\rho$  rasador.

$V_C$  = Vol. Crítico  $\text{cm}^3/\text{mol}$ .

**Procedimiento:** Simple aplicación de la fórmula, la cual tiene variaciones en la cto.  $C$  de acuerdo a la estructura del compuesto.

- Para comp. orgánicos alifáticos que contienen 2 o menos átomos de carbono en adición al átomo funcional o grupo, y todos los otros compuestos que tengan  $T_b < 450^\circ\text{K}$ . tomamos que  $C = 3.28$ .
- Para comp. orgánicos alifáticos que contienen 3 o más átomos de carbono en adición al átomo funcional o grupo, y todos los otros compuestos que tienen  $T_b$  entre 450 y 600  $^\circ\text{K}$ . tomamos que en este caso  $C = 3.31$ .
- Para compuestos orgánicos alifáticos que contienen más de 4 átomos de carbono en adición al átomo funcional o grupo y todos los otros compuestos que tienen  $T_b > 600^\circ\text{K}$ . (excluyendo al  $\text{H}_2\text{O}$ ) en este caso  $C = 3.31$ .

Precisión: El error en este método puede ser hasta del 20 ó 30%.

Referencias: 6, 56, 101.

## 2BA-10 Método de Forman y Rhodos.

**Características:** Este método es utilizado para comp. orgánicos que no contengan azufre, aldehidos y alcoholes secundarios o terciarios. No es necesario conocer la temp. de ebullición. Posee poca exactitud.

**Ecuación:**  $P_G = a/27b^2$  ---- ec. 2BA-10-(21)

Donde: a y b = Constantes de van der Waals' obtenidas a partir de contribuciones moleculares de grupo o estructurales.

### Procedimiento:

Se sigue el mismo procedimiento que para el cálculo de la  $T_G$  de la pag. 43 . (2AA-16 Método de Forman y Rhodos para  $T_G$ ).

**Precisión:** El error porcentual es aproximadamente del 3 ó 4% pero puede llegar a ser del 10% hasta del 15%.

**Referencias:** 4, 91, 95, 96, 97, 98, 99.

## 2BA-11 Método de Herzog.

Características: Basandose en la ec. de Lautie, este investigador encontró que para más de 100 comp. podían utilizarse 6 ecs. en las cuales los coeficientes fueron calculados mediante mínimos cuadrados.

Ecuación:  $\log P_C = a - b \log P$  ----- ec. 2BA-11

Donde:  $P_C$  = Presión Crítica atm.

$P$  = Parachor ver pag. 111 .

$a$  y  $b$  = constantes para series de compuestos homólogos.

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula, en la tabla 2BA-11-(1) pag. 123. se pueden ver las diferentes ecuaciones para las diferentes series de compuestos.

Precisión: ver tabla 2BA-11-(1) pag. 123 .

Referencias: 6, 101.

TABLA 25A-11-(1)

Ecuación	Grupos o compuestos(*)	Ecuación	Nº muestras	% error
25A-11-(11)	Hidrocarburos sat. y no sat. (alifáticos, no sustituidos) sin incluir el metano.	$\log P_C = 3.0477 - 0.6528 \log P$	18	8.4
25A-11-(12)	Compuestos aromáticos y cíclicos, sin incluir bifenilos y comp. con sistemas de anillos condensados.	$\log P_C = 3.8584 - 0.9215 \log P$	25	26.0
25A-11-(13)	Azinas alifáticas, éteres, compuestos halogenados y con S (sin incluir $CS_2$ y $CS_3$ ), compuestos inorgánicos halogenados y con S (sin incluir $F_2$ y $SH_2$ ).	$\log P_C = 3.4271 - 0.7829 \log P$	45	18.0
25A-11-(14)	Ácidos alifáticos, alcoholes y anhídridos.	$\log P_C = 2.9929 - 0.5718 \log P$	8	8.6
25A-11-(15)	Esteres alifáticos y cetonas.	$\log P_C = 3.3777 - 0.7810 \log P$	5	5.7
25A-11-(16)	Nitrilos alifáticos, HCN.	$\log P_C = 2.6387 - 0.4627 \log P$	4	1.4

(\*) La aplicación de estas fórmulas a compuestos no especificados ocasionará un mayor error.

2BA-12 Método de Kay.

**Características:** Este método se emplea para calcular la  $P_{pc}$  en las mezclas, es uno de los mejores métodos si se toma en cuenta su simplicidad y relativamente buena exactitud.

**Ecuación:**  $P_{pc} = x_1 P_{c1} + x_2 P_{c2} - \dots$  ec. 2BA-12-(191)

Donde:  $P_{pc}$  = presión pseudocrítica de la mezcla.

$x_1$  = fracción mol del componente uno.

$P_{c1}$  = presión crítica del comp. uno pura.

**Procedimiento:** Simple aplicación de la fórmula.

**Precisión:** Posee un error promedio del 4%.

**Referencias:** 14, 105, 111, 112.

2BA-13 Método de Edmister.

Características: Este método sirve para calcular la presión pseudocrítica de mezclas de gas natural. Posee buena exactitud.

Ecuación:  $P_{pc} = 710 - 60s$  ec. 2BA-13-(Nº1)

Donde:  $P_{pc}$  = Presión Pseudocrítica psia.

$s$  = Gravedad específica del gas.

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula, el aire tiene un  $s$  de uno, se calcula con  $M/29$  ( $M$  = Peso molecular) esta ecuación solo se aplica para mezclas con un  $M$  entre 16 y 26 o sea con un  $s$  entre 0.55 y 0.90 .

Exactitud: Tiene buena exactitud. No se tiene el dato del valor del error estadístico promedio.

Referencias: 14, 109.

## 2BA-14 Método de Kayfield.

**Características:** Este método se emplea para calcular la presión crítica de mezclas de hidrocarburos de 2 componentes, los resultados son un poco altos que los obtenidos por la ley aditiva. La presión crítica de la mezcla cae dentro de las presiones críticas de los 2 componentes puros. Posee buena exactitud tomando en cuenta que calcular la presión crítica de una mezcla representa mayor problema que la temp. crítica.

$$\text{Ecuación: } P_{CD} = P_{CM} - P_{CH} - \frac{\%L}{100} (P_{CL} - P_{CH}) \quad \text{ec. 2BA-14-(E01)}$$

$$P_{CD} = P_{CM} - P_{CH} - \frac{T_{CH} - T_{CM}}{T_{CH} - T_{CL}} (P_{CL} - P_{CH}) \quad \text{ec. 2BA-14-(E02)}$$

Donde:  $P_{CD}$  = Desviación de la presión crítica de la mezcla del valor dado por la ley aditiva en  $\text{lb/in}^2$ .

$P_{CM}$  = Presión crítica de la mezcla de un componente menos volátil y uno más volátil en  $\text{lb/in}^2$  abs.

$P_{CH}$  = Presión crítica del componente menos volátil en  $\text{lb/in}^2$  abs.

$P_{CL}$  = Presión crítica del componente más volátil en  $\text{lb/in}^2$  abs.



$T_{CH}$  = Temp. Crítica del componente menos volátil °F.

$T_{CH}$  = " " de la mezcla de un componente menos volátil y uno más volátil °F.

$T_{CL}$  = Temp. crítica del componente más volátil °F.

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula, este método no es recomendable para parafinas que contengan dobles ligaduras o compuestos cíclicos.

Ejemplo: Calcular la Presión Crítica de una mezcla de 49.76 por ciento en peso de heptano en etano.

La presión crítica de la mezcla es de 1263 psia (experimental).

Si utilizamos la ec. 2BA-14-(Nº1) utilizaremos valores en peso y usaremos las gráficas 2BA-14-(Nº1) y (Nº2) pags.

Si utilizamos la ec. 2BA-14 utilizaremos valores en base de temperatura y usaremos las gráficas ec. 2BA-14-(Nº3) y (Nº4) pags.

-Utilizando la ec. 2BA-14-(Nº1).

De la gráfica 2BA-14-(Nº1) pag.

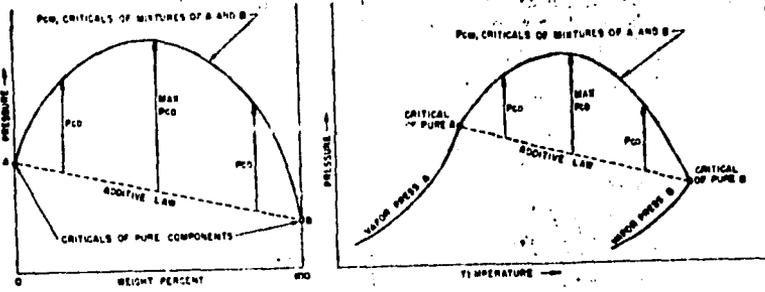
$$\frac{P_{CD}}{P_{CD \text{ máximo}}} = 0.998$$

De la gráfica 2BA-14-(Nº2) pag.

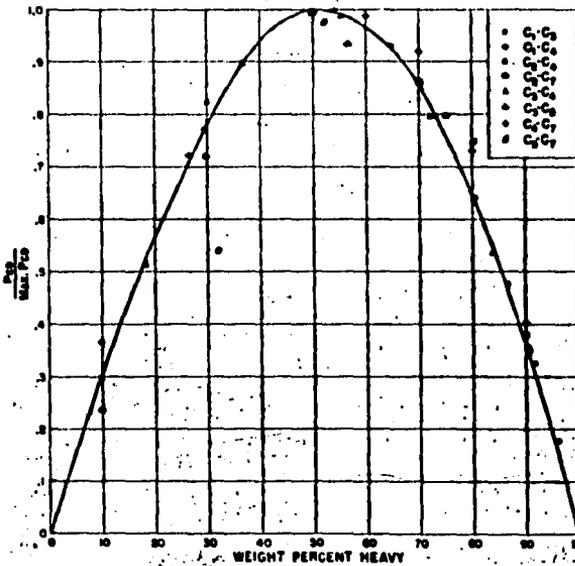
$$P_{CD \text{ máxima}} = 689 \text{ lb/in}^2.$$

$$P_{CD} = 0.998 \times 689$$

De la ec. 2BA-14-(Nº1).



Gráficas de Presión Crítica contra composición, y contra Temp.



GRAFICA 2BA-14-(Nº1)

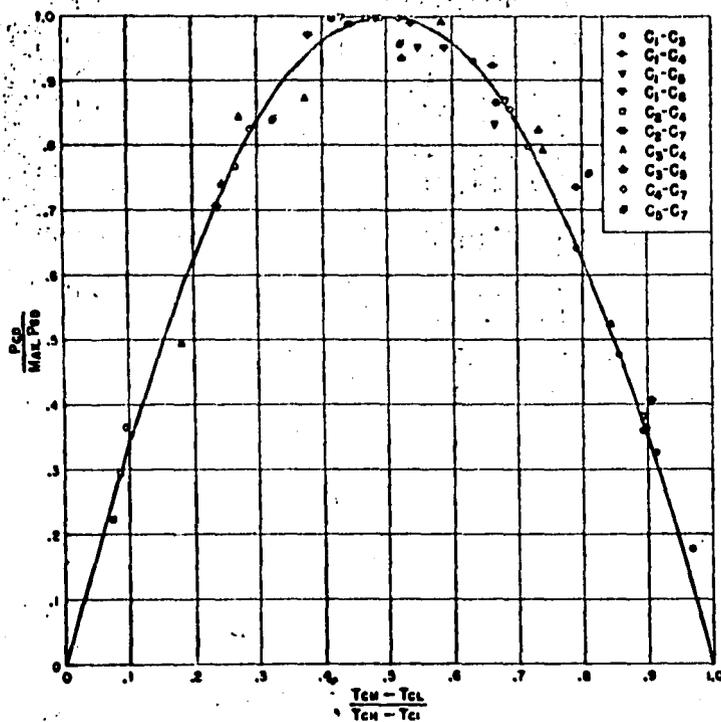
Correlación Presión Crítica - Por ciento en peso

$$P_{CM} = 0.398 \times 639 + 396 + 0.5024(712-396) = 1243 \text{ psia.}$$

$$\text{Error} = 1243 - 1263 = -20 \text{ lb/in}^2.$$

Precisión: No se tiene el error estadístico promedio, aprox. 1.3% .

Referencias: 67.



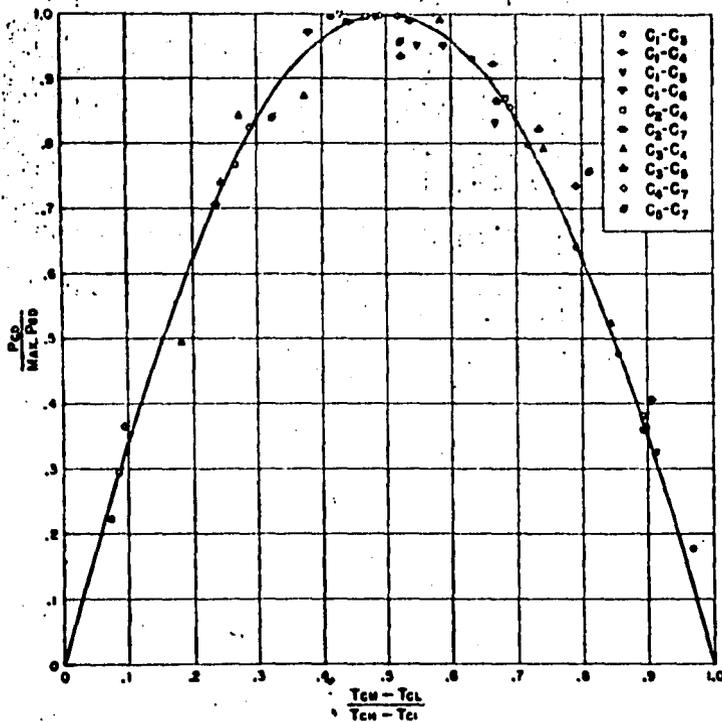
GRAFICA 2BA-14-(Nº3)

Correlación Presión Crítica-Temperatura

Nº de C en H = Número de átomos de carbono en el componente menos volátil.

Nº de C en L = Número de átomos de carbono en el componente más volátil.

$\Sigma$  Nº de C's = Suma del número de átomos de carbono en los componentes más y menos volátiles.



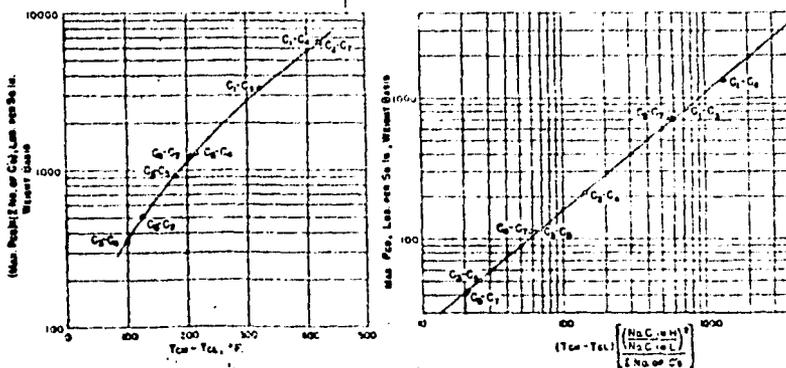
GRAFICA 2BA-14-(Nº3)

Correlación Presión Crítica-Temperatura

Nº de C en H = Número de átomos de carbono en el componente menos volátil.

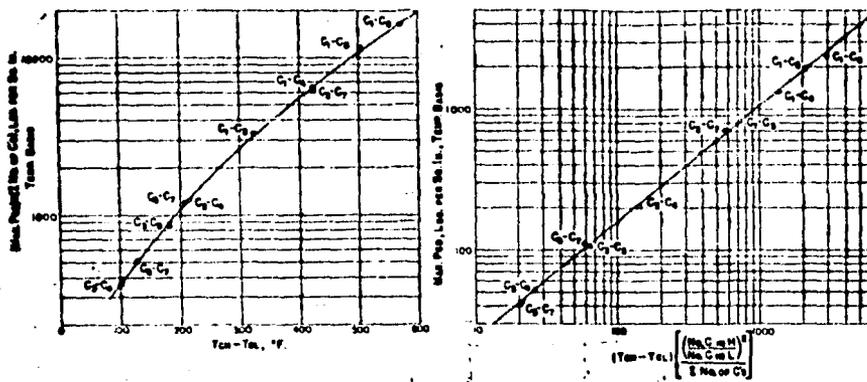
Nº de C en L = Número de átomos de carbono en el componente más volátil.

$\Sigma$  Nº de C's = Suma del número de átomos de carbono en los componentes más y menos volátiles.



GRAFICA 2BA-14-(#22)

Correlación para P<sub>CD</sub> máximo, base en peso.



GRAFICA 2BA-14-(#24)

Correlación para P<sub>CD</sub> máximo, Temp. base.

2BA-15 Método de Joffre.

- a explicación de éste método esta en la pag. 73

255-1. Polígramo de Madel.

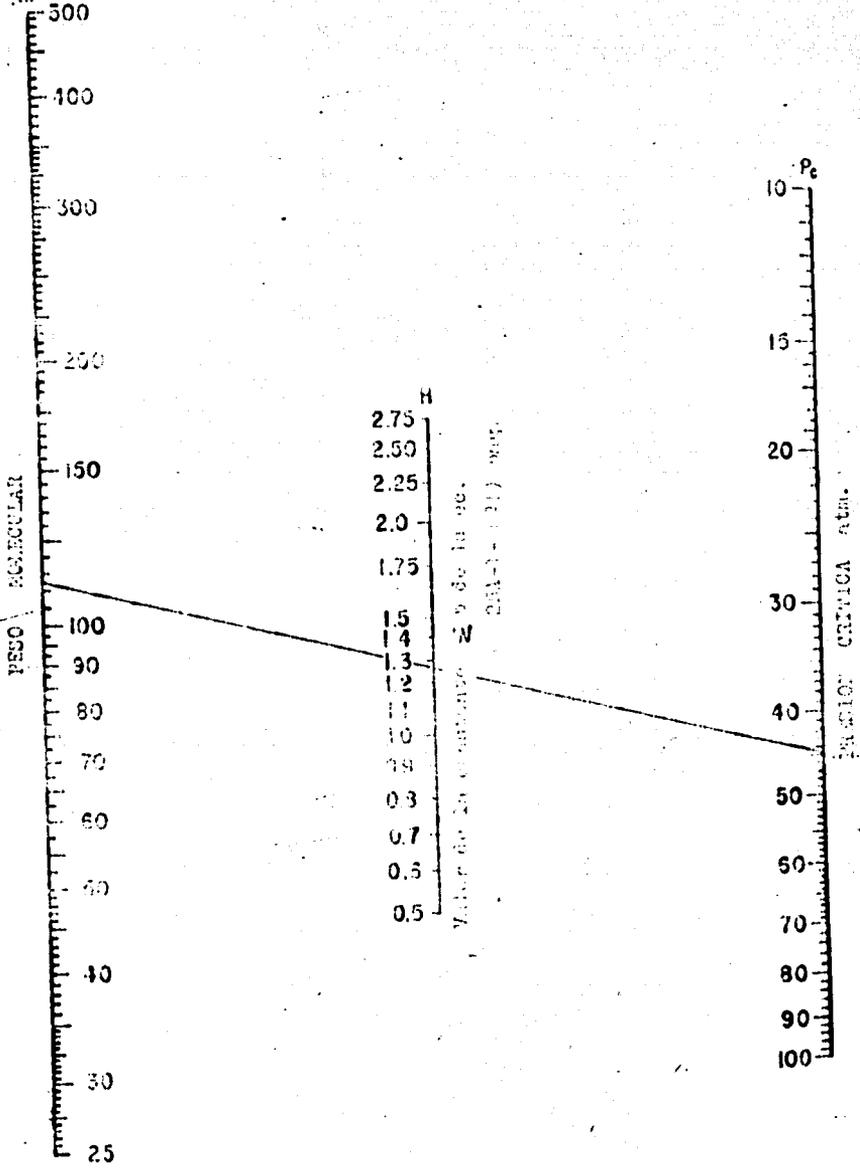
Características: ver pag. 26 .

Procedimiento: Se traza una línea que una el caso alíen con el valor de  $\Sigma P$  de la ec. 2BA-1-1. La prolongación de esa línea nos da la presión crítica buscada. ver ejemplo.

Referencias: 19, 27.



233-1. Monogram de Risico



W  
 Valor de W constante  
 233-1-111

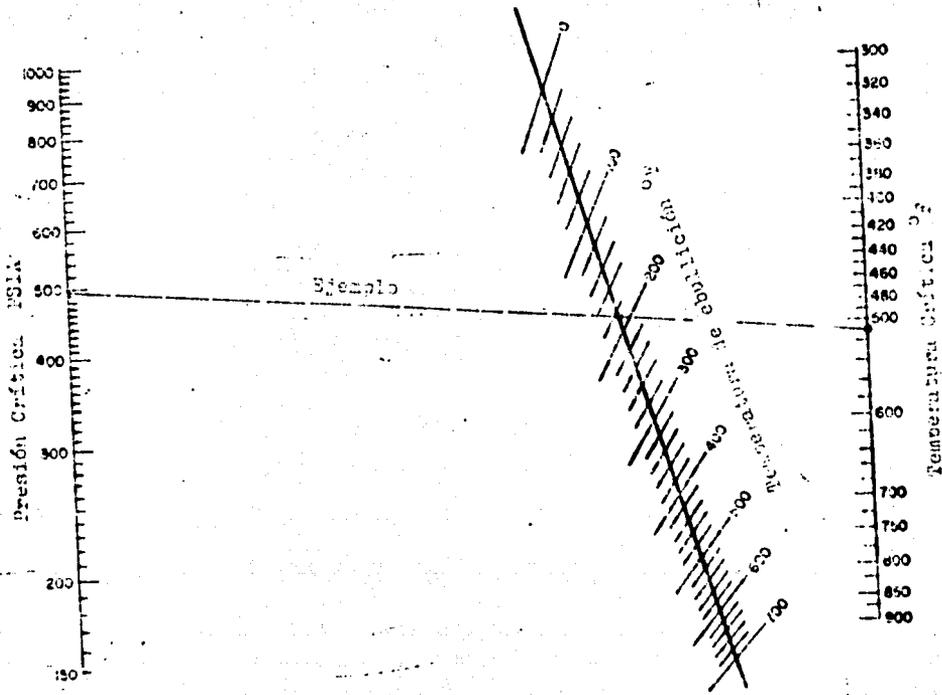
211-3 Programa de Admisión.

Características: Este nomograma se puede utilizar para conocer tanto la temp. crítica como la presión crítica, si se conoce cualquiera de ellas. Se utiliza únicamente para hidrocarburos y fue obtenido a partir de datos críticos de hidrocarburos puros.

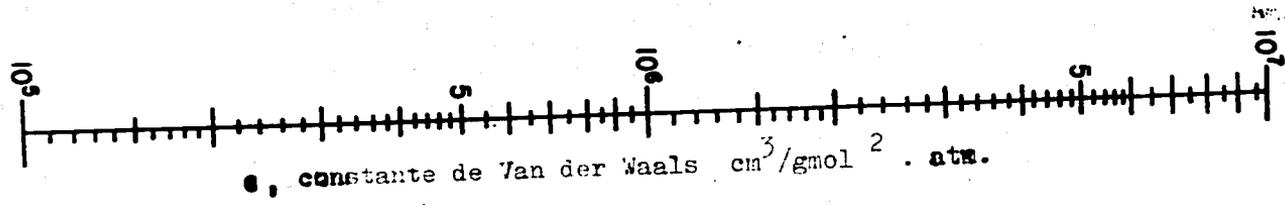
Procedimiento: Se traza una línea vertical desde la temp. o presión crítica que sabe por la temp. de ebullición a la presión atm.) y su prolongación nos dará la propiedad crítica buscada.

Referencias: lit.

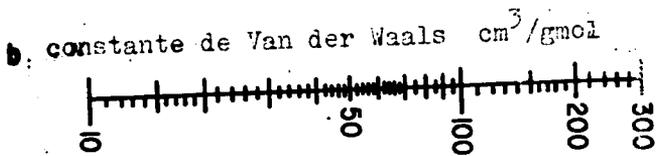
2PL-3 Monograma de Edmister.



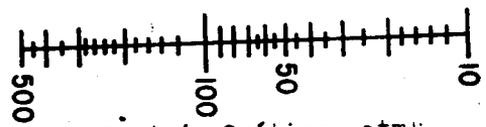




a. constante de Van der Waals  $\text{cm}^3/\text{gmol}^2 \cdot \text{atm}$ .



b. constante de Van der Waals  $\text{cm}^3/\text{gmol}$



$P_c$ , Presión Crítica atm.

## 2BB-5 Método R11 (1\*)

**Características:** Este método se emplea para calcular la presión crítica por libra  $P_G$  de mezclas de hidrocarburos de composición definida, no es apropiado para mezclas que contengan metano cuando la  $T_G$  es menor de  $100^\circ F$ . Se emplea solo para el tipo de mezcla que tiene un foco crítico tipo I pag. 64 y se debe extrapolar.

**Procedimiento:** Necesitamos conocer la  $T_G$  y  $T_{pc}$  de la mezcla, para sacar la relación  $T_G/T_{pc}$  por este valor con el valor de la  $P_{pc}$  obtenida por el método de Kay (2BA-12 pag. 124) y así obtenemos el valor de  $P_G$  en el cruce de esta línea con la escala de la  $P_G$ .

**Ejemplo:** Encontrar la  $P_G$  de una mezcla de hidrocarburos que contiene un 15.9% mol de n-butano y 84.1% mol de n-heptano.

	Fracción mol	Fracción peso	$P_G$ psia.
n-butano	0.159	0.099	550.7
n-heptano	0.841	0.901	596.8

De la pag. (2AB-6) obtenemos  $T_G = 340^\circ R$  y  $T_{pc} = 959.7^\circ R$

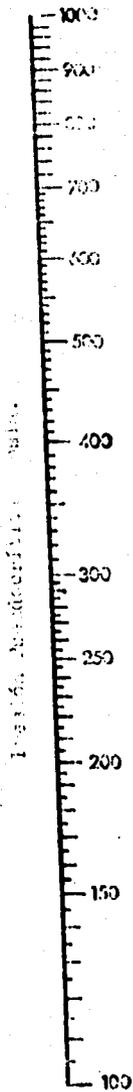
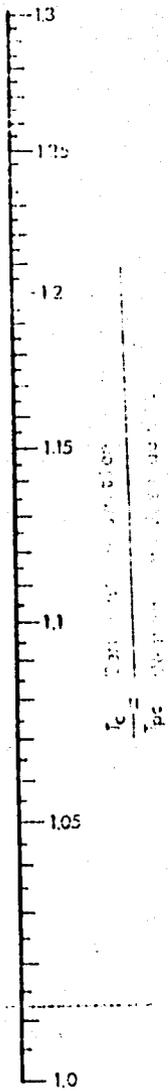
Segun Kay (2BA-12 pag. )  $P_{pc} = 0.159(550.7) + 0.841(596.8)$

$P_{pc} = 421.3$  psia.

El valor obtenido por éste nomograma pag. es de  $P_G = 458$  psia  
El valor experimental observado es 451.6 psia.

precisión: El error promedio estadístico en la estimación de  
 $P_G$  es del 5% para presiones menores de 1,000 psia.  
Arriba de 1,000 psia el error no se ha determinado.  
Ocurren grandes errores con sistemas que contienen  
metano que tienen  $P_G$  mayores a 2,000 psia ó  $T_G$   
menores de  $100^{\circ}F$ .

Referencias: 92, 120.





## 2BB-6 Método API (2ª)

**Características:** Este método se emplea para calcular la  $P_{pc}$  de mezclas de hidrocarburos con composición definida. Valores similares se obtienen por el método de Ray (2A-12 pag. 124). No se debe de extrapolar.

**Procedimiento:** Necesitamos conocer la gravedad de la mezcla en  $^{\circ}\text{API}$ , la gravedad es en  $60^{\circ}\text{F}/60^{\circ}\text{F}$  y el punto de ebullición promedio.

**Ejemplo:** Estimar la  $P_{pc}$  de una mezcla de hidrocarburos que contiene 15.9% mol de n-butano y 84.1% mol de n-heptano;

	Fracción mol	Fracción peso	Gravedad específica	Punto de Ebullición $^{\circ}\text{F}$
n-butano	0.159	0.099	0.584	31.1
n-heptano	0.841	0.901	0.683	209.2

$$\text{Gravedad específica volumétrica } 60^{\circ}\text{F}/60^{\circ}\text{F} = \frac{1}{\frac{0.099}{0.584} + \frac{0.901}{0.683}} = 0.576$$

$$\text{Volumen Líquido (fracción) n-butano} = \frac{0.099}{0.587} (0.576) = 0.114$$

$$\text{n-heptano} = \frac{0.901}{0.683} (0.576) = 0.886$$

Punto de ebullición (en promedio cubico) CASP.

$$\begin{aligned}
 \text{CAMP} &= \left[ (0.114)(31.1 + 459.7)^{1/3} + (0.886)(209.2 + 459.7)^{1/3} \right]^3 \\
 &= (2.647)^3 = 186.6^{\circ}\text{R} = 186.9^{\circ}\text{F}
 \end{aligned}$$

Punto de ebullición promedio =  $\frac{186.9 + 180.9}{2} = 183.9^{\circ}\text{F}$

De este nomograma con **142** con gravedad específica 0.676 y con  $183.9^{\circ}\text{F}$  obtenemos una  $P_{pc} = 401$  psia..

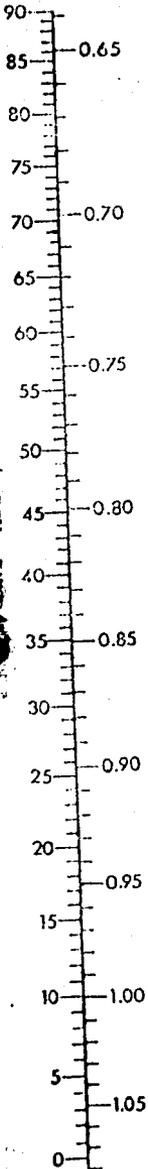
Utilizando el método de Kay (2BA-12 pag. **124**) obtenemos

$$P_{pc} = 421.3 \text{ psia.}$$

Precisión: ver método de Kay 2BA-12 pag. **124**

Referencias: 92, 131..

233-6

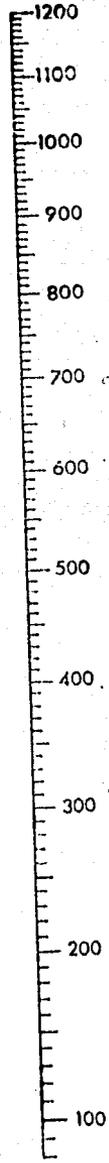


Gravedad Especifica 60°F/60°F

API



Presión Pseudocrítica



Punto de ebullición promedio

## 23B-7 Método API (34)

Características: Este método se emplea para calcular  $P_c$  y  $T_{pc}$  de mezclas que contengan hidrocarburos y fracciones del petróleo ambas bien identificadas, es aplicable solamente a comp. de punto crítico tipo **par. 84**.

## Procedimiento:

- 1) Obtener  $T_c$  y  $T_{pc}$  de la mezcla utilizando el método 2AB-7 pag. **92** convertir estos valores a temp. absolutas y sacar la relación  $T_c/T_{pc}$ .
- 2) Utilizando la perdiente de destilación ASTM y el punto de ebullición no identificada obtenemos el GADP; el punto de ebullición promedio de las fracciones no identificadas.
- 3) Calcular los vol. líquidos de cada fracción ver **par. 144**
- 4) Con los vol. líq. de las fracciones más el punto de ebullición ver **pag. 144**
- 5) Calcular el punto de ebullición promedio ver **par. 144**
- 6) Obtenemos la  $P_{pc}$  de la mezcla con 2AB-6 **par. 140** a partir de la gravedad API promedio en peso y el punto de eb. promedio.
- 7) Con esta  $P_{pc}$  y la relación  $T_c/T_{pc}$  del caso 7.1 del caso programa 2AB-5 **cap. 137** obtenemos la  $P_c$  de la mezcla.

Ejemplo: Calcular  $P_G$  y  $P_{pc}$  del crudo Comona con dat.

	Fracciones		Fracción	vol. fr.	Vol. Lit.	CAMP <sup>1/3</sup>
	mol	peso	ASTM	60°/60°	fracción	°R
Metano	0.3223	0.04	119	0.147	0.1430	6.950
Etano	0.0424	0.018	213	0.113	0.1215	6.920
Propano	0.0335	0.0110	147.7	0.091	0.0830	7.465
2-etilpropano	0.0103	0.0033	117.0	0.043	0.0375	7.770
n-butano	0.0143	0.0041	114.0	0.056	0.0501	7.665
Pentano	0.0213	0.0065	95.0	0.028	0.0211	8.187
$C_6 +$ fracciones	0.5544	0.1917	94.0	0.550	0.5121	9.730
	<u>1.0000</u>	<u>1.0000</u>			<u>1.0000</u>	

Las fracciones +  $C_6$  tienen un  $P_{pc}$  de 921°R y las siguientes prop.

de destilación ASTM D 86 :

3 vol. destilado	10	30	50	70	90
Temp. °F	234	372	473	572	722

de la destilación el  $P_{pc}$  de la fracción de 10% de destilado de  
del 10 al 90% es 2.10 °F/°R.

En el método 2AB-7 para este caso  $P_{pc}$  = 921°R y  $P_G$  = 442°R  
y  $P_{pc}$  de 442°R.

La relación de temp. será:  $\frac{717 + 442}{422 + 921} = 1.301$

El punto de ebullición promedio de  $C_6 +$  fracciones es 25°R  
y el CAMP (punto de eb. en promedio) será de 921°R de  
donde CAMP<sup>1/3</sup> es 9.730.

La gravedad API promedio de todo el crudo es 53.1

La cor. r. 60F/60F promedio de todo el crudo es 0.720

El CAMP<sup>1/3</sup> promedio de toda la muestra es 9.730, de donde

el  $Q_{AB}$  es  $732.1^{\circ}R = 272.4^{\circ}F$ .

En el método 2A3-7 para el mismo ejemplo se encontró que el

$Q_{AB}$  es de  $125.7^{\circ}F$  y el punto de eb. promedio es:  $\frac{272.4 + 125.7}{2}$   
 $= 199.1^{\circ}F$ .

Utilizando la gravedad  $\Delta$  promedio de 65.1 y este  $199.1^{\circ}F$   
 en 2A3-6 obtenemos  $P_{OC}$  de la mezcla de 450 psia.

Y de 2A3-5 obtenemos finalmente la  $P_C$  que es 2,100 psia.

Precisión: No se tienen los suficientes datos para obtener  
 el error estadístico promedio.

Referencias: 92, 130.

**2BC-1 Gráfica de Kay.**

**Características:** Esta gráfica fue elaborada a partir de ctes. conocidas de fracciones de petróleo. Es necesario conocer: gravedad específica, la temp. de ebullición volumétrica promedio (VABP) ASTM, la curva de destilación ASTM.

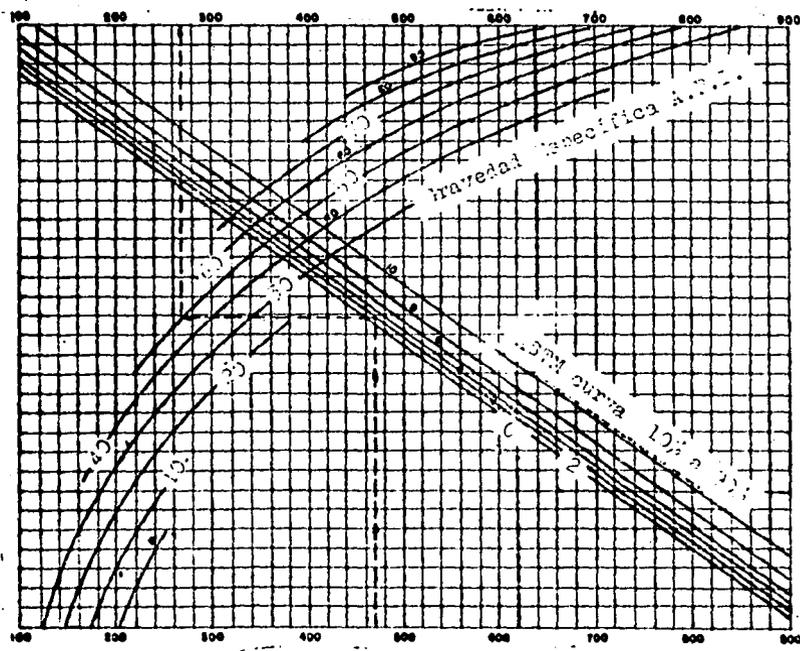
Solo se emplea para fracciones del petróleo.

**Procedimiento:** Del valor que tengamos de VABP nos vamos a la curva de destilación ASTM y de ahí hasta tocar la curva correspondiente a la gravedad específica API y leemos la presión pseudocrítica buscada.

**Referencias:** 115.

2BC-1 Gráfica de Kay.

Presión Pseudo-crítica de fracciones del petroleo asia.



Temperatura de ebullición volumetrica promedio (VABP) °F



**2BC-2 Gráfica de Maxwell.**

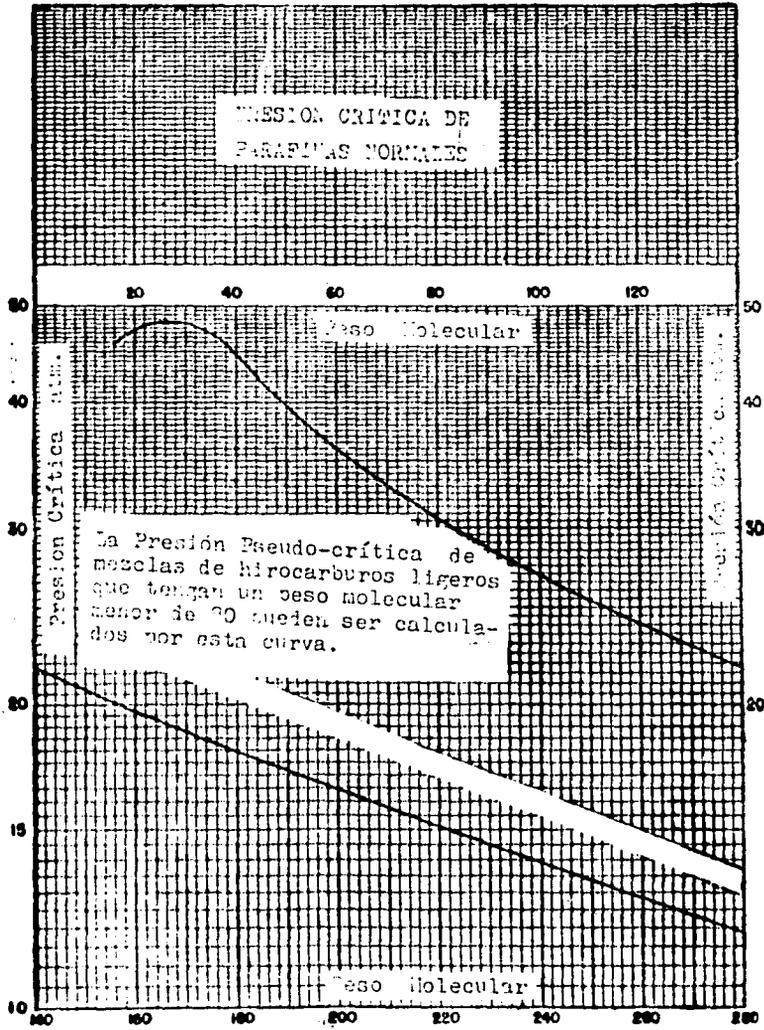
**Características:** Con esta gráfica se pueden calcular la presión crítica de parafinas normales y la presión pseudocrítica de mezclas de hidrocarburos líquidos que tengan un peso molecular menor a 50.

**Procedimiento:** A partir de nuestro peso molecular trazamos una línea vertical hasta cruzar la curva y en ese punto leemos la correspondiente presión crítica en las ordenadas.

**Precisión:** no se tiene el valor del error estadístico por ello.

**Referencias:** 119;

2BC-2 Gráfica de Maxwell.



## 250-5 Gráfica de Maxwell (2)

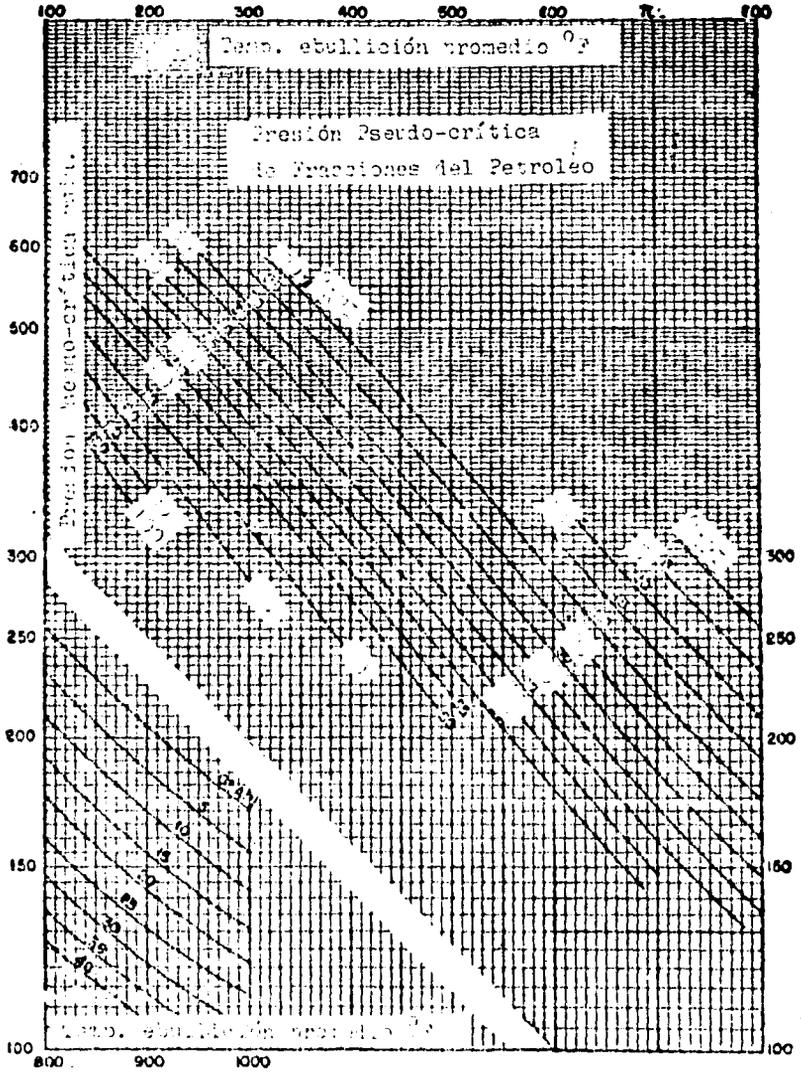
Características: Esta gráfica se emplea para calcular la presión Pseudo-crítica de fracciones del petróleo.

Procedimiento: Con el dato de la temp. de ebullición promedio nos vamos a la curva de densidad °API correspondiente y en la intersección se observa la Presión Pseudo-crítica buscada.

Precisión: No se tiene el dato del error estadístico promedio.

Referencias: 119.

2BC-3 Gráfica de Maxwell (2)



25C-4 gráfica de Smith & Watson.

**Características:** Con esta gráfica se puede calcular la Presión Crítica de mezclas de hidrocarburos.

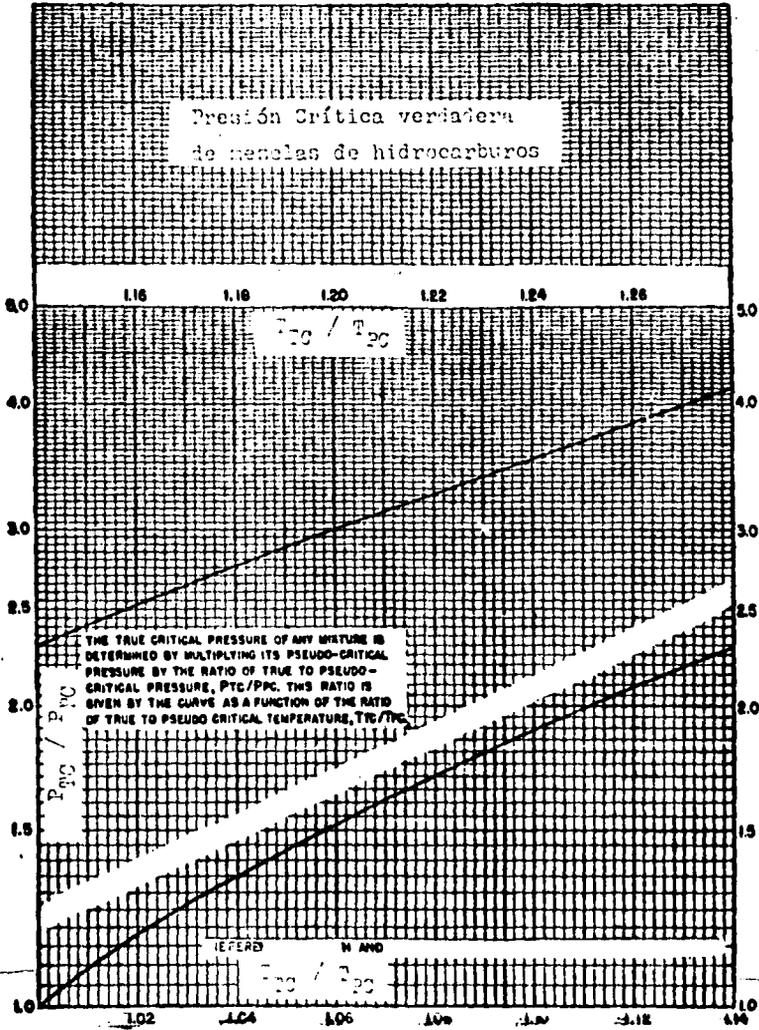
La presión crítica verdadera de cualquier mezcla se puede determinar multiplicando su presión pseudocrítica por la relación  $P_{cg}/P_{pcg}$  de presión crítica verdadera a presión pseudo-crítica.

Esta relación  $P_{cg}/P_{pcg}$  la obtenemos por esta gráfica como una función de la relación de temp. crítica verdadera a temp. crítica pseudo-crítica  $T_{cg}/T_{pcg}$ .

**Procedimiento:** Con el valor de la relación  $T_{cg}/T_{pcg}$  nos vamos a la curva y en las ordenadas obtenemos la relación  $P_{cg}/P_{pcg}$  la cual multiplicada por el valor de nuestra presión pseudo-crítica y así obtenemos el valor de la presión crítica verdadera.

**Referencias:** 119, 120.

2HC-4 Gráfica de Smith y Watson.



## 2CA-1 Método de Vowles.

**Características:** Este método es bastante simple y se puede utilizar para cualquier clase de compuestos principalmente líquidos orgánicos. Posee buena exactitud.

Ecuaación:  $V_G = \sum \Delta_v$  ----- ec. 2CA-1-(Nº1)

Donde: Vol. Crítico  $\text{cm}^3/\text{gmol.} = V_G$

$\sum \Delta_v =$  Constante que se obtiene por incrementos de valores atómicos y funcionales.

**Procedimiento:**

Se obtiene el factor  $\sum \Delta_v$  de la tabla 2AA-3-(Nº1) pag. 20 . Y se sustituye en la ec. 2CA-1-(Nº1) y así obtenemos la  $V_G$  buscada.

**Precisión:**

Clave	Clase de líquido	Nº de muestras	Error porcent
A	Todos los orgánicos	140	$\pm 11.47$
ACE	Orgánicos asociados	18	$\pm 23.11$
ACE	Hidrocarburos polares	28	$\pm 5.02$
AC	Otros orgánicos polares	41	$\pm 3.45$
AD	Orgánicos no polares	52	$\pm 9.02$
B	Inorgánicos	16	$\pm 9.9$

Referencias: 1, 2, 4, 17.

## 2CA-2 Método de Lydersen.

Características: Este método es el preferido para cualquier clase de líquido, principalmente comp. orgánicos. Posee buena exactitud.

Ecuación:  $V_C = 40 + \Sigma \Delta_v$  ---- ec. 2CA-2-(191)

Donde:  $V_C$  = Vol. Crítico  $\text{cm}^3/\text{gmol}$ .

$\Sigma \Delta_v$  = Constante que se obtiene por incrementos de valores atómicos funcionales.

Procedimiento: Se obtiene el factor  $\Sigma \Delta_v$  de la tabla 2AA-3-(191) de la pag. 20, y se sustituye en la ec. 2CA-2-(191) y así obtenemos la  $V_C$  buscada.

## Precisión:

Clave	Clase de líquidos	Nº de muestras	error promedio
A	Todos los orgánicos	142	-0.16 ± 11.06
ACE	Orgánicos asociados	18	-0.38 ± 10.13
ACF	Hidrocarburos polares	23	-0.38 ± 5.38
AC	Otros orgánicos polares	41	-0.09 ± 7.39
AD	Orgánicos no polares	52	-0.17 ± 6.93
B	Inorgánicos	14	-21.18 ± 65.0

(\*) ver significado Apéndice 1 pag. .

Referencias: 2, 4, 12, 14, 103.



## 2CA-3 Método de Meissner.

Características: Este método solo puede ser utilizado para comp. orgánicos para los cuales posee muy buena exactitud. Es necesario conocer el Parachor y la Refracción molar.

Ecuación:  $V_C = 0.55(1.5P + 9 - 4.34 R_d)^{1.155}$  ec. 2CA-3-(Nº1)

Donde:  $V_C$  = Vol. Crítico  $\text{cm}^3/\text{gmol}$ .

$P$  = Parachor (ver tabla 2CA-3-(1) pag. 158 . )

$R_d$  = Refracción molar. (ver tabla 2CA-3-(2) pag. 159).

## Procedimiento:

Se calculan  $P$  y  $R_d$  a partir de la suma de incrementos de valores atómicos y funcionales de las tablas 2CA-3-(1) y (2) (pag. 158 y 159) , respectivamente y se sustituyen en la ec. 2CA-3-(1) y así obtenemos el  $V_C$  buscado.

Ejemplo: Encontrar el  $V_C$  para el ácido acético, el valor experimental es de  $170.9 \text{ cm}^3/\text{gmol}$ .

La estructura del ácido acético es:  $\text{CH}_3 - \overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}} - \text{OH}$

De la tabla 2CA-3-(1) pag. 158 .

Atomo	número	x	valor de P	
C	2	x	9.0	18.0
H	3	x	15.5	46.5
H (OH)	1	x	10.0	10.0
O <sub>2</sub> (ester)	1	x	54.8	54.8

$P = 129.3$

De la tabla 2CA-3-(112) pag. 159 .

Atomo	número	x	valor de $R_d$	
C	2	x	2.418	4.836
O (oxidrilo)	1	x	1.525	1.525
O(carboxilo)	1	x	2.211	2.211
H	4	x	1.100	4.400

$$R_d = 12.972$$

Sustituyendo los valores de P y  $R_d$  en la ec. 2CA-3-(114):

$$V_C = 0.55 \left[ (1.5)(129.5) + 9 - (4.34)(12.97) \right]^{1.155} = 175 \text{ cm}^3/\text{gmol}$$

$$\text{error: } (175-170.9)/170.9 = -2.4\%$$

#### Precisión:

Clave	Clase de Líquidos	Nº de muestras	% error prom.
ACF	Hidrocarburos polares	18	-1.67 ± 8.03
ADF	Hidrocarburos no polares	44	+3.25 ± 6.37
A	Todos los otros orgánicos	20	-0.11 ± 8.95
B	Inorgánicos	no se utilizaron	

(\*) ver significado Apéndice 1 pag. 224.

Referencias: 1, 2, 4, 15, 27.

CH, in  $-(CH_2)_n-$ :n < 12  
n > 12C  
HIn OH  
In HNO  
N  
S  
P  
F  
Cl  
Br  
I40.0  
40.3a  
9.0  
15.5  
10.5  
12.5  
19.8  
51.8  
17.5  
49.1  
40.5  
26.1  
55.2  
68.0  
90.3Se  
Si  
Al  
Sn  
As

Ethylene bond:

Terminal  
2,3 position  
3,4 position

Triple Bond

Carbonyl bonds in ketones

Total number of  
carbon atoms — 3— 4  
— 5  
— 6  
— 7  
— 8  
— 9  
— 10  
— 11

Single bond

Semipolar bond

Singlet linkage

Hydrogen bridge

Chain branching, per branch

Secondary-secondary adjacency

Secondary-tertiary adjacency

Tertiary-tertiary adjacency

Position differences in benzene:

Ortho-meta

Meta-para

Ortho-para

Alkyl groups:<sup>a</sup>

1-Methylethyl

1-Methylpropyl

1-Methylbutyl

2-Methylpropyl

1,1-Dimethylethyl

1-Ethylpropyl

1,1-Dimethylpropyl

1,2-Dimethylpropyl

1,1,2-Trimethylpropyl

Ring closure:

3-membered ring

4-membered ring

5-membered ring

6-membered ring

7-membered ring

63  
31  
55  
64.5  
5419.1  
17.7  
16.3  
10.622.3  
20.0  
18.5  
17.3  
17.3  
15.1  
14.1  
13.0  
12.6  
0  
0— 9.5  
— 14.4b— 3.7c  
— 1.6  
— 2.0  
— 4.52.6  
0.4  
2.9133.3  
171.9  
211.7  
173.3  
170.4  
209.5  
207.5  
207.9  
243.512.5  
6.0  
3.0  
0.8  
4.0

<sup>a</sup> Somewhat greater beyond 20  $-(CH_2)_n-$   
<sup>b</sup> Includes any ortho effect  
<sup>c</sup> Varies from -2.1 to -6.5  
<sup>d</sup> Complete group, including branching

Tabla 20A-3-(E)

Valores atómicos y funcionales para calcular la refracción molar. (Ref. 104).

C	2.413
H	1.100
-CH <sub>2</sub> -	4.618
O (hidroxilo)	1.525
O (eter)	1.643
O (carboxilo)	2.211 (*)
Cl	5.967
Br	9.865
I	13.90
N (amina primaria)	2.322
N(amina sec.)	2.502
N(amina terciaria)	2.840
N (nitrilo)	5.516
anillo de 3 miembros	0
" " 4 "	0
" " 5 "	0
" " 6 "	0
" " 7 "	0
Doble ligadura	1.743
" " semipolar	7.733
Triple ligadura	2.398

(\*) incluyendo el valor de la doble ligadura.

## 2CA-4 Método de Weissner y Redding.

Características: Este método es bastante simple, solo se puede utilizar para comp. orgánicos. Se necesita saber el parachor el cual se puede obtener de la tabla 2CA-9-(1) pag. 168

$$\text{Ecuación: } V_C = (0.377 P + 11.0)^{1.25} \text{ ---- ec. 2CA-4-(Nº1)}$$

$$V_C = (0.3591 P + 14.00)^{1.25} \text{ ---- ec. 2CA-4-(Nº2)}$$

Donde:  $V_C$  = Vol. Crítico  $\text{cm}^3/\text{gmol}$ .

$P$  = Parachor (tabla 2CA-9-(1) pag. 168 .)

## Procedimiento:

Se calcula el  $P$  a partir de la suma de incrementos de valores atómicos y funcionales de la tabla 2CA-9-(1) pag. 168 . y se sustituye en la ec. 2CA-4-(Nº1). La ec. 2CA-4-(Nº2) fué obtenida por mínimos cuadrados y se emplea únicamente para hidrocarburos.

Precisión: (Utilizando la ec. 2CA-4-(Nº1)).

(*)Clave	Clase de líquido	Nº de muestras	% error prom.
A	Todos los orgánicos	120	+2.85 $\pm$ 10.19
ACE	hidrocarburos Polares	22	+3.14 $\pm$ 4.63
A	Todos los otros orgánicos	98	+2.83 $\pm$ 11.05
B	Inorgánicos	No se utiliza.	

(\*) ver significado A-ndice 1 pag. 224 .

Referencias: 1, 2, 6, 7.

2CA-5 Método de la  $Z_C$  de Lydersen.

Características: Este método es bastante complicado y es necesario saber  $T_C$ ,  $P_C$  y  $\lambda_B$  para poder calcular el  $V_C$ . Se utiliza principalmente para comp. inorgánicos.

$$\text{Ecuación: } V_C = (RT_C/P_C) (3.43 + 0.0067\lambda_B^2)^{-1} \text{ ---- ec. 2CA-5-(91)}$$

Donde:  $V_C$  = Vol. Crítico  $\text{cm}^3/\text{gmol}$ .

$T_C$  = Temp. Crítica  $^{\circ}\text{K}$ .

$P_C$  = Presión Crítica atm.

$R$  = Cte. del edo. gaseoso  $\text{cm}^3 \text{ atm.}/\text{gmol } ^{\circ}\text{K}$ .

$\lambda_B$  = Calor latente de vaporización a la temp. de ebullición  $\text{kcal}/\text{gmol}$ .

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula; de los valores de  $T_C$  y  $P_C$  que se tomen dependerá en gran parte su precisión.

Precisión:

Clave	Clase de líquido	Nº de muestras	error promedio
A	Todos los orgánicos	130	12.6 $\pm$ 19.6
ACE	Líquidos orgánicos asociados	15	23.8 $\pm$ 45.2
ACF	Hidrocarburos polares	26	10.2 $\pm$ 4.8
AC	Todos los otros orgánicos polares	40	11.3 $\pm$ 35.9
AD	Orgánicos no polares	49	13.3 $\pm$ 18.3
B	Inorgánicos	10	1.91 $\pm$ 46.0

Referencias: 4, 12.

## 2CA-6 Método de Riedel.

Características: Con esta correlación se pueden calcular el  $V_C$  para toda clase de comp. Este método es bastante largo.

$$\text{Ecuación: } V_C = (RT_C/P_C) \left[ 3.72 + 0.26(\alpha - 7) \right]^{-1} \quad \text{--- ec. 2CA-6-(Nº1)}$$

$$\alpha = 0.9076 \left[ 1 + \frac{(T_B/T_C) \ln P_C}{1 - (T_B/T_C)} \right] \quad \text{---- ec. 2CA-6-(Nº2)}$$

Donde:  $V_C$  = Vol. Crítico  $\text{cm}^3/\text{gmol}$ .

$T_C$  = Temp. Crítica  $^{\circ}\text{K}$ .

$T_B$  = Temp. de ebullición  $^{\circ}\text{K}$ .

$P_C$  = Presión Crítica atm.

$R$  = Cte. del edo. gaseoso  $\text{cm}^3 \text{ atm./gmol } ^{\circ}\text{K}$ .

## Procedimiento:

Se calcula el factor  $\alpha$  de la ec. 2CA-6-(Nº2) y se sustituye en la ec. 2CA-6-(Nº1) y así se obtiene el  $V_C$  buscado; la precisión de este método depende en gran parte de los valores de  $P_C$  y  $T_C$  utilizados.

## Precisión:

Clave	Clase de líquido	Nº de muestras	% error promedio
ACE	Líquidos orgánicos asociados. (:)	13	11.2 $\pm$ 55.4
ACF	hidrocarburos polares	26	0.80 $\pm$ 5.8
AC	todos los otros orgánicos polares	39	1.93 $\pm$ 25.4
AD	Orgánicos no polares (:.)	45	2.49 $\pm$ 6.0
E	Comp. inorgánicos	12	5.0 $\pm$ 25.3

(\*) ver significado apéndice 1 pag. 224.

(:) Sin incluir trietil amina.

(:.) Sin incluir acetileno y comp. perfluoro.

Referencias: 1, 2, 18.



## 20A-7 Método de Benson.

Características: Este método es bastante largo, se puede utilizar para todos los líquidos normales.

Ecuación:  $V_C/V_b = 2.68$  ----- ec. 20A-7-(191)

$$V_C/V_b = 0.422 \log P_C + 1.981 \quad \text{--- ec. 20A-7-(192)}$$

En donde:  $V_b = V_{L'} \left( \frac{T_C - T'}{T_C - T_b} \right)^n$  ----- ec. 20A-7-(193)

$$V_{L'} = M/\rho_{L'} \quad \text{----- ec. 20A-7-(194)}$$

Donde: Vol. Crítico molar. =  $V_C$

$V_b$  = Vol. específico del líquido sat. en su punto de ebullición. (a presión atmosférica)

$P_C$  = Presión Crítica atm.

$T_C$  = Temp. Crítica en  $^{\circ}K$  ó  $^{\circ}R$ .

$T'$  = Temp. cualquiera en  $^{\circ}K$  ó  $^{\circ}R$ .

$V_{L'}$  = Vol. molar del liq. sat. a cualquier temp.  $T'$  menor o igual a la temp. de ebullición.

$M$  = Peso molecular.

$\rho_{L'}$  = densidad del líquido correspondiente a  $V_{L'}$ .

$T_b$  = Temp. de ebullición en  $^{\circ}K$ .

Procedimiento:

a) Utilizando la ec. 20A-7-(194) se calcula el  $V_{L'}$ .

- b) Obtenemos  $V_b$  de la ec. 2CA-7-(193).
- c) Se sustituye el valor de  $V_b$  en las ecs. 2CA-7-(21) en el caso de que el liq. sea un líquido normal; y se sustituye en la ec. 2CA-7-(192) en el caso de que el líquido sea asociado, de vapor regular.

Precisión: En ambos casos el error puede ser de  $\pm 5\%$ .

Referencias: 14, 25, 26.

2CA-8 Método de Herzog.

Características: Herzog hizo comparaciones entre las diferentes correlaciones y obtuvo varias ecuaciones.

Correlación:

$$V_C = 2.92 P^{1.2} / T_C^{0.3} \quad \text{---- ec. 2CA-8-(#1)}$$

$$V_C = 3.34 (P)^{1.2} / T_C^{0.3} \quad \text{---- ec. 2CA-8-(#2)}$$

$$V_C = 1.447 (P) - 20.09 \quad \text{---- ec. 2CA-8-(#3)}$$

$$V_C = (0.3591 P + 14.00)^{1.25} \quad \text{---- ec. 2CA-8-(#4)}$$

Donde:  $V_C$  = Vol. Crítico  $\text{cm}^3/\text{gmol}$ .

$T_C$  = Temp. Crítica  $^{\circ}\text{K}$ .

$P$  = Parachor. (ver tabla 2CA-3-(L) p. 108.)

Procedimiento:

La ec. 2CA-8-(#1) es la ec. general, la ec. 2CA-8-(#2) se emplea para compuestos que tengan  $-\text{O} = \text{O}$ ,  $-\text{C} \equiv \text{N}$ ,  $-\text{C}(\text{OH})_3$  como grupos funcionales, además de 1 a 3 átomos de carbono no funcionales. Las ecs. 2CA-8-(#1) y (#2) son más simples pero también poseen mayor error.

Precisión: En el 95% de los casos los errores máximos fueron:

Con la ec. 2CA-8-(#1) fué del 6.5% y con la ec. 2CA-8-(#2) fué 10%.

Con la ec. " (#3) " " 19.1% y " " " (#4) " 15.7%

Referencias: 6, 14.

### 2CA-9 Método de Sugden.

**Características:** Este método es uno de los más simples y uno de los más antiguos, sirvió de base a otros como los métodos como el de Welasner y Ladding.

**Ecuación:**  $C V_G = P$  ----- ec. 2CA-9-(1)

Donde:  $V_G$  = Vol. Crítico  $\text{cm}^3/\text{gmol}$ .

$P$  = Parachor de Sugden (tabla 2CA-9-(1) )

$C$  = Constante que tiene el valor de 0.78 pero se ha visto que varía de 0.35 para el agua hasta 0.635 del octadecano.

### Procedimiento:

El Parachor obtenido de la tabla 2CA-9-(1) corresponde casi exactamente a la forma experimental de obtenerlo según la fórmula de Sugden:

$$P = \frac{M (\gamma)^{1/4}}{D - d}$$

Donde:  $M$  = Peso molecular.

$(\gamma)$  = Tensión superficial  $\text{dynes/cm}$ .

$D$  = Densidad del líquido  $\text{gm/cm}^3$ .

$d$  = " " " vapor " " " .

En el caso de algunos comp. simples tales como  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  etc. debe tratarse de calcular el Parachor en forma experimental, tomando mucho cuidado en las correspondientes mediciones para obtener el menor error posible. Las únicas excepciones grandes son el agua y el  $\text{H}_2\text{S}$  que no obedecen las relaciones anteriores, y debe de ser tratado como un comp. especial, la otra excepción es el bifenilo con el cual se obtiene un 20% de error. Los valores de  $P$  de estas sustancias se dan en la tabla 17) ref. 51.

Precisión: El error promedio es del 6.5%

Diferencias: 6, 7, 94.

TABLA 2CA-9-(1)

Valores para el Parador de Sugden. Ref. 94

Elemento o grupo	valor
C	4.8
H	17.1
N	12.5
P	37.7
O	20.0
S	48.2
F	25.7
Cl	54.3
Br	68.0
I	91.0
Doble ligadura	23.2
Triple "	46.6
Anillo de 3 miembros	16.7
" " 4 "	11.6
" " 5 "	8.5
" " 6 "	6.1
O <sub>2</sub> en esteres	60.0

## 20A-10 Método de Ferguson.

**Características:** Ferguson basándose en un análisis dimensional encontró una relación empírica, que ha servido de base a posteriores investigadores para resolver las correlaciones.

**Ecuación:**

$$P = K V_C^{5/8} T_C^{-1/4} \quad \text{---- ec. 20A-10-( 91)}$$

$$P = k V_C^{7/8} T_C^{-1/4} \quad \text{---- ec. 20A-10-( 92)}$$

Donde: P = Parámetro ver pag. 158 y 168

$V_C$  = Vol. Crítico  $\text{cm}^3/\text{gmol}$ .

$T_C$  = Temp. Crítica  $^{\circ}\text{A}$ .

K = 0.41

k = Constante de Ferguson.

### Procedimiento:

**Simple aplicación de la fórmula;** la ec. 20A-10-( 91) fué la que Ferguson encontró por un análisis dimensional, los valores de la constante k de Ferguson vienen en Ref. 63.

**Precisión:** El error obtenido por este método puede ser incrementado al utilizar un valor erróneo de  $T_C$  u error del 5% en el valor de  $T_C$  inducira un error del 2% extra al usar de este método. Este método no se tiene el factor del error promedio empírico.

**Referencias:** 6, 62, 63.

## 20A-11 Método de Lautie.

Características: Lautie combinando varias ecuaciones técnicas y empíricas encontró varias relaciones para calcular el  $V_C$  las cuales solo se aplicaban a líquidos normales.

Ecuación:  $P = 0.661 V_C^{3/4} P_C^{1/4}$  ----- ec. 20A-11-(1)

$P = 0.316 V_C P_C^{1/4}$  ----- ec. 20A-11-(2)

$V_C = 0.3 P / P_C^{0.25}$  ----- ec. 20A-11-(3)

Donde: P = Parador ver par. 155 y 168

$V_C$  = Vol. Crítico  $\text{cm}^3/\text{g}$  o l.

$P_C$  = Presión Crítica at.

$T_C$  = Temp. Crítica  $^{\circ}\text{K}$ .

C = Constante.

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula.

- Para comp. orgánicos alifáticos que contengan uno o dos átomos de carbono en unión al átomo funcional o grupo funcional.  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ ) y todos los demás comp. que tengan  $T_C$  entre los 450 y 600 $^{\circ}\text{K}$ , el valor de la constante C es de 3.50.
- Para comp. orgánicos alifáticos que contengan uno o dos átomos de carbono en unión al átomo funcional o grupo funcional de los comp. que tengan  $T_C$  entre los 450 y 600 $^{\circ}\text{K}$ , el valor de la constante C es de 3.31.
- Para comp. orgánicos alifáticos que contengan uno o dos átomos de carbono en unión al átomo funcional o grupo funcional de los comp.

comp. que tengan  $T_G$  mayor de  $600^{\circ}\text{K}$  (sin incluir  $\text{H}_2\text{O}$ ), el valor de la constante C es de 5.12 .

Precisión: Para la ec. 20A-11-( 83) los errores son:

Para comp. incluidos en el inciso a) 3.1.

" " " " " b) 5.2.

" " " " " c) 7.5.

Referencias: 6, 101.



2CA-12 Método de Young.

Características: Este es uno de los métodos más antiguos, es necesario conocer con anterioridad  $T_C$  y  $P_C$ .

ecuación:  $D_G = 5.7 M P_C / R T_C$  ----- ec. 2CA-12-(191)

Donde:  $D_G$  = Densidad Crítica  $gr/cm^3 = 1/V_G$

$M$  = Peso molecular.

$P_C$  = Presion Crítica atm.

$T_C$  = Temp. Crítica  $^{\circ}K$ .

$R$  = Cte. del Edo. gaseoso  $cm^3 atm / ^{\circ}K gmol$ .

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula, la precisión de este método dependerá en mucho de los valores que utilizemos de  $T_C$  y  $P_C$ .

Precisión: Para este método no se tienen los datos del error promedio estadístico.

Referencias: 7, 49.

2CA-13 Método de Matanson.

**Características:** Este es uno de los métodos más antiguos, los cuales han servido de base a las nuevas correlaciones, es necesario conocer con anterioridad  $P_G$  y  $T_G$ .

**Ecuación:**  $D_G = 0.044 P_G/T_G$  ---- ec. 2CA-13-(11)

Donde:  $D_G$  = Densidad Crítica  $(\text{gr/cm}^3) = 1/T_G$

$P_G$  = Presión Crítica atm.

$T_G$  = Temp. Crítica  $^{\circ}\text{K}$ .

**Procedimiento:** Simple aplicación de fórmula, la precisión en este método dependerá mucho de los valores que se utilicen de  $T_G$  y  $P_G$ .

**Precisión:** Para este método no se tienen los datos del error promedio estadístico.

**Referencias:** 7, 50.

## 2CA-14 Método de Clueh.

Características: Este método se emplea para calcular el volumen crítico de 22 mezclas de hidrocarburos, se obtuvo en forma experimental.

Ecuación: 
$$V_C = \Theta_1 v_{c_1} + \Theta_2 v_{c_2} + 2 v_{12} \Theta_1 \Theta_2$$
 ec. 2CA-14-(NOL)

Donde:  $V_C$  = Vol. Crítico de la mezcla.

$v_{c_1}$  = Vol. crítico del comp. 1 , comp. 2.

$\Theta_{1,2}$  = Fracción de superficie (Ref. 30 y 31)

$v_{12}$  = parámetros binarios característicos. (ref31)

Procedimiento: Simple aplicación de la fórmula.

Precisión: No se tiene el valor del error estadístico.

Referencias: 30, 31 y 32.

**2CE-1** Homograma de Meissner.

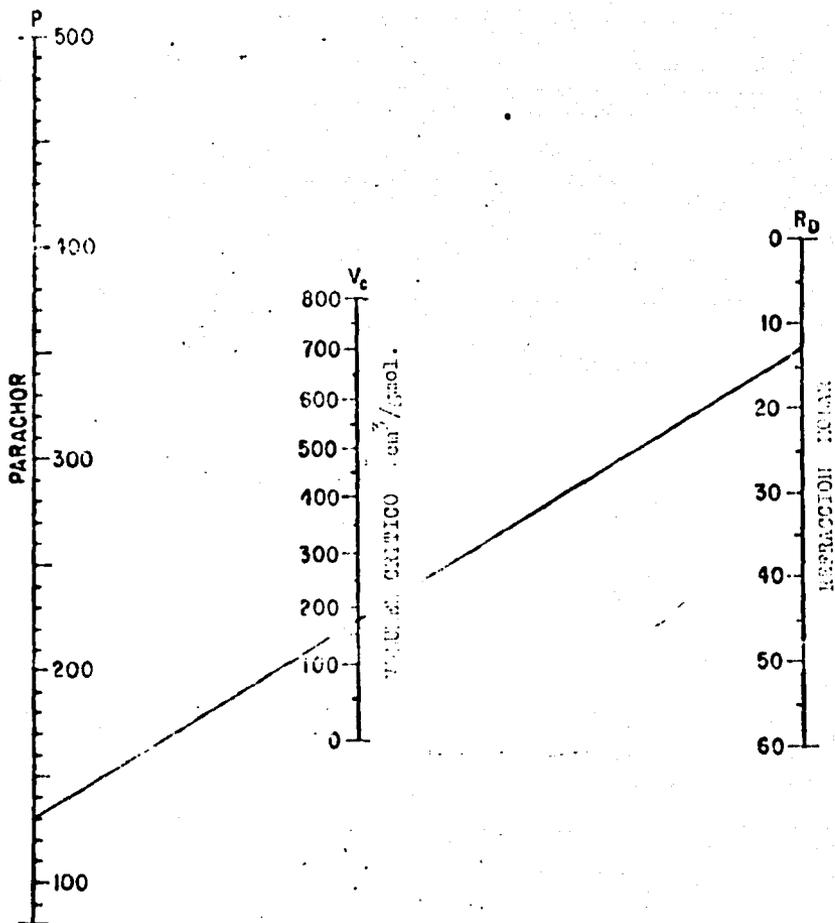
Características: ver pag. **158** .

Procedimiento: Se traza una línea del Parachor (tabla 2CA-3-(1) pag. **158** ) a la refracción molar que se obtiene por la tabla 2CA-3-(2) par. **159** ), esta línea interseca con el valor del seno crítico en  $c^2/\text{mol}$ .

Ejemplo: ver pag. **158** . y comparar con el nomograma.

Referencias: 15, 27.

## 203-1 Nomograma de Weissenher.



205-2 nomograma de Weissen (2).

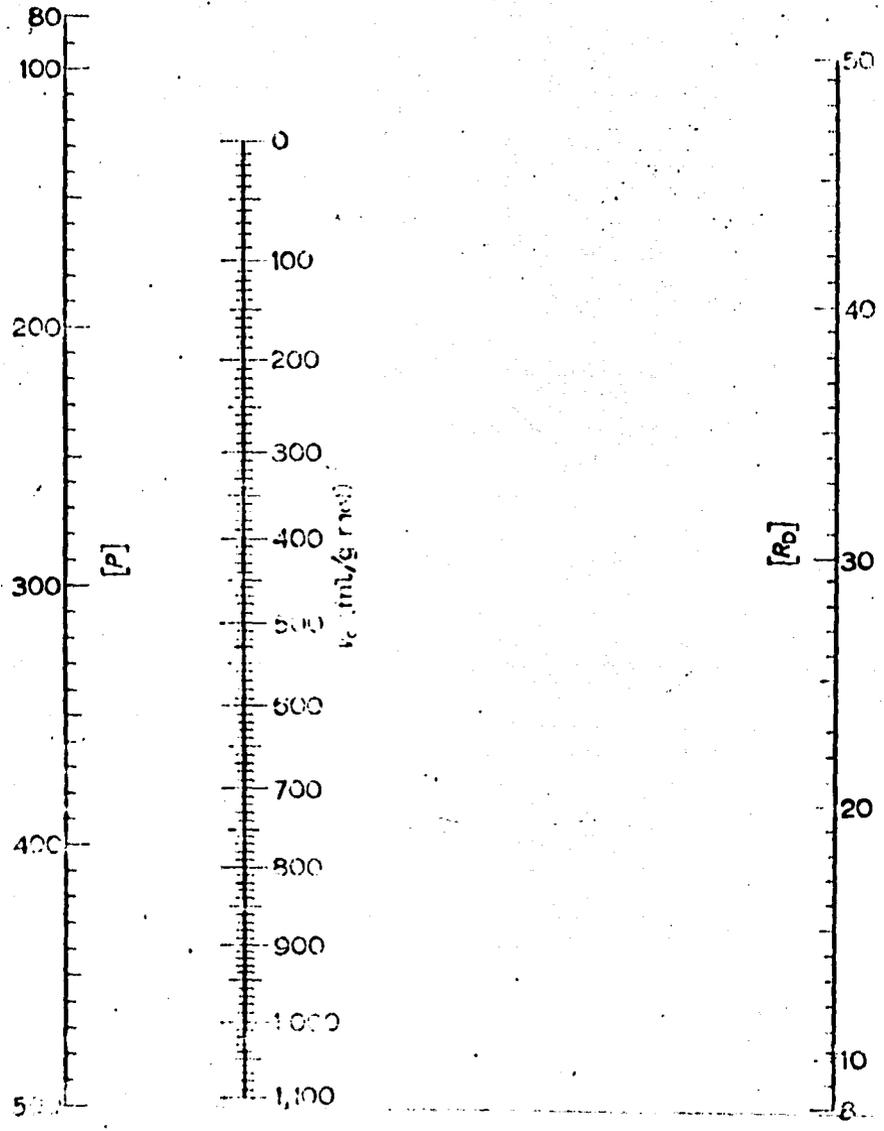
Características: ver pag. 156 .

Estos 2 nomogramas no se utilizan para agua o  
compuestos de temp. e ebullición menor a 250°K.

Procedimiento: igual que 205-1 pag. 175 .

Referencias: 15, 27, 119.

208-2 2 Micrografa de Inisalar.



2D.- Datos Directos





<b>Alcohol Metílico</b>	4, 91, 119, 132
<b>etílico</b>	4, 119, 132
<b>n-propílico</b>	4, 91, 132
<b>iso-propílico</b>	4, 91, 132
<b>butílico</b>	4, 91, 119, 132
<b>sec-butílico</b>	4, 91, 132
<b>ter-butílico</b>	4, 91, 132
<b>iso-butílico</b>	4, 91, 132
<b>n-amílico</b>	4,
<b>ter-amílico</b>	4, 91, 132
<b>iso-amílico</b>	132, 91
<b>n-heptílico</b>	4, 91, 132
<b>n-octílico</b>	4, 91, 132
<b>sec-octílico</b>	4, 91, 132
<b>alílico C<sub>5</sub>H<sub>6</sub>O</b>	4, 91
<b>Acido hidrociánico</b>	94
<b>Aire</b>	4, 91, 94, 132, 14
<b>Alileno</b>	91, 94
<b>Amoniaco</b>	4, 14, 91, 94, 119, 132
<b>Anhidrido acético</b>	91, 132
<b>Anilina</b>	4, 91, 132
<b>Anisol</b>	91, 132
<b>Agua</b>	4, 91, 132, 14
<b>Argon</b>	4, 14, 91, 94, 132
<b>Arsénico</b>	14, 91
<b>Azufre</b>	4, 14, 91, 132
<b>Benceno</b>	4, 16, 94, 119, 132
<b>Benzonitrilo</b>	4, 91, 132
<b>Bromo</b>	4, 14, 91, 132
<b>Bromo-benceno</b>	4, 91, 132

Bromuro de etilo	4, 91, 132
metilo	4,
Bromotrifluoro metano	4
Butano	4, 91, 94, 119, 132
Butadieno 1, 2	119
Butadieno 1, 3	4, 91, 119
Buteno 1	4, 119
Buteno 2 cis	4, 119, 133
Buteno 2 trans	4, 119, 133
Butina 1 (etil acetileno)	119
Butino 2 (dimetil acetileno)	119
Butirato de metilo	4, 91, 132
etilo	4, 91, 132
n-propilo	4, 91, 132
isopropilo	4,
isobutilo	91, 132
isoamilo	4, 91, 132
n-Butil-benceno	4, 133
Butironitrilo	91
Caprilato de metilo	4,
etilo	91, 132
Capronitrilo	91, 132
Cianógeno	4, 91, 94, 132, 14
Ciclo-propano	119
-butano	119
-pentano	4, 119
-hexano	4, 94, 119, 132, 133, 91
-penteno	4
Cimeno (4 isopropil-1-metil benceno)	4
Cloro	4, 14, 91, 94, 119, 132

Cloroformo	4, 91, 132, 134
Cloro difluoro metano	4, 134
" trifluoro metano	4
" " etano	4
Clorobenceno	4, 91, 132
Cloroformato de etilo	91, 132
Cloro trifluoruro de Silicio	4, 14
Cloruro de metilo	4, 91, 94, 119, 132, 134
etilo	4, 91, 94, 119, 132, 134
n-propilo	91, 132, 134, 4
metileno	4, 134
de vinilo	91, 134
de vinilideno	134
Germanico	14, 91, 132
Estánico	14, 91, 132, 4
de Alilo	4
o - Cresol	4, 91, 132
m - Cresol	4, 91, 132
p - Cresol	4, 91, 132
Crotonato de etilo	132, 91
Decano	4, 119, 133,
Decadieno 1,3	4,
Deuterio	4, 14, 91
Dicloro metano	94
1,1 Dicloro etano	4,
1, 2 " "	4, 134
Dicloro difluoro metano	4, 91, 94, 134
" fluoro "	4, 134
1, 2 Dicloro tetrafluoro metano	4, 134
1,2 Dicloro propano	134
" etileno cis	134
" " trans	134

Di cloro difluoro Silicio	4, 14
Dietil amina	4, 1. 94, 132
Dietilen glicol	134
1,1 Dietoxietano (acetal)	4
Difenilo	4
Difenil metano	4
" eter	4
Di bromo metano	4
" etileno	134
Difluorotetracloro etano	94
Decalin cis	4
" trans	4
Diisopropil (2,3 Dimetil. butano)	91, 94, 119, 132
Di-isobutil (2,5 " hexano)	91, 94, 119, 132
Dimetil amina	4, 91, 94, 132
" anilina	4, 91
" acetileno	4
2,2 Dimetil butano	4, 119, 133
2,3 " "	4, 119, 133
2,3 " butadieno 1,3	119
Dimetil cetona	4
1,1 Dimetil ciclopentano	119
1,2 " " cis	119
1,2 " " trans	119
1,3 " " trans	119
2,2 " hexano	4
2,3 " "	4
2,4 " "	4
2,5 " "	4
3,3 " "	4
3,4 " "	4

Di cloro difluoro Silicio	4, 14
Diethyl amina	4, 1. 94, 132
Diethilen glicol	134
1,1 Dioxietano (acetal)	4
Difenilo	4
Difenil metano	4
" eter	4
Di bromo metano	4
" etileno	134
Difluorotetracloro etano	94
Decalin cis	4
" trans	4
Diisopropil (2,3 Dimetil. butano)	91, 94, 119, 132
Di-isobutil (2,5 " hexano)	91, 94, 119, 132
Dimetil amina	4, 91, 94, 132
" anilina	4, 91
" acetileno	4
2,2 Dimetil butano	4, 119, 133
2,3 " "	4, 119, 133
2,3 " butadieno 1,3	119
Dimetil cetona	4
1,1 Dimetil ciclopenteno	119
1,2 " " cis	119
1,2 " " trans	119
1,3 " " trans	119
2,2 " hexano	4
2,3 " "	4
2,4 " "	4
2,5 " "	4
3,3 " "	4
3,4 " "	4

2,2 Dimetil pentano	4, 119
2,3 " "	4, 119
2,4 " "	4, 119
3,3 " "	4, 119
Dimetoximetano (Mexilal)	4,
1,2 Dimetoxietano	4
Dimetil -o-toluidina	4, 132, 91
2,4 Dimetil piridina (2,4 lutidina)	4
2,6 " " 2,6 "	4
2,5 " " 2,5 "	4
3,5 " " 3,5 "	4
Dipropilamina	4, 91, 132
Dipropil glicol	134
o-Dioxano	4
Dioxido de Azufre	4, 14, 91, 119, 132
Carbono	4, 14, 91, 119, 132
Nitrógeno	4, 14
Disulfuro de Carbono	4, 14, 91, 132
etilo	132, 91
dietilo	4, 91, 132
dimetilo	4
Dodecano	4, 119, 133
Etano	4, 91, 94, 119, 132
Eter metiláco	4, 91, 119, 132
etilico	4, 91, 119, 132
metil etílico	4, 91, 132
etil propílico	4, 91, 132
metilen dietílico	132
propílico	4
vinil etílico	4
alil etílico	91, 4

Eter isopropilico	4
metil fenilico	4
etil "	4, 91
difenilico	4
Etileno	4, 91, 94, 119, 132, 134
Etil acetileno	4
amina	4, 91, 132
benceno	4, 119, 133
2 Etil butadieno 1,3	119
Etil cicloesano	119
o Etil fenol	4
n " "	4
n " "	4
3 Etil hexano	4, 119
3 " pentano	4, 119
Etil mercaptano	4, 91, 132
n-Eicosano	4
Etilen glicol	134
2 Etil 1 metil benceno	4
3 " 1 " "	4
4 " 1 " "	4
Etil metil cetona	4
3 Etil 2 metil pentano	4
3 " 3 " "	4
Fenol	4, 91, 132
Fluoro	4, 14, 91, 94
Fluoruro de metilo	4, 91, 132
etilo	4
vinilo	134
vinilideno	134
Fluoroformo	4



Fluoro benceno	4, 91, 132, 133
Formato de metilo	4, 91, 132
etilo	4, 91, 132
propilo	4, 91, 132
isobutilo	4, 91, 132
isoamilo	4, 91, 94
amilo	4
Fosgeno	4, 91, 132, 14
Fosfina	4, 91, 132, 14
Furano	4
Fosforo	14
Helio	4, 14, 91, 94, 132
Heptano	4, 91, 94, 119, 132, 134, 133
n-heptadecano	4
n-heptilcianida	4
Hexano	4, 91, 94, 119, 132, 133, 134
Hexadecano normal	4
1,5 Hexadieno	4, 119
1,2     "	119
1,3     "	119
1,4     "	119
2,3     "	119
2,4     "	119
Hexeno 1	4, 119, 132, 133, 134
"    2 cis	119
"    2 trans	119
"    3 cis	119
"    3 trans	119
Hexafluoruro de Azufre	4, 14
Hexametil benceno	4

Hepteno 1	133, 134
Hidrazina	4, 91, 14
Hidrógeno	4, 14, 91, 94, 119, 132
Hidruro de Selenio	132, 14
Hilicio	14, 91, 132
Hexafluoruro de Uranio	14
Iodo	4, 14, 91, 132
Iodo benceno	4, 91, 132
Ioduro de metilo	4
Isoamil mercaptano	132, 91
Isobutano	4, 91, 94, 119, 132, 134
Isobuteno (2 metil propeno)	4, 119, 134
Isobutirato de etilo	4, 91, 132
metilo	4, 91, 132
isobutilo	4, 91, 132
n-propilo	4, 91, 132
Isoheptano (2 metil hexano)	119, 134
Isohexano (2 " pentano)	119, 134
Isobutilbenceno	4, 133
Isobentano	91, 119, 132, 134
Isopropil benceno (cumeno)	4, 119
Isoquinolina	4
Isopreno (2 metil 1,3 butadieno)	134
Isovalerato de etilo	4, 91, 132
isobutilo	4, 132, 91
propilo	4, 91, 132
Kripton	4, 14, 91, 94, 132
Laureato de metilo	4
2,3 Lutidina	133
2,5 "	133
3,4 "	133
3,5 "	

Mercurio	91, 14, 94, 132
Metano	4, 91, 94, 119, 132
Metil acetileno	119, 134
amina	4, 91, 132
anilina	4, 91, 132
2 Metil 1 buteno	4, 132
3 " 1 "	132
2 " 2 "	4, 132
2 " Butano	4, 133
3 " Butadieno 1,2	119
2 " " 1,3 (isopreno)	119
3 " Butino 1 (isopropil acetileno)	119
Metil ciclo hexano	119, 133, 4
" " pentano	119, 133, 4
1 Metil 2 etil benceno	119
1 " 3 " "	119
1 " 4 " "	119
Metil etil sulfuro	4, 132
2 Metil furano	4
2 " heptano (iso octano)	4, 119, 133
3 " "	4
4 " "	4
2 " hexano	4, 133
3 " "	4, 119
Metil Mercaptano	4, 132, 91
Metil isobutil cetona	4
" isopropil cetona	4
1 Metil naftaleno	4, 133
2 " "	4
3 " pentadieno 1,2	119
4 " " 1, 2	119

2 Metil pentadieno 1,3	119
3 " " 1,3	119
4 " " 1,3	119
3 " " 1,4	119
2 " " 2,3	119
3 " pentano	119, 4
2 " "	133, 4
3 " piridina	4
4 " "	4
Metil n-propil cetona	4
2 Metil tetra hidrofurano	4
Monóxido de carbono	4, 14, 91, 94, 119, 132
Metil dietil eter	91
Naftaleno	4, 133
Neohexano (2,2 Dimetil butano)	119
Neon	4, 14, 91, 132
Neopentano (2,2 Dimetil propano)	4, 119
Nitrógeno	4, 14, 91, 119, 132
n-nonadecano	4
n-nonano	4, 119, 133
Nitrometano	4
Nonilato de etilo	91
n-octano	4, 91, 119, 132, 133, 134
n-octadecano	4
1 octeno	4, 133, 134
Oxalato de metilo	91, 132
Oxido de etileno	4, 91, 132, 134
" nítrico	4, 14, 91, 132
" nitroso	4, 14, 91, 132
" de 1,2 propileno	4
Oxígeno	4, 14, 91, 119, 132

Oxido de propileno	134
Oxisulfuro de Carbono	14, 91, 94, 132
Ozono	4, 14,
Paracetaldehido	4
Paraldehido	91, 132
Pelargonato de etilo	4
n-pentadecano	4
Pentadieno 1,2	119
" 1,3 cis	119
" 1,3 trans	119
" 1,4	119
Pentano	4, 91, 119, 132, 133, 134
Penta metilbenceno	4
Penteno 1	4, 119, 133
Penteno 2 cis	4, 119
" 2 trans	4, 119
Pentino 1 (propil acetileno)	119
" 2	119
Perfluoruro de n-propano	4
" de n-butano	4
" de n-heptano	4
Perfluorometil ciclohexano	4
Piperidina	4
Piridina	4, 91, 132
Pirolidina	4
Propadieno	4, 119, 134
Propano	4, 91, 119, 132,
Propeno	4, 134
Propilbenceno	4, 119, 133
Propilacetileno	4
Propionato de etilo	132, 4, 11
" de metilo	132, 4, 91

Propionato de etilo	4, 91, 132
" de isopropilo	4, 91, 132
" de isobutilo	4, 91, 132
Propileno	4, 91
Propileno	4
Propileno	91, 119, 132
Propileno	4
Propileno	4, 91, 132
1,2 propileno glicol	134
Quinolina	4, 91
Razon	4, 14, 91, 132
Silicio	4
Sodio	91
Sulfuro de alilo	4, 91
carbono	4
dietilo	4, 132, 91
diisobutilo	4, 132, 91
metilo	132, 91
Tetra cloruro de carbono	4, 14, 91, 132, 134
germanio	4, 91, 14
Silicio	4, 14, 91
1,1,2,2 tetra cloro difluoro etano	4
n-tetradecano	4
Tetrafluoruro de carbono	4
Tetra fluoro etileno	4
Tetrahidrofuran	4
1,2,3,5 tetra metil benceno	4
1,2,4,5 " " "	4
2,2,3,3 " " butano	4
Tetrafluoruro de silicio	4, 91

Tetroxido de nitrógeno	91, 132, 14
Timol	91, 132
Tiopreno	4, 91
Tolueno	4, 91, 119, 132, 133
Toluenonitrilo	91, 132
Tribromuro de Boro	4, 91, 14
Tricloruro de Boro	4, 14
Tricloro etileno	134
" fluoro metano	4, 134
" " silicio	4, 14
" trifloro etano	4, 134
1,1,1 Tricloro etano	134
1,1,2,2, Tetra cloro etano	134
Tetra fluoro metano	134
n-tridecano	4
Trietil amina	4, 91, 132
Trifluoruro de Boro	4, 14, 94
Trifluoro metano	134
" bromo metano	134
Trimetilamina	4, 91, 132
1,2,3 trimetil benceno	4, 119, 133
1,2,4 " "	4, 119, 133
1,3,5 " "	4, 119, 133
2,2,3 " butano	4, 119
2,2,4 " pentano	4, 119, 133, 134
2,3,4 " "	4
2,3,3 " "	4
Trietilen glicol	134
Trioxido de azufre	4, 14, 91, 132
Tetrafluoruro de Silicio	14
Undecano	4, 119, 133

Valeriato de etilo	4, 91, 119
" de metilo	4, 91, 119
Vinil acetileno	119
Xenon	4, 14, 91, 132
o-xileno	4, 119
m- "	4, 119
p- "	4, 119
2,3 Xilenol	4
2,4 "	4
2,5 "	4
2,6 "	4
3,4 "	4
3,5 "	4



## CAPITULO 3

CONCLUSIONES - EVALUACION

## CONCLUSIONES Y EVALUACION.

En el presente análisis hecho en una forma tabular  
conteniendo 6 columnas las cuales se explicaran a continuación:

### Columna 1. Correlación.-

Aparece la clave y el autor de la correlación

### Columna 2. Datos necesarios.-

Se tabularon los datos que son necesarios para cada correlación:

Nomenclatura:  $T_B$  = Temperatura de ebullición  
 $sp.gr$  = gravedad específica  
 $PM$  = Peso Molecular  
 $\Sigma \Delta T$  = Cte. obtenida por la suma de incrementos  
 $\Sigma \Delta P$  = " " " " " "  
 $n$  = Nº átomos de carbono.  
 $P$  = Parachor  
 $TS$  = Tensión Superficial  
 $R$  = etc. del estado gaseoso  
 $\lambda_B$  = calor latente de vaporización  
 $T_{pc}$  = Temperatura pseudocrítica  
 $x_1$  = fracción mol del componente 1  
 $k$  = etc. específica  
 $D_c$  = Densidad crítica  
 $T_{c1}$  = Temp. Crítica componente 1  
 $RM$  = Refracción Molar  
 $\Theta$  = etc. específica

$P_{pc}$  = Presión Pseudocrítica

VABP = Punto de ebullición promedio en volumen

WABP = " " " " " peso

visc = viscosidad

### Columna 3. Tipo de compuesto.-

En esta columna se indica el tipo de compuesto para los cuales se emplea cada correlación.

G = General

GI = " principalmente inorgánicos

GO = " " orgánicos

O = Orgánicos

OH = " principalmente hidrocarburos

O-H = " solamente hidrocarburos

OP = " fracciones del petróleo

E = Elementos

M = Mezclas gaseosas

### Columna 4. Rapidez de cálculo.-

En relación con el tiempo empleado en encontrar la propiedad crítica buscada se clasificaron los diferentes métodos en:

R = Rápido

RR = Muy rápido

RE = Regular

L = Lento

ML = Muy lento

### Columna 5. Calificación.-

En relación con la precisión obtenida con el uso de estos métodos se clasificaron en:

R = Regular  
B = Bueno  
MB = Muy bueno

R = Regular  
B = Bueno  
MB = Muy bueno

3A-A EVALUACION DE LAS CORRELACIONES PARA EL CALCULO  
DE LA T<sub>g</sub>

Correlación	Datos necesarios	Tipo de compuesto	Rapidez de cálculo	Calificación	Pág.	
2AA-1	Guldberg-Guye	TB	G	M.R.	R	15
2AA-2	Guldberg-Guye (mod.)	TB	GI	M.R.	R	17
2AA-3	Lydersen	TB y $\Theta$	GO	R	M.B.	18
2AA-4	Meissner-Reeding	TB	GO	R	M.B.	21
2AA-5	Nokay	TB y $\Delta F_{\text{B}}$	O-H	R	B	23
2AA-6	Chen-Hu	TB y P <sub>m</sub>	GI	M.R.	R	24
2AA-7	Riedel	TB, $\Sigma \Delta T$	OH	R	M.B.	26
2AA-8	Eduljee	TB, $\Sigma \Delta T$	O	R	B	29
2AA-9	Francis	TB, n	O-H	R	M.B.	31
2AA-10	Varshni	TB	O-H	R	M.B.	33
2AA-11	Varshni & Srivastava	n	O-H	R	M.B.	34
2AA-12	Stanley-API	PM	O-H	RE	B	35
2AA-13	Lewis	P; Consts. a, b, c, d	G	RE	M.B.	36
2AA-14	Lautie	D, PM, P, T, K	G	L	R	40
2AA-15	Watson	TB, P.M., $\Theta_{\text{B}}$	G	L	R	41
2AA-16	Forman y Thodos	R Consts. a y b	O	L	B	43
2AA-17	Gates y Thodos	T <sub>g</sub>	E	M.R.	B	53
Mezclas.-						
2AA-18	Kay	1pc; X <sub>1</sub>	O	R	M.B.	70
2AA-19	Edmister	sp.gr.	Gas. Nat.	R	-	71
2AA-20	Pawlewski	T <sub>g1</sub> , T <sub>g2</sub> , ZL, YM	OH	R	M.B.	72
2AA-21	Joffe	T <sub>g1</sub> , T <sub>g2</sub> , P <sub>g1</sub> , P <sub>g2</sub>	M.C.	L	B	73
2AA-22	Chueh	T <sub>g1</sub> , T <sub>g2</sub> , $\Theta_{12}$	OH	L	B	75

### 3A-B EVALUACION DE LOS NOMOGRAMAS PARA EL CALCULO DE LA Tc

Nomograma		Datos necesarios	Tipo de compuesto	Rapidez de cálculo	Calificación	Pág.
2AB-1	Riedel	$T_B$ ; $T_B/T_c$	OH	R	M.B.	77
2AB-2	Davis	$RO$ ; $ct-es'-k_1$ y $k_2$	O	R	B	79
2AB-3	Kharbanda	$Pc$ ; $t_B$	OH	RE	B	82
2AB-4	Thodos	ctes: a y b	O	RE	B	84
2AB-5	AP1 (1°)	MABP, WABP, $\int_p$ gr. $T_B$	OH	RE	B	86
2AB-6	AP1 (2°)	MABP, WABP, grav. AP1	OH	RE	B	89
2AB-7	AP1 (3°)	MABP, WABP, etc.	OH	RE	B	92

### 3A-C EVALUACION DE LAS GRAFICAS PARA EL CALCULO DE LA Tc

Gráfica		Datos necesarios	Tipo de compuesto	Rapidez de cálculo	Calificación	Pág.
2AC-1	Kharbanda	$T_B$ , FM	OH	M.R.	B	94
2AC-2	Kay	sp.gr. VABP, etc.	OP	R	B	96
2AC-3	Maxwell (1)	$T_B$	OH	M.R.	B	98
2AC-4	Smith y Watson	$T_B$	OH	R	B	100
2AC-5	Maxwell (2)	$T_B$ , dens. °API	OP	R	B	102

3B-A EVALUACION DE LAS CORRELACIONES PARA EL CALCULO DE LA Pc

Correlación	Datos necesarios	Tipo de compuesto	Rapidez de cálculo	Calificación	Pag.
2BA-1	Riedel	PM. $\Sigma \Delta p$	GO	R	MB 105
2BA-2	Lydersen	PM $\Sigma \Delta p$	GO	R	MB 107
2BA-3	Meissner	P, Tc. RM	G	RE	B 109
2BA-4	Benko	Tb. PM, n	GI	MR	B 112
2BA-5	Eduljee	P.M. $\Sigma \Delta p$	G	R	B 113
2BA-6	Meissner B. Redding	Tc, Vc, M, Dc	G	RE	B 116
2BA-7	Wohl	Tc, Vc	G	MR	B 117
2BA-8	Fishtine	PM, n	OH	R	B 118
2BA-9	Lautie	P, Vc, etc. C.	GO	RE	R 119
2BA-10	Forman y Thodos	Ctes. a y b	O	RE	MB 121
2BA-11	Herzog	P.ctes. a y b	O	R	B 122
Mezclas					
2BA-12	Kay	Pc, x	O	R	MB 124
2BA-13	Edwister	sp.gr.	G	R	B 125
2BA-14	Mayfield	Pc, Tc. etc.	OH	RE	MB 126
2BA-15	Joffre	Pc, Tc. etc.	M.G.	L	B 130



### 3B-B EVALUACION DE LOS NOMOGRAMAS PARA EL CALCULO DE LA $P_c$

Nomograma	Datos necesarios	Tipo de Compuesto	Rapidez de cálculo	Calificación	Pág.
2BB-1 Riedel	PM, $\leq p$	OH	R	MB	131
2BB-2					135
2BB-3 Edmister	Tc	OH	R	-	135
2BB-4 Thodos	R, ctas. a y o	OH	RE	B	137
2BB-5 API (1°)	Tc, Tpc, Ppc	OH	L	B	140
2BB-6 API (2°)	dens. °API, T <sub>B</sub>	OH	L	B	143
2BB-7 API (3°)	Tc, Tpc, etc.	OH	ML	B	143

### 3B-C EVALUACION DE LAS GRAFICAS PARA EL CALCULO DE LA $P_c$

Gráfica	Datos necesarios	Tipo de Compuesto	Rapidez de cálculo	Calificación	Pág.
2BC-1 Kay	T <sub>B</sub> , VABP	OP	RE	B	146
2BC-2 Maxwell (1°)	PM	OP	RE	B	148
2BC-3 Maxwell (2°)	T <sub>B</sub> , dens. °API	OP	RE	B	150
2BC-4 Smith y Watson	Ppc	OH	RE	B	152

3C-F EVALUACION DE LAS CORRELACIONES PARA EL CALCULO DEL Vc

Correlación	Datos necesarios	Tipo de compuesto	Rapidez de cálculo	Calificación	Pág.
2CA-1	Vowles	GO	R	B	154
2CA-2	Lydersen	GO	R	B	155
2CA-3	Meissner	GO	R	B	156
2CA-4	Meissner y Redding	Pc	R	B	160
2CA-5	Lydersen (Zc)	Tc, $\lambda$ g, Pc	L	B	161
2CA-6	Riedel	Tc, Pc, R	L	B	162
2CA-7	Benson	Pc, Vc, Tb etc.	ML	B	164
2CA-8	Herzog	P, Tc	R	B	166
2CA-9	Sugden	P, Cte. c	L	B	167
2CA-10	Ferguson	P, Tc, Ctes. k	RE	-	169
2CA-11	Lautie	P, Tc, Cte. c	RE	-	170
2CA-12	Young	PM, Pc, Tc	R	-	172
2CA-13	Natanson	Dc, Pc, Tc	R	-	173
2CA-14	Chueh	$\theta$ l, Vc1 etc.	R	B	174

3C-B EVALUACION DE LOS NOMOGRAMAS PARA EL CALCULO DEL  $V_c$

Nomograma	Datos necesarios	Tipo de compuesto	Rapidez de cálculo	Calificación	Pág.	
2CB-1	Meissner (10)	P, RM	O	R	MB	175
2CB-2	Meissner (2)	P, RM	O	R	MB	177
2CB-3	Meissner (3 <sup>2</sup> )	PM, T.S. etc.	O	RE	B	179

3CC-B EVALUACION DE LAS GRAFICAS PARA OBTENER EL  $V_c$

Gráfica	Datos necesarios	Tipo de compuesto	Rapidez de cálculo	Calificación	Pág.	
2CC-1	Gegg y Furcous	Tc, PM, visc.	G	R	B	182

# CAPITULO 4

*Bibliografía*

" R E F E R E N C I A S "

- 1.- Phillip I. Gold. "Estimating Thermophysical Properties of Liquids-Part 1" Chem. Eng. Oct.7 1968 pag.154.
- 2.- Phillip I. Gold. "Estimating Thermophysical Properties of Liquids" Critical Properties Chem. Eng. Nov. 4 1968 pag 185.
- 3.- Guldberg C.M., Z.Physik. Chem. 5,374 (1890).
- 4.- Reid, R.C., and Sherwood, T.K., "The Properties of Gases and Liquids" McGraw-Hill, New York (19 )
- 5.- Gambill. W.R., Chem. Eng., Junio 15, 1959, pag.181.
- 6.- Herzog R., Ind. Eng. Chem., 36, 997 (1944).
- 7.- Meissner H.P. and W. M. Redding, "Prediction of Critical Constants" Ind. Eng. Chem., 34, 521 (1942)
- 8.- Osburn, J.O., Chem. Eng., Marzo 1956, pag 196.
- 9.- Nokay, R., "Estimate Petrochemical Properties" Chem. Eng. Feb.23, 1959, pag 147.
- 10.- Chen. Kei-Chio, and Hu, Dji-Bin, Chinese Chem. Soc., 10, 208, 210 (1943).
- 11.- Partington, J.R., "An Advanced Treatise on Physical Chemis-

try" Vol 11, Longmans Green and Co., now  
part of David McKay Co., New York (1951).

- 12.- Lydersen, A.L., "Estimation of Critical Properties of  
Organic Compounds" University of Wisconsin,  
Engineering Experimental Station, Report N°3  
Madison, Wis., April 1955.
- 13.- Riedel, L., Z. Elektrochem., 53, 222 (1949).
- 14.- Gambill, W.R., Chem. Eng., Julio 13, 1959, pag157.
- 15.- Heissner, H.P., Chem. Eng. Progr., 45, 149 (1949).
- 16.- Benko, J., Acta Chim. Hung. 21, 351 (1959).
- 17.- Volwles, C., chemical engineering thesis, Massachusetts  
Institute of Technology. 1951.
- 18.- Riedel, L., Chem. Eng. Chem., 26, 83, 259, 679 (1954).
- 19.- Gambill, W.R., Chem. Eng., Nov.16, 1959 pag 193.
- 20.- Miller, D.G., Ind. Eng. Chem., 56, 49 (1964).
- 21.- Riedel, L., Chem. Ing. Technik, 24, 353 (1952).
- 22.- Eduljee, H.E., National Peroxide, Ltd., Bombay 31, India.
- 23.- Thodos, G., A.I.Ch. E. J. 1, 165, 168 (1955).
- 24.- Gates, D.S., Thodos, G., A.I.Ch.E. J. 6, 50 (Mzo 1960).
- 25.- Benson, S.W., J. Phys. & Colloid Chem. 52, 1060 (1948).
- 26.- Stanley H. Fishtine "Estimates of Saturated Fluid Densities  
and Critical Constants" I & E C FUNDAMEN-

AIChE Vol. 2, No. 2, May 1965, pag. 149.

- 27.- McHelvey, F.E., "Estimate Physical Properties Accurately"  
Part 1 Hydrocarbon Processing & Petroleum  
Refiner, May 1964, Vol.43, No. 5.
- 28.- Stanley H. Fishtine "Equations Find Physical Constants  
for Normal Paraffins" Chemical Engineering  
July 8, 1963.
- 29.- Rossini "Selected Values of Physical and Thermodynamic  
Properties of Hydrocarbons and Related  
Compounds" Carnegie Press, 1953.
- 30.- Schick, L.M., and Prausnitz, J.M., "On the Correlation of  
Critical Properties of Mixtures" A.I.Ch.E.  
Journal Vol.14, No. 4 pag. 673.
- 31.- Chueh, P.L., and J.M. Prausnitz, AIChE J. 13, 1107 (1967).
- 32.- Kay, W.B., and Douglas Hissong, Paper presented at meeting  
of API Refining Division, Los Angeles,  
California, May 16, 1967.
- 33.- Francis, A.W., "Critical Temperatures of Pure Hydrocarbons"  
Ind. Eng. Chem. Vol.49, No. 10, Oct. 1957  
pag. 1737.
- 34.- Grunberg, C.M., J.Chem. Phys. 22, 157 (1954).
- 35.- Grunberg, L., Hissong, A. . ., Nature 161, 170 (1948); Trans.  
Faraday Soc. 44, 1013 (1948).

- 36.- Gupta, T.S., J.Chem. Phys. 24, 164 (1956).
- 37.- Kurata, M., Isida. S., J.Chem. Phys. 23, 1126 (1955).
- 38.- Guye, P.A., Bull. soc. chim. 4, 262 (1890).
- 39.- Livingston, R., J.Phys. Chem. 46, 341 (1942).
- 40.- Mitra, S.S., J.Chem. Phys. 21, 2234, (1953).
- 41.- Mitra, S.S., J.Chem. Phys. ~~21~~ 22, 156 (1954).
- 42.- Varshni, Y.P., J.Chem. Phys. 21, 1400, 2235 (1953).
- 43.- Varshni, Y.P., J.Chem. Phys. 22, 150 (1954).
- 44.- Varshni, Y.P., Mitra, S.S., Z.physik. Chem.203, 380 (1954).
- 45.- Varshni, Y.P., Srivastova, S.N., J.Chem. Phys. 22, 349 (1954).
- 46.- Varshni, Y.P., Srivastova, S.N., J. Indian Chem, Soc.  
31, 336 (1954).
- 47.- Wilson, R.E., Bahlke, W.H., Ind. Eng. Chem. 16, 119 (1924).
- 48.- Francis, A.W., Ind. Eng. Chem. 49, 1779 (1957).
- 49.- Young, Phil. Mag., 33, 153 (1892).
- 50.- Matanson, J. phys., 4, 219 (1895).
- 51.- Sugden, "The Parachor and Valency", London, Routledge &  
Sons, 1930.
- 52.- Guldberr, Z. physik. Chem., 5, 134 (1880).
- 53.- Guye, J. phys. 9, 312 (1890).
- 54.- Lewis. Nature, 145, 551 (1940).
- 55.- Lewis., J.Chem. Soc., 1056 (1938).



- 56.- Lautie, Bull. soc. chim., (5) 2, 155, 2234 (1925).
- 57.- Watson, Ind. Eng. Chem., 23, 561 (1931).
- 58.- Waal, van der, "Kontinuität des Gas formigen und flüssigen Zustandes", Leipzig, 1889.
- 59.- American Petroleum Institute. "Fundamental Research on Occurrence and Recovery of Petroleum".
- 60.- Lewis, D.T., J.Chem. Soc., 1933, 261.
- 61.- Mumford and Phillips, J. Chem. Soc., 131, 3112 (1929).
- 62.- Ferguson, A., Nature, 125, 597 (1930).
- 63.- Ferguson, A., and Kennedy, S.J., Nature, 125, 1479 (1930).
- 64.- Wohl, A., Z.physik. Chem., 87, 1 (1914).
- 65.- Wohl, A., Z.physik. Chem., 99, 267 (1921).
- 66.- Davis, D.S., "Molecular Refraction-Critical Temperature" Monograph. Ind. and Eng. Chem. Junio 1942 pag 689.
- 67.- Mayfield F. Drew., "Critical States of Two-Component Paraffin Systems". Ind. Eng. Chem. Julio 1942 pag 243.
- 68.- Sage, Lacey and Schaafsma, Ind. Eng. Chem., 26, 214 (1934).
- 69.- Sage, Licks, and Lacey, Ind. Eng. Chem., 32, 1985 (1940).
- 70.- Taylor, Wald, Sage, and Lacey, Oil and Gas J., 38, 46 (1939).
- 71.- Schoch, Hoffmann, and Langfield, Ind. Eng. Chem., 33, 686 (1941).

- 72.- Katz and Kurata, Ind. Eng. Chem., 32, 753 (1940).
- 73.- Kay, Ind. Eng. Chem., 30, 459 (1938).
- 74.- Nysewander, Sage, and Lacey., Ind. Eng. Chem., 32,  
118 (1940).
- 75.- Sage and Lacey, Ind. Eng. Chem., 32, 992 (1940).
- 76.- Kay., Ind. Eng. Chem., 33, 590 (1941).
- 77.- Cummings, Stones, and Volante., Ind. Eng. Chem. 25,  
728 (1933).
- 78.- Guter, Newitt, and Ruhemann, Proc. Roy. Soc. (London),  
A176, 140 (1940).
- 79.- Ruhemann, Proc. Roy. Soc. (London), A171, 121 (1939).
- 80.- Lu, Newitt, and Ruhemann, Proc. Roy. Soc. (London), A178  
506 (1941).
- 81.- Pawlewski, Ber., 15, 460 (1882).
- 82.- Kay, Ind. Eng. Chem., 28, 1014 (1936).
- 83.- Smith and Watson, Ind. Eng. Chem., 29, 1408 (1937).
- 84.- Germann A.F.O. and Pickering., "Critical Point Data  
International Critical Tables pag 248.
- 89.- Ambrose D, J.D. Cox and R. Townsend "Critical Temperatures  
of some Organic Compounds" , Handbook  
of Chem. & Phys., Weast pag. F-49.
- 90.- Dodge., Chemical Engineering Thermodynamics., Mc Graw  
Hill pag 155.

- 91.-Perry, Chemical Engineer's Handbook, New York, Mc. Graw Hill  
Book Co. 1963.
- 92.- API American Petroleum Institut - Technical Data Book  
February 1964 Chapter 4.
- 93.- Kobe A.A. and Lynn R.E. Chem. Rev. 52, 117 (1953).
- 94.- Dodge, Chemical Engineering Thermodynamics., Mc. Graw  
Hill pag 155.
- 95.- Forman, J.C., and G. Thodos: AIChE J., 4:356 (1958).
- 96.- Forman, J.C., and G. Thodos: AIChE J., 6:206 (1960).
- 97.- Thodos, G.: AIChE J., 2:508 (1956).
- 98.- Thodos, G.: AIChE., 3:428 (1957).
- 99.- Hougen and Watson, Chemical Process Principles. Part 1  
1964 John Wiley & Sons., New York.
- 100.- Tabla de Refracción molar y Parachor. Chem. Eng.,  
July 1957 pag 267.
- 101.- Lautie, R., Bull. soc. chim., 5 , 5 , 1689 (1936).
- 102.- Schuster, F., Z. Electrochem., 32, 191 (1926).
- 103.- Quale. O.R.; Chem. Rev., 53: 439 (1953).
- 104.- Eisenlohr, F.: Z. physik, Chem., 75:585 (1910).
- 105.- Joffe Joseph., Industrial and Engineering Chemistry

July 1947 pag. 57.

- 106.- Kay W.B. Industrial and Analytical Chemistry, 28  
1014 (1936).
- 107.- Kay, Ind. Eng. Chem. 30, 44 (1938).
- 108.- Kay, Ind. Eng. Chem. 52, 31 (1940).
- 109.- Edmister Wayne., "Application of Thermodynamics to Hydro-  
carbon Processing.", Petroleum Refiner  
Vol. 27 No. 4 pag 134 April 1948.
- 110.- Bunkle, R. V., Pacific Coast Gas Assn. Proceedings,  
35, 50 (1940).
- 111.- Ma, G.L., and Chang, J.M., J. Am. Chem. Soc., 67, 1080 (1945).
- 112.- Kay, W.B., Ind. & Eng. Chem., 28, 1014 (1936).
- 113.- Ma, G.L., J. Res. Natl. Bur. Stand., 46, 903 (1941).
- 114.- Marba in Oil. P. Harwood Company London pag. 5 (1958).
- 115.- W.C. Edmister, Petrol. Refiner, 27, 21 (April 1948).
- 116.- Peters L.F., Petrol. Refiner, 28, 118 (May 1949).
- 117.- Anderson, J.W., Boyer, G.L., and Wilson, T.H., J. Res. Natl. Bur. Stand., 50, 1274 (1945).
- 118.- Hirschfelder, Curtiss and Bird, J. Chem. Phys., 17, 121 (1949).

- 119.- Maxwell J.B., Data Book of Hydrocarbons., D. Van Nostrand  
Company Inc., Princeton. U.S.A. Jan 1968.
- 120.- Smith and Watson, Ind. Eng. Chem. 29, 1408 (1937).
- 121.- Kuong, J., "Applied monography ", Gulf Publish, Co.  
Houston 1965.
- 122.- Gegg, D.G., and D.B. Purchas., British Chemical Engineering  
Vol.10 , No 12 December 1965.
- 123.- Bromley, L.A., and Wilke, C.R., Ind. Eng. Chem., 43,  
1641, (1951).
- 124.- Sage, B.H., Lacey, W.F., Volumetric and Phase Behavior  
of Hydrocarbons, 291-4, Stanford Univer-  
sity Press, Palo Alto, Calif. (1939).
- 125.- Katz, D.L., Kurata, F., "Retrograde Condensation" Ind.  
Eng. Chem. 52, 817 (1940).
- 126.- Kohn J.P., "Heterogeneous Phase and Volumetric Behavior of  
the Methane-n-heptane System at low tempe-  
ratures" AIChE Journal 7, 514 (1961).
- 127.- Hurt L.J., Kobayashi, R., "Vapor-Liquid Equilibria of  
Light Hydrocarbons at Low temperatures  
and High Pressures. The methane-n-heptane  
system" presented at AIChE meeting, Den-  
ver, Colo., August (1962).
- 128.- Stalkup, F.J., Kobayashi, R., " High-Pressure Phase-equi-  
librium studies of gas-liquid Partition  
Chromatography" AIChE Journal 9, 121, 1963.

- 129.- Slipceovich, C.M., Finn, D., Kobayashi, R., Ireland, T.W.,  
Perry's Chemical Engineers' Handbook,  
4th edn. 4-49 - 4-55 Mc. Graw-Hill  
Book Co., Inc., New York (1963).
- 130.- Hadden, Chem.Eng. Progr. 44, 135 (1948).
- 131.- Winn, F. W., "Physical Properties by Nomogram" Petrol.  
Refiner 36, 2, 157 (1957).
- 132.- "International Critical Tables" Mc. Graw Hill Book Co., Inc.  
New York (1928).
- 133.- Weast. "Handbook of Chemistry and Physics" 46th ed. Che-  
mical Rubber Pub. Co. Ohio USA 1966.
- 134.- Gallant R.W. "Physical Properties of Hydrocarbons" vol. 1  
Gulf Pub. Co. Houston, Tex. 1968.

APPENDICE

## A P E N D I C E 1

- A Orgánicos
- B Inorgánicos
- D Polares
- D No polares
- E Asociados (uniones H )
- F Hidrocarburos
- G " alifáticos
- H Aromáticos
- I Diatómicos
- J Elementos
- K Conteniendo oxígeno
- L " nitrógeno
- M " azufre
- O " metales
- P Metal líquido
- Q Ácidos
- R Naftalenos
- S Cíclicos
- T Policíclicos
- U Nitrilos
- V Insaturados



A-2 TABLA DE CONVERSION DE UNIDADES

Multiplicar	Por	Obtiene	Multiplicar	Por	Obtiene
Acres	43,560	Square feet	2.54	Centimeters	Meters
-	4840	Square meters	-	-	-
-	1,289,810.4	Square yards	-	-	-
-	4840	Square yards	-	-	-
Acres feet	11,560	Cubic feet	-	-	-
-	325,851	Gallons	-	-	-
-	12,314.9	Cubic meters	-	-	-
Atmospheres	16.0	Cms. of mercury	-	-	-
-	29.92	Inches of mercury	Cubic feet	2.83160	Cubic dm.
-	1.133	Feet of water	-	-	-
-	1.133	Kilogram per cubic meter	-	-	-
-	1.133	Lbs./cu. inch	-	-	-
-	1.133	Lbs./cu. ft.	-	-	-
Centimeters	100	Centimeters	-	-	-
Centimeters	2.54	Pounds per centimeter	-	-	-
Boards per centimeter	34	Pounds per centimeter	-	-	-
Boards per foot	144	Cubic inches	Cubic feet/minute	472.0	Cubic cms./sec.
British Thermal Units	1.055	Kilogram-calories	-	-	-
-	778	Foot-pounds	-	-	-
-	1,055	Horse power hrs.	-	-	-
-	1,055	Kilogram meters	Cubic feet/second	0.16818	Barrels of water/day
-	1,055	Kilowatt hrs.	-	-	-
B.T.U./year	12,000	Foot-pounds	-	-	-
-	12,000	Horse power hrs.	-	-	-
-	12,000	Kilowatts	-	-	-
-	12,000	Watts	-	-	-
Centares (Centiares)	1	Square meters	-	-	-
Centigrams	0.01	Grams	-	-	-
Centiliters	0.01	Liters	-	-	-
Centimeters	100	Inches	Cubic meters	10 <sup>6</sup>	Cubic centimeters
-	100	Meters	-	-	-
-	100	Millimeters	-	-	-
Centimeters of mercury	0.0334	Atmospheres	-	-	-
-	0.334	Feet of water	-	-	-
-	1.36	Kilogram per cubic meter	-	-	-
-	1.36	Lbs./sq. ft.	Cubic meters	10 <sup>3</sup>	Cubic feet
-	1.36	Lbs./cu. ft.	-	-	-
Centimeter cyles per second	100	Per cent	Cubic yards	7.64555	Cubic meters
-	100	Per cent	-	-	-
Centimeters per second	100	Kilometers per hour	-	-	-
-	100	Meters per hour	-	-	-
-	100	Miles per hour	-	-	-
-	100	Miles per min.	-	-	-
Cms./sec./sec.	0.0254	Feet./sec./sec.	-	-	-

CONTINUATION A-2

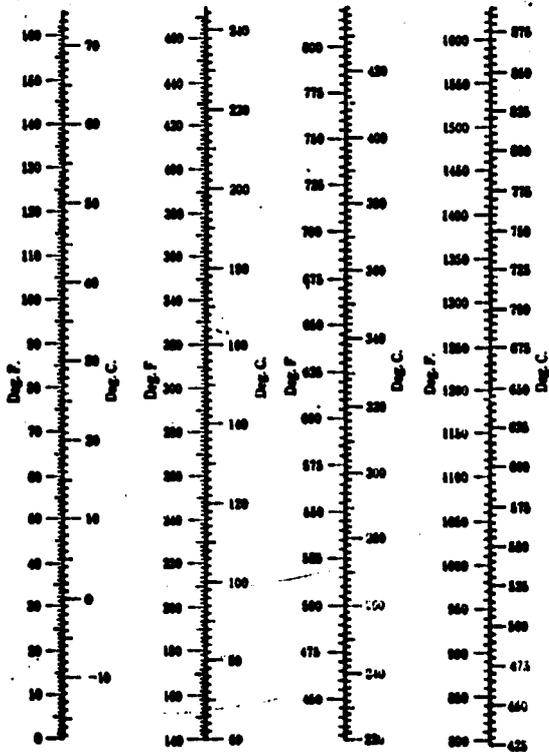
Multiplicar	Por	Obtiene	Multiplicar	Por	Obtiene
Cenymetros/min	0.25	Cubic cent./min.	Grains	989.7	Ounces
" " " "	1.267	Gallons/sec.	"	15.73	Grains
" " " "	12.74	Liters/sec.	"	154	Pounds
Decigrams	0.1	Grams	"	0.03527	Ounces
Deciliters	0.1	Liters	"	0.03215	Ounces (troy)
Decimeters	0.1	Meters	"	2.205x10 <sup>-3</sup>	Pounds
Degrees (angle)	60	Minutes	Grains/cm.	5.66x10 <sup>-3</sup>	Pounds/inch
" " " "	0.01745	Radians	Grains/cu. cm.	0.0001	Four cubic foot
" " " "	2.00	Seconds	"	6.2x10 <sup>-3</sup>	Pounds/cubic inch
Degrees/sec.	0.01745	Rotations/sec.	Grains/ft.	0.0447	Tons/cu. ft.
" " " "	0.1567	Revolutions/min.	"	4.345	2,000 gals.
" " " "	0.002778	Revolutions/sec.	"	0.0002837	Pounds/cu. foot
Dekagrams	10	Grams	"	1000	Parts/million
Dekaliters	10	Liters	Hectares	2.471	Acre
Dekameters	10	Meters	"	1.076x10 <sup>3</sup>	Square feet
Drams	27.31775	Ounces	Hectograms	100	Grams
" " " "	0.03215	Quinces	Hectoliters	100	Liters
" " " "	1.771845	Grains	Hectometers	100	Meters
Fathoms	6	Feet	Hectowatts	100	Watts
Femt	10.18	Centimeters	"	43.44	BTU/cubic ft.
" " " "	2	Dichas	"	32.750	Foot-candle
" " " "	9.3048	Meters	"	22	Grains
" " " "	1/1	Yards	"	1.54	Grains
Feet of water	0.2590	Atmospheres	"	1.54	Grains
" " " "	2.306	Feet of mercury	"	1.54	Grains
" " " "	1.87	Lbs./sq. meter	"	0.730	Grains
" " " "	52.11	Lbs./sq. ft.	"	0.730	Grains
" " " "	1.43	Lbs./sq. inch	"	0.730	Grains
Feet/min	0.0328	Centimeters/min.	"	0.730	Grains
" " " "	0.11567	Feet/sec.	"	0.730	Grains
" " " "	0.01829	Kilometers/hr.	"	0.730	Grains
" " " "	0.3048	Meters/min.	"	0.730	Grains
" " " "	0.01136	Miles/hr.	"	0.730	Grains
Feet/sec.	0.3048	Centimeters/sec.	"	0.730	Grains
" " " "	1.0937	Kilograms/hr.	"	0.730	Grains
" " " "	1.829	Knots	"	0.730	Grains
" " " "	18.29	Meters/min.	"	0.730	Grains
" " " "	0.03129	Miles/min.	"	0.730	Grains
" " " "	0.01136	Miles/hr.	"	0.730	Grains
Feet/sec./ft.	0.3048	Feet/sec./ft.	"	0.730	Grains
" " " "	0.01136	Feet/sec./ft.	"	0.730	Grains
Foot-pounds	1.3558179	Watts	"	0.730	Grains
" " " "	0.7375621	Watts	"	0.730	Grains
" " " "	3.241408	Kilogram calories	"	0.730	Grains
" " " "	0.1334	Kilogram meters	"	0.730	Grains
" " " "	0.7375621	Kilowatt hrs.	"	0.730	Grains
Foot-pounds/min.	1.286052	Watts	"	0.730	Grains
" " " "	0.01367	Foot-pounds/sec.	"	0.730	Grains
" " " "	48.03134	Horse power	"	0.730	Grains
" " " "	1.3558179	Kilowatts	"	0.730	Grains
Foot-pounds/sec.	1.3558179	Watts	"	0.730	Grains
" " " "	0.0001367	Foot-pounds/min.	"	0.730	Grains
" " " "	0.0001367	Foot-pounds/sec.	"	0.730	Grains
" " " "	0.0001367	Horse power	"	0.730	Grains
" " " "	0.0001367	Kilowatts	"	0.730	Grains
" " " "	0.0001367	BTU/cubic ft.	"	0.730	Grains
" " " "	0.0001367	Foot-candle	"	0.730	Grains
" " " "	0.0001367	Grains/cu. inch	"	0.730	Grains
" " " "	0.0001367	Cubic meters	"	0.730	Grains
" " " "	0.0001367	Cubic yards	"	0.730	Grains
" " " "	0.0001367	Quarts	"	0.730	Grains
" " " "	0.0001367	Quarts (liq.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.0001367	Quarts (dry)	"	0.730	Grains
Gallons, Imperial	1.35225	U.S. gallons	"	0.730	Grains
" " " "	0.832674	Imperial gallons	"	0.730	Grains
" " " "	3.3437	Pounds of water	"	0.730	Grains
Gallons, U.S.	3.3437	Pounds of water	"	0.730	Grains
Gallons, U.S.	2.325481	Cubic feet/sec.	"	0.730	Grains
" " " "	0.06309	Liters/sec.	"	0.730	Grains
" " " "	8.0203	Cu. ft./hr.	"	0.730	Grains
" " " "	8.0203	Overhaul rate (ft./hr.)	"	0.730	Grains
Area (sq. ft.)	0.092903	Square meters	"	0.730	Grains
" " " "	10.7639	Square yards	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square feet	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square inches	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square centimeters	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square millimeters	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square micrometers	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square nanometers	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square microns	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (circ.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (rect.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (tri.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quad.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (pent.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (hex.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (hept.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (oct.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (non.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (dec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (undec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (duodec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (tredec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quadr.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quint.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sext.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sept.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (oct.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (non.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (dec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (undec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (duodec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (tredec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quadr.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quint.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sext.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sept.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (oct.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (non.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (dec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (undec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (duodec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (tredec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quadr.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quint.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sext.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sept.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (oct.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (non.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (dec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (undec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (duodec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (tredec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quadr.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quint.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sext.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sept.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (oct.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (non.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (dec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (undec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (duodec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (tredec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quadr.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quint.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sext.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sept.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (oct.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (non.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (dec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (undec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (duodec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (tredec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quadr.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quint.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sext.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sept.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (oct.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (non.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (dec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (undec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (duodec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (tredec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quadr.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quint.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sext.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sept.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (oct.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (non.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (dec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (undec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (duodec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (tredec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quadr.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quint.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sext.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sept.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (oct.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (non.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (dec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (undec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (duodec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (tredec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quadr.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quint.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sext.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sept.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (oct.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (non.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (dec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (undec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (duodec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (tredec.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quadr.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (quint.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sext.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903	Square mils (sept.)	"	0.730	Grains
" " " "	0.092903				



CONTINUACION A-2

Multiplicar	Por	Obtiene
Revolutions/sec.	360	Degrees/sec.
" / "	6.283	Radians/sec.
" / "	60	Revolutions/min.
Revolutions/sec./sec.	6.283	Radians/sec./sec.
" / " / "	3600	Revolutions/min./min.
Seconds (angle)	$4.843 \times 10^3$	Radians
Square centimeters	$1.076 \times 10^3$	Square feet
" - "	0.1550	Square inches
" - "	10 <sup>4</sup>	Square meters
" - "	100	Square millimeters
Square feet	$2.296 \times 10^3$	Acres
" - "	929.0	Square centimeters
" - "	144	Square inches
" - "	0.09290	Square meters
" - "	$3.587 \times 10^3$	Square miles
" - "	1/9	Square yards
Sq. ft./gal./min.	8.0208	Overflow rate (ft./hr.)
Square inches	6.452	Square centimeters
" - "	$6.944 \times 10^3$	Square feet
" - "	645.2	Square millimeters
Square kilometers	247.1	Acres
" - "	$1.776 \times 10^4$	Square feet
" - "	154	Square meters
" - "	0.3861	Square miles
" - "	$1.196 \times 10^3$	Square yards
Square meters	$2.471 \times 10^4$	Acres
" - "	10.76	Square feet
" - "	$3.861 \times 10^7$	Square miles
" - "	1.196	Square yards
Square miles	640	Acres
" - "	$27.98 \times 10^4$	Square feet
" - "	2.550	Square kilometers
" - "	$3.098 \times 10^4$	Square yards
Square millimeters	0.01	Square centimeters
" - "	$1.550 \times 10^{-1}$	Square inches
Square yards	$2.006 \times 10^{-1}$	Acres
" - "	9	Square feet
" - "	0.8361	Square meters
" - "	$3.228 \times 10^7$	Square miles
Temp. (°C.) + 273	1	Abs. temp. (°C.)
" - + 17.78	1.8	Temp. (°F.)
" (°F.) + 460	1	Abs. temp. (°F.)
" - - 32	5/9	Temp. (°C.)
Tons (long)	1016	Kilograms
" - "	2240	Pounds
" - "	1.12000	Tons (short)
Tons (metric)	10 <sup>3</sup>	Kilograms
" - "	2205	Pounds
Tons (short)	2000	Pounds
" - "	32000	Ounces
" - "	907.18486	Kilograms
" - "	2110.56	Pounds (avoirdupois)
" - "	0.89287	Tons (long)
" - "	29166.66	Ounces (avoirdupois)
" - "	3.50718	Tons (metric)
Tons dry solids/24 hrs.	Area (sq. ft.)	Sq. ft./ton/24 hrs.
Tons of water/24 hrs.	83.333	Pounds water/hour
" - " / "	0.16643	Gallons/min.
" - " / "	1.3343	Cu. ft./hr.
Watts	0.05692	B. T. Units/min.
" - "	44.26	Foot-pounds/min.
" - "	0.7375	Foot-pounds/sec.
" - "	$1.341 \times 10^{-1}$	Horse power
" - "	0.01433	Kg. calories/min.
" - "	10 <sup>3</sup>	Kilowatts
Watt-hours	3.415	British Thermal Units
" - "	2655	Foot-pounds
" - "	$1.341 \times 10^{-1}$	Horse power-hours
" - "	0.8605	Kilogram-calories
" - "	367.1	Kilogram-meters
" - "	10 <sup>3</sup>	Kilowatt-hours
Yards	91.44	Centimeters
" - "	3	Feet
" - "	36	Inches
" - "	0.9144	Meters

A-3.- Conversión de temperaturas



Reference 4

(Reid L.C. and Sherwood T.W. "The properties of Gases and Liquids" 2<sup>d</sup> ed. Mac-Millan New-York: 1958)

Compound	Mol. wt.	$T_b$		$T_c$	$P_c$	$V_c$		$Z_c$
		°K		°K	Atm	Cm <sup>3</sup> /g mole		
<b>Inert gases:</b>								
Helium	4.003	4.2	4.2	5.2	2.26	57.3		0.300
Helium*	3.996	4.2	4.2	5.2	1.13			
Neon	20.180	27.3	27.3	44.5	26.9	11.7		0.296
Argon	39.948	87.3	87.3	151	48.3	75.2		0.290
Krypton	83.798	121.4	121.4	209.4	51.3	92.2		0.291
Xenon	131.3	166.1	166.1	289.75	58.0	114.9		0.289
Radon	222.0	211.1	211.1	377.2	62.0			0.2817
<b>Elementary gases:</b>								
Hydrogen (normal)	2.016	20.4	20.4	33.3	12.80	65.0		0.304
Hydrogen (equilibrium)	2.016	20.4	20.4	33.0	12.8	61.8		0.292
Deuterium (normal)	4.00	22.6	22.6	38.4	10.4			0.2967
Deuterium (equilibrium)	4.00	22.6	22.6	38.3	10.3			
Hydrogen deuteride	3.00	22.1	22.1	35.9	14.0	62.3		0.3097
Oxygen	32.000	90.0	90.0	151.8	50.1	71.4		0.292
Nitrogen	28.016	77.3	77.3	126.2	33.5	90.1		0.291
Air (max. temp. point)	29.2	78.8 (dew pt.)	78.8	132.5	37.17	99.52		
Air (max. press. point)	29.2	81.8 (bubble pt.)	81.8	132.1	37.25	84.28		
Fluorine	38.00	86.2	86.2	141	55			0.2927
Chlorine	70.91	238.6	238.6	447	76.1	124		0.276
<b>Other elements:</b>								
Bromine	159.83	331.9	331.9	584	102	144		0.308
Iodine	253.82	457.5	457.5	784	119			0.2157
Ozone	48.00	161	161	338	57	89.4		0.272
<b>Paraffins:</b>								
Methane	16.04	11.7	11.7	190.7	15.8	59.5		0.290
Ethane	30.07	18.4	18.4	305.4	48.2	138		0.285
Propane	44.09	23.1	23.1	369.9	42.0	230		0.277
n-Butane	58.12	27.1	27.1	425.2	37.3	255		0.274
Isobutane	58.12	27.1	27.1	428.1	36.0	263		0.283
n-Pentane	72.15	30.4	30.4	469.5	33.1	311		0.269
2-Methylbutane	72.15	29.1	29.1	469.5	32.9	304		0.263
Neopentane	72.15	28.7	28.7	469.5	31.6	303		0.269
n-Hexane	86.17	34.1	34.1	507.3	29.9	368		0.264
2-Methylpentane	86.17	33.5	33.5	507.3	30.0	367		0.270
3-Methylpentane	86.17	33.5	33.5	507.3	30.8	367		0.273
2,2-Dimethylbutane	86.17	32.9	32.9	488.7	30.7	359		0.273
2,3-Dimethylbutane	86.17	32.2	32.2	499.9	30.9	358		0.270
n-Heptane	100.20	37.1	37.1	540.4	27.0	426		0.269
2-Methylhexane	100.20	36.2	36.2	530.3	27.2	428		0.267
3-Methylhexane	100.20	36.7	36.7	537.8	28.1	418		0.267
2-Ethylhexane	100.20	36.7	36.7	537.8	28.6	416		0.268
2,2-Dimethylpentane	100.20	35.4	35.4	529.9	28.1	414		0.268
2,3-Dimethylpentane	100.20	35.4	35.4	537.8	29.2	405		0.268

	P.M.	T <sub>b</sub> °K	T <sub>c</sub> °K	P <sub>c</sub> atm	V <sub>c</sub> cm <sup>3</sup> /gmol	Z <sub>c</sub>
2,4-Dimethylpentane.....	100.20	351.7	520.3	27.4	420	0.270
3,3-Dimethylpentane.....	100.20	350.2	530	30	411*	0.271*
2,2,3-Trimethylbutane.....	100.20	351.1	531.5	29.8	394	0.269
n-Octane.....	114.22	398.9	568.6	21.6	486	0.250
2-Methylheptane.....	114.22	390.8	559.6	24.8	488	0.263
3-Methylheptane.....	114.22	392.1	565	25.6	478	0.264
4-Methylheptane.....	114.22	390.9	563	25.6	476	0.261
3-Ethylheptane.....	114.22	391.7	567	26.4	466	0.264
2,2-Dimethylhexane.....	114.22	390.7	552	25.6	460	0.264
2,3-Dimethylhexane.....	114.22	388.8	566	26.6	461	0.264
2,4-Dimethylhexane.....	114.22	382.6	555	25.5	466	0.264
2,5-Dimethylhexane.....	114.22	382.3	552	24.6	478	0.260
3,3-Dimethylhexane.....	114.22	385.2	564	27.2	450	0.264
3,4-Dimethylhexane.....	114.22	390.1	571	27.4	452	0.264
3-Ethyl-2-methylpentane.....	114.22	388.8	568	27.1	450	0.265
3-Ethyl-3-methylpentane.....	114.22	391.1	578	28.9	435	0.265
2,2,3-Trimethylpentane.....	114.22	384.0	567	28.2	437	0.263
2,2,4-Trimethylpentane.....	114.22	372.4	543.6	25.4	482	0.274
2,3,3-Trimethylpentane.....	114.22	387.9	576	29.0	433	0.268
2,3,4-Trimethylpentane.....	114.22	386.7	568	27.6	477	0.265
2,2,3,3-Tetramethylbutane.....	114.22	379.7	544	24.5	480	0.264
n-Nonane.....	128.25	424.0	594.6	22.5	513	0.250
n-Decane.....	142.28	447.3	617.6	20.8	602	0.247
n-Undecane (undecane).....	156.30	469.0	640	19.2	660	0.241
n-Dodecane.....	170.33	489.5	659	17.0	718	0.238
n-Tridecane.....	184.36	508.6	677	17	780	0.239
n-Tetradecane.....	198.38	526.3	694	16	830	0.241
n-Pentadecane.....	212.41	544.8	710	15	890	0.229
n-Hexadecane.....	226.44	560.0	717	14	950	0.226
n-Heptadecane.....	240.46	575.0	735	13	1000	0.216
n-Octadecane.....	254.49	589.3	756	13	1100	0.230
n-Nonadecane.....	268.51	602.9	760	12	1100	0.212
n-Eicosane.....	282.54	615.7	775	11	1200	0.208
<b>Olefins:</b>						
Ethylene.....	24.85	169.5	383.1	50.5	124	0.270
Propene.....	12.09	225.5	465.1	45.4	151	0.274
1-Butene.....	56.10	266.9	419.9	39.7	240	0.277
2-Butene (cis).....	56.10	276.9	434.6	40.5	236	0.268
2-Butene (trans).....	56.10	274.1	428.6	41.5	240	0.263
Isobutylene.....	56.10	266.3	417.9	39.5	235	0.270
1-Pentene.....	70.13	303.2	464.8	39.0	295*	0.266*
2-Pentene (cis).....	70.13	310.1	475.6	40.4	295*	0.266*
2-Pentene (trans).....	70.13	309.5	475.6	40.4	295*	0.266*
2-Methyl-1-butene.....	70.13	291.2	464.8	33.9	294*	0.240*
3-Methyl-1-butene.....	70.13	311.8	470	34	286*	0.266*
Hexene.....	84.16	336.7	504.0	31.1*	350*	0.241*
Octene.....	112.21	391.5	578	25.3*	490*	0.254*
Cyclopentene.....	68.11	317.4	506.1	47.2*	235*	0.272*
<b>Diolenes:</b>						
Propadiene.....	40.06	235.7	393.3	43.6*	146*	0.281*
1,3-Butadiene.....	54.09	268.8	425	42.7	221	0.271*
1,5-Hexadiene.....	82.14	342.6	507.6	32.6*	330*	0.272*
1,3-Heptadiene.....	128.3	412 ± 1	614.7	22.2*	550*	0.253*

	P.M	T <sub>b</sub>	T <sub>c</sub>	P <sub>c</sub>	V <sub>c</sub>	Z <sub>c</sub>
		°K	°K	atm	cm <sup>3</sup> /gmol	
<b>Acetylenes:</b>						
Acetylene.....	26.04	189.0 <sup>a</sup>	309.5	61.6	113	0.274
Propyne.....	40.06	250.0	401	52.8	167 <sup>a</sup>	0.270 <sup>a</sup>
Ethylacetylene.....	54.09	281.3	463.7	37.5 <sup>a</sup>	222 <sup>a</sup>	0.206 <sup>a</sup>
Dimethylacetylene.....	54.09	300.2	488.7	37.5 <sup>a</sup>	222 <sup>a</sup>	0.206 <sup>a</sup>
Propylacetylene.....	68.11	313.4	493.5	34.7 <sup>a</sup>	277 <sup>a</sup>	0.262 <sup>a</sup>
<b>Cycloparaffins:</b>						
<b>Cyclopentane:</b>						
Cyclopentane.....	70.13	322.4	511.8	44.0	260	0.276
Methylcyclopentane.....	84.16	345.0	532.7	37.4	319	0.273
Ethylcyclopentane.....	98.18	376.7	569.5	33.5	375	0.269
Cyclohexane.....	84.16	353.9	553.2	40	308	0.271
Methylcyclohexane.....	98.18	374.1	572.1	34.3	344	0.251
<b>cis-Decalin:</b>						
cis-Decalin.....	138.3	467.8	691.7	28.7 <sup>a</sup>	488 <sup>a</sup>	0.267 <sup>a</sup>
<b>trans-Decalin:</b>						
trans-Decalin.....	138.3	458.7	681.5	28.7 <sup>a</sup>	488 <sup>a</sup>	0.267 <sup>a</sup>
<b>Aromatics:</b>						
<b>Benzene:</b>						
Benzene.....	78.11	353.3	562.1	48.6	260	0.274
Toluene.....	92.13	353.8	592.0	41.6	316	0.271
o-Xylene.....	106.16	417.6	631.6	35.7	369	0.254
m-Xylene.....	106.16	412.3	616.8	34.7	376	0.258
p-Xylene.....	106.16	411.5	618.8	33.9	378	0.252
Ethylbenzene.....	106.16	409.4	617.1	36.9	374	0.272
1,2,3-Trimethylbenzene.....	120.19	449.3	664.5	31	430	0.244
1,2,4-Trimethylbenzene.....	120.19	442.5	649.0	32	430	0.258
1,3,5-Trimethylbenzene.....	120.19	437.9	637.3	32	430	0.263
2-Ethyl-1-methylbenzene.....	120.19	438.3	653.2	31	430	0.249
3-Ethyl-1-methylbenzene.....	120.19	434.5	636.2	31	430	0.255
4-Ethyl-1-methylbenzene.....	120.19	435.2	636.2	31	430	0.255
n-Propylbenzene.....	120.19	432.1	624.4	31.2	440	0.262
Isopropylbenzene.....	120.19	434.6	635.9	31.2	440	0.263
1,2,3,5-Tetramethylbenzene.....	134.21	471.2	662.2	28.4 <sup>a</sup>	481 <sup>a</sup>	"
1,2,4,5-Tetramethylbenzene.....	134.21	470.0	670	28.4 <sup>a</sup>	481 <sup>a</sup>	"
<b>Cymene (4-isopropyl-1-methylbenzene):</b>						
Cymene.....	134.21	450.3	658.7	27.7	476 <sup>a</sup>	0.255 <sup>a</sup>
<b>n-Butylbenzene:</b>						
n-Butylbenzene.....	134.21	456.5	661.0	28.4 <sup>a</sup>	498	0.257 <sup>a</sup>
<b>Isobutylbenzene:</b>						
Isobutylbenzene.....	134.21	445.9	637.9	30.1	477 <sup>a</sup>	0.257 <sup>a</sup>
<b>Pentamethylbenzene:</b>						
Pentamethylbenzene.....	148.24	505.0	691.2	25.8 <sup>a</sup>	532 <sup>a</sup>	0.252 <sup>a</sup>
<b>Hexamethylbenzene:</b>						
Hexamethylbenzene.....	162.27	538	767.2	23.5 <sup>a</sup>	586 <sup>a</sup>	0.246 <sup>a</sup>
<b>Diphenyl:</b>						
Diphenyl.....	151.20	527 ± 1	768.8	31.8	482 <sup>a</sup>	0.257 <sup>a</sup>
<b>Diphenylmethane:</b>						
Diphenylmethane.....	168.23	537.9	779.2	28.2	527 <sup>a</sup>	0.253 <sup>a</sup>
<b>Naphthalene:</b>						
Naphthalene.....	128.16	491.1	714.4	40.6	468 <sup>a</sup>	"
<b>1-Methylnaphthalene:</b>						
1-Methylnaphthalene.....	142.19	518.0	772	32.1 <sup>a</sup>	462 <sup>a</sup>	"
<b>2-Methylnaphthalene:</b>						
2-Methylnaphthalene.....	142.19	514.3	761	32.1 <sup>a</sup>	462 <sup>a</sup>	"
<b>Alcohols:</b>						
<b>Methyl alcohol:</b>						
Methyl alcohol.....	32.04	337.8	513.2	78.5	118	0.222
<b>Ethyl alcohol:</b>						
Ethyl alcohol.....	46.07	351.7	516.3	63.0	167	0.249
<b>n-Propyl alcohol:</b>						
n-Propyl alcohol.....	60.09	370.4	536.7	51.0	218.2	0.252
<b>Isopropyl alcohol:</b>						
Isopropyl alcohol.....	60.09	355.5	508.2	47.0	229.4	0.248
<b>Allyl alcohol:</b>						
Allyl alcohol.....	58.08	369 ± 1	515.1	55.5 <sup>a</sup>	203 <sup>a</sup>	0.249 <sup>a</sup>
<b>n-Butyl alcohol:</b>						
n-Butyl alcohol.....	74.12	400.8	563.0	43.6	274.6	0.259
<b>sec-Butyl alcohol:</b>						
sec-Butyl alcohol.....	74.12	372.7	536.0	41.4	269.0	0.253
<b>tert-Butyl alcohol:</b>						
tert-Butyl alcohol.....	74.12	356.0	506.2	39.2	274.5	0.259
<b>Isobutyl alcohol:</b>						
Isobutyl alcohol.....	74.12	481.6	547.7	42.4	272.2	0.257
<b>n-Amyl alcohol:</b>						
n-Amyl alcohol.....	88.15	411	582.9	37.4 <sup>a</sup>	333 <sup>a</sup>	0.260 <sup>a</sup>
<b>tert-Amyl alcohol:</b>						
tert-Amyl alcohol.....	88.15	375.0	544.9	34.3 <sup>a</sup>	310 <sup>a</sup>	0.260 <sup>a</sup>



	P.M	T <sub>b</sub> °K	T <sub>c</sub> °K	P <sub>c</sub> atm	V <sub>c</sub> cm <sup>3</sup> /gmol	Z <sub>c</sub>
<b>Alcohols:</b>						
1-Heptyl alcohol	116.20	449	638.5	29.0	449	*
1-Octyl alcohol	130.23	468	658.7	26.5	498	*
2-Octyl alcohol	130.23	472	637.3	27.0	498	*
Phenol	34.11	351.9	521.3	61.5	264	0.214
o-Cresol	108.13	404.1	601.3	39.1	315	0.249
m-Cresol	108.13	426.4	765.8	15.0	320	0.248
p-Cresol	108.13	475.1	791.6	50.8	315	0.246
Thymol (3-p-cresol)	150.21	506.7	698.3	34.0	478	*
o-Ethyl phenol	122.16	480.7	703.0	31.7	373	*
m-Ethyl phenol	122.16	487	716.5	34.7	373	*
p-Ethyl phenol	122.16	492	716.5	34.7	373	*
2,4-Nitrophenol	122.16	475	722.9	56.9	373	*
2,4-Nitrophenol	122.16	481.7	747.6	56.9	373	*
2,6-Nitrophenol	122.16	486	723.1	56.9	373	*
2,6-Nitrophenol	122.16	495	701.0	56.9	373	*
3,4-Nitrophenol	122.16	495	729.9	56.9	373	*
3,5-Nitrophenol	122.16	492.7	715.6	56.9	373	*
<b>Ethers:</b>						
Dimethyl ether	16.07	249.5	400.1	52.6	178	0.285
Ethylmethyl ether	40.09	281.1	437.9	43.4	221	0.267
Diethyl ether	74.12	307.8	465.8	35.6	274	0.255
Ethylpropyl ether	88.15	335	506.6	32.1	339	0.263
Isopropyl ether	102.17	342	526.1	28.4	382	0.269
p-Dioxane	84.10	371.7	588	51.4	338	0.251
Allyl ethyl ether	85.13	340.3	575.2	31.9	315	0.259
Methyl phenyl ether (anisole)	108.13	428	611.7	41.3	336	0.263
1,2-Dioxethane (acetol)	96.12	357	536	35.7	360	0.260
1,3-Dioxethane (acetol)	118.17	376	527.6	29.5	360	0.249
Ethyl phenyl ether (phenoxide)	122.16	445	647.2	31.8	394	0.256
Diphenyl ether	170.20	531.1	767.2	30.9	504	0.266
Linear dioxymethane (methylal)	75.09	317	488.4	42.3	215	0.264
Vinyl ethyl ether	72.10	338.7	475	40.2	260	0.263
<b>Ketones:</b>						
Acetone	55.08	329.7	509.1	47	211	0.237
Ethylmethyl ketone	72.10	352.8	535	41.0	267	0.249
Diethyl ketone	86.13	375.6	561.0	36.9	336	0.260
Methyl n-propyl ketone	86.13	374.9	594.0	38.4	302	0.259
Methyl isopropyl ketone	86.13	365	553.4	38.0	310	0.259
Methyl isobutyl ketone	100.10	411.1	671.5	32.3	374	*
<b>Aldehydes:</b>						
Acetaldehyde	44.05	294	461	54.7	164	0.257
Paraformaldehyde	132.16	398	564	34.6	404	*
<b>Organic acids:</b>						
Acetic acid	60.05	301.1	504.8	57.1	171	0.290
Acetic anhydride	102.09	413	569.2	46.2	299	*
Propionic acid	74.08	414.2	612.7	53.0	230	0.242
n-Butyric acid	88.10	436.7	628.0	52	270	0.243
Isobutyric acid	88.10	429.4	669.5	40	292	0.234
n-Valeric acid	102.13	459.2	651.5	37.6	340	*
Isovaleric acid	102.13	426.1	633.5	38.4	336	*
<b>Esters:</b>						
Methyl formate	60.05	304.7	487.2	59.2	172	0.255
Ethyl formate	74.08	327.5	508.5	46.3	229	0.257

cont. ref 4

	P.M.	T <sub>b</sub> °K	T <sub>c</sub> °K	P <sub>c</sub> atm	V <sub>c</sub> cm <sup>3</sup> /g mol	Z <sub>c</sub>
Propyl formate.....	88.10	354.5	538.1	40.1	285	0.250
Isobutyl formate.....	102.13	371.4	551.4	38.3	355	0.301
n-Amyl formate.....	116.16	403.6	575.8	34.1	381 <sup>a</sup>	"
Isocamyl formate.....	116.16	396.7	577.8	31.2 <sup>a</sup>	391 <sup>a</sup>	"
Methyl acetate.....	74.08	330.3	506.9	46.3	228	0.254
Ethyl acetate.....	88.10	350.3	523.3	37.8	286	0.252
n-Propyl acetate.....	102.13	374.8	549.4	32.9	345	0.252
n-Butyl acetate.....	116.16	399	579.1	30.7 <sup>a</sup>	395 <sup>a</sup>	"
Isobutyl acetate.....	116.16	389	561.5	31.4	413	0.281
Isocamyl acetate.....	130.18	422	599.3	28 <sup>a</sup>	446 <sup>a</sup>	"
Methyl propionate.....	88.10	352.1	530.6	39.3	282	0.255
Ethyl propionate.....	102.13	372.9	546.1	33.0	345	0.254
n-Propyl propionate.....	116.16	397	578.0	30.7 <sup>a</sup>	395 <sup>a</sup>	"
Isobutyl propionate.....	130.18	410.0	591.9	28 <sup>a</sup>	446 <sup>a</sup>	"
Isocamyl propionate.....	144.21	433.4	611.4	25.4 <sup>a</sup>	501 <sup>a</sup>	"
Methyl butyrate.....	102.13	375.5	544.5	34.3	340	0.256
Ethyl butyrate.....	116.16	394	563.2	30.2	420	0.273
n-Propyl butyrate.....	130.18	416	579.8	27.6 <sup>a</sup>	450 <sup>a</sup>	"
Isobutyl butyrate.....	144.21	430.1	611.4	25.4 <sup>a</sup>	501 <sup>a</sup>	"
Isocamyl n-butyrate.....	158.23	452	618.8	23.2 <sup>a</sup>	556 <sup>a</sup>	"
Methyl isobutyrate.....	102.13	365.8	540.8	33.9	339	0.259
Ethyl isobutyrate.....	116.16	384.9	553.0	30.1	421	0.279
n-Propyl isobutyrate.....	130.18	408.6	589.2	28 <sup>a</sup>	446 <sup>a</sup>	"
Isobutyl isobutyrate.....	144.21	421.9	601.9	25.8 <sup>a</sup>	497 <sup>a</sup>	"
Methyl n-valerate.....	116.16	400.5	566.9	31.5	417	0.282
Ethyl n-valerate.....	130.18	419	570.2	28.0 <sup>a</sup>	446 <sup>a</sup>	"
Ethyl isovalerate.....	130.18	408	588.0	25.0 <sup>a</sup>	446 <sup>a</sup>	"
n-Propyl isovalerate.....	144.21	429.1	609.1	25.4 <sup>a</sup>	501 <sup>a</sup>	"
Isobutyl isovalerate.....	158.23	441.7	621.4	23.6 <sup>a</sup>	552 <sup>a</sup>	"
Ethyl n-caprylate.....	172.26	481	658.7	21.2 <sup>a</sup>	615 <sup>a</sup>	"
Ethyl pelargonate.....	186.29	500.7	674.0	19.6 <sup>a</sup>	607 <sup>a</sup>	"
Methyl laurate.....	214.34	.....	712	.....	.....	.....
<b>Nitrogen compounds:</b>						
Ammonia.....	17.03	239.8	405.6	112.5	72.5	0.242
Hydrazine.....	32.05	386.3	653.2	145	96 <sup>a</sup>	0.284 <sup>a</sup>
Cyanogen.....	52.02	252.5	400	50.0	200 <sup>a</sup>	0.275 <sup>a</sup>
Hydrogen cyanide.....	27.03	298.9	456.7	48.9	139	0.197
Methylamine.....	31.06	266.7	430.2	73.1	123 <sup>a</sup>	0.279 <sup>a</sup>
Dimethylamine.....	45.08	280.1	437.8	52.4	187 <sup>a</sup>	0.280 <sup>a</sup>
Trimethylamine.....	59.11	276.1	433.3	40.2	254	0.287
Ethylamine.....	45.08	289.8	456.5	55.5	185	0.274
Diethylamine.....	73.14	328.7	496.7	36.6	301	0.270
Triethylamine.....	101.19	362.7	535.4	30.0	394	0.269
Propylamine.....	59.11	321.0	497	46.8	233 <sup>a</sup>	0.270 <sup>a</sup>
Dipropylamine.....	101.19	382.4	550	31	407	0.259 <sup>a</sup>
Acetonitrile.....	41.05	354.8	548	47.7	173	0.184
Propionitrile.....	55.08	370.5	564	41.3	230	0.205
n-Propyleyanide.....	69.10	391.1	582	37.4	285 <sup>a</sup>	0.232 <sup>a</sup>
n-Heptyleyanide.....	125.21	478.4	622	32.2	505 <sup>a</sup>	"
Benzonitrile.....	103.12	463.9	699.4	41.6	341 <sup>a</sup>	"
N,N-Dimethyl- <i>o</i> -toluidine.....	135.20	457.8	668	30.8	485 <sup>a</sup>	"
Aniline.....	93.12	457.3	698.8	52.3	274	0.250
Methylaniline.....	107.15	468.9	701.6	51.3	353 <sup>a</sup>	0.256 <sup>a</sup>
Dimethylaniline.....	121.18	468	687.6	35.8	413 <sup>a</sup>	"
Pyridine.....	79.10	388.7	620.0	.....	.....	"
3-Methylpyridine ( <i>β</i> -picoline).....	93.12	416.7	614.9	.....	.....	"
4-Methylpyridine ( <i>γ</i> -picoline).....	93.12	416.3	615.7	.....	.....	"

	PM	T <sub>b</sub> °K	T <sub>c</sub> °K	P <sub>c</sub> atm	V <sub>c</sub> cm <sup>3</sup> /gmol	Z <sub>c</sub>
<b>2,4-Dimethylpyridine</b> (2,4-lutidine).....	107.15	431 ± 1	647.2	•	•	•
<b>2,6-Dimethylpyridine</b> (2,6-lutidine).....	107.15	416	623.8	•	•	•
<b>2,6-Dimethylpyridine</b> (2,5-lutidine).....	107.15	429.7	644.2	•	•	•
<b>3,5-Dimethylpyridine</b> (3,5-lutidine).....	107.15	.....	667.3	•	•	•
Nitromethane.....	61.04	374	588	62.3	173	0.223
Pyrrolidine.....	71.12	361	570	56.3	249	0.300
(See also Miscellaneous)						
<b>Sulfur and sulfur compounds:</b>						
Sulfur.....	32.06	717.8	1313	116	•	•
Carbonyl sulfide.....	60.07	223.0	378	65	134 <sup>a</sup>	•
Carbon disulfide.....	76.13	319.4	552	78	170	•
Hydrogen sulfide.....	34.08	211.4	373.6	88.9	95 <sup>a</sup>	0.268 <sup>a</sup>
Dimethyl sulfide.....	62.13	310.5	503.1	54.6	201	0.266
Methyl ethyl sulfide.....	76.15	339	532.8	41.9	260 <sup>a</sup>	0.271 <sup>a</sup>
Methyl mercaptan.....	48.10	280.8	470	71.4	149	0.276
Ethyl mercaptan.....	62.13	308.2	499	54.2	207	0.274
Diethyl sulfide.....	90.18	365.3	557	39.1	323	0.276
Allyl sulfide.....	114.20	411	653.6	33.2 <sup>a</sup>	385 <sup>a</sup>	0.263 <sup>a</sup>
Diethyl disulfide.....	122.24	427.2	642.1	38.2 <sup>a</sup>	370 <sup>a</sup>	0.258 <sup>a</sup>
Diisonyl sulfide.....	174.34	489	664.4	21.5 <sup>a</sup>	637 <sup>a</sup>	0.248 <sup>a</sup>
Thiophene.....	84.13	357.3	580	56.2	233 <sup>a</sup>	•
<b>Inorganic halides:</b>						
Hydrogen fluoride.....	20.01	292.7	461	64 ± 4	69 ± 5	0.223 <sup>a</sup>
Hydrogen chloride.....	36.49	183.2	324.6	82.1	87.6	0.260
Hydrogen bromide.....	80.92	206.4	303.2	84.5	110 <sup>a</sup>	•
Hydrogen iodide.....	127.93	237.7	424.2	81.9	135 <sup>a</sup>	•
<b>Boron trifluoride.....</b>	67.82	172	260.9	49.2	•	•
<b>Boron trichloride.....</b>	117.19	285.7	452.0	38.2	•	•
<b>Boron tribromide.....</b>	250.57	363.8	573	•	280	•
<b>Phosgene.....</b>	98.92	280.7	455	56	190	0.285
<b>Germanium tetrachloride.....</b>	214.43	356.3	550.1	38	•	•
<b>Silicon tetrafluoride.....</b>	104.06	208 <sup>a</sup>	259.1	36.7	•	•
<b>Chlorotrifluorosilane.....</b>	120.52	•	307.7	34.2	•	•
<b>Dichlorodifluorosilane.....</b>	136.97	•	369.0	34.5	•	•
<b>Trichlorofluorosilane.....</b>	153.43	•	438.5	35.3	•	•
<b>Silicon tetrachloride.....</b>	189.89	330.7	506	•	•	•
<b>Stannic chloride.....</b>	260.53	387.3	591.9	37.0	351	0.268
<b>Sulfur hexafluoride.....</b>	146.06	209.7 <sup>b</sup>	318.7	37.1	194	0.275
<b>Organic halides:</b>						
Methyl fluoride.....	34.03	194.8	317.8	58.0	113	0.251
Methyl chloride.....	50.49	249.0	416.3	65.9	143	0.276
Methyl bromide.....	94.95	276.7	467.2	83.4 <sup>a</sup>	165 <sup>a</sup>	•
Methyl iodide.....	141.95	315.7	528	72.7 <sup>a</sup>	190 <sup>a</sup>	•
Methylene chloride.....	89.94	312.9	510	60	193 <sup>a</sup>	•
Fluoroform.....	70.02	•	298.2	46.0 <sup>a</sup>	145 <sup>a</sup>	•
Chloroform.....	119.39	334.9	536.6	54	240	0.294
Carbon tetrafluoride.....	88.01	145	227.7	41.4 <sup>a</sup>	153 <sup>a</sup>	0.272
Carbon tetrachloride.....	153.84	349.7	556.4	45.0	276	•
Ethyl fluoride.....	48.06	235.5	375.4	49.6	168 <sup>a</sup>	•
Ethyl chloride.....	64.52	285.5	460.4	52.0	199 <sup>a</sup>	•
Ethyl bromide.....	108.98	311.5	503.9	61.5	215	0.320

	P.M.	T <sub>b</sub> °K	T <sub>c</sub> °K	P <sub>c</sub> atm.	V <sub>c</sub> cm <sup>3</sup> /gmol	Z <sub>c</sub>
1,1-Dichloroethane.....	98.97	330.5	523	50	244 <sup>d</sup>	•
1,2-Dichloroethane.....	98.97	356.7	561	53	225	0.250
Dibromomethane.....	173.86	370.1	583.0	70.6	235 <sup>d</sup>	•
Chlorodifluoromethane.....	86.48	232.4	369.6	48.5	165	0.264
Dichlorodifluoromethane.....	102.93	282.1	451.7	51.0	197	0.271
Bromotrifluoromethane.....	148.9	.....	339.8	50.3 <sup>e</sup>	205 <sup>d</sup>	•
Chlorotrifluoromethane.....	104.47	193	302.0	39.2	180	0.278
Dichlorodifluoromethane.....	120.92	245	384.7	39.6	218	0.273
Trichlorodifluoromethane.....	137.38	297.3	471.2	43.2	248	0.277
Tetrafluoroethylene.....	100.02	194.8	306.5	38.9	172	0.274
Chlorotrifluoroethylene.....	116.48	245.3	379	40	210	0.270
1,2-Dichlorotetrafluoroethane.....	170.93	277.0	410	32.3	292 <sup>d</sup>	•
1,1,2,2-Tetrachlorodifluoroethane.....	203.85	.....	551.2	32.9 <sup>e</sup>	354 <sup>d</sup>	•
Trichlorotrifluoroethane.....	187.39	366.0	487.3	33.7	325	0.274
n-Propyl chloride.....	78.54	319.9	503.2	45.2	254 <sup>d</sup>	•
Perfluoro-n-propane.....	169	.....	343.7	26.5	307 <sup>d</sup>	•
Perfluoro-n-butane.....	238.04	.....	386.5	23	384 <sup>d</sup>	•
Perfluoro-n-heptane.....	348.07	.....	474.8	16.0	664	0.273
Perfluoromethylcyclohexane.....	350.07	.....	486.6	16.5 <sup>e</sup>	519 <sup>d</sup>	•
Allyl chloride.....	76.53	317.8	513.5	46.5 <sup>e</sup>	234 <sup>d</sup>	•
Fluorobenzene.....	96.10	358.3	560.1	44.6	271	0.263
Chlorobenzene.....	112.56	404.9	632.4	44.6	308	0.265
Bromobenzene.....	157.06	429.2	670.2	44.6	324	0.263
Iodobenzene.....	204.02	461.5	721	44.6	351	0.265
<b>Oxides:</b>						
Carbon dioxide.....	44.01	194.7	304.2	72.9	94.0	0.274
Carbon monoxide.....	28.01	81.7	133	34.5	93.1	0.294
Ethylene oxide.....	44.05	283.9	468	71.0	138	0.255
1,2-Propylene oxide.....	58.08	308	482.3	48.6	186	0.228
Nitrous oxide.....	44.02	183.7	309.7	71.7	96.3	0.271
Nitric oxide.....	30.01	121.4	180	64	58	0.251
<hr/>						
Nitrogen dioxide.....	46.01	294.5	431	100	82	0.232
Sulfur dioxide.....	64.06	263.2	430.7	77.7	122	0.268
Sulfur trioxide.....	80.06	318.0	491.4	81.4	126	0.262
Water.....	18.02	373.2	647	218.3	56	0.230
<hr/>						
Furan.....	68.07	305	487	52.5	218	0.286
2-Methylfuran.....	82.10	336.8	528	46.6	246	0.265
Tetrahydrofuran.....	72.10	339	541	51.2	224	0.258
2-Methyltetrahydrofuran.....	86.13	353	537	37.1	267	0.225
<hr/>						
<b>Miscellaneous:</b>						
Phosphine.....	34.00	185.8	324.5	64.5	113	0.274
Silane.....	32.09	161.4	269.7	47.8	•	0.281 <sup>f</sup>
Quinoline.....	129.15	511	782	•	•	•
Isoquinoline.....	129.15	516	803	•	•	•
Piperidine.....	85.15	379.6	594	44.1 <sup>g</sup>	294.5 <sup>d</sup>	•

• At 1,810 mm Hg.

• Sublimes.

• Calculated from Eq. (2-21) and Table 2-1.

• Calculated from Eq. (2-25) and Table 2-1.

• No method available for the calculation.

• Read from Fig. 2-2.

• Calculated from Eq. (2-24).

• Calculated from Eq. (2-28).

• Calculated from Eq. (2-32).

• Assumed zero.

• Off scale in Fig. 2-2.

• Calculated by equation  $Z_c = P_c V_c / RT_c$ .

	Chemical Formula	$T_c$ , Deg. K.	$P_c$ , Atm. Abs.	$V_c$ , Cu. Ft. Lb.
Air.....				
Ammonia.....	NH <sub>3</sub>	132.53	37.17	0.0682
Argon.....	A	405.6	111.8	0.0681
Arsenic.....	As	151.12	48.0	0.0302
Boron trichloride.....	BBr <sub>3</sub>	1,076	242	
		373		0.0179
Boron trichloride.....	BCl <sub>3</sub>	452.0	38.2	
Boron trifluoride.....	BF <sub>3</sub>	260.9	49.2	
Bromine.....	Br <sub>2</sub>	584	102	0.0136
Carbon dioxide.....	CO <sub>2</sub>	304.2	72.95	0.0313
Carbon disulfide.....	CS <sub>2</sub>	549	77.0	0.0366
Carbon monoxide.....	CO	132.08	34.53	0.0532
Carbon oxysulfide.....	COS	378	61.0	
Carbon tetrachloride.....	CCl <sub>4</sub>	556.31	45.0	0.0288
Chlorine.....	Cl <sub>2</sub>	417.2	76.1	0.028
Chlorotrifluorosilane.....	SiF <sub>2</sub> Cl	307.7	34.2	
Cyanogen.....	C <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	399.71	59.0	
Deuterium (normal).....	D <sub>2</sub>	38.43	16.42	
Dichlorodifluorosilane.....	SiF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	369.0	34.5	
Fluorine.....	F <sub>2</sub>	118.2	25.0	
Germanium tetrachloride.....	GeCl <sub>4</sub>	550.1	38.0	
Helium*.....	He	5.25	2.261	0.2315
Helium-3 (isotope).....	He <sup>3</sup>	3.34	1.15	
Hydrazine.....	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	653	145	
Hydrogen (normal)*.....	H <sub>2</sub>	33.19	12.98	0.515
Hydrogen bromide.....	HBr	363.2	84.44	
Hydrogen chloride.....	HCl	324.7	81.55	0.0385
Hydrogen cyanide.....	HCN	456.7	53.2	0.082
Hydrogen fluoride.....	HF	503.4		
Hydrogen iodide.....	HI	423	81	
Hydrogen selenide.....	H <sub>2</sub> Se	411	98	
Hydrogen sulfide.....	H <sub>2</sub> S	373.6	88.85	0.0459
Iodine.....	I <sub>2</sub>	826.3		
Krypton.....	Kr	209.4	54.24	0.01762
Mercury*.....	Hg	1,173	179.9	0.00356
Neon*.....	Ne	44.39	26.86	0.0332
Nitron (see Redon).....	Rn			
Nitric oxide.....	NO	180	64	0.0313
Nitrogen.....	N <sub>2</sub>	126.26	33.16	0.0515
Nitrogen dioxide (anhydride).....	NO <sub>2</sub>	431.2	99.9	0.0286
Nitrogen tetroxide.....	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	431	99	
Nitrous oxide.....	N <sub>2</sub> O	309.7	71.7	0.0351
Oxygen.....	O <sub>2</sub>	154.8	49.9	0.0385
Ozone.....	O <sub>3</sub>	268.2	67	0.0299
Phosgene.....	CCl <sub>2</sub>	451.9	56	0.0312
Phosphine.....	PH <sub>3</sub>	324.5	64.4	0.0535
Phosphonium chloride.....	PH <sub>4</sub> Cl	322.3	72.8	
Phosphorus.....	P	968	52.2	
Redon.....	Rn	377.6	62.44	
Silicon tetrachloride.....	SiCl <sub>4</sub>	506		
Silicon tetrafluoride.....	SiF <sub>4</sub>	259.1	36.7	
Silicon tetrahydride.....	SiH <sub>4</sub>	269.7	47.9	
Stannic tetrachloride.....	SnCl <sub>4</sub>	591.9	36.95	0.0216
Sulfur.....	S	1,313	116	
Sulfur dioxide.....	SO <sub>2</sub>	430.7	77.8	0.0506
Sulfur hexafluoride.....	SF <sub>6</sub>	318.71	37.11	0.02135
Sulfur trioxide.....	SO <sub>3</sub>	491.5	53.7	0.0253
Trichlorodifluorosilane.....	SiCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	139.5	35.3	
Uranium hexafluoride.....	UF <sub>6</sub>	503.4	45.5	
Water.....	H <sub>2</sub> O	617.31	218.00	0.0501
Xenon.....	Xe	16.59	57.64	0.01462



cont. ref. 91

Name	Formula	Co. wt.	P. n. at 20°	d. 4./20°
Propionic acid.....	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH	339.5	51.0	0.315
Propyl alcohol (n).....	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	263.7	49.55	0.273
Propyl acetate.....	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	276.2	32.9	0.276
Propylamine.....	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NH <sub>2</sub>	223.8	46.3	
Propyl butyrate.....	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOC <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	327.0		
Propyl chloride (n).....	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> Cl	230.0	45.2	
Propyl formate.....	HCOOC <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	264.85	40.1	0.309
Propylene.....	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	92.5	45.0	0.233
Propyl ethyl ether.....	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub> C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	227.4	52.1	0.258
Propyl isobutyrate.....	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOC <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	316.0		
Propyl isovalerate.....	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> CO <sub>2</sub>	336.0		
Propionitrile.....	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> N	291.2	41.3	0.241
Propyl propionate.....	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOC <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	303.0		
Pyridine.....	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N	344.0	60.0	
Quinoline.....	C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N	520.0		
Radien.....	Ra	104.0	62.0	
Sodium.....	Na	2346	343	
Silicon tetrafluoride.....	SiF <sub>4</sub>	-1.5	30.0	
Silane.....	SiH <sub>4</sub>	-1.5	49.0	
Silicic tetraoxide.....	SiO <sub>2</sub>	318.7	37.0	0.742
Steam.....	H <sub>2</sub> O	374.0	217.7	0.4
Sulfur.....	S	1040		
Sulfur dioxide.....	SO <sub>2</sub>	157.2	77.7	0.52
Sulfur trioxide.....	SO <sub>3</sub>	218.3	83.6	0.630
Thiophene.....	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> S	317.8	48.0	
Thymol.....	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> (OH)C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	425.0		
Toluene.....	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	382.6	41.6	0.292
Tolunitrile.....	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CH <sub>2</sub> CN	480.0		
Triethylamine.....	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> N	282.0	30.0	0.251
Trimethylamine.....	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	161.6	41.0	
Tritium.....		-279.5	20.8	
Valeric acid (n).....	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	379.0		
Water.....	H <sub>2</sub> O	374.15	218.4	0.323
Xenon.....	Xe	16.6	58.2	1.155

Referencia 24 "DODGE" Chemical Engineering Thermodynamics  
Mc. Graw-Hill

Substance	$T_c$ , °K.	$p_c$ , atm.	Critical volume, cu. ft./lb.-mole	$\frac{p_c v_c}{RT_c}$	Van der Waals constants†	
					$a$	$b$
Acetylene.....	309.1	61.7	1.81	0.2755	1,129.	0.8232
Air.....	132.4	37.2	1.32; 1.49‡	0.284 0.321	343.5	0.583
Allylene.....	401.					
Ammonia.....	405.5	111.5	1.16	0.2425	1,076.	0.598
Argon.....	151.	48.	1.21	0.293	346.	0.517
Benzene.....	561.6	47.7	4.11		4,820.	1.935
Boron trifluoride.....	260.8	49.2			1,009.	0.871
n-Butane.....	426.0	36.0	4.01		3,675.	1.944
Carbon dioxide.....	304.1	72.9	1.54	0.280	925.	0.686
Carbon monoxide.....	134.4	34.6	1.44	0.282	381.	0.630
Carbon oxysulfide.....	378.	61.			1,708.	1.02
Chlorine.....	417.	76.	1.99	0.275	1,668.	0.90
Cyanogen.....	401.	59.			1,544.	1.12
Cyclohexane.....	554.1	40.6	4.95		5,513.	2.242
Dichlorodifluoromethane.....	384.6	39.56	3.55	0.270	2,726.	1.595
Dichloromethane.....	489.	51.4			3,392.	1.564
Diethyl amine.....	496.4	36.58			4,923.	2.229
Difluorotetrachloroethane.....	551.1					
Diisobutyl.....	549.9	24.5	7.72		8,997.	3.698
Diisopropyl.....	500.5	30.6	5.72		5,966..	2.693
Dimethyl amine.....	437.7	52.4			2,665.	1.373
Ethane.....	305.2	48.8	2.20	0.279	1,391.	1.029
Ethyl chloride.....	460.3	52.			2,970.	1.453
Ethylene.....	282.8	50.7	2.14	0.33	1,150.	0.9165
Fluorine.....	144.	55.			302.7	0.418
Helium.....	5.2	2.3	0.97	0.328	8.57	0.372
n-Heptane.....	540.0	26.8	6.84		7,931.	3.311
n-Hexane.....	507.9	29.5	5.88		6,374.	2.829
Hydrocyanic acid.....	458.6	56.9	2.22.	0.209	2,693.	1.323
Hydrogen.....	33.2	12.8	1.03	0.306	62.8	0.426
Hydrogen bromide.....	363.	84.			1,144.	0.71
Hydrogen chloride.....	324.5	81.6			942.	0.654
Hydrogen iodide.....	424.	82.			1,598.	0.85
Hydrogen sulphide.....	373.5	88.9			1,145.	0.601
Isobutane.....	407.1	37.0	3.99		3,265.	1.803
Isopentane.....	460.9	32.92	4.93		4,704.	2.300
Krypton.....	210. ?	54. ?	1.70 ?		596. ?	0.64 ?
Mercury.....	1,172.	180.			5,100.	1.070
Methane.....	191.1	45.8	1.59	0.289	581.2	0.6835
Methyl chloride.....	416.2	65.8	2.19 ?		1,920.	1.041



Referencia 119 "Maxwell, B." Data Book of Hydrocarbons.

D. Van Nostrand Co. Inc. Princeton USA 1968

	FORMULA	MOLEC. WT.	BOILING POINT °F	CRITICAL CONSTANTS		
				t °F	P Atm	D G/ml
<b>NORMAL PARAFFINS</b>						
Methane.....	CH <sub>4</sub>	16.0	-258.9	-116.3	45.8	0.162
Ethane.....	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.1	-128.0	-90.1	48.2	.203
Propane.....	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.1	-41.5	-26.3	12.9	.225
Butane.....	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.1	+31.1	39.6	37.4	.225
Pentane.....	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.1	96.9	386.5	32.6	.242
Hexane.....	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.2	157.7	455.9	29.4	.244
Heptane.....	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.2	209.2	512.5	26.8	.251
Octane.....	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.2	258.2	565	24.6	.253
Nonane.....	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128.2	303.4	612	23	—
Decane.....	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142.3	345.2	654	22	—
Undecane.....	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	156.3	384.4	695	20	—
Dodecane.....	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	170.3	421.3	731	18	—
<b>ISO-PARAFFINS</b>						
Isobutane.....	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.1	10.9	275	36	.234
2-Methylbutane (Isopentane)	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.1	82.2	369.5	32.4	.234
2,2-Dimethylpropane (Neopentane)	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.1	49.0	329	35	—
2-Methylpentane (Isohexane)	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.2	140.5	437	31	—
3-Methylpentane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.2	145.9	443	30	—
2,2-Dimethylbutane (Neohexane)	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.2	121.5	415	31	—
2,3-Dimethylbutane (Diisopropyl)	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.2	136.4	441	31	.241
2-Methylhexane (Isoheptane)	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.2	194.1	496	28	—
3-Methylhexane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.2	197.5	504	28.5	—
3-Ethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.2	200.2	508	28.5	—
2,2-Dimethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.2	174.6	475	28.5	—
2,3-Dimethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.2	193.6	498	29	—
2,4-Dimethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.2	179.9	477	28.5	—
3,3-Dimethylpentane	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.2	186.9	482	28	—

P.M.  $T_b$   $T_c$   $P_c$   $P_c$   
 of of atm g/ml

2,2,3-Trimethylbutane (Triptane)	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	100.2	177.9	450°	29.5	—
2-Methylpentane (Isobutane)	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.2	234.5	540°	28°	—
3-Ethylpentane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.2	245.4	551°	25°	—
2,3-Dimethylpentane (Isobutane)	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.2	228.4	530°	25	0.237
2,2,4-Trimethylpentane (Isobutane)	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.2	210.6	515°	27°	—
<b>OLEFINS</b>						
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.0	-154.7	50	51	.22
Propylene	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.1	-119.9	196.5	45.4	.233
Butene-1	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.1	20.7	293°	39°	—
Cis-Butene-2	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.1	38.6	310°	37°	—
Trans-Butene-2	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.1	33.6	310°	37°	—
Isobutene	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	55.1	19.6	292.5	39.5	.234
Pentene-1 (Amylene)	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.1	56.2	382°	36°	—
Cis-Pentene-2	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.1	74.6	395°	35°	—
Trans-Pentene-2	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.1	95.5	399°	35°	—
2-Methylbutene-1	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.1	88.0	387°	36°	—
3-Methylbutene-1 (Isobutylene)	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.1	68.4	365°	37°	—
2-Methylbutene-2	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.1	191.2	401°	35°	—
Hexene-1	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84.2	146.4	463°	34°	—
Cis-Hexene-2	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84.2	155.4	473°	34°	—
Trans-Hexene-2	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84.2	154.2	472°	34°	—
Cis-Hexene-3	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84.2	153.7	472°	34°	—
Trans-Hexene-3	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84.2	154.6	473°	34°	—
<b>DIOLEFINS</b>						
Prodiene	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub>	40.1	-30.1	249	70	—
Butadiene-1,3	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub>	54.1	+50.5	343°	—	—
Butadiene-1,2	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub>	54.1	-4.1	308	45	—
Pentadiene-1,2	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub>	78.1	112.8	438°	—	—
Cis-Pentadiene-1,3	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub>	78.1	111.6	429°	—	—
Trans-Pentadiene-1,3	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub>	78.1	108.1	415°	—	—
Pentadiene-1,4	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub>	68.1	78.8	350°	—	—
3-Methylbutadiene-1,2	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub>	68.1	104	410°	—	—
2-Methylbutadiene-1,3 (Isoprene)	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub>	68.1	93.3	395°	—	—
<b>DIOLEFINS (Cont.)</b>						
Hexadiene-1,2	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	172	485°	—	—
Hexadiene-1,3	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	153	465°	—	—
Hexadiene-1,4	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	149	470°	—	—
Hexadiene-1,5	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	139.3	454	—	—
Hexadiene-2,3	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	154.6	475°	—	—
Hexadiene-2,4	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	176	500°	—	—
3-Methylpentadiene-1,2	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	158	480°	—	—
4-Methylpentadiene-1,2	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	158.0	480°	—	—
3-Methylpentadiene-1,3	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	190	490°	—	—
3-Methylpentadiene-1,3	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	171	495°	—	—
4-Methylpentadiene-1,3	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	169.3	490°	—	—
2-Methylpentadiene-1,4	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	133	445°	—	—
3-Methylpentadiene-2,3	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	162.0	485°	—	—
2,3-Dimethylbutadiene-1,3	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	155.7	475°	—	—
2-Ethylbutadiene-1,3	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub>	92.1	167	490°	—	—
<b>ACETYLENES</b>						
Acetylene	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26.0	-119°	102.5	62.0	0.231
Methylacetylene	C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	40.1	-9.8	275°	65°	—
Butyne-1 (Ethylacetylene)	C <sub>4</sub> H <sub>2</sub>	54.1	+47.7	375	65°	—
Butyne-2 (Dimethylacetylene)	C <sub>4</sub> H <sub>2</sub>	54.1	80.4	420	60°	—
Pentyne-1 (Propylacetylene)	C <sub>5</sub> H <sub>2</sub>	68.1	104.6	429	—	—
Pentyne-2	C <sub>5</sub> H <sub>2</sub>	68.1	132.8	460°	—	—
3-Methylbutyne-1 (Isopropylacetylene)	C <sub>5</sub> H <sub>2</sub>	68.1	52	410°	—	—
Hexyne-1 (Butylacetylene)	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub>	82.1	170.9	—	—	—
Hexyne-2	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub>	82.1	144.1	—	—	—
Hexyne-3	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub>	82.1	174.2	—	—	—
4-Methylpentyne-1	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub>	82.1	142.1	—	—	—
4-Methylpentyne-2	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub>	82.1	162	—	—	—
3,3-Dimethylbutyne-1	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub>	82.1	160.0	—	—	—
<b>OLEFINS-ACETYLENES</b>						
Buten-3-yne-1 (Vinylacetylene)	C <sub>4</sub> H <sub>2</sub>	54.1	42	365°	75°	—

cont. ref 119

		PM	W	T <sub>g</sub>	T <sub>g</sub>	T <sub>g</sub>	T <sub>g</sub>	T <sub>g</sub>
				°F	°F	°F	°F	°F
<b>AROMATICS</b>								
Benzene.....	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.1	178.2	551.3	47.9	0.304		
Toluene.....	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92.1	231.1	609.1	41.6	0.292		
o-Xylene.....	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.2	292.3	675	37	0.285		
m-Xylene.....	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	116.2	242.4	655	36	0.285		
p-Xylene.....	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.7	231.0	652	35	0.275		
Ethylbenzene.....	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.2	227.1	655	34			
1,3-Dimethylbenzene.....	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	100.2	213.0	717	32			
1,4-Dimethylbenzene (p-Toluene).....	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	120.2	236.5	705	31			
1,3,5-Trimethylbenzene (Mesitylene).....	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	100.3	222.5	747	33			
Propylbenzene.....	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	129.2	274.6	690	34			
Isopropylbenzene (Cumene).....	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	112.2	236.4	685	35			
1-Methyl-2-Ethylbenzene.....	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	110.2	229.2	702	34			
1-Methyl-3-Ethylbenzene.....	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	110.2	222.7	694	34			
1-Methyl-4-Ethylbenzene.....	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	110.2	224.5	694	34			
<b>CYCLOPARAFFINS</b>								
Cyclohexane.....	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	98.1	27.9	258	34			
Cycloheptane.....	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	91.1	54.7	355	50			
Cyclooctane.....	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	79.1	120.7	470	40			
1,1-Dimethylcyclopentane.....	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	51.2	161.3	510	42			
1,2-Dimethylcyclopentane.....	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	50.2	159.5	550	42			
1,2-Dimethylcyclopentane trans.....	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	49.2	210.7	570	42			
1,3-Dimethylcyclopentane.....	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	51.2	197.4	550	41			
1,4-Dimethylcyclopentane.....	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	48.2	195.4	550	41			
Ethylcyclopentane.....	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	49.2	218.2	560	40			
Cyclohexane.....	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	54.2	177.3	619	40.4	0.272		
Methylcyclohexane.....	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	20.2	211.6	515	40			
<b>ALCOHOLS</b>								
Methanol (Methyl Alco).....	CH <sub>3</sub> OH	32.0	148.1	164	16.0	0.272		
Ethanol (Ethyl Alco).....	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	78.1	173.0	169	16.1	0.275		
Propanol (Normal Propyl Alco).....	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	30.1	207.0	306	150.0	0.273		
Propanol (Isopropyl Alco).....	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH	30.1	180.2					
Butanol (Normal Butyl Alco).....	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	74.1	244.9	249				
<b>ETHERS</b>								
Ethyl Ether.....	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	74.1	91.1	151	15	0.269		
Amm. ....	NH <sub>3</sub>	17.0	-28.1	270.3	111.5	0.235		
Carbon Dioxide.....	CO <sub>2</sub>	-44.0	-109.3	58.0	73.9	1.0		
Carbon Monoxide.....	CO	28.3	-112.7	-130.5	31.5	0.391		
Oxlene.....	O <sub>2</sub>	79.9	-90	291	75	0.57		
Ethyl Chloride.....	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	41.5	51.1	369	51.6	0.33		
Hydrogen.....	H <sub>2</sub>	2.0	-423.0	-490	17.5	0.21		
Hydrogen Chloride.....	HCl	-79.0	-121.6	124.5	51.0	0.12		
Hydrogen Sulfide.....	H <sub>2</sub> S	-13.1	-76.5	212.2	38.2			
Methyl Chloride.....	CH <sub>3</sub> Cl	20.5	-11.6	280.6	55.4	0.37		
Nitrogen.....	N <sub>2</sub>	28.0	-130.5	-212.8	-31.5	0.31		
Oxygen.....	O <sub>2</sub>	72.0	-27.4	-111.9	44.7	0.41		
Sulfur Dioxide.....	SO <sub>2</sub>	-41.1	-110.0	115.0	77.7	0.52		

Referencia 132 "Tablas Críticas Internacionales"  
 pag. 243 y 249

A-TABLE, ELEMENTARY SUBSTANCES AND ATMOSPHERIC AIR

Formula	$t_c$ , °C	$p_c$ , atm.	$d_c$ , g/cm <sup>3</sup>
A.....	- 122	48	0.531
Br <sub>2</sub> .....	302		
Cl <sub>2</sub> .....	144.0	76.1	0.573
H <sub>2</sub> .....	- 239.9	12.8	0.0310
He.....	- 267.9	2.20	0.0693
Hg.....	>1550	>200	4-5
I <sub>2</sub> .....	553		
Kr.....	- 63	54	0.78
N <sub>2</sub> .....	- 147.1	33.5	0.3110
Ne.....	- 228.7	25.0	0.484
O <sub>2</sub> .....	- 118.8	49.7	0.430
Rn.....	101	62	
S.....	1010		
Xe.....	16.6	58.2	1.155
Air.....	- 140.7	37.2	0.35*
			0.31†

\* Flairt point.

† Critical point of contact.

B-TABLE, CHEMICAL COMPOUNDS

Formula	$t_c$ , °C	$p_c$ , atm.	$d_c$ , g/cm <sup>3</sup>
H <sub>2</sub> O.....	374.0	217.72	0.4
HCl.....	51.4	81.6	0.42
HBr.....	90	84	
HI.....	151	82	
SO <sub>2</sub> .....	157.2	77.7	0.52
SO <sub>3</sub> .....	218.3	33.6	0.630
H <sub>2</sub> S.....	100.4	88.9	
H <sub>2</sub> Se.....	138	83	
N <sub>2</sub> O.....	36.5	71.7	0.45
NO.....	-94	65	0.52
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....	158	99	
NH <sub>3</sub> .....	132.4	111.5	0.235
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> .....	380	145	
PH <sub>3</sub> .....	51	64	0.30
PH <sub>2</sub> Cl.....	49	73	
SiH <sub>4</sub> .....	- 3.5	48	
SiF <sub>4</sub> .....	- 1.5	50	
GeCl <sub>4</sub> .....	277	38	
SnCl <sub>4</sub> .....	318.7	37.0	0.742

C-TABLE, CARBON COMPOUNDS

Formula	Name	$t_c$ , °C	$p_c$ , atm.	$d_c$ , g/cm <sup>3</sup>
•CCl <sub>2</sub> O	Phosgene.....	162	56	0.52
•CCl <sub>4</sub>	Carbon tetrachloride.....	283.1	45.0	0.358
•CO	Carbon monoxide.....	-130	35	0.311
•COS	Carbon oxysulfide.....	105	81	
•CO <sub>2</sub>	Carbon dioxide.....	31.1	73.0	0.460
•CS <sub>2</sub>	Carbon disulfide.....	273	76	
•CHCl <sub>3</sub>	Chloroform.....	263		0.516
•HCN	Hydrogen cyanide.....	183.5	30	0.29
CH <sub>2</sub> Cl	Methyl chloride.....	143.1	65.8	0.37
CH <sub>3</sub> F	Methyl fluoride.....	44.0	62.0	
CH <sub>4</sub>	Methane.....	- 82.5	45.8	0.162
CH <sub>3</sub> O	Methyl alcohol.....	240.0	78.7	0.272
CH <sub>3</sub> S	Methylmercaptan.....	196.8	71.4	0.323
CH <sub>3</sub> N	Methylamine.....	156.0	73.0	
C <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	Cyanogen.....	128	89	

cont. pag. 132

Formula	Name	$t_b$ , °C	$P_v$ , atm.	$d_4^{20}$ , g/cm <sup>3</sup>
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Acetylene	36	62	0.231
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N	Acetonitrile	274.7	47.7	0.210
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Ethylene	9.7	50.9	0.22
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	Acetaldehyde	199		
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	Ethylene oxide	192.0		
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	Acetic acid	321.6	57.2	0.351
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Methyl formate	214.0	59.15	0.319
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Br	Ethyl bromide	231		0.513
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	Ethyl chloride	187.2	52	0.33
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Ethane	32.1	48.6	0.21
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	Ethyl alcohol	243.1	63.1	0.2753
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	Methyl ether	126.9	52.0	0.271
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> S	Methyl sulfide	229.9	51.6	0.596
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> S	Ethylmercaptan	225.5	54.2	0.301
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> N	Dimethylamine	164.6	51.7	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> N	Ethylamine	183.2	55.5	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Allylene CH <sub>2</sub> C=CH	128		
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> ClO <sub>2</sub>	Ethyl chloroformate	<235		
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> N	Propionitrile	291.2	41.3	0.241
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	Propylene CH <sub>2</sub> CH=CH	92.3	45.0	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	Acetone	235.0	47	0.268
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	Allyl alcohol	272		
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Ethyl formate	235.3	46.65	0.323
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Methyl acetate	233.7	46.3	0.325
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Propionic acid	339.5	53.0	0.315
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	n-Propyl chloride	230	45.2	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	n-Propane	95.6	43	
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	n-Propyl alcohol	263.7	49.95	0.271
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	Isopropyl alcohol	235	53	
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	Methyl ethyl ether	164.7	43.4	0.270
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Methylal	224		
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> S	Methyl ethyl sulfide	260	42	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> N	Trimethylamine	161	41	
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> N	Propylamine	223.6	49.3	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> S	Thiophene	317	43	
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	Acetic anhydride	296	46	
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Methyl malate	260	49.4	
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> N	Butyronitrile	309	37.4	
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Methyl propionate	257.4	39.3	0.312
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Ethyl acetate	250.1	37.5	0.364
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Propyl formate	264.95	40.1	0.369
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	n-Butyric acid	355		0.302
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Isobutyric acid	336		0.304
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	n-Butane	134	36	
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Isobutane	131	37	
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	Ethyl ether	193.8	35.5	0.2625
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	n-Butyl alcohol	237	49.4	
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	Isobutyl alcohol	265	43	
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	sec-Butyl alcohol	265		
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	tert-Butyl alcohol	235		
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> S	Ethyl sulfide	283.8	39.1	0.279
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> S <sub>2</sub>	Ethyl disulfide	369		
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> N	Diethylamine	223.5	36.2	0.219
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> N	Pyridine	344	50.0	
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	Ethyl allyl ether	245		
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Ethyl propionate	272.9	33.0	0.2965
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Isobutyl formate	273	39	0.288
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Methyl butyrate	281.3	31.2	0.309
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Methyl isobutyrate	267.55	33.7	0.301
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Propyl acetate	276.2	32.9	0.296
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	n-Valeric acid	379		
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Isovaleric acid	361		
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	n-Pentane	197.2	31.0	0.212
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Isopentane	187.8	32.3	0.211
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	Ethyl propyl ether	227.4	32.1	0.255
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	Isomyl alcohol	307		
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O	tert-Amyl alcohol	272		
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Methyl neopentyl ether	254		
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> S	Isomylmercaptan	321		
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Br	Bromobenzene	397	44.6	0.186
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	Chlorobenzene	339	41.8	0.365
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> F	Fluorobenzene	296	41.5	0.331
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> I	Iodobenzene	418	41.8	0.341
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Benzene	235.5	47.7	0.361

cont. ref. 132

Formula	Name	$t_b$ , °C	$P_v$ , atm.	$d_4$ , g/cm <sup>3</sup>
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	Phenol	419	60.5	
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N	Aniline	426	52.4	
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	Ethyl crotonate	326		
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> S	Allyl sulfide	380		
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N	Cypronitrile	319	32.2	
C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	Cyclohexane	251.0	10.4	0.270
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	n-Butyl acetate	306		
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Ethyl butyrate	293	30	0.276
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Ethyl isobutyrate	280	30	0.276
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Isoamyl formate	303	34	0.252
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Isobutyl acetate	288	31	0.281
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Methyl valerate	291 d	32	0.279
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Propyl propionate	305		
C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	Paraldehyde	290		
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Diisopropyl	227.4	30.6	0.241
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	n-Hexane	234.8	29.5	0.234
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> N	Triethylamine	262	30	0.251
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> N	Dipropylamine	277	31	
C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	Benzenitrile	426	11.6	
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Toluene	320.6	41.6	0.292
C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O	o-Cresol	422	19.4	
C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O	m-Cresol	432	15.0	
C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O	p-Cresol	426	30.8	
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O	Anisole	369	41.3	
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N	Methylaniline	429	51.3	
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Isoamyl acetate	326		
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Isobutyl propionate	319		
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Ethyl isovalerate	313		
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Ethyl valerate	297		
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Propyl butyrate	327		
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Propyl isobutyrate	316		
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	n-Heptane	266.8	26.8	0.234
C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> O	n-Heptyl alcohol	353		
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N	Tolunitrile	150		
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O	Phenetole	374	33.8	
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> N	Dimethylamine	415	15.8	
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Isoamyl propionate	323		
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Isobutyl butyrate	323		
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Isobutyl isobutyrate	329		
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Propyl isovalerate	326		
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	Diisobutyl	277	24.5	0.237
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	n-Octane	296	24.6	0.231
C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> O	n-Octyl alcohol	385		
C <sub>6</sub> H <sub>13</sub> O	sec-Octyl alcohol	364		
C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	Quinoline	> 520		
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N	Dimethyl-p-toluidine	395	30.8	
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Isoamyl butyrate	346		
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Isobutyl isovalerate	348		
C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	Thymol	425		
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Ethyl caprylate	386		
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> S	Isoamyl sulfide	391		
C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	Ethyl nonylate	400		

## Referencia 133

(Handbook of Chem. &amp; Phys. Weast)

Compound	t°C	Compound	t°C
Benzene	288.94	2-Methylcyclohexane	298.97
cis-Butene-2	162.40	Methylcyclopentane	259.55
trans-Butene-2	155.46	2-Methylheptane	256.42
n-Butylbenzene*	367.3	2-Methylhexane	257.18
Cyclohexene*	237.27	1-Methylpentalene*	> 495.00
2,2-Dimethylbutane	215.28	2-Methylpentane	224.30
2,3-Dimethylbutane	226.78	n-Phthalene	475.2
n-Dodecane*	581.1	n-Nonane	321.11
n-Decane	311.4	n-Octane	235.41
Ethylbenzene	313.97	Octene-1	293.4
Fluorobenzene	286.55	n-Heptane	186.34
n-Heptane	267.13	Pentene-1	191.59
Heptene-1*	204.02	n-Propylbenzene	365.21
n-Hexane	234.15	Toluene*	315.57
Hexene-1	230.53	1,2,3-Trimethylbenzene	391.35
Isobutylbenzene	384.72	1,2,4-Trimethylbenzene	375.87
2,3-Lutidine*	382.30	1,3,5-Trimethylbenzene	304.14
2,5-Lutidine	371.01	2,2,4-Trimethylpentane	270.46
3,4-Lutidine*	410.50	n-Undecane*	365.56
3,5-Lutidine	394.10		
2-Methylbutane	157.24		

\* Unstable.

## Referencia 134

(Physical Properties of Hydrocarbons by L.W. Gallant  
vol. 1)