

300613

16  
29



# UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA  
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

OBTENCION DE ECUACIONES DE ESTADO PARA  
GASES PUROS POR EL METODO DE GENERACION  
DE SUPERFICIES

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO QUIMICO**  
P R E S E N T A :  
MARIA GABRIELA NIETO CHAVEZ

**FALLA DE ORIGEN**



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.

# INDICE

I	GENERALIDADES .....	1
---	---------------------	---

## INTRODUCCION

A	PROPIEDADES GENERALES DE UNA SUSTANCIA PURA Y DIAGRAMAS P-V-T.....	3
B	PROYECCIONES DEL DIAGRAMA P-V-T EN DOS PLANOS .....	4

## CAPITULO I

### EVOLUCION DE LAS ECUACIONES DE ESTADO

1.1	ECUACIONES PARA EL COMPORTAMIENTO IDEAL .....	6
1.2	ECUACIONES PARA GASES REALES .....	12
1.3	LEY DE ESTADOS CORRESPONDIENTES .....	18
1.4	CORRELACION DE PITZER .....	19
1.5	MODIFICACIONES A LA ECUACION DE VAN DER WAALS .....	20
1.5.1	Modificaciones con un parametro dependiente de la Temperatura .....	29
1.5.2	Modificaciones con ambos parámetros dependientes de la temperatura .....	25
1.5.3	Modificaciones en el término de atracción .....	26
1.5.4	Modificaciones en el término de repulsión .....	28
1.5.5	Teoria de cadenas de rotorec cúbicos .....	30

## CAPITULO II

### PLANTEAMIENTOS GENERALES SOBRE EL METODO DE GENERACION DE SUPERFICIES

2.1	PRINCIPIOS BASICOS .....	33
2.1.1	Campos escalares y funciones escalares de variable vectorial .....	39
2.2	SUPERFICIES .....	34
2.2.1	Superficies Suaves .....	35
2.3	METODO DE GENERACION DE SUPERFICIES .....	36
2.4	CARACTERISTICAS DE UNA ECUACION DE SUPERFICIE .....	38
2.4.1	Intersección con los ejes .....	38
2.4.2	Trazas sobre planos Coordenados .....	38
2.4.3	Simetria con respecto a los ejes , planos coordenados y el origen .....	38
2.4.4	Secciones por planos paralelos a los planos coordenados .....	40
2.4.5	Extensión .....	40
2.5	CURVAS DE NIVEL .....	42
2.6	SUPERFICIES CUADRICAS .....	42
2.6.1	Superficies Cuádricas con centro .....	43
2.6.2	Superficies Cuádricas sin centro .....	46

## CAPITULO III

### APLICACION DEL METODO A LA GENERACION DE UNA ECUACION DE ESTADO

3.1	PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACION DEL METODO .....	49
3.1.1	Estimación de los coeficientes del modelo .....	53
3.1.2	Forma de seleccionar una relacion funcional .....	53
3.2	METODO DE MINIMOS CUADRADOS .....	55
3.2.1	Teorema de GAUSS-MARKOV .....	57
3.3	REGRESION CURVILINEA .....	58
3.4	REGRESION MULTIPLE .....	60
3.5	SELECCION DEL MODELO DE AJUSTE PARA LAS ECUACIONES DIRECTRICES DE LA ECUACION DE ESTADO .....	69
3.6	ALGORITMO DE LA ECUACION DE ESTADO GENERADA .....	75

## CAPITULO IV

### RESULTADOS GENERALIZACION Y CONCLUSIONES

4.1	ESTIMACION DE LAS CONDICIONES EXTREMO .....	78
4.1.1	Análisis de los intervalos de presión .....	82
4.2	GENERALIZACION DE LA ECUACION DESARROLLADA .....	87
4.2.1	Superficie y algoritmo para el Nitrógeno .....	87
4.2.2	Superficie y algoritmo para el Etileno .....	97
4.2.3	Superficie y algoritmo para el CO <sub>2</sub> .....	104

4.3	CONCLUSIONES .....	110
-----	--------------------	-----

#### APENDICES

A.A	DATOS PVT PARA METANO .....	122
A.B	DATOS PVT PARA NITROGENO .....	127
A.C	DATOS PVT PARA ETILENO .....	133
A.D	DATOS PVT PARA CO <sub>2</sub> .....	138
	BIBLIOGRAFIA .....	148

## I. GENERALIDADES

Una ecuación de estado es una relación entre dos o más variables que definen el comportamiento de una sustancia pura o mezcla uniforme.

Generalmente estas relaciones se expresan en función de las variables Presión (P), Temperatura (T) y Volumen (V); se pueden emplear para distintos estados de agregación tales como sólidos, líquidos o gases dando así una representación bastante amplia del comportamiento de las sustancias.

El origen de una ecuación de estado puede tener diferentes caminos, como es el caso de un desarrollo teórico basado en la mecánica estadística o en la teoría cinemática considerando las fuerzas intermoleculares, o bien seguir un proceso empírico observando las variaciones que presentan las variables fundamentales al establecer nuevas relaciones matemáticas como es el caso de la modificación de la ecuación de estado de Van der Waals elevando a diferentes potencias la temperatura, este último procedimiento ha sido muy utilizado para un amplio rango de densidades o bien en la predicción del comportamiento de sustancias no muy comunes.

## capítulo I

Dentro de los distintos tipos de ecuaciones de estado podemos encontrar algunas cortas y simples que resultan útiles solo en unos pequeños intervalos a bajas densidades, mientras que resultan necesarias otras con un mayor grado de complejidad para poder reproducir altas y bajas densidades. En la mayor parte de los casos las ecuaciones que dan altas precisiones involucran gran número de parámetros los cuales dependen en su mayoría de los intervalos de densidades y en un menor grado de las temperaturas.

Las ecuaciones de estado resultan fundamentales para el desarrollo de procesos químicos ya que mediante la predicción de equilibrios es posible representar el comportamiento de los sistemas involucrados en los procesos.



# I. INTRODUCCION

## A) PROPIEDADES GENERALES DE UNA SUSTANCIA PURA Y LOS DIAGRAMAS P-V-T

Si se representan en un sistema de ejes la presión (P), el volumen (V) y la temperatura (T) de una sustancia pura se obtiene una representación tridimensional de sus fases y de la coexistencia entre ellas. A partir de esta representación se pueden obtener las correspondientes proyecciones bidimensionales manteniendo una de las propiedades constante.

En un diagrama P-V-T todo estado de equilibrio se muestra como un punto sobre la superficie, mientras que un proceso quasiestático vase como una superficie ya que este pasa por estados de equilibrio.

Las regiones que se identifican en dicho diagrama son las siguientes :

a) aquellas en las que coexisten dos fases

S + V                      S es sólido

L + V                      en donde      L es líquido

S + L                      V es vapor

b) y las que existen como una sola fase

S                      L                      V

El punto triple aparece como una línea en donde  $P$  y  $T$  se encuentran fijas, pero el volumen específico puede variar dependiendo de la proporción de cada área, en estas condiciones coexisten las tres fases.

El punto crítico corresponde a condiciones únicas de presión, temperatura y volumen en las que la fase líquida y vapor de dicha sustancia son idénticas; a estas condiciones se les conoce como propiedades críticas; dicho punto se localiza en la cúspide de la campana que representa la región  $L - V$  y en él coinciden las líneas de líquido saturado y vapor saturado.

#### B) PROYECCIONES DEL DIAGRAMA $P-V-T$ EN DOS PLANOS

En las proyecciones  $P - T$ ;  $P - V$ ;  $V - T$  se pueden observar las características que presenta la sustancia al variar la tercera propiedad.

En la proyección  $P - T$  las líneas líquido saturado y vapor saturado así como la de sólido saturado y vapor saturado, coinciden y se confunden en una sola línea que cambia ligeramente de pendiente en el punto triple y que termina en el punto crítico.

La línea de equilibrio triple da lugar a un punto. La región  $S + L$  da lugar a una línea que parte del punto triple y posee una pendiente mayor que las anteriores.

En el diagrama P-V para una substancia pura el punto crítico esta representado por un punto de inflexion matemática

$$\left[ \frac{\partial^2 P}{\partial V^2} \right] = 0 \quad \left[ \frac{\partial P}{\partial V} \right] = 0$$

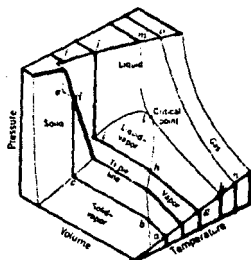


FIG. I.1 SUPERFICIE P-V-T

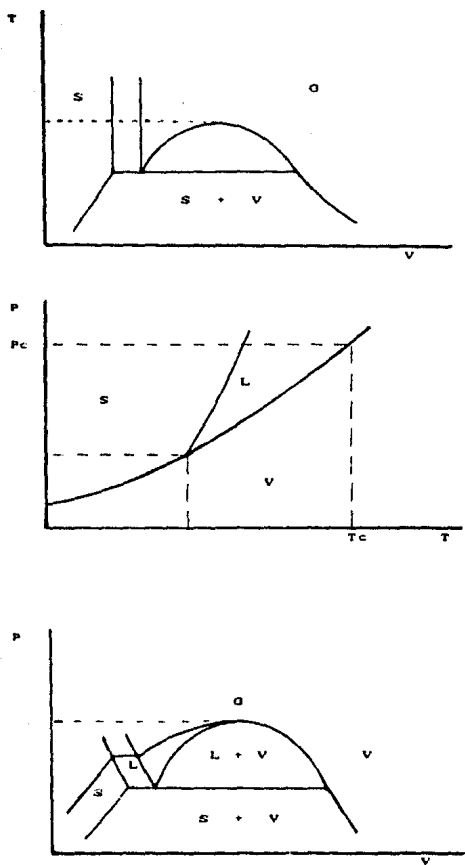


FIG. I. 2 PROYECCIONES DEL DIAGRAMA P-V-T EN DOS FASES

## CAPITULO I

### EVOLUCION DE LAS ECUACIONES DE ESTADO

## 1.1 ECUACIONES PARA EL COMPORTAMIENTO IDEAL

Las primeras mediciones cuantitativas del comportamiento de los gases fueron realizadas por R. Boyle en 1662 estableciendo relación con el volumen y la presión manteniendo la temperatura constante, que en forma matemática se expresa de la siguiente manera

$$P V = f ( T )$$

El volumen que ocupa un gas es inversamente proporcional a la presión que actúa sobre él

$$V \propto \frac{1}{P} \qquad V = \frac{C}{P}$$

La idea que se tenía entonces acerca de la estructura de los gases era como de materia finamente dividida, con dimensiones prácticamente puntuales, Los conceptos electrostáticos aun no se desarrollaban, y fue hasta 1803 cuando Dalton revivió la teoría atómica.

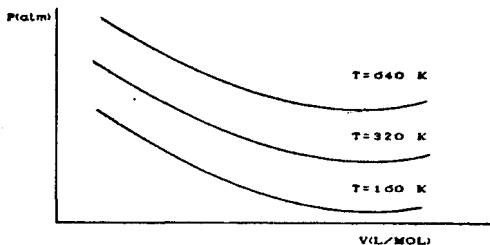


FIG. 1.1 LEY DE BOYLE

En 1810, J. Charles y J. Gay Lussac, encontraron otra ecuación de estado aplicable bajo la condición de presión constante, estableciendo que el volumen de un gas es directamente proporcional a la temperatura

$$V_t = V_0 + (1 + \alpha) T$$

donde  $\alpha$  es función de la presión

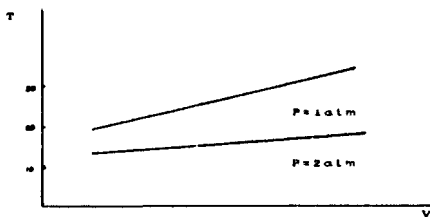


FIG. 1.2 LEY DE CHARLES

Cuando la presión es muy baja  $P \rightarrow 0$   $\alpha \rightarrow 1 / 273,15$

$$V_t = V_0 + (T + T / 273,15)$$

$V_t$  = volumen a la temperatura deseada  
 $V_0$  = volumen a la temperatura de 0°C  
 $\alpha$  = coeficiente de expansión térmica  $f(P)$

capítulo I

$$V_t = C_2 T$$

$V_t$  = volumen a la temperatura  $T$   
 $C_2$  = constante de proporcionalidad  
 $T$  = temperatura del gas en una escala llamada del gas ideal.

En 1811 Avogadro estableció el principio de que "volúmenes iguales de diferentes gases en las mismas condiciones de presión y temperatura deberían contener el mismo número de moléculas, que en condiciones normales es de  $6.02217 \times 10^{23}$  moléculas/mol.

Bajo condiciones normales de presión y temperatura constantes :

$$V \propto n \quad V = C_3 n$$

$C_3$  = constante de proporcionalidad  
 $n$  = número de moles del gas

De lo anterior se puede concluir que :

$$V = V(P, T, n)$$

de donde :

$$dV = \left[ \frac{\partial V}{\partial P} \right]_{T,n} dP + \left[ \frac{\partial V}{\partial T} \right]_{P,n} dT + \left[ \frac{\partial V}{\partial n} \right]_{T,P} dn$$

Estas derivadas parciales se evalúan a partir de las leyes de Boyle, Charles y Avogadro :

$n$ ,  $T$  y  $n$  constantes :

$$V = \frac{C_4}{P} \quad \left[ \frac{\partial V}{\partial P} \right]_{T,n} = -\frac{C_4}{P^2}$$



A  $P$  y  $n$  constantes :

$$V = C_2 T \quad \left[ \frac{\partial V}{\partial P} \right]_{P,n} = C_2$$

A  $T$  y  $P$  constantes :

$$V = C_3 n \quad \left[ \frac{\partial V}{\partial n} \right]_{P,T} = C_3$$

$$dV = - \frac{C_1}{P^2} dP + C_2 dT + C_3 dn$$

$$C_1 = PV \quad C_2 = \frac{V}{T} \quad C_3 = \frac{V}{n}$$

por lo que :

$$dV = - \frac{V}{P} dP + \frac{V}{T} dT + \frac{V}{n} dn$$

dividiendo entre  $V$

$$\frac{dV}{V} = - \frac{dP}{P} + \frac{dT}{T} + \frac{dn}{n}$$

integrando :

$$\ln V = - \ln P + \ln T + \ln n + \ln R$$

$$V = \frac{n R T}{P} \quad \dots\dots\dots(e.1)$$

Esta es la ecuación de los gases ideales.

Partiendo de datos experimentales se determinó que a  $0^\circ\text{C}$  y  $1$  atm, el volumen ocupado por un mol de gas es aproximadamente  $22.4$  l

$$R = \frac{P V}{n T} = \frac{(1 \text{ atm})(22.4 \text{ l})}{(1 \text{ mol})(273.15 \text{ K})} = 0.082 \text{ lt.atm / mol K}$$

$R$  es conocida como la constante universal de los gases

Para establecer la ecuación de los gases ideales (e.1) se tomaron las siguientes consideraciones :

- Se asume que el volumen es finito y que existen gran número de moléculas, todas ellas idénticas y esféricas
- No hay fuerzas de interacción
- Todos los choques son elásticos esto significa que no hay perdidas de energía cinética ni potencial
- Las moléculas se distribuyen uniformemente
- Las direcciones de viaje son igualmente probables
- la fracción de moléculas viajando a velocidad permanece constante en el equilibrio

## 1.2 ECUACIONES PARA GASES REALES

Uno de los primeros intentos para mejorar la ecuación de los gases ideales fue realizado por G.A.Hirnen 1863, (1) quien propuso una ecuación de estado para representar el comportamiento tanto de gases como de líquidos.

La relación matemática es de la forma :

$$(P + \Pi) (v - b) = R T$$

en donde :

V = volumen molar  
b = volumen de las moléculas  
 $\Pi$  = referida a la presión interna ,representa las fuerzas de atracción entre moléculas.

En 1869 Andrews (2),publicó su trabajo experimental respecto al comportamiento volumétrico del CO<sub>2</sub> en el cual fue definida la

temperatura crítica y se dio una explicación sobre la continuidad de los estado líquido y gaseoso de la materia basado en estudios de las isoterms.

En 1873 J.D.Van der Waals (VdW), propuso una ecuación de estado cúbica en el volumen basada en la existencia del punto crítico, y en la desaparición de cualquier distinción entre líquido y gas en la temperatura crítica; así como los estudios de los efectos de la capilaridad de Laplace referidos a la presión molecular "K" (3) que es una medida de la atracción molecular.

Ya que las fuerzas eléctrica y magnética reaccionan a distancias sensibles, supuso que deberían existir otras que reaccionaran a pequeñas distancias y tuvieran por resultado una serie de fenómenos en el comportamiento de la materia.

En el resultado de Laplace para el cálculo de la presión efectiva en el límite de la superficie del líquido

$$P = K + \frac{H}{2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \dots\dots(e.2)$$

Van der Waals encontró que estimando K y H se podría estimar directamente el rango de las fuerzas intermoleculares (4).

En esa misma época Clausius comenzó con las ideas de que la materia esta formada por moléculas que se encuentran en equilibrio y que las distancias invariantes entre dichas moléculas se deben a las fuerzas de atracción. También realizó un análisis de las condiciones bajo las cuales un gas puede esperarse se comporte como ideal, postulando que:

\* El volumen intermolecular puede ser despreciable comparando con el volumen que ocupa el gas.

## capítulo I

\* El tiempo de una colisión entre moléculas es despreciable respecto al tiempo de colisiones sucesivas.

\* Enfatizó la idea de que las fuerzas de atracción intermolecular que mantienen unido al líquido son las mismas que actúan en el gas cuando sus moléculas se acercan lo suficiente para producir una colisión.

Estas ideas fueron retomadas por VDW refiriéndose a la acción de estas fuerzas en un gas cuando se encontraba en un volumen muy reducido y más aún, cuando se encontraba bajo compresión máxima, lo que representaba una gran similitud entre el gas comprimido y el líquido.

Clasificando las fuerzas intermoleculares en dos tipos y de acuerdo a la ley de Coulomb expresó la fuerza repulsiva como :

$$F_r = K_r \cdot r^{-13}$$

$F_r$  = fuerza repulsiva  
 $r$  = distancia intermolecular  
 $K_r$  = constante

y la fuerza atractiva como :

$$F_A = K_A \cdot r^{-7}$$

$F_A$  = fuerza atractiva  
 $r$  = distancia intermolecular  
 $K_A$  = constante

El volumen excluido es otro factor considerado por VDW que se refiere al volumen que las moléculas ocupan en virtud de sus dimensiones, en base al siguiente razonamiento :

Considerando a las moléculas como esferas rígidas tenemos que los centros moleculares no pueden acercarse a menor distancia que dos veces su radio, el volumen excluido es el de una esfera de radio igual al diámetro molecular. Para un par de esferas se tiene

$$V_{exc} = \frac{\pi}{6} (2d)^3 = \frac{4}{3} \pi d^3$$

para una sola de ellas :

$$\hat{V}_{exc} = \frac{2}{3} \pi d^3$$

por mol de gas sera :

$$\bar{V}_{exc} = \frac{2}{3} N \pi d^3$$

siendo N el numero de Avogadro

este valor es conocido como constante "b" de VDW

La ecuacion de gases ideales (e.l) establece que :

$$V = \frac{n R T}{P} \quad \text{Si } T \rightarrow 0 \text{ y/o } P \rightarrow \alpha, V \rightarrow 0$$

en donde  $\alpha$  es un valor infinito

Lo cual no corresponde al comportamiento real ya que el gas se licuara primero y despues se solidificará ; por lo cual el volumen tenderá a un valor aproximadamente constante, correspondiente a la fase condensada, por ello una mejor aproximación es :

$$V = \frac{n R T}{P} + n b$$

cuyo límite cuando  $T \rightarrow 0$  y/o  $P \rightarrow \alpha$  es :  $V = n b$

Con respecto a las fuerzas atractivas de interacción molecular que se manifiestan a distancias relativamente grandes, propuso que dichas fuerzas, son directamente proporcionales a las concentraciones moleculares en los volúmenes  $V_1$  y  $V_2$ , es decir :

$$F \propto C_1 C_2$$

$$F \propto C^2$$

$$F \propto \frac{n^2}{V^2} \quad ; \quad F = \frac{a \cdot n^2}{V^2}$$

$$\text{Como } P = \frac{F}{A}$$

$$P_n = \frac{a \cdot n^2}{A \cdot V^2} \quad P_n = \frac{a n^2}{V^2}$$

$P_n$  es una presión no ejercida debida a las fuerzas de interacción molecular, por lo que la presión del gas esta dada por:

$$P = \frac{n R T}{V - b} + \frac{a n^2}{V^2} \quad \begin{array}{l} a \text{ y } b = \text{constante} \\ V = \text{vol. total} \end{array}$$

$$P = \frac{R T}{v - b} + \frac{a}{v^2} \quad v = \text{vol. molar}$$

Conocida como la ecuación de Van der Waals (VDW) .....(e.3)

De acuerdo a las propiedades del punto crítico y a las propiedades reducidas se tienen las siguientes expresiones:

$$P_r = \frac{P}{P_c} \quad v_r = \frac{v}{v_c} \quad T_r = \frac{T}{T_c}$$

Las cuales sustituidas en la ecuación de VDW hacen que tome la siguiente forma:

$$\left[ P_r P_c + \frac{a}{v_r^2 v_c^2} \right] (v_r v_c - b) = R T_r T_c \quad \dots(e.4)$$

Ahora bien analizando el diagrama T vs. V

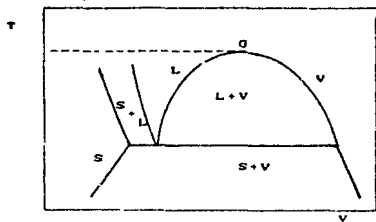


FIG. 1.3 DIAGRAMA T-V

La isobara crítica presenta un punto de inflexión en el punto crítico y su pendiente en ese punto es cero.

$$\left[ \frac{\partial T}{\partial v} \right]_{\text{punto crítico}} = 0 \qquad \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial v^2} \right]_{\text{punto crítico}} = 0$$

despejando a T de la ecuación de VDW :

$$T = \frac{Pv}{R} - \frac{Pb}{R} + \frac{a}{vR} - \frac{ab}{Rv^2}$$

obteniendo las derivadas de T respecto a V :

$$\left[ \frac{\partial T}{\partial v} \right] = \frac{P}{R} - \frac{a}{v^2 R} + \frac{2ab}{v^3 R}$$

$$\left[ \frac{\partial^2 T}{\partial v^2} \right] = \frac{2a}{v^3 R} - \frac{6ab}{v^4 R}$$

evaluando en el punto crítico :

$$\frac{P_c}{R} - \frac{a}{v_c^2 R} + \frac{2ab}{v_c^3 R} = 0 \qquad \frac{2a}{v_c^3 R} - \frac{6ab}{v_c^4 R} = 0$$

Resolviendo simultaneamente :

$$a = 3 P_c v_c^2$$

$$b = v_c / 3$$

o bien :

$$a = \frac{27 R^2 T_c^2}{64 P_c}$$

$$b = \frac{R T_c}{8 P_c}$$

Obteniendo así los valores para a y b a partir de las condiciones en el punto crítico.

### 1.3 LEY DE ESTADOS CORRESPONDIENTES

Empleando variables reducidas en la ecuación (e.4) no resulta representativo para los comportamientos de todos los gases reales, esta ecuación puede generalizarse para los distintos comportamientos de todos los gases reales unicamente con dos de las propiedades reducidas dadas donde automaticamente se determinara la tercera de ellas.

Cuando se tienen gases distintos a las mismas condiciones de temperatura y presión reducida se dice que se encuentran en estados correspondientes (5) . La ley de estados correspondientes establece que todos los fluidos en estados correspondientes tendran el mismo volumen reducido.

El factor de compresibilidad Z es una expresión de la desviación al comportamiento ideal de un gas . Esta desviación se puede expresar en términos reducidos.

$$Z = \frac{P V}{R T}$$

$$Z = \frac{P_r V_r P_c V_c}{R T_r T_c}$$

$$Z = Z_c \frac{P_r V_r}{R T_r} \dots(e.5)$$



Considerando que el volumen reducido  $V_r$  es una función universal de  $P_r$  y  $T_r$  la ecuación (e.5) indica que el factor de compresibilidad también es una función universal de  $P_r$  y  $T_r$  para todos los gases que tengan las mismas compresibilidades críticas.

La mayoría de los gases poseen compresibilidades críticas entre :  $0.2 \leq z_c \leq 0.31$

En la figura 1.5 se muestran curvas experimentales para factores de compresibilidad en función de la presión y la temperatura reducidas. Este principio tiene gran aplicación para correlacionar datos P-V-T mediante una curva sencilla.

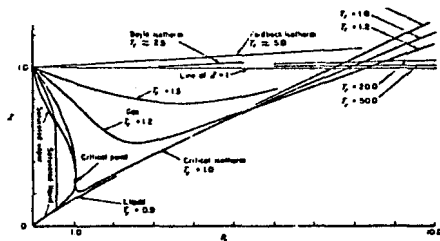


FIG. 1.4 factores de compresibilidad para  $T_r z_c$

#### 1.4 CORRELACION DE PITZER

Considerando que las interacciones moleculares se reflejan en el comportamiento PVT ; Pitzer (6) introdujo un parámetro para la corrección de dicho efecto : el factor ascéntrico; el cual definió como :

$$\omega = \log P_{\text{sat}} \Big|_{T_r = 0.7} - \log P_{\text{sat}} \Big|_{T_r = 0.7}$$

$$\omega = -1.0 - \log P_{\text{sat}} \left. \vphantom{\log P_{\text{sat}}} \right\} \tau_r = 0.7$$

Con este factor Pitzer propuso el cálculo de  $Z$  en la forma siguiente :

$$Z = Z_0 + \omega Z_1 + \dots$$

La cual resulta muy precisa a bajas temperaturas y altas presiones.

En la tabla 1.2 se muestran distintos parámetros reducidos así como factores de compresibilidad y ascéntrico.

COMPUESTO	$T_c$ (K)	$P_c$ (atm)	$V_c$ (cm <sup>3</sup> /mol)	$Z_c$	$\omega$
metano	190.6	45.4	99.0	0.288	0.007
etano	305.4	48.2	148.0	0.285	0.091
propano	369.8	41.9	203.0	0.281	0.145
benzeno	562.1	48.3	259.0	0.271	0.184
oxígeno	154.6	49.8	73.4	0.288	0.021
agua	647.1	217.6	56.0	0.230	0.348

TABLA 1.2 PARÁMETROS REDUCIDOS PARA SUSTANCIAS COMUNES

### 1.5 MODIFICACIONES A LA ECUACION DE VAN DER WAALS

En 1880 Clausius (7) modificó la ecuación de VDW introduciendo una tercera constante. También postuló la existencia de agrupaciones moleculares temporales, formadas por colisiones a bajas temperaturas, que se rompían al elevarse la temperatura. En estos grupos las fuerzas de atracción son más grandes que si las moléculas estuvieran separadas en el gas por lo que el término  $a/v^2$  de VDW resultaba pequeño para incluir estas fuerzas a bajas

temperaturas. Su ecuación se expresa como:

$$\left( P + \frac{a}{T(v+c)^2} \right) (v-b) = RT \dots\dots\dots(e.6)$$

donde :

$$a = v_c - \frac{R T_c}{4 P_c} \quad b = \frac{3RT_c}{8P_c} - v_c \quad c = \frac{27R^2 T_c^3}{64 P_c}$$

Al igual que VDW la ecuación predice valores aceptables para el estado gaseoso, no siendo así en la región del líquido. Aunque esta ecuación logra mejores resultados para las regiones líquidas a presiones elevadas.

En 1889 Berthelot (8) presentó una modificación a la ecs. de VDW introduciendo la temperatura en el término de atracción :

$$\left( P + \frac{a}{T v^2} \right) (v - b) = RT \dots\dots\dots(e.7)$$

$$a = \frac{4R^2 T_c^2}{P_c v_c^2} \quad b = \frac{R T_c}{P_c v_c}$$

Esta ecuación no proporciona tan buena aproximación a los datos experimentales como la ecuación (e.4).

En el mismo año Dieterici (9) propuso una ecuación exponencial con dos constantes de la forma:

$$P = \frac{R T}{v-b} e^{-\left( \frac{a}{RTv} \right)} \dots\dots\dots(e.8)$$

cuyas constantes son :

$$a = \frac{4R^2 T_c^2}{P_c e^2} \qquad b = \frac{R T_c}{P_c e^2}$$

Su desventaja es que no resulta aplicable al cálculo de propiedades de los líquidos y comparandola con la ecuación de VDW, resulta menos cercana a los datos experimentales en altas y bajas presiones.

A partir de la ecuación de VDW, Redlich y Kwong (10) desarrollaron una modificación en la cual se cambiaba el término atractivo, mientras que el repulsivo se mantiene en la misma forma que en la ecuación de VDW de esta forma presenta mayores aplicaciones que VDW en los fluidos gaseosos y permanece inaplicable al estado líquido

Su expresión es la siguiente

$$P = \frac{R T}{v-b} - \frac{a / T^{0.5}}{v(v+b)} \qquad \dots\dots\dots(e.9)$$

sus constantes son :

$$a = 0.4278 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{P_c} \qquad b = 0.0867 \frac{R T_c}{P_c}$$

Esta ecuación es de naturaleza mas bien empírica pero proporciona resultados satisfactorios sobre la temperatura crítica para cualquier presión .

Debido a su simplicidad y aproximación en amplios rangos de presión y temperatura, así como su aplicación al estado líquido y gaseoso; ha servido como punto de partida para muchos investigadores asumiendo diferentes leyes de dependencia respecto

a la temperatura tratando de que las nuevas modificaciones puedan ser aplicadas a ambos estados físicos, compuestos polares, no polares, así como la descripción del equilibrio de fases con un mínimo de parámetros.

Las modificaciones a la ecuación de Redlich-Kwong se pueden clasificar en la siguiente forma:

- a) Modificaciones con un parámetro dependiente de la temperatura
- b) Modificaciones con los dos parámetros dependientes de la temperatura
- c) Modificaciones en el término de atracción
- d) modificaciones en el término de repulsión

A continuación se describirán algunas ecuaciones correspondientes a cada clasificación:

#### 1.5.1 Modificaciones con un parámetro dependiente de la temperatura

En 1964 Wilson propone el parámetro  $a$  como función de la temperatura con lo que se mejora la predicción de las presiones de vapor para compuestos puros.

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a \alpha}{v(v+b)} \quad \dots\dots\dots(e.10)$$

Recomendando que  $\alpha$  sea una función lineal de  $T_r$

$$\alpha = T_r ( 1 + m ( T_r^{-1} - 1 ) )$$

$$m = 1.57 + 1.62 \omega$$

$\omega$  = factor ascéntrico

Esta ecuación ganó popularidad hasta el surgimiento de la de Soave (11) .

En 1972 Soave propuso la siguiente ecuación generalizada para  $\alpha$

$$\alpha = T_r ( 1 + m ( 1 - T_r^{0.5} ) )^2$$

$$m = 0.48 + 1.574 \omega - 0.176 \omega^2$$

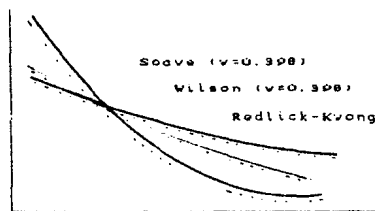


FIG. 1.4  $\alpha$  vs. Temperatura reducida

La ecuación de Soave tiene de gran aplicación para equilibrios L-V a presiones elevadas .

En la figura se ilustra la dependencia del parámetro  $\alpha$  con la temperatura.

Para compuestos polares  $\alpha(T)$  o bien  $\alpha(T_r)$  en forma más general requiere de dos coeficientes adaptables.

$$\alpha ( T_r ) = 1 + m ( 1 - T_r ) + n ( 1 / T_r ) + n ( 1 / T_r - 1 )$$

.....(e.11)

en donde  $m$ ,  $n$  son constantes empíricas derivadas de presiones de vapor experimentales.

Mediante las constantes críticas  $T_c$ ,  $P_c$ , y  $m$ ,  $n$  queda definido completamente el comportamiento P-V-T para compuestos puros.

$$a = \frac{27}{64} \frac{\alpha P_r}{T_r^2}$$

$$b = \frac{1}{8} \frac{P_r}{T_r}$$

### 1.5.2 Modificación con los dos parámetros dependientes de la temperatura

Joffe & Zudkevitch (1970) proponen (  $a$ ,  $b$  )  $f(t)$  que establece la dependencia de la temperatura de estos dos parámetros determinada simultáneamente por la densidad del líquido y forzando a que la fugacidad del líquido y el vapor sean iguales a las presiones de vapor de los componentes puros.

Recientemente han sido desarrolladas otras modificaciones a Redlick-Kwong dentro de esta clasificación con 2 parámetros dependientes de la temperatura y tres parámetros en total; una de ellas es la de Helens (1980) que involucra la presión de vapor y la densidad del líquido y la otra fue desarrollada por Kubic (1982) quien trabajó con la presión de vapor y el segundo coeficiente virial

## 1.5.3 Modificaciones en el término de atracción

La más importante de ellas y que sólo cuenta con dos parámetros es la ecuación de Peng-Robinson desarrollada en 1976 (12).

$$P = \frac{RT}{v - b} - \frac{a \alpha}{v(v+b)+b(v-b)} \quad \dots(e.12)$$

La adición de  $b(v-b)$  resulta de la predicción de la densidad del líquido sin considerar a  $b$  como una función de la temperatura la ecuación (e.12) utiliza  $\alpha$  donde "m" esta dada por :

$$m = 0.37464 + 1.54226 \omega - 0.26992 \omega^2$$

Esta ecuación resulta similar a la de Soave para los equilibrios L-V pero es mejor para el cálculo de las densidades líquidas. Sin embargo para el cálculo de la densidades del vapor es preciso aumentar un tercer parámetro.

Schmidt-Wenzel y Harmens-Knapp (13) usan valores de  $Z_c$  ajustados muy similares. Heyen considera 3 opciones para  $Z_c$ : experimental, ajustable o función de  $\omega$



EOS (Eq.)	Zc		
Van Der Waals (1)	0.375		
Redlich-Kwong (2)	0.333..		
Peng-Robinson (8)	0.3074..		
	$\omega : 0$	0.333	0.5
Schmidt-Wenzel (10)	Zc :	0.333	0.3074
Harmens-Knapp (11)	Zc :	0.321	0.299
Heyen (12)	exp. ajust.		f( $\omega$ )

TABLA 1.3

También se desarrollaron algunas modificaciones a partir de la ecuación de Clausius

Martin en 1979 interesado en los cálculos de propiedades del vapor propone :

$$a(T) = a \text{Tr}^{-D}$$

Y más recientemente Soave (1984) utiliza la ecuación de Clausius con el fin de mejorar la predicción de las densidades del líquido.

Varias de las modificaciones a Clausius usan valores de Zc ajustables como es el caso de Kubic (1982).

$$Zc = 0.857 Zc (\text{exp}) + 0.0826$$

Todas las modificaciones en el término de atracción presentan un menor acercamiento a la predicción de B (Segundo coeficiente virial) comparada con la ecuación original de Redlich-Kwong.

EFECTO DE LA MODIFICACION DEL TERMINO DE ATRACCION EN B		
	$\frac{B_{PC}}{B_{TC}}$	a Tc ( $=\Omega b - \Omega a$ )
	$\omega = 0$	$\omega = 0.8$
B CORRELACION VDW	-0.3367	-0.3549
REDLICH-KWONG	-0.297	-0.297
FENG-ROBINSON	-0.3408	-0.3408
SCHMIDT-WENZEL	-0.3794	-0.3794
HEYEN	-0.3408	-0.4705
	(Zc = .33)	(Zc = .25)
CLAUSIUS	-0.3985	-0.4219
	(Zc = .33)	(Zc = .25)

TABLA 1.4

En la tabla 1.4 se muestran los valores de B a Tc para distintas ecuaciones en donde B con dos parámetros no depende de  $\omega$ ; B con 3 parámetros es bastante malo especialmente a  $\omega = 0.5$ . Sin embargo también se muestra que para Heyen y Clausius el usar Zc ajustando es mejor que el experimental para la predicción de B.

#### 1.5.4 Modificaciones al término de repulsión

Hasta ahora las modificaciones precedentes sólo contemplan variaciones al término de atracción manteniendo el término repulsivo en su forma original; corresponde ahora la presentación de las modificaciones al término repulsivo de la ecs. de VDW.

En las dos últimas décadas el interés se ha incrementado por las modificaciones al término repulsivo. Si consideramos una

esfera rígida de un fluido, no habra término de atracción de la ecuación de VDW y la ecuación se representará por :

$$P_{hs} = \frac{RT}{V} \left[ \frac{1}{1 - \frac{b}{V}} \right] \dots\dots\dots(e.13)$$

Resulta mejor que la ecuaciones del gas ideal ,sin embargo para la mecánica estadística la representación de la esfera rígida (e.13) muestra una aproximación lejana.

Thiele (1963) desarrolló la primera ecuación de la forma de esfera rígida en forma exitosa :

$$P_{hs} = \frac{RT}{V} \frac{1-n^3}{(1-n)^4} = \frac{RT}{V} \frac{1+n+n^2}{(1-n)^3} \dots(e.14)$$

donde:  $n = b / 4V$

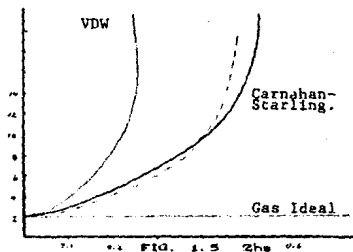
Carnahan y Starling (1969-1972) mejoraron la expresión de Thiele adicionando el término  $(1-n)^3$

$$P_{hs} = \frac{RT}{V} \frac{1+n+n^2-n^3}{(1-n)^3} \dots\dots(e.15)$$

En la siguiente figura 1.5 se grafica  $Z_{hs}$  para un gas ideal, VDW y Carnahan-Starling, se puede apreciar como existe una notable diferencia entre estas dos últimas, pero siendo más interesante aún el hecho de que al aumentarle el término de atracción a la ecs. (e.15) está no presenta mejoras significativas en cuanto a la reproducción del comportamiento real.

Muchos otros investigadores han propuesto más desarrollos para el modelo de esfera rígida, tratando de mantener la forma de ecuación cúbica, algunas de ellas mantienen el mismo término

repulsivo y otras introducen nuevos términos como es el caso de la teoría de cadenas de rotores cubicos



### 1.5.5 Teoría de CADENAS DE ROTORES CUBICOS (CCOR)

Esta Teoría de reciente desarrollo (1985), que al igual que la ecuación Van der Waals o Redlich Kwong ,expresa la presión como la diferencia entre las presiones repulsiva y de atracción (14).

A diferencia de las ecuaciones previas , la ecuación CCOR expresa la presión repulsiva como resultado de la dinámica molecular de esferas rígidas y la contribución rotacional de las moléculas poliatómicas.

Para fluidos no polares esta ecuación es una forma generalizada del tipo de la ecuación de estados correspondientes ; para los fluidos polares se especifican valores constantes.



**CAPITULO II**

**PLANTEAMIENTOS GENERALES SOBRE EL METODO DE  
GENERACION DE SUPERFICIES.**

## Capítulo II

Este capítulo tiene por objeto mostrar en forma general los principios fundamentales del Método de Generación de superficies que posteriormente serán aplicados al desarrollo de una Ecuación de Estado.

### 2.1 PRINCIPIOS BASICOS

#### 2.1.1 CAMPOS ESCALARES Y FUNCIONES ESCALARES DE VARIABLE VECTORIAL

Los problemas que se presentan en la realidad, en la mayoría de los casos resultan difíciles para poder ser idealizados matemáticamente como funciones de una sola variable independiente ya que por lo general son varias variables independientes las que resultan involucradas. Por ejemplo la temperatura de un lugar puede variar de acuerdo a la posición de cada punto por lo que :

$$T = F ( x, y, z)$$

donde T es función del punto ( x, y, z).

Las expresiones en que la variable dependiente lo es de más de una variable independiente, se denominan "Funciones escalares de varias variables independientes o funciones reales de variable vectorial".

Al conjunto ordenado de valores de las variables independientes, se denomina "dominio de la función" y al conjunto de valores que toma la variable dependiente se le denomina "recorrido de la función".

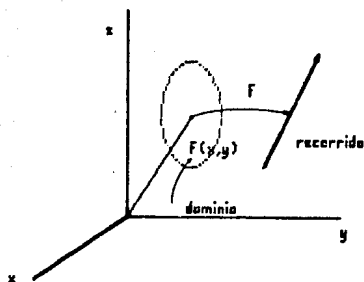


FIGURA 2.1 DOMINIO Y RECORRIDO DE UNA FUNCIÓN

## 2.2 SUPERFICIES

La representación geométrica de una función definida en un dominio bidimensional y cuyo escalar asociado puede representarse como una altura; es el conjunto de puntos  $(x,y,z)$  en el espacio tridimensional y relacionados por la regla de la correspondencia.

$$Z = f(x, y) \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

A dicho conjunto de puntos se le denomina superficie.

$$F(x, y, z) = 0 \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$x = f_1(x, y)$$

$$y = f_2(x, z)$$



Esta ecuación deberá ser tal que al despejar al menos una de las variables se obtenga un campo escalar.

$$S = \{ (x, y, z) / F(x, y, z) = 0 \} \dots\dots\dots(2.3)$$

### 2.2.1 SUPERFICIES SUAVES

Considerando a  $D$  como una región en el plano  $E_2$  y cuyos puntos son  $P(x, y)$ , suponiendo que  $f$  es una función escalar continua definida en  $D$

$$z = f(P) \dots\dots\dots(2.4)$$

El rango de  $f$  vendrá a ser una superficie  $S$

Las superficies suaves son aquellas que cumplen con las siguientes condiciones :

1)  $D$  es una región cerrada, acotada, simplemente conexa, cuya frontera es seccionalmente suave.

2) Para todo  $P$  que pertenezca a  $D$  se tiene un plano tangente único.

Para definir un punto perteneciente a una superficie, su elección dependerá únicamente de dos de sus coordenadas ya que la tercera queda determinada por la misma superficie. Este análisis

confirma las dos formas de presentar la ecuación de superficie (ec. 2.1,2.2). En conclusión se dice que un punto, cualquiera de una superficie tiene dos grados de libertad.

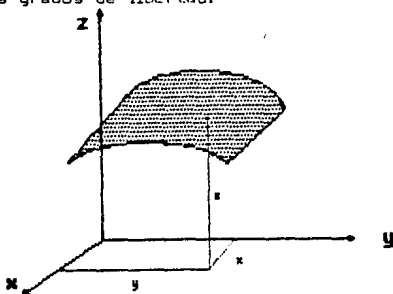


FIGURA 2.2 SUPERFICIE Y SUS COORDENADAS

### 2.3 METODO DE GENERACION DE SUPERFICIES

Este método considera al conjunto de todas las posiciones que toma una curva que se desplaza y deforma según leyes determinadas.

En primer término se sitúa a la superficie en un sistema de ejes coordenados, como se muestra en la figura 2.4.

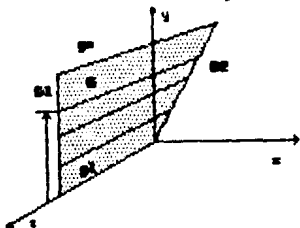


FIGURA 2.3 PARAMETROS DE UNA SUPERFICIE

Se consideran los extremos de la superficie D1 y D2 como guías y se indican como  $g^1, g^2, \dots, g^n$  a las posiciones que va tomando el filo de superficie denominado G.

Como G siempre esta sobre el plano horizontal sus ecuaciones se pueden expresar como las de una recta

$$G \begin{cases} y = \alpha x + \beta \\ z = \gamma \end{cases}$$

Para fijar las posiciones de G se deben determinar los valores de los parámetros  $\alpha, \beta$  y  $\gamma$

Las ecuaciones que determinan los valores de los parámetros se les denomina "Ecuaciones de condición" y para establecerlas es necesario considerar a las ecuaciones de los extremos o guías ya que G, las debe intersectar.

La ecuación que genera la superficie (G) se le denomina generatriz, el conjunto de todas las posiciones que adopta la generatriz es la ecuación de la superficie buscada. También se requiere de ecuaciones de condición, cada una de ellas sirven de guía para el apoyo de la generatriz y se les llama directrices.

Al combinar las ecuaciones de la generatriz con las de las directrices se obtienen "n-1" ecuaciones de condición.

Entre las ecuaciones de condición y las de la generatriz se eliminan los n parámetros lo que da como resultado la ecuación de la superficie.

## 2.4 CARACTERISTICAS DE UNA ECUACION DE SUPERFICIE

Una vez conocida la ecuación de la superficie es preciso efectuar la descripción de la ecuación de superficie ; a partir de un análisis de sus características fundamentales que son las siguientes:

### 2.4.1 INTERSECCION CON LOS EJES COORDENADOS

A los puntos de intersección de la superficie con los ejes de referencia, los denominaremos intersecciones "x","y","z".

Dada la ecuación de la superficie, se obtiene la intersección "x" haciendo  $y = z = 0$  en la ecuación y resolviendo para "x". En forma análoga se procede para las intersecciones "y" , "z".

### 2.4.2 TRAZAS SOBRE PLANOS COORDENADOS

Se les denomina de esta forma a las curvas de intersección entre la superficie dada y cada uno de los planos coordenados.

Para obtener la traza sobre el plano  $xy$  se sustituye  $z=0$  en la ecuación dada. En forma similar se procede para hallar las trazas sobre  $xz$  y  $yz$ .

### 2.4.3 SIMETRIA CON RESPECTO A LOS PLANOS COORDENADOS, EJES COORDENADOS Y EL ORIGEN

Se dice que dos puntos son simétricos respecto a un plano, si el plano bisecta perpendicularmente el segmento de recta que une

dichos puntos. Una superficie es simétrica respecto a un plano, si cada punto de la superficie tiene sobre la misma superficie un punto simétrico respecto a dicho plano.

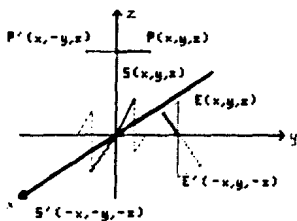


FIGURA 2.4 SIMETRÍA

En la figura anterior los puntos P y P' son simétricos respecto al plano xz si, y solo si tienen las mismas coordenadas x, z y la coordenada y es de signo contrario a la del punto.

Si la superficie  $F(x, y, z) = 0$  es simétrica con respecto al plano xz, entonces los puntos  $P_1(x_0, y_0, z_0)$  y  $P_2(x_0, -y_0, z_0)$  deben estar sobre la superficie y por consiguiente:

$$F(x_0, y_0, z_0) = F(x_0, -y_0, z_0) = 0$$

Por otra parte si se cumple que:

$$F(x, y, z) = F(x, -y, -z) = 0$$

La superficie será simétrica respecto al eje z, si, y solo si al sustituir "x" por "-x" y "y" por "-y" en la ecuación esta no se altera.

Una superficie es simétrica respecto a un punto, si cada punto de la superficie tiene un punto que permanece simétrico respecto al primer punto.

El punto simétrico de  $S(x, y, z)$  respecto al origen, es el  $S'(-x, -y, -z)$  porque el punto medio de  $SS'$  es el origen  $(0, 0, 0)$ .

Por lo que una superficie es simétrica respecto al origen si al sustituir "x" por  $(-x)$ , "y" por  $(-y)$  y "z" por  $(-z)$  en la ecuación correspondiente esta no se altera.

#### 2.4.4 SECCIONES POR PLANOS PARALELOS A LOS PLANOS COORDENADOS

Para conocer la superficie que se estudia, resulta útil identificar que curvas resultan al intersectar la superficie con planos paralelos a los planos coordenados.

Las secciones con planos paralelos al plano XY se obtienen sustituyendo en la ecuación de superficie :

$$Z = k$$

Para las secciones paralelas a XZ se sustituye

$$Y = k$$

Y para las secciones paralelas a YZ

$$X = k$$

#### 2.4.5. EXTENSIÓN

Es un concepto que nos permite investigar la amplitud de la superficie en dirección de los ejes coordenados o bien determina en qué región del espacio tiene representación real la superficie en estudio.

A continuación se resumen las características de una superficie a manera de cuadro sinóptico :

I N T E R S E C C I O N E S	}	E J E S	{	X	Y = Z = 0	
				Y	X = Z = 0	
				Z	Y = X = 0	
		P L A N O S	{	XY	Z = 0	
				XZ	Y = 0	
				YZ	X = 0	
S I M E T R I A	}	E J E S	{	X	F ( X, -Y, -Z)	
				Y	F ( -X, Y, -Z)	
				Z	F ( -X, -Y, Z )	
		P L A N O S	{	XY	F ( X, Y, -Z)	
				XZ	F ( X, -Y, Z )	
				YZ	F ( -X, Y, Z )	
		O R I G E N			F ( -X, -Y, -Z )	
		S E C C I O N E S		P L A N A S	E X T E N S I O N E S	
P L A N O S	{	XY	Z = k	{	X	X = f ( Y, Z)
		XZ	Y = k	{	Y	Y = g ( X, Z)
		YZ	X = k	{	Z	Z = h ( X, Y)

TABLA 2.3

## 2.5. CURVAS DE NIVEL

Cuando una ecuación de superficie adopta una forma funcional  $Z=f(x,y)$  en el plano paralelo a  $xy$  que corta a la superficie a una altura "C", definirá la curva de intersección.

$$f(x, y) = C$$

$$Z = C$$

Cada curva que se obtiene al dar valores a "C" recibe el nombre de "Curva de nivel" ya que los puntos que una se encuentran a un mismo nivel o cota. Si las curvas de nivel se trazan a intervalos constantes a dichos intervalos se les denomina equidistantes.

Por existir relación funcional, dos curvas de niveles distintos no pueden intersectarse.

Cuando una función tiene 3 variables independientes

$$U = f(x, y, z)$$

no hay curvas de nivel. Al hacer  $U = CTE$  se tiene la ecuación de una superficie, a la que se llama "superficie de nivel".

A la ecuación :

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = cte.$$

se le llama "hipersuperficie de nivel"

## 2.6 SUPERFICIES CUÁDRICAS

Resulta conveniente poder reconocer las superficies más usuales por inspección o análisis de la ecuación.

La ecuación cuadrática general en tres variables se representa



de la siguiente forma :

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Eyz + Fxz + Gx + Hy + Iz + J = 0 \quad (2.5)$$

Cualquier superficie cuya ecuación tenga la forma anterior se le denomina superficie cuadrática, si se realizan operaciones de traslación o rotación la ecuación (2.5) puede transformarse en cualesquiera de las formas siguientes :

$$Kx^2 + Ly^2 + Mz^2 = N \quad N \geq 0 \quad \dots (2.6)$$

$$Kx^2 + Ly^2 = Pz \quad P > 0 \quad \dots (2.7)$$

### 2.6.1 SUPERFICIES CUADRICAS CON CENTRO

Son aquellas cuyo centro de simetría coincide con el de origen , en este tipo de superficies se presentan las siguientes variantes:

a)  $N = 0$

b)  $N > 0$

para a) se tienen los siguientes casos:

a.1) Dos de los coeficientes K L M son nulos por ejemplo :

Si  $K = L = 0$  entonces  $Mz^2 = 0$  donde  $z = 0$

a.2) Uno cualquiera de los coeficientes K L M es nulo por ejemplo

Si  $M = 0$  entonces  $Kx^2 + Ly^2 = 0$

cuya solución real es  $x = 0$  y  $y = 0$  que representa al eje z

a.3) K L M son diferentes de cero pero con el mismo signo

$$Kx^2 + Ly^2 + Mz^2 = 0$$

representa al origen ya que sólo se satisface en  $x = y = z = 0$

a.4) K L M son diferentes de cero , pero dos de ellos con el mismo signo entonces :

$$Kx^2 + Ly^2 = Mz^2$$

Que es la ecuación de un cono elíptico fig. 2.6

b.1) Dos de los coeficientes K L M son nulos, por ejemplo

$$\begin{aligned} K = L = 0 \quad M > 0 \\ Kx + Ly + Mz = N \quad N \geq 0 \\ Kx^2 + Ly^2 = Pz \quad P > 0 \end{aligned}$$

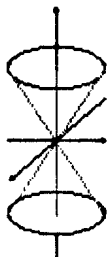


FIGURA 2.5 CONO ELIPTICO

b.2) Uno de los coeficientes M L K es nulo por ejemplo  $M=0$  su expresión es :  $Kx + Ly = N$  que equivale a un cilindro con generatriz paralela al eje z.

b.3) K L M mayores de cero ; si dos coeficientes son iguales y mayores que el tercero se tendrá una elipsoide de revolución

achatado , y si  $K = L < 0$  el elipsoide será alargado , cuando los tres coeficientes tienen el mismo valor la ecuación representa una esfera.

b.4 dos de los coeficientes  $K,L,M$  son positivos y el otro negativo que en forma canónica resulta :

$$\frac{x}{a^2} + \frac{y}{b^2} - \frac{z}{c^2} = 1$$

lo que equivale a un hiperboloide en hoja o manto.

b.5 uno de los coeficientes  $K,L,M$  es positivo y los otros dos son negativos la ecuación tiene la forma:

$$\frac{x}{a^2} - \frac{y}{b^2} - \frac{z}{c^2} = 1$$

las otras dos superficies difieren en las posiciones con respecto a los ejes coordenados . Determinando sus intercepciones y sus trazas se encuentra su representación gráfica como se muestra en la fig. 2.7

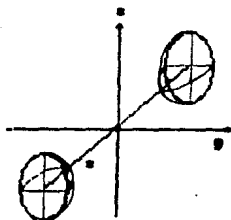


FIGURA 2.7 HIPERBOLOIDE DE HOJAS

## 2.6.2 SUPERFICIES CUADRICAS SIN CENTRO

Son aquellas que no tienen centro de simetría. Como ya se indicó su ecuación es de la forma:

$$Kx^2 + Ly^2 + = Pz \quad , \quad (P > 0)$$

Dependiendo de los valores de K y L se presentan los siguientes casos :

I)  $K = L = 0$  entonces :

$Pz = 0$  de donde  $z = 0$  que representa al plano xz

II) Uno de los coeficientes es nulo por ejemplo :  $K = 0$

$Ly^2 = Pz$  que es un cilindro parabólico cuyo plano de simetría es xz, Si  $L > 0$  se abre hacia arriba y si  $L < 0$  se abre hacia abajo

III) Si K y L tienen el mismo signo, se obtiene una superficie que recibe el nombre de Paraboloides Elíptico.

Una de sus ecuaciones en forma canónica es :

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = z$$

Que representa una parábola con vértice en el origen y eje real sobre el eje z. Si K y L  $> 0$  el paraboloides elíptico se abre hacia arriba fig. 2.8 y si K,L  $< 0$  se abre hacia abajo.

IV) Si K y L tienen signo contrario; la superficie que se presenta en este caso se le denomina paraboloides hiperbólico. Tiene por generatriz a una hipérbola que se desplaza paralelamente a sí

misma, apoyándose, en forma no simultanea en dos parabolos directrices.fig. 2.9

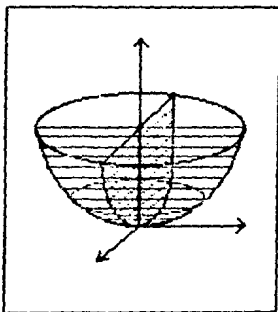


FIGURA 2.8 PARABOLOIDE ELIPTICO

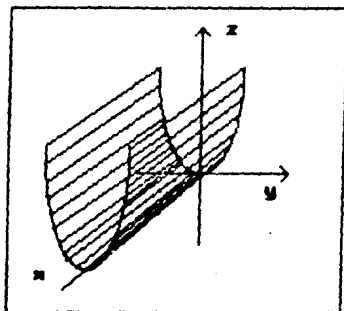


FIGURA 2.9 PARABOLOIDE HIPERBOLICO

## CAPITULO III

### APLICACION DEL METODO A LA GENERACION DE UNA ECUACION DE ESTADO

En el capítulo anterior se presentaron los principios fundamentales en que se basa el método de Generación de Superficies, que ahora serán aplicados junto con los métodos de ajuste para seleccionar las ecuaciones de condición, así como de las regiones en que hay mayor acercamiento a los ajustes. La superficie P V T utilizada para el presente estudio corresponde a los datos experimentales del metano obtenido de la referencia (15). Posteriormente se analizarán otras sustancias puras.

### 3.1 PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACION DEL METODO

Para el análisis de la superficie P V T conviene generar una representación gráfica de ésta a partir sus datos experimentales (apendice A) como se muestra en la figura 3.1, lo que permitirá tener una idea más clara de la geometría que presenta la superficie, así como de los tipos de curvas que servirán como generatrices y directrices.

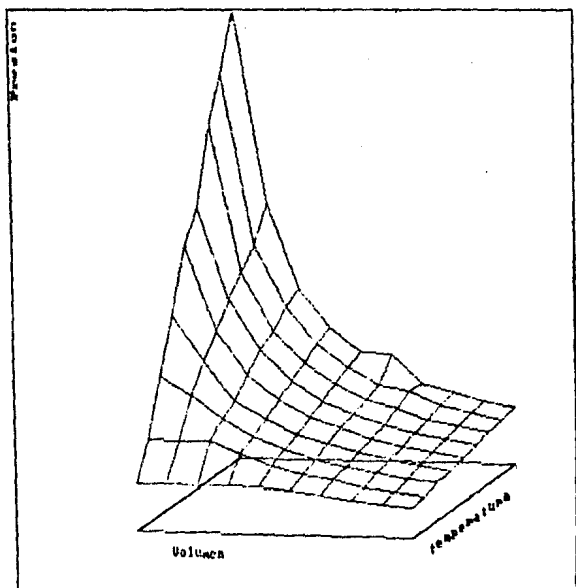


FIG. 3.1 SUPERFICIE PVT PARA EL METANO



La figura 3.1 representa una superficie que puede ser generada de las dos formas siguientes :

A) Considerando a las isotermas como generatrices y a las isobaras extremo como directrices , FIG. 3.2a

B) Considerando a las isobaras como generatrices y a las isotermas extremo como directrices, FIG. 3.2b

En el segundo caso se tiene la facilidad de tener una superficie reglada ( esto es que la superficie sea generada por una recta) Por facilidad se enfocará el desarrollo a este segundo caso.

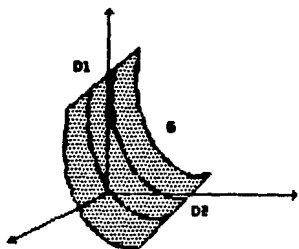


FIG. 3.2a ISOTERMA GENERATRIZ

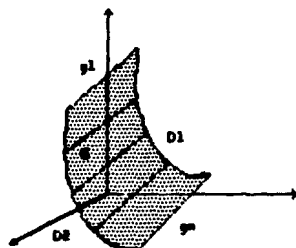


FIG. 3.2b ISOBARA GENERATRIZ

La forma de la ecuación generatriz sera :

$$G \begin{cases} V = f(T) \\ P = \gamma \end{cases}$$

Mientras que las ecuaciones de condición o directrices son :

$$D_1 \begin{cases} V = f(P) \\ T = \text{cte.} \end{cases} \quad D_2 \begin{cases} V = f(P) \\ T = \text{cte.} \end{cases}$$

Estas ecuaciones se determinan en base a las condiciones extremo es decir  $D_1$  con la isoterma menor y  $D_2$  con la isoterma mayor siempre y cuando continuen con la tendencia general de la superficie. La forma de encontrar las condiciones extremo se analizará en el siguiente capítulo .

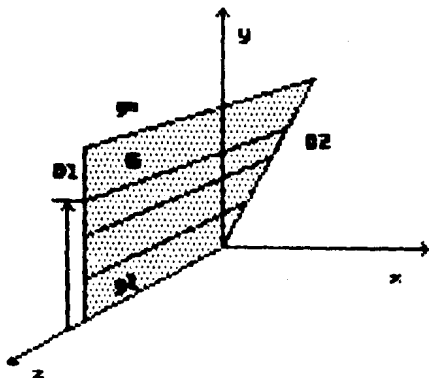


Fig 3.3 PARAMETROS EN UNA SUPERFICIE

Una vez que han sido seleccionadas como directrices  $D_1$  y  $D_2$  las isotermas extremo ,se debe definir un modelo de ajuste para sus ecuaciones correspondientes .En el presente caso se han seleccionado las isotermas como modelo . Conviene analizar algunos conceptos generales sobre el método de mínimos cuadrados.

### 3.1.1 ESTIMACION DE LOS COEFICIENTES DEL MODELO

A continuación se mencionan los tipos de ajuste más comunes así como sus expresiones matemáticas :

- Modelo lineal con dos coeficientes y una variable independiente :

$$Y = \alpha + \beta x$$

- Modelo lineal de 1 variable dependiente y n variables independientes :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

- Las variables independientes no lineales :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2^2 + \dots + \beta_n X_n^n$$

- Lineal en  $\beta$  no lineal en X :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 X_1 X_2$$

- Lineal en X no lineal en  $\beta$  :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \beta_2 X_1 + \beta_1 X_2 + \beta_2 X_3$$

- No lineal en X y  $\beta$  :

$$Y = e^{\beta_1 X_1} + e^{\beta_2 X_2}$$

### 3.1.2 FORMA DE SELECCION DE UNA RELACION FUNCIONAL

Una de las principales dificultades reside en la selección adecuada de un modelo de ajuste por lo cual se analizará la forma de realizar una estimación previa del tipo de ajuste.

Cuando se trata de un modelo donde existen dos variables y entre ellas puede establecerse una relación funcional y además si los datos experimentales representados en una gráfica se aproximan a una línea recta, puede considerarse un modelo lineal del tipo :

$$Y = a + b X$$

pero si dicha gráfica resulta una curva, conviene realizar una transformación de las coordenadas con objeto de obtener una línea recta de la forma :

$$Y = a + b X$$

En donde Y y X son las nuevas coordenadas para la linealización de la curva.

En la tabla 3.1 se muestran algunas de las posibles transformaciones para obtener dicha forma lineal.

EQUACION	COORDENADAS		EQUACION DE LA LINEA RECTA
	X	Y	
$\frac{1}{y} = \alpha + \beta x$	y	$\frac{1}{x}$	$\frac{1}{y} = \alpha + \beta x$
$y = \alpha + \beta \cdot x$	$\frac{1}{x}$	y	$y = \alpha + \beta \cdot x$
$\frac{x}{y} = \alpha + \beta x$	x	$\frac{x}{y}$	$\frac{x}{y} = \alpha + \beta x$
$\frac{1}{y} = \alpha \cdot x + \beta$	$\frac{1}{x}$	$\frac{1}{y}$	$\frac{1}{y} = \beta + \alpha \cdot x$
$y = \frac{x}{\alpha + \beta x} + \gamma$	x	$\frac{x - x_1}{y - y_1}$	$\frac{x - x_1}{y - y_1} = \alpha + \beta x_1 + \frac{\beta}{\alpha} (\alpha + \beta x_1)$
$y = \alpha x^\beta$	LOG X	LOG Y	LOG Y = LOG $\alpha$ + $\beta$ LOG X
$y = \alpha x^\beta + \gamma$	LOG X	LOG (y - $\gamma$ )	LOG (y - $\gamma$ ) = LOG $\alpha$ + $\beta$ LOG X
$y = \alpha \beta^x$	x	LOG y	LOG y = LOG $\alpha$ + x LOG $\beta$

TABLA 3.1 TRANSFORMACIONES A LA FORMA LINEAL

En las transformaciones aparece un error en la estimación de la variable dependiente.

$$Y = y + \epsilon$$

Por lo que después de la transformación deberá considerarse el error  $\epsilon$  en la variable transformada para aumentar la precisión.

Por ejemplo si el modelo es :

$$Y = a X^b$$

La variable dependiente observada será :

$$Y = a X^b + \epsilon$$

### 3.2 METODO DE MINIMOS CUADRADOS

Ya que el objetivo es determinar los coeficientes  $a$  y  $b$  tales que el error en la estimación sea lo menor posible, se podría considerar que :

$$\sum_{i=1}^n e_i = 0$$

Sin embargo esta suma puede hacerse igual o muy cercana a cero para muchas selecciones de líneas inadecuadas ya que los errores positivos y negativos se cancelan de manera que se debe elegir  $a$  y  $b$  de modo que :

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad \text{donde } \hat{Y}_i = a + b X_i \quad \text{y } \hat{Y}_i = Y \text{ estimada}$$
$$\sum_{i=1}^n (Y_i - (a + b X_i))^2 \quad \text{sea mínimo}$$

Lo que equivale a minimizar la suma de los cuadrados de las distancias verticales a partir de los puntos respecto a la recta de regresión ,como se muestra en la fig. 3.4

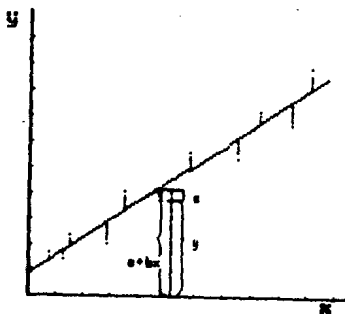


FIG 3.4 CRITERIO PARA EL USO DE MINIMOS CUADRADOS

Una condición necesaria para que exista un mínimo relativo es la anulación de las derivadas parciales del error respecto a  $a$  y  $b$  por lo que se tiene :

$$2 \sum_{i=1}^n (Y_i - (a + b X_i)) (-1) = 0$$

$$2 \sum_{i=1}^n (Y_i - (a + b X_i)) (-X_i) = 0$$

Escribiendo estas dos ecuaciones como :

$$\sum_{i=1}^n Y_i = a n + b \sum_{i=1}^n X_i$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y_i = a \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2$$

A este par de ecuaciones se les denomina ecuaciones normales y con ellas se pueden obtener los valores de  $a$  y  $b$  para el mejor ajuste.

### 3.2.2 TEOREMA GAUSS - MARKOV

Este teorema establece que entre todos los estimadores insesgados de  $\alpha$  y  $\beta$  ( coeficientes reales de regresión ) que son lineales en  $Y_i$ , los estimadores de mínimos cuadrados son los más confiables por hallarse sujetos a variaciones aleatorias pequeñas.

La variancia  $\sigma^2$  suele estimarse en términos de las variaciones verticales de los puntos muestrales a partir de la línea de mínimos cuadrados.

La estimación de tales desviaciones es :

$$Y_i - \hat{Y}_i = Y_i - ( a + b X_i )$$

$$S_e^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n ( Y_i - ( a + b X_i ) )^2$$

A la raíz cuadrada de  $S_e^2$  se denomina error estándar de estimación y la suma de cuadrados dada por  $( n - 2 ) S_e^2$  recibe el nombre de suma de cuadrados residual, o suma de cuadrados error.

Otra forma de estimar  $\sigma^2$  es :

$$S_e^2 = \frac{S_{xx} S_{yy} - (S_{xy})^2}{n(n-2) S_{xx}}$$

En donde :

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left[ \sum_{i=1}^n X_i \right]^2$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left[ \sum_{i=1}^n Y_i \right]^2$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \left[ \sum_{i=1}^n X_i \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i \right]$$

### 3.3 REGRESION CURVILINEA

Cuando las transformaciones a la forma lineal no resultan adecuadas, deberá emplearse las regresiones polinomiales en donde para cada X la media de las Y esta dada por :

$$\beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \dots + \beta_n X^n$$

El ajuste de las curvas polinomiales tambien se utiliza para obtener aproximaciones cuando no se conoce la forma exacta, por lo que una ecuación predictorora será de la forma :

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \dots + \beta_n X^n$$

Dado el conjunto de datos se estiman los coeficientes minimizando:

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - (\beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \dots + \beta_n X^n))^2$$

Derivando parcialmente respecto a cada coeficiente ( $\beta_0, \beta_1, \dots$ , etc) e igualando las derivadas parciales a cero se obtienen n+1 ecuaciones normales se tiene :



$$\begin{array}{r}
 \sum y = nb_0 + b_1 \sum x + \dots + b_n \sum x^n \\
 \sum xy = b_0 \sum x + b_1 \sum x^2 + \dots + b_n \sum x^{n+1} \\
 \vdots \\
 \sum x^n y = b_0 \sum x^n + b_1 \sum x^{n+1} + \dots + b_n \sum x^{2n}
 \end{array}$$

Con estos sistemas de ecuaciones se encuentra una solución única .

Los riesgos inherentes a una extrapolación aumentan en forma considerable cuando se emplean polinomios para aproximar funciones desconocidas. Ya que como siempre es posible hallar un polinomio de grado a lo sumo  $n-1$  que pase a través de cada uno de los  $n$  puntos correspondientes a  $n$  valores distintos de  $x$ , por lo que el objetivo debe ser encontrar un polinomio de grado mínimo y que adecuadamente describa los datos (fig 3.5).

Existe también un método más estricto para determinar el grado del polinomio que se ajusta al conjunto de datos que consiste en ajustar inicialmente una recta, así como un polinomio de segundo grado y probar la hipótesis nula  $\beta_x = 0$  en el caso de que la hipótesis nula sea rechazada entonces se prueba con uno de tercer grado y así se continúa hasta que la hipótesis nula no pueda rechazarse en dos etapas sucesivas .

Para aplicar estas pruebas se requiere de suposiciones de normalidad ,independencia y variancias iguales , ya que nunca deben ser empleadas sin antes examinar el patrón global de los datos.

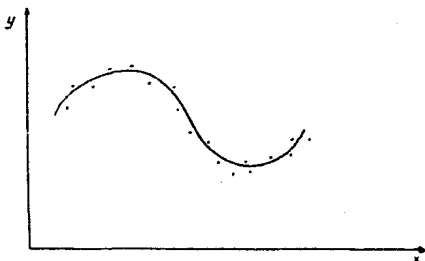


FIG. 3.5 REGRESION POLINOMIAL

### 3.4 REGRESION MULTIPLE

Las curvas obtenidas no sólo se utilizan para hacer predicciones, a menudo se emplean para fines de optimización, es decir, para determinar los valores de la variable independiente de tal manera que esta represente un máximo o un mínimo.

Los métodos estadísticos de predicción y optimización se consideran incluidos bajo el título general de análisis de superficies de respuesta. Existen dos métodos de análisis de superficies de respuesta el de regresión múltiple y los problemas conexos de experimentación factorial.

En el primero de ellos se manejan datos de  $n(r+1)$  coordenadas  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  donde nuevamente se supone que las  $x$  se conocen sin error, mientras que las  $y$  son valores de variables aleatorias.

Como primer punto de la regresión múltiple se abordara el problema en que la ecuación representa una regresión lineal es decir cuando para cualquier conjunto determinado de valores  $X_1, X_2, \dots, X_n$  la media de la distribución de las  $Y$  esta dada por la

expresión :

$$\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n$$

En el caso de dos variables independientes deberá ajustarse un plano a un conjunto de  $n$  puntos con coordenadas  $(x_1, x_2, Y_i)$  como se ilustra en la fig. 3.6 ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ )

Aplicando el método de mínimos cuadrados para obtener estimaciones de los coeficientes  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  se minimizará la suma de cuadrados de las distancias verticales de los puntos al plano. Simbólicamente se minimizará :

$$Y_i - Y_i = \sum_{i=1}^n (Y_i - (\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i}))^2$$

Y las ecuaciones normales para una regresión múltiple con  $r=2$  serán :

$$\begin{aligned} \sum y &= n b_0 + \sum b_1 x_1 + \sum b_2 x_2 \\ \sum x_1 y &= b_0 \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1 x_2 \\ \sum x_2 y &= b_0 \sum x_2 + b_1 \sum x_1 x_2 + b_2 \sum x_2^2 \end{aligned}$$

la notación abreviada denota :

$$\begin{aligned} \sum x_1 &= \sum_{i=1}^n x_{1i} \\ \sum x_1 y &= \sum_{i=1}^n x_{1i} y_i, \quad \text{etc.} \end{aligned}$$

Si se hubiera considerado una ecuación de la forma :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1 x_2 + \beta_4 x_1^2 + \beta_5 x_2^2$$

El método de mínimos cuadrados habría originado un sistema de ecuaciones normales formado por seis ecuaciones simultáneas

lineales y seis incógnitas.

En este método lo más importante es la cuidadosa elección de valores de la variable independiente, ya que esto permitirá mejorar las predicciones. Mediante el análisis de variancia se deben efectuar pruebas relativas a lo significativo de los efectos de ciertas combinaciones de niveles de las variables independientes.

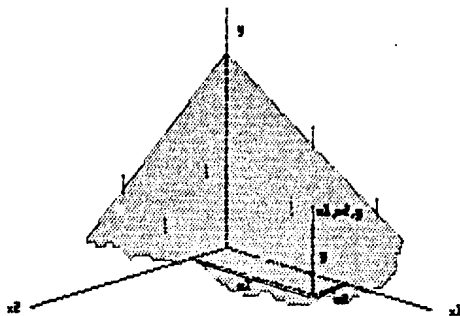


FIG 3.6 PLANO DE REGRESION.

### 3.5 SELECCION DEL MODELO DE AJUSTE PARA LAS ECUACIONES DIRECTRICES DE LA ECUACION DE ESTADO

Ahora se aplicarán los conceptos anteriores para encontrar el modelo de las directrices.

Mediante la fig. 3.1 se puede apreciar que la tendencia que sigue la geometría de las isoterma en la región evaluada es la misma. Por lo que una vez determinado el modelo de ajuste para cualquiera de ellas, este servirá como base para obtener los coeficientes de regresión de cualquier otra isoterma.

En la fig. 3.7 se muestra el tipo de curva que presentan las isoterma en las coordenadas P vs. V.

Para una estimación previa del modelo a partir de la tabla 3.2 se tabulan los datos (tabla 3.3).

M O D E L O	V A L O R   C O N S T A N T E
$n = \alpha + \beta x$	$\Delta Y / \Delta X$
$n = \alpha \beta^x$	$\Delta \text{Log } Y / \Delta X$
$n = \alpha x^\beta$	$\Delta \text{Log } Y / \Delta \text{Log } X$
$n = \alpha + \beta x + \gamma x^2$	$\Delta^2 Y / \Delta X^2$
$n = x / (\alpha + \beta x)$	$\Delta (X / Y)$

TABLA 3.1    MODELOS DE AJUSTE

## ISOTERMA DEL METANO 255 K ( 0°F )

PRESION	VOLUMEN	PRESION	VOLUMEN
15	20.45221	1000	0.2418
25	12.2457	1200	0.1917
50	6.0905	1400	0.1572
75	4.0385	1600	0.1329
100	3.0126	1800	0.1156
150	1.9865	2000	0.1030
200	1.4734	3000	0.0737
300	0.9601	4000	0.0632
400	0.7034	5000	0.0576
500	0.5493	6000	0.0542
600	0.4465	7000	0.0517
700	0.3732	8000	0.0498
800	0.3182		
900	0.2756		

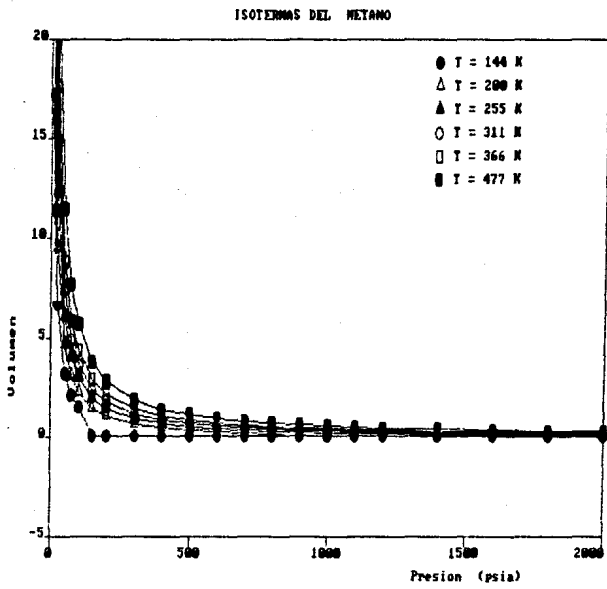
\* P = Lb/in

TABLA 3.3 DATOS EXPERIMENTALES DE LA ISOTERMA  
255.5 K DEL METANO

Para seleccionar el modelo de ajuste de las isotermas que servirán como guías para la superficie generada, se puede elegir cualquiera de ellas, siempre y cuando presente misma tendencia que las otras.

Para el presente desarrollo se analizará la isoterma a 255 K, la cual se encuentra en una región central de la superficie.

En la tabla 3.4 se presentan los valores de las coordenadas de transformación lineal, lo que permite evaluar con que transformación se obtiene un mejor ajuste.



**FIGURA 3.7 ISOTERMAS DEL METANO**

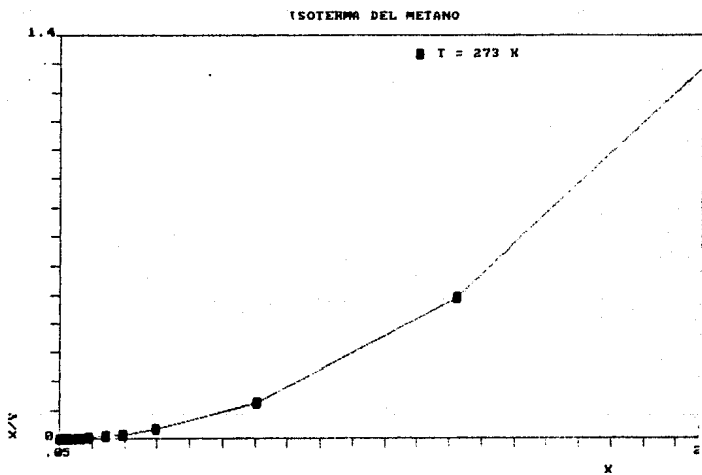
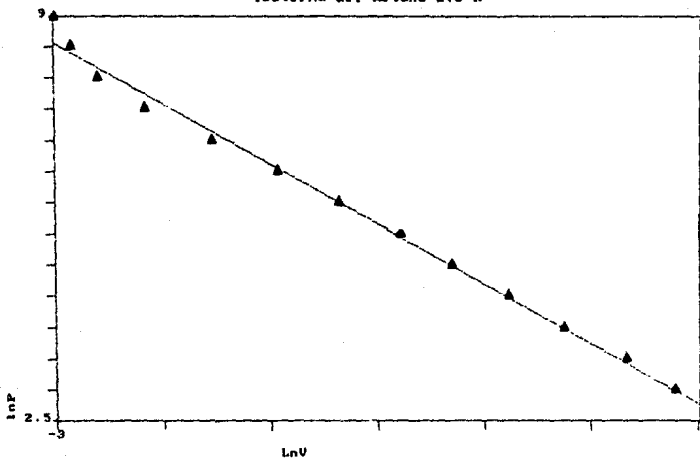


FIG. 3.8 COORDENADAS P/V VS. V



isoterma del metano 273 K



GRAFICA 3.9 ISOTERMA EN COORDENADAS LN V vs. LN P

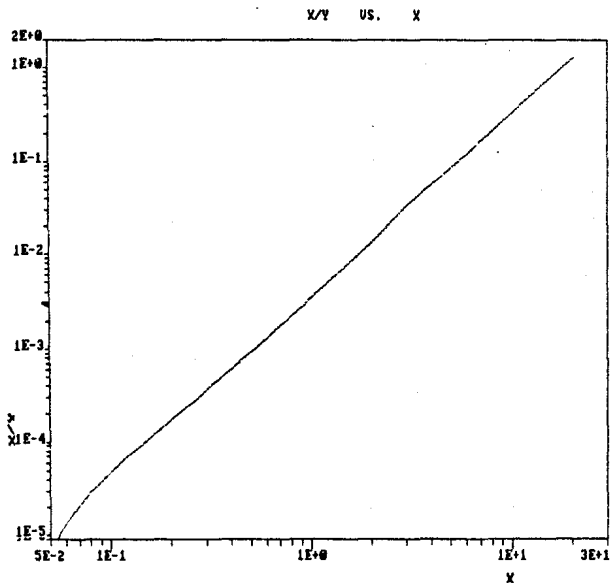
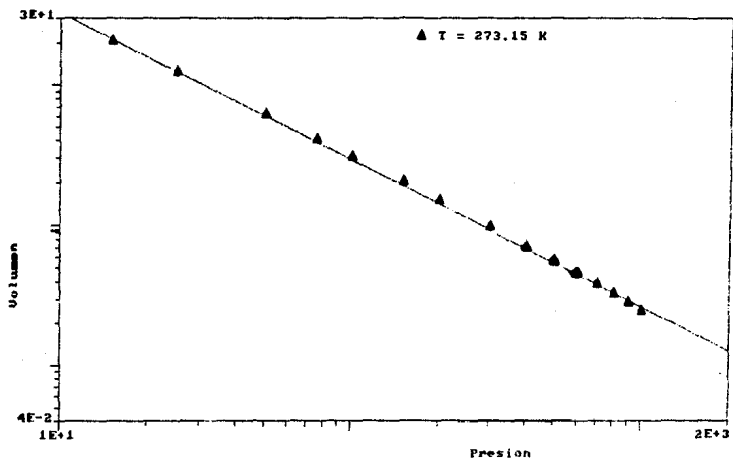


FIG. 9.10 ISOTERMA EN COORDENADAS LN P/V - LN P



GRAFICA 3.11. LOG P vs. LOG V

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para las transformaciones lineales en base a las variancias que presentan.

grafica #	TIPO DE AJUSTE	ABSCISA	ORDENADA	VARIANCIA
3.10	P/V VS P	P	P/V	-----
3.11	LN P - LN V	LN P	LN V	2.2E-2
3.12	LN P/V - LN P	LN P	LN P/V	2.30E-3
3.13	LOG P - LOG V	LOG P	LOG V	4.76E-4

TABLA 3.4

Ahora se grafica la misma isoterma con regresión curvilinea para distintos ordenes ( 2, 3, 4 ).

En la tabla 3.5 ,se puede apreciar el resumen del comportamiento de las regresiones curvilineas, lo siguiente ; A medida que el orden aumenta la variancia disminuye pero , ya que el objetivo es encontrar la expresi3n mas simple y representativa, no es conveniente que se seleccione una ecuaci3n de orden superior porque aumenta el n3mero de par3metros que deber3n encontrarse y adem3s se incrementa en forma considerable la dificultad para que sea usada como gui3a.

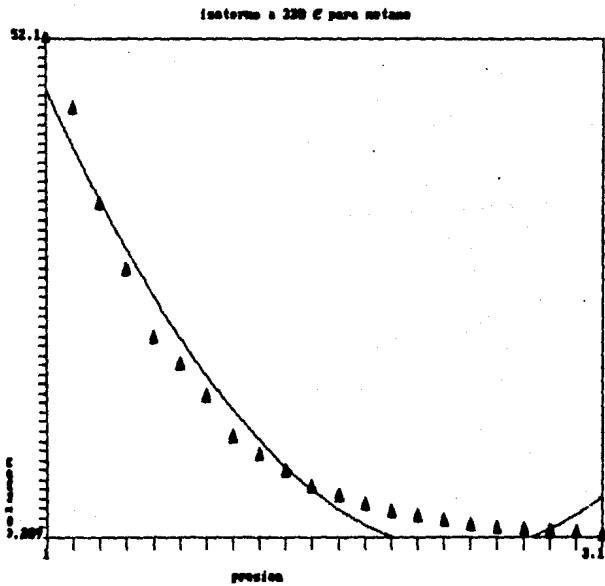


FIG. 9.42 REGRESION CURVILINEA DE 2 ORDEN

isoterma a 320 C para metano

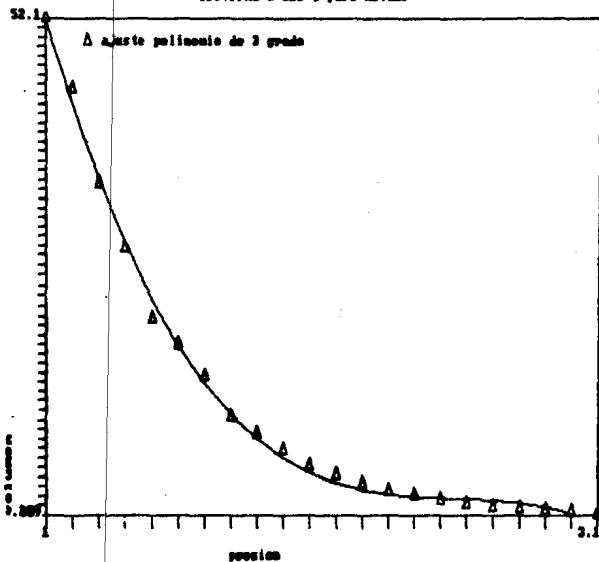


FIG. 9.18 REGRESION CURVILINEA DE 3 ORDEN

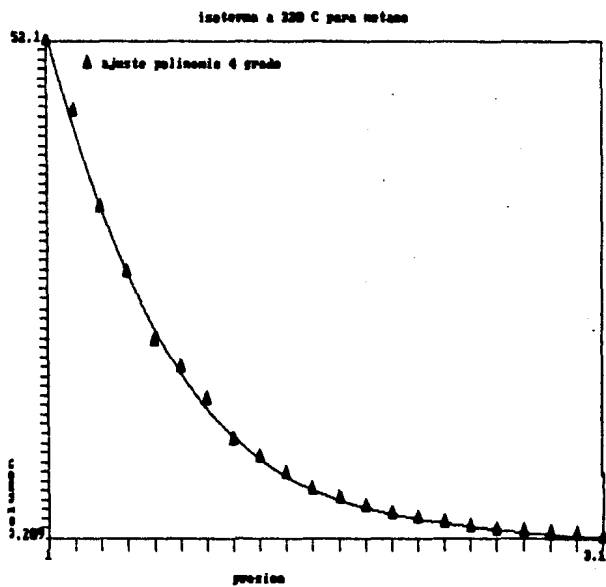


FIG. 3.14 REGRESION CURVILINEA DE 4 ORDEN

Gráfico #	TIPO DE AJUSTE	ECUACION	VARIANCIA
3.12	SEGUNDO ORDEN	$4.47E1 - 1.28E2 - 86X^2$	-7.07
3.13	TERCER ORDEN	$51.9 - 108X - 264.6X^2 - 110X^3$	-0.575
3.14	CUARTO ORDEN	$52.9 - 229.0X - 986.0X^2 - 312X^3 + 66.5X^4$	-0.28

TABLA 3.5 COMPARACION ENTRE REORECCIONES DE DISTINTO ORDEN

En base a las tablas 3.4 y 3.5, el modelo resultante para la ecuación directriz es de la forma:

$$\text{Log } Y = \text{Log } \alpha + \beta \text{ Log } X$$

o bien :

$$Y = \alpha X^\beta$$

Una vez seleccionado el modelo, se determinan los coeficientes  $\alpha$  y  $\beta$  para cada una de las isoterms que se tomen como guías. En este caso son las correspondientes a 255 y 433 K.

Los coeficientes para cada una de las directrices son :

TEMPERATURA	$\alpha$	$\beta$
255.5 K	-0.9394517915	2.415102549
433.3 K	-0.9969967181	2.712311968

En el siguiente capítulo se analizará la forma en que los coeficientes pueden contribuir a mejorar la precisión en la reproducción de la superficie P V T.



### 3.6 ALGORITMO DE LA ECUACION DE ESTADO GENERADA

Las ecuaciones de las guías o directrices son :

$$D_1 \begin{cases} \text{Log } P = -0.9969967181 \text{ Log } V + 2.712311938 \dots (3.10) \\ T = 433.33 \dots (3.11) \end{cases}$$

$$D_2 \begin{cases} \text{Log } P = -0.9394517915 \text{ Log } V + 2.415102549 \dots (3.12) \\ T = 255.55 \dots (3.13) \end{cases}$$

Asignando estos valores a las letras a , a<sub>1</sub>, b, b<sub>1</sub>, r<sub>1</sub>, r<sub>1</sub> se tiene:

$$a = -0.9969967181 \quad b = 2.712311938 \quad r_1 = 433.33$$

$$a_1 = -0.9394517915 \quad b_1 = 2.415102549 \quad r_2 = 255.55$$

Despejando en las ecuaciones 3.10 y 3.12 el volumen V e introduciendo las constantes se obtienen las ecuaciones siguientes:

$$V_1 = ( P / 10^b )^{1/a} \dots (3.13)$$

$$V_2 = ( P / 10^{b_1} )^{1/a_1} \dots (3.14)$$

Como la generatriz es una recta , su ecuacion será :

$$V = \alpha + \beta T \dots (3.15)$$

Sustituyendo 3.13 y 3.14 en ( 3.15 ) se obtienen las siguientes expresiones :

$$( P / 10^b )^{1/a} = \alpha + \beta (r_1) \dots (3.16)$$

$$( P / 10^{b_1} )^{1/a_1} = \alpha + \beta (r_2) \dots (3.17)$$

siendo r<sub>1</sub> y r<sub>2</sub> los valores de T de las directrices

Restando 3.16 a 3.17 se tiene :

$$\begin{aligned} (P / 10^{b_1})^{1/a_1} - (P / 10^b)^{1/a} &= \beta (r_2) - \beta (r_1) \\ (P / 10^{b_1})^{1/a_1} - (P / 10^b)^{1/a} &= \beta (r_2 - r_1) \end{aligned}$$

Si  $r = r_2 - r_1$  y despejando  $\beta$

$$\beta = \frac{(P / 10^{b_1})^{1/a_1} - (P / 10^b)^{1/a}}{r} \dots \dots \dots (3.18)$$

de 3.17 se tiene :

$$a = (P / 10^{b_1})^{1/a_1} - \beta (r_1)$$

Sustituyendo en 3.15 :

$$V = (P / 10^{b_1})^{1/a_1} + \beta (T - r_1)$$

Transformando  $n_1 = 10^{b_1/a_1}$

$$V = (P^{1/a_1} / n_1) + \frac{(P^{1/a_1} / n_1) - (P^{1/a} / n)}{r} (T - r_1) \dots \dots \dots (3.20)$$

Por medio de la ecuación 3.20 se podra determinar el volumen conociendo las constantes para la substancia requerida.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS GENERALIZACION Y CONCLUSIONES**

En el capítulo anterior se mostro la aplicación del método de generación de superficies y el modelo que presenta la ecuación de estado generada a partir de los datos del metano (ap.A) . El presente capítulo esta enfocado al análisis de los resultados de esta ecuación , con el fin de establecer una comparación entre los datos experimentales y los que se han reproducido.

A partir del modelo desarrollado para el metano y con datos para el nitrógeno, etileno y  $\text{CO}_2$ , (ap.B-C-D), en las regiones estudiadas, se tratará de generalizar el modelo , y establecer las ventajas y desventajas del método de generar las ecuaciones de estado.

#### 4.1 ESTIMACION DE LAS CONDICIONES EXTREMO

Si se grafican distintas isoterma en coordenadas P vs. V (fig. 4.1) y posteriormente en coordenadas logarítmicas para lograr su transformación lineal como se muestra en la fig. 4.2; se puede observar que algunas de ellas no presentan la misma tendencia de la geometría establecida , y se alejan de la linealización lograda usando la transformación de coordenadas.

Capítulo IV

Este tipo de líneas no serán de utilidad para poder ser consideradas como guías o condiciones extremo, ya que no se ajustan al tipo de geometría de la superficie que se trata de reproducir, por lo que, eliminando este tipo de isoterma, se tomarán como condiciones extremo a aquellas isoterma con temperatura mínima y máxima que presenten menor variancia en su ajuste lineal y que manteniendo la misma tendencia geométrica que las que quedan comprendidas entre ellas. ( grafica 4.2 ).

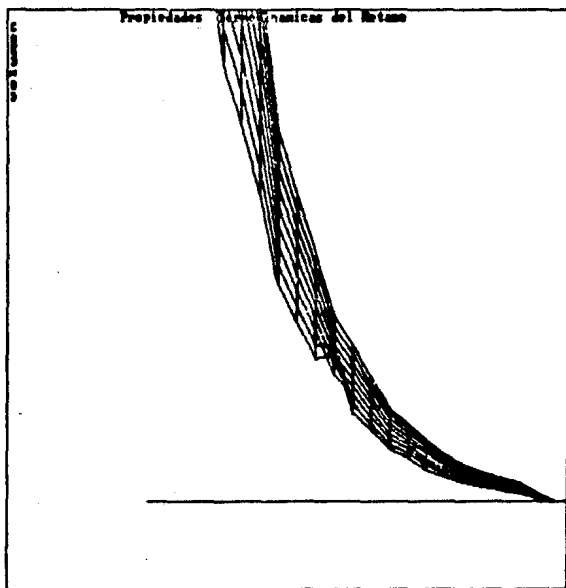


FIG. 4.1 ISOTERMAS PARA EL METANO P VS. V

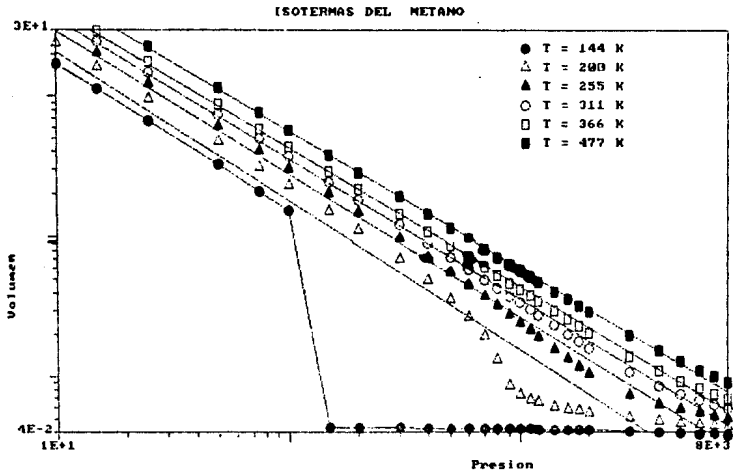


FIG. 4.2 ISOTERMAS PARA EL METANO LOG P VS. LOG V

#### 4.1.1 ANALISIS DE LOS INTERVALOS DE PRESION

Es de suma importancia el no pretender reducir los intervalos estudiados a un valor mínimo, tratando con ello de lograr un mejor ajuste de la transformación lineal, ya que esto podría dar lugar al análisis de una parte de la superficie que probablemente no sea completamente representativa de la geometría ; y una extrapolación de estos intervalos podría resultar completamente absurda, mientras que si las ecuaciones directrices deben ser lo mas representativas posible ,para que permitan extrapolaciones con resultados confiables.

En las gráficas siguientes se puede apreciar como se obtienen mejores valores en los ajustes para intervalos cada vez menores pero al mismo se puede apreciar la forma en que se limita la región en estudio, y el cambio de geometría que puede generar el basarse en una area limitada fig fig.4.3,4.4,4.5,4.6

Observando los intervalos de presiones que se manejan en estas gráficas en la fig. 4.3 de 10 a 8000 psia se presenta una desviación del ajuste lineal , por lo que graficando nuevamente la misma línea con un intervalo de presión hasta 4000 psia en lugar de 8000 se logra disminuir considerablemente las variancias como se muestra en la tabla (4.1) ; si a su vez se decrementa el intervalo de presiones hasta 2000 psia el ajuste sigue mejorando , y así se podra seguir, pero cada vez la representatividad disminuirá ; lo cual se puede observar en las superficies generadas



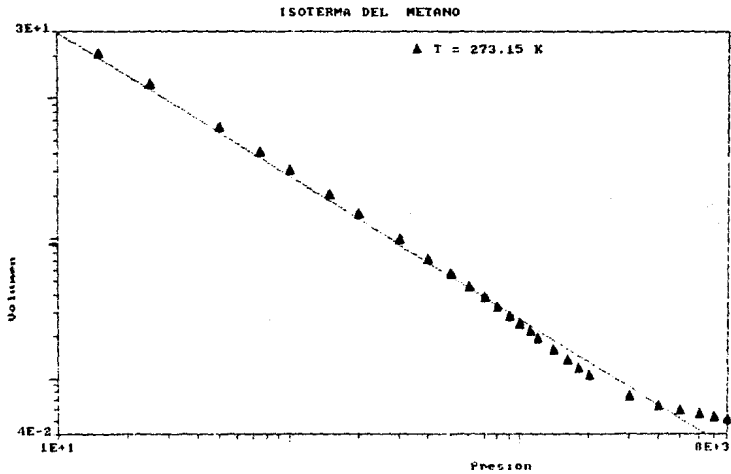


FIG. 4.3 ISOTERMA 273.15 K DEL METANO  
INTERVALO DE PRESION 10 A 8000 PSIA.

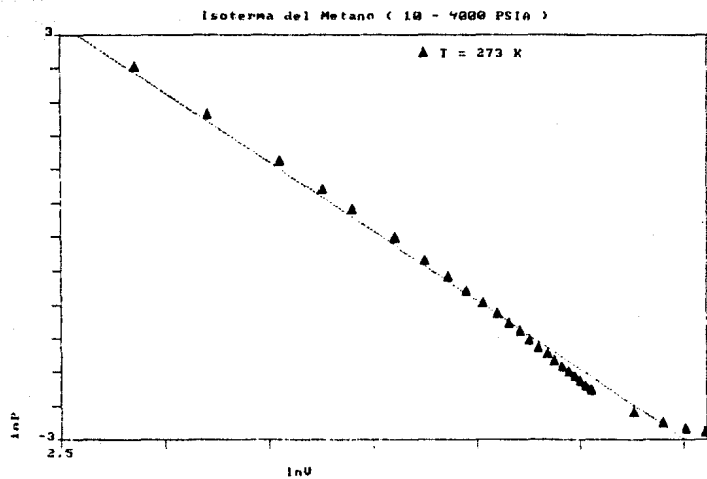


FIG. 4.4 ISOTERMA 273.15 K DEL METANO  
INTERVALO DE PRESION 10 A 4000 PSIA.

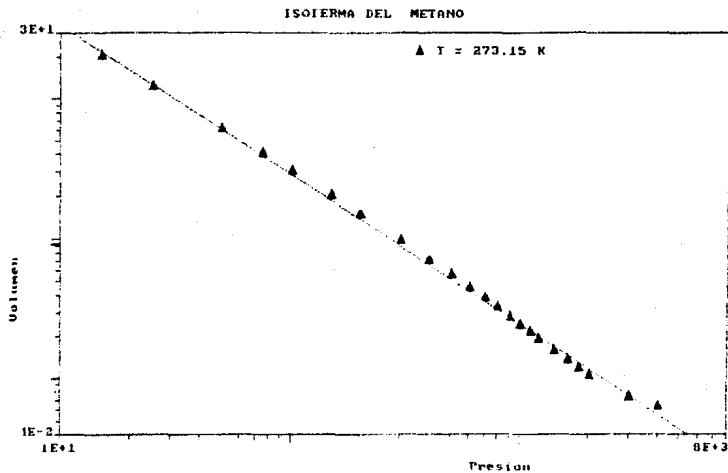


FIG. 4.5 ISOIERMA 273.15 K DEL METANO  
INTERVALO DE PRESION 10 A 2000 PSIA.

Este análisis no solo es aplicable a las isotermas sino que resulta extensible a las isobaras, por lo que, tanto en presión como en temperatura, deberán elegirse condiciones extremas óptimas tales que permitan reproducir volúmenes realmente representativos de la región a la que pertenecen.

isoterma	intervalo de presión (PSIA)	coeficiente de variancia
255.5 K	10 - 8000	4.712E-03
255.5 K	10 - 4000	9.285E-04
255.5 K	10 - 2000	6.436E-04
255.5 K	10 - 1000	2.834E-04

TABLA 4.1

El estimar los coeficientes del modelo de las líneas directrices en la forma más precisa posible, tiene una gran repercusión en la superficie generada ya que, como se ha podido observar en el capítulo anterior, estos coeficientes se convierten en exponentes en las ecuaciones de estado, confiriendo sensibilidad a la ecuación, lo que puede representar un mayor acercamiento a los datos experimentales o por lo contrario se pueden generar datos muy distintos a los esperados, en ciertas regiones.

En los ejemplos posteriores se dará una explicación más amplia en lo que respecta a las condiciones extremo en base a los resultados obtenidos de las ecuaciones.

#### 4.2 GENERALIZACION DE LA ECUACION DESARROLLADA

A partir de los datos experimentales para el metano se desarrollo un algoritmo para la región gaseosa, el cual puede se extrapolado al cálculo de otras sustancias puras como se demuestra a continuación . Si se trabaja con datos experimentales para el nitrógeno, etileno y  $CO_2$  , observando la superficie  $P - V - T$  reproducida para el Nitrógeno a partir de sus datos experimentales (fig.4.7), se puede apreciar la gran similitud que presenta la geometría de esta superficie con la que ha sido previamente desarrollada para el metano (fig.3.1), por lo que , se puede decir que el mismo algoritmo ( ecs.3.30 ) servirá para reproducir los volúmenes del nitrógeno , variando unicamente los parámetros que han sido determinados para el metano , por lo que de acuerdo a la tendencia general de las isothermas y usando la transformación lineal encontrada, se determinan las condiciones extremo.

A continuación se desarrolla el mismo tipo de análisis efectuado a los datos del metano y a su superficie , para cada una de las sustancias seleccionadas , presentandolas por separado.

#### 4.2.1 SUPERFICIE Y ALGORITMO PARA EL NITROGENO

En la gráfica 4.8 se muestra la tendencia de las isothermas del  $N_2$  que como ya se indicó presenta el mismo tipo de geometría que el metano, en la fig. 4.9 se muestra la transformación lineal.

Capítulo IV

La tabla 4.2 resume los resultados de la transformación para cada una de las isotermas, a fin de seleccionar las directrices adecuadas, de acuerdo al modelo de ecuación 3.30 (desarrollado para el metano).

TEMPERATURA		ORDENADA AL ORIGEN	PENDIENTE	VARIANCIA
F	K			
-160	166.6	1.985	-9.839E-1	1.082E-2
-80	211.1	2.087	-9.698E-1	3.562E-3
0	255.5	2.167	-9.632E-1	2.048E-3
80	300.0	2.235	-9.604E-1	1.506E-3
160	344.4	2.296	-9.598E-1	1.226E-3
320	433.3	2.401	-9.611E-1	9.132E-4
400	477.7	2.446	-9.622E-1	8.130E-4
480	522.2	2.487	-9.635E-1	7.241E-4

TABLA 4.2

Como ya se ha mencionado, la selección de las directrices debe ser función simultánea de que la línea presente la tendencia geométrica general y que sus coeficientes de variancia sean adecuados. En base a estos criterios, si consideramos como directrices las isotermas -80 F y 480 F, los parámetros para la ecuación 3.30 serían los siguientes.

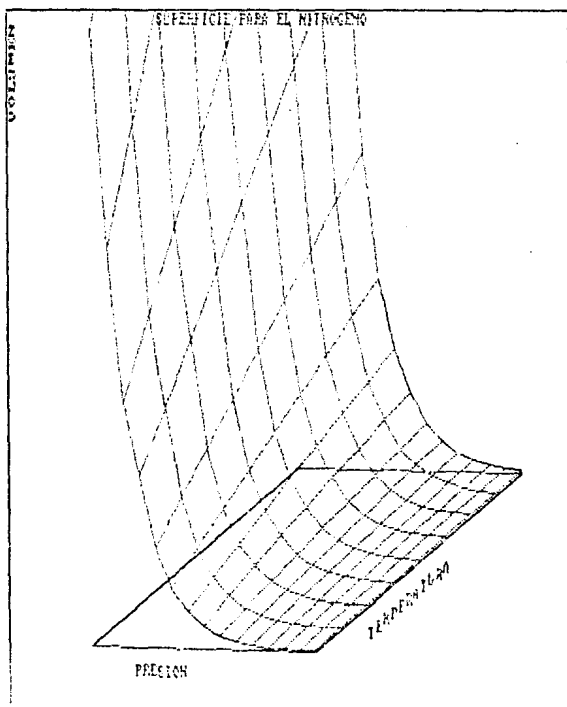


FIG. 4.7 SUPERFICIE PVT DEL NITROGENO A PARTIR DE DATOS EXPERIMENTALES

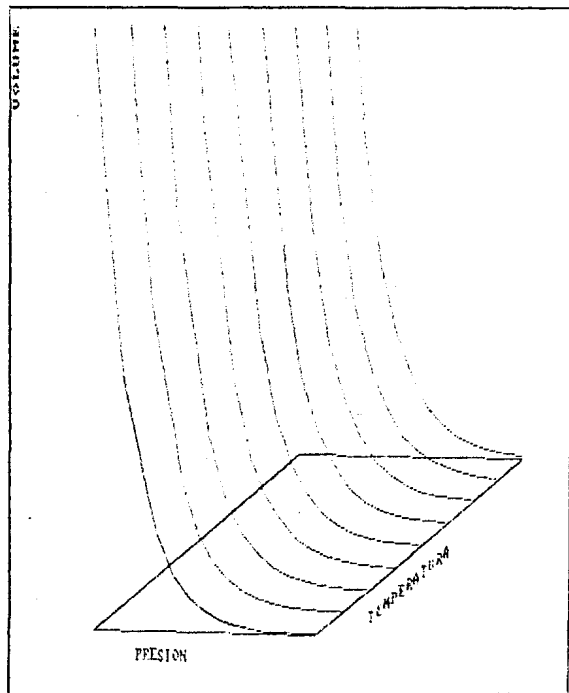


FIG. 4.8 TENDENCIA DE LAS ISOTERMAS DEL NITROGENO



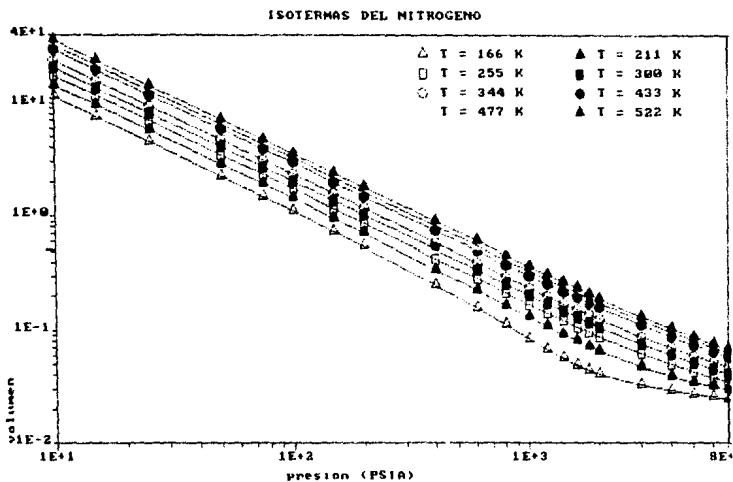


FIG. 4.9 LOG P VS. LOG V NITROGENO

T1 = 211.11	A1 = -0.9698	B1 = 2.087
T2 = 522.2	A2 = -0.9635	B2 = 2.487

TABLA 4.3 CONSTANTES ESTIMADAS PARA EL NITROGENO

Estos valores no son los parámetros definitivos de la ecuación, sólo se está tomando en principio como un estimado de los posibles parámetros, con el objeto de ejemplificar como se introducen los coeficientes de las ecuaciones directrices en el algoritmo de la ecuación de estado.

Con el fin de seleccionar las directrices óptimas que reproduzcan los volúmenes lo mas cercano posible a los datos reales, en la tabla 4.5 se evalúan los volúmenes estimados según los distintos pares de isothermas consideradas como directrices y condiciones extremo que se presentan a continuación (tabla 4.4).

MODELO	V1	V2	V3
T1	211.11	255.55	166.60
T2	522.20	477.77	522.20
A1	-0.9698	-0.9632	-0.9839
A2	-0.9635	-0.9622	-1.9850
B1	2.0870	2.1670	2.4870
B2	2.4870	2.4460	2.4670

TABLA 4.4

PRESIÓN	TEMPERATURA F	NITRÓGENO							
		Vol. Exp.	V <sub>i</sub>	WES <sub>v</sub>	V <sub>i</sub>	WES <sub>v</sub>	V <sub>i</sub>	WES <sub>v</sub>	
10 Lb/in <sup>2</sup>	-90 °F	211.11	14.51517	15.26766	0.05	13.17618	0.05	13.14368	0.05
	0 °F	235.56	17.59954	16.39686	0.07	16.27486	0.07	16.25498	0.06
	90 °F	306.88	26.65646	19.41966	0.06	19.39176	0.06	19.37226	0.06
	160 °F	344.66	33.71396	21.51966	0.05	22.48536	0.05	22.46226	0.05
	240 °F	362.06	36.76196	25.11156	0.04	25.64626	0.04	25.59416	0.04
	320 °F	432.26	29.65296	26.72666	0.04	26.72666	0.04	26.71196	0.04
	400 °F	477.76	34.96966	31.65196	0.03	31.52776	0.03	31.62266	0.03
490 °F	522.26	35.26132	34.54676	0.02	34.54396	0.02	34.54666	0.03	
25 Lb/in <sup>2</sup>	-90 °F	211.11	5.78625	5.13446	0.11	5.06826	0.12	5.16556	0.11
	0 °F	235.56	7.83665	6.32666	0.10	6.26666	0.11	6.32796	0.10
	90 °F	306.88	9.26166	7.52666	0.09	7.45366	0.09	7.5276	0.09
	160 °F	344.66	5.42653	6.71666	0.06	6.66516	0.06	6.75666	0.06
	240 °F	362.06	10.71526	9.51566	0.06	9.56256	0.06	9.51766	0.07
	320 °F	432.26	11.54926	11.16666	0.07	11.06516	0.07	11.11226	0.07
	400 °F	477.76	13.17666	12.26266	0.07	12.26666	0.07	12.26456	0.07
490 °F	522.26	14.29612	13.49666	0.06	13.46126	0.06	13.49666	0.06	
100 Lb/in <sup>2</sup>	-90 °F	211.11	1.43596	1.22666	0.14	1.29756	0.16	1.24566	0.15
	0 °F	235.56	1.75966	1.61966	0.14	1.49666	0.15	1.54666	0.13
	90 °F	306.88	2.06266	1.76116	0.13	1.77466	0.14	1.94566	0.12
	160 °F	344.66	2.37616	2.07466	0.13	2.05766	0.13	2.06266	0.12
	240 °F	362.06	2.66266	2.36266	0.12	2.34666	0.13	2.36316	0.12
	320 °F	432.26	2.95166	2.63666	0.12	2.64366	0.12	2.64666	0.12
	400 °F	477.76	3.29516	2.92666	0.11	2.96766	0.12	2.92266	0.11
490 °F	522.26	3.69766	3.28266	0.11	3.35126	0.12	3.28266	0.11	
400 Lb/in <sup>2</sup>	-90 °F	211.11	0.36656	0.29435	0.16	0.26666	0.19	0.36166	0.15
	0 °F	235.56	0.43216	0.36975	0.17	0.35666	0.18	0.36666	0.15
	90 °F	306.88	0.61636	0.47236	0.17	0.42265	0.18	0.43225	0.16
	160 °F	344.66	0.59475	0.48176	0.17	0.47766	0.18	0.49776	0.16
	240 °F	362.06	0.67416	0.56916	0.17	0.58436	0.18	0.56516	0.16
	320 °F	432.26	0.75256	0.62666	0.17	0.62166	0.17	0.63666	0.17
	400 °F	477.76	0.81126	0.63866	0.17	0.63626	0.17	0.63666	0.17
490 °F	522.26	0.96745	0.75955	0.16	0.75546	0.17	0.75956	0.16	

TABLE 4.5

NITRÓGENO									
PRESIÓN	TEMPERATURA	VL. LIQ.	V1	SGESV	V2	SGESV	V3	SGESV	
	F	F							
1000	LB/IN.								
	-50 °C	211.11	0.13100	0.11442	0.13	0.11970	0.16	0.11600	0.18
	0 °C	255.50	0.17605	0.13996	0.15	0.12550	0.20	0.12110	0.18
	50 °C	300.00	0.24660	0.16559	0.20	0.14200	0.21	0.16415	0.19
	100 °C	344.40	0.24962	0.15114	0.21	0.18100	0.22	0.15170	0.20
	200 °C	388.80	0.27403	0.21602	0.21	0.21300	0.22	0.21635	0.20
	300 °C	433.20	0.30650	0.24230	0.21	0.23800	0.22	0.24300	0.21
	400 °C	477.60	0.32600	0.27300	0.21	0.26500	0.22	0.26330	0.21
450 °C	522.00	0.31975	0.25307	0.21	0.29105	0.21	0.25347	0.21	
1600	LB/IN2								
	-50 °C	211.11	0.05130	0.07042	0.13	0.07390	0.16	0.07290	0.18
	0 °C	255.50	0.07770	0.06013	0.20	0.06300	0.22	0.06100	0.18
	50 °C	300.00	0.13130	0.10162	0.22	0.09365	0.24	0.10062	0.21
	100 °C	344.40	0.15365	0.11740	0.24	0.11070	0.25	0.10980	0.22
	200 °C	388.80	0.17510	0.13214	0.24	0.12720	0.25	0.13470	0.23
	300 °C	433.20	0.19002	0.14662	0.24	0.14100	0.25	0.14950	0.24
	400 °C	477.60	0.21550	0.16445	0.24	0.16200	0.25	0.16465	0.24
450 °C	522.00	0.23600	0.18015	0.24	0.17622	0.24	0.18010	0.24	
3000	LB/IN2								
	-50 °C	211.11	0.04700	0.03500	0.22	0.03500	0.25	0.03037	0.19
	0 °C	255.50	0.06107	0.04470	0.27	0.04302	0.29	0.04025	0.25
	50 °C	300.00	0.07523	0.05214	0.29	0.05107	0.31	0.05422	0.26
	100 °C	344.40	0.09274	0.06127	0.30	0.06100	0.31	0.06214	0.29
	200 °C	388.80	0.09972	0.06500	0.30	0.06502	0.32	0.07000	0.30
	300 °C	433.20	0.11107	0.07390	0.30	0.07507	0.31	0.07790	0.30
	400 °C	477.60	0.12271	0.08500	0.30	0.08015	0.31	0.08390	0.30
450 °C	522.00	0.12600	0.09302	0.30	0.09300	0.31	0.09302	0.30	
6000	LB/IN2								
	-50 °C	211.11	0.01900	0.01004	0.42	0.01724	0.42	0.01852	0.41
	0 °C	255.50	0.02371	0.01190	0.42	0.01125	0.45	0.01270	0.41
	50 °C	300.00	0.04550	0.01594	0.42	0.01521	0.45	0.01650	0.42
	100 °C	344.40	0.05305	0.01805	0.42	0.01825	0.44	0.01915	0.42
	200 °C	388.80	0.05635	0.01900	0.42	0.01925	0.42	0.02020	0.41
	300 °C	433.20	0.06445	0.01770	0.42	0.01725	0.42	0.01800	0.41
	400 °C	477.60	0.06600	0.01700	0.41	0.01625	0.41	0.01610	0.41
450 °C	522.00	0.07511	0.04570	0.40	0.04527	0.41	0.04570	0.40	
TOTAL				0.19227		0.20336		0.18636	

TABLA 4. 5 CONTINUACION

Analizando la tabla 4.3 de acuerdo a los porcentajes de desviación de los volúmenes estimados respecto a los experimentales, se puede apreciar que los valores más cercanos se tienen para las directrices seleccionadas de 166.6 K (-160 F) y 522.2 K (480 F) resultando como coeficientes para la ecuación del nitrógeno los siguientes valores :

T1 = 166.6	A1 = -0.9839	B1 = 1.985
T2 = 522.2	A2 = -0.9635	B2 = 2.487

TABLA 4.6 CONSTANTES PARA LA ECUACION DEL NITROGENO

Tomando de la tabla 4.5 los volúmenes estimados para el nitrógeno con estas constantes se genera la superficie PVT que se muestra en la fig. 4.10.

Mediante este tipo de análisis se puede apreciar la importancia de la selección de las directrices, ya que con ello los volúmenes estimados en general, pueden mejorar o empeorar notablemente.

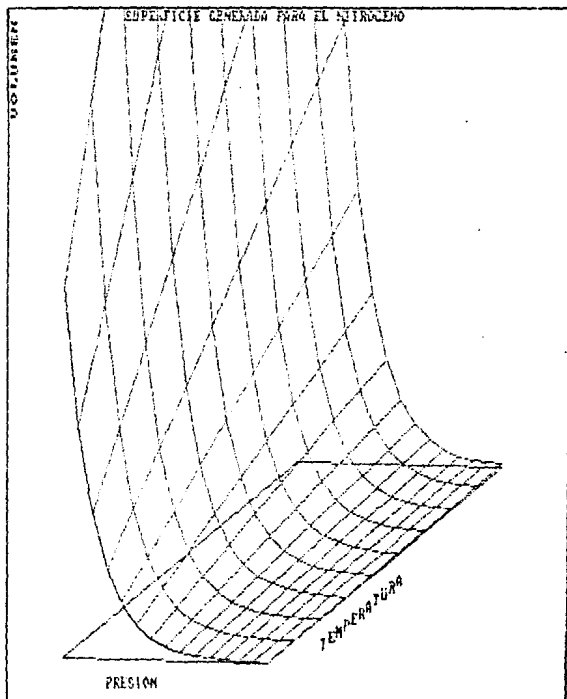


FIG. 4.10 SUPERFICIE GENERALA PARA EL NITROGENO

4.2.2 SUPERFICIE Y ALGORITMO PARA EL ETILENO

Ahora se aplica el mismo procedimiento para los datos del etileno. En la gráfica 4.11 se muestra la superficie PVT generada a partir de los datos experimentales del etileno ( AP.C)

Dicha superficie es estudiada usando el mismo algoritmo que en las sustancias anteriores . En la grafica 4.12 se muestran los ajustes de las isothermas de acuerdo a la transformación logarítmica.

Los coeficientes encontrados para dicha linealización son los siguientes :

TEMPERATURA K	ORDENADA AL ORIGEN	PENDIENTE	VARIANCIA
373	2.367	-1.059E-0	2.218E-2
473	2.419	-1.027E-0	5.116E-3
573	2.461	-1.009E-0	1.976E-3
673	2.500	-9.977E-1	1.122E-3
773	2.534	-9.895E-1	8.393E-4

TABLA 4.7

De acuerdo a estos valores y seleccionando aquellos pares de directrices que presentan los menores porcentajes totales de desviación en volumen se presenta la tabla (4.9) de acuerdo a las siguientes combinaciones( tabla 4.8 )

MODELO	V1	V2	V3
T 1	366.6	422.2	477.7
T 2	533.3	533.3	533.3
A 1	-1.071	-1.038	-1.021
A 2	-1.010	-1.010	-1.010
B 1	2.319	2.324	2.351
B 2	2.381	2.381	2.381

TABLA 4.8

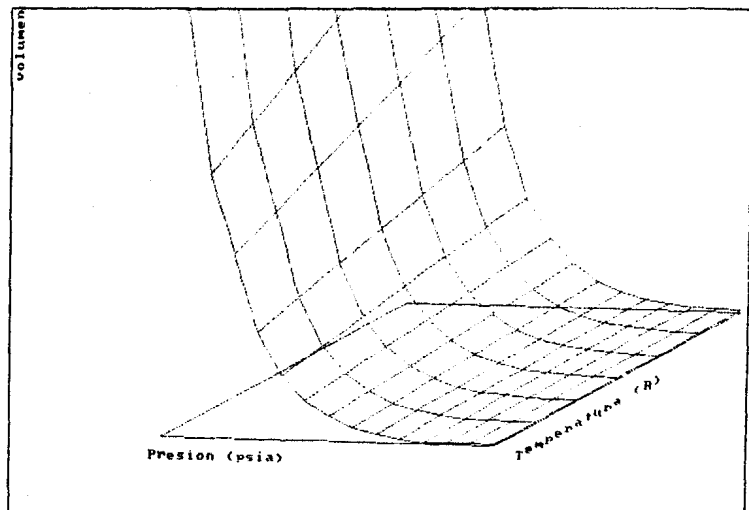


FIG. 4.11 SUPERFICIE EXPERIMENTAL PARA EL ETILENO



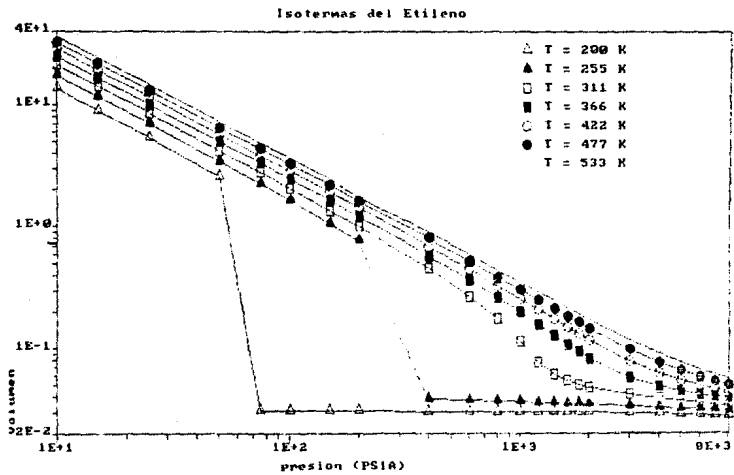


FIG. 4.12 ISOTERMAS DEL ETILENO

PRES(A)	TEMPERATURA		ETILENO						
	F	K	VALEF	VI	WESV	VZ	WESV	V3	WESV
10 LB/IN <sup>2</sup>	100 ps	311.11	21.3344	15.51636	0.05	20.2718e	0.05	20.2718e	0.37
	200 ps	306.67	25.17525	23.5199e	0.07	24.0619e	0.04	24.0619e	0.34
	300 ps	422.22	29.07969	27.5137e	0.05	27.0516e	0.04	27.0516e	0.52
	400 ps	477.76	31.05509	31.50630e	0.04	31.0540e	0.04	31.0540e	0.52
	500 ps	532.22	30.07511	38.50405	0.05	38.50405	0.02	38.50405	0.13
25 LB/IN <sup>2</sup>	100 ps	311.11	6.40976	6.21571	0.05	6.40976	0.00	6.40976	0.00
	200 ps	306.67	10.04474	9.67858	0.04	9.99779	0.02	9.99779	0.01
	300 ps	422.22	11.50537	11.14140	0.04	11.20737	0.05	11.20737	0.01
	400 ps	477.76	13.12624	12.6414e	0.04	12.49453	0.04	12.49453	0.04
	500 ps	532.22	14.66335	14.0041e	0.04	14.0041e	0.04	14.0041e	0.04
100 LB/IN <sup>2</sup>	100 ps	311.11	2.06536	2.21291	(0.07)	2.2562e	(0.09)	2.2562e	(0.09)
	200 ps	306.67	2.4712e	2.53929	(0.01)	2.5521e	(0.04)	2.5509e	(0.03)
	300 ps	422.22	2.86961	2.84114	0.01	2.8647e	0.00	2.877e	0.00
	400 ps	477.76	3.26120	3.15114	0.02	3.16245	0.03	3.1700e	0.03
	500 ps	532.22	3.65999	3.4647e	0.05	3.4647e	0.05	3.5040e	0.02
150 LB/IN <sup>2</sup>	100 ps	311.11	1.35977	1.51517	(0.12)	1.55154	(0.13)	1.4210e	(0.06)
	200 ps	306.67	1.63965	1.70929	(0.05)	1.71214	(0.06)	1.7200e	(0.06)
	300 ps	422.22	1.95972	1.9077e	(0.00)	1.91065	(0.01)	1.9100e	(0.01)
	400 ps	477.76	2.16496	2.10111	0.02	2.10779	0.01	2.1077e	0.01
	500 ps	532.22	2.4170e	2.29680	0.05	2.29680	0.05	2.3520e	0.03
500 LB/IN <sup>2</sup>	100 ps	311.11	0.34225	0.40547	(0.42)	0.4040e	(0.41)	0.4040e	0.72
	200 ps	306.67	0.43959	0.53441	(0.19)	0.5336e	(0.18)	0.5340e	0.81
	300 ps	422.22	0.54290	0.60530	(0.07)	0.60257	(0.07)	0.60530e	0.91
	400 ps	477.76	0.61185	0.62225	(0.00)	0.61004	(0.00)	0.60530e	0.00
	500 ps	532.22	0.71515	0.66120	0.05	0.66120	0.05	0.6200e	0.12

TABLE 4. P

ESTRUCO									
PRESION	F	x	VA. EF.	VI	MGSDV	Vz	MGSDV	V3	MGSDV
1000 LB/IN2	100 wt	3.1 11	0 11119	0 29229	11 23	0 24970	11 21	0 14200	(0 25)
	200 wt	366 67	0 13799	0 27376	(0 26)	0 27112	(0 27)	0 21154	(0 07)
	300 wt	422 22	0 22543	0 29620	(0 16)	0 29295	(0 15)	0 26590	(0 04)
	400 wt	477 76	0 30447	0 31964	(0 04)	0 31690	(0 04)	0 31599	(0 04)
	500 wt	533 33	0 38311	0 34011	0 03	0 33811	0 03	0 34120	0 03
1500 LB/IN2	100 wt	3.1 11	0 05728	0 17304	(2 01)	0 16938	(1 56)	0 03555	0 55
	200 wt	366 67	0 11860	0 18514	(0 50)	0 18115	(0 57)	0 04630	0 60
	300 wt	422 22	0 16110	0 19625	(0 23)	0 19352	(0 22)	0 13115	0 17
	400 wt	477 76	0 19765	0 21135	(0 07)	0 21062	0 07	0 21062	(0 07)
	500 wt	533 33	0 23954	0 22443	0 03	0 22443	0 03	0 22443	0 03
2000 LB/IN2	100 wt	3.1 11	0 04773	0 13112	(1 75)	0 12959	(1 69)	0 04106	0 12
	200 wt	366 67	0 06214	0 14476	(0 71)	0 12934	(0 66)	0 05600	0 29
	300 wt	422 22	0 11686	0 14967	(0 26)	0 14651	(0 27)	0 12840	(0 16)
	400 wt	477 76	0 14912	0 15863	(0 05)	0 15600	(0 06)	0 14600	(0 01)
	500 wt	533 33	0 17214	0 16761	0 03	0 16761	0 03	0 15660	0 09
4000 LB/IN2	100 wt	3.1 11	0 03957	0 06214	(1 75)	0 06220	(0 70)	0 04650	(0 19)
	200 wt	366 67	0 04921	0 07151	(0 46)	0 07047	(0 45)	0 06620	(0 36)
	300 wt	422 22	0 06004	0 07572	(0 26)	0 07475	(0 25)	0 07007	(0 17)
	400 wt	477 76	0 07715	0 07950	(0 03)	0 07901	(0 02)	0 07475	0 03
	500 wt	533 33	0 09068	0 08329	0 00	0 08329	0 00	0 08329	0 00
6000 LB/IN2	100 wt	3.1 11	0 03600	0 04646	(0 29)	0 04486	(0 24)	0 04226	(0 17)
	200 wt	366 67	0 04211	0 04987	(0 16)	0 04746	(0 13)	0 04311	(0 02)
	300 wt	422 22	0 04927	0 05000	(0 05)	0 05000	(0 04)	0 04746	0 01
	400 wt	477 76	0 05000	0 05300	0 10	0 05156	0 10	0 05000	0 10
	500 wt	533 33	0 05753	0 05729	0 15	0 05529	0 10	0 06091	(0 02)
					-0 16666			-0 18297	0 45105

TABLA 4.9 CONTINUACION

Como se puede observar, la combinación de directrices que permite mayor acercamiento a los datos experimentales es la siguiente:

T1 = 422.2	A1 = -1.038	B1 = 2.324
T2 = 533.3	A2 = -1.010	B2 = 2.381

TABLA 4.10

Empleando los valores obtenidos para el volumen de acuerdo a estas constantes se genera la curva PVT (fig. 4.13), la cual se puede comparar con la experimental ( fig.4.11 ) con lo que se puede apreciar en forma gráfica la gran similitud entre ambas.

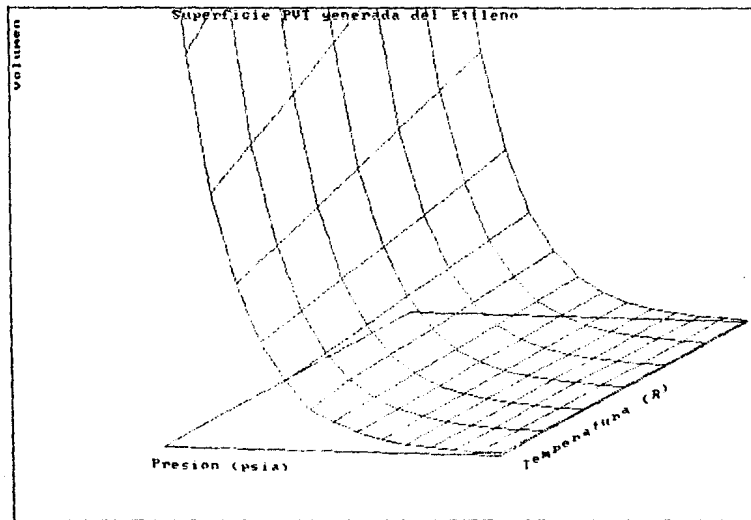


FIG. 4.13 SUPERFICIE GENERADA PARA EL ETILENO

4.2.3 SUPERFICIE Y ALGORITMO PARA EL CO<sub>2</sub>

En base a la misma secuencia de cálculo y estimación de resultados que ha sido utilizada para el Metano, Nitrógeno y Etileno se estudia el CO<sub>2</sub>.

En la fig. 4.14 se muestra la superficie PVT de datos experimentales y en la figura 4.15 la transformación de las isothermas a la forma lineal empleando las coordenadas LOG-LOG, la tabla 4.9 se indican los coeficientes obtenidos para cada una de ellas.

TEMPERATURA K	ORDENADA AL ORIGEN	PENDIENTE	VARIANCIA
273	2.057	-1.139E-0	1.445E-1
373	2.292	-1.126E-0	2.882E-2
473	2.313	-1.071E-0	2.591E-3
573	2.324	-1.038E-0	6.037E-4
673	2.351	-1.021E-0	2.692E-3
773	2.381	-1.010E-0	8.393E-4

TABLA 4.11

En la tabla 4.13 se presentan los valores de volúmenes estimados según las distintas combinaciones de isothermas (tabla 4.12) como directrices comparando dichos volúmenes respecto a los experimentales, para evaluar el caso con menores desviaciones.

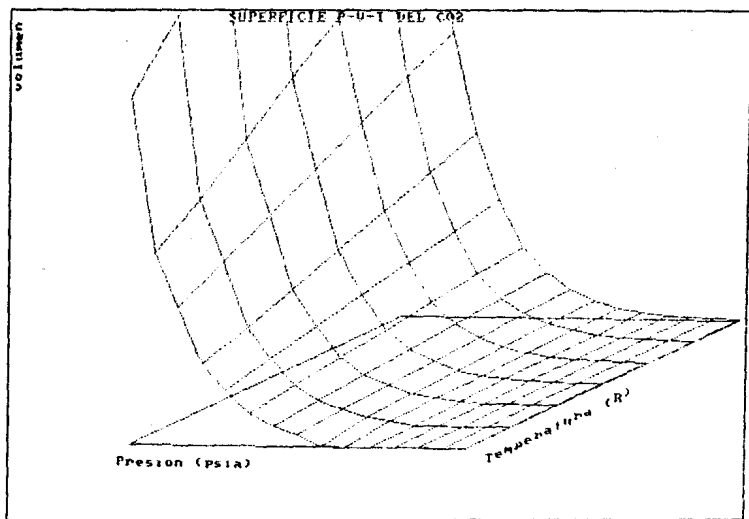


FIG. 4.14 SUPERFICIE EXPERIMENTAL DEL CO2

MODELO	V1	V2	V3
T1	311.1	422.2	366.6
T2	533.3	533.3	533.3
A1	-1.393	-1.037	-1.067
A2	-1.010	-1.010	-1.010
B1	2.724	2.326	2.309
B2	2.382	2.382	2.382

TABLA 4.12

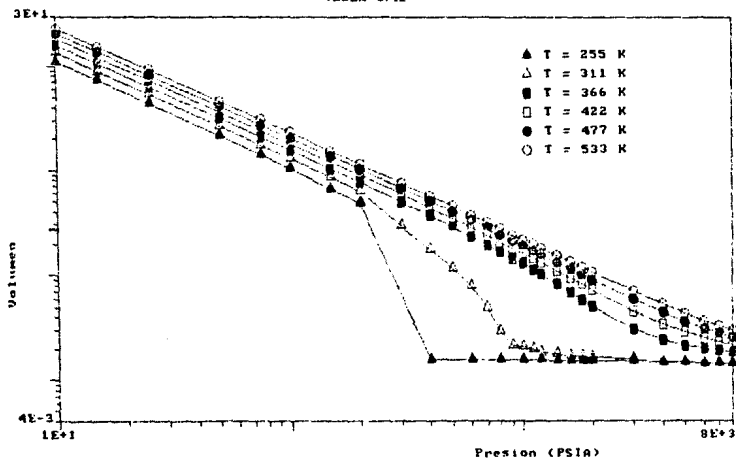


FIG 4.15 ISOTERMAS DEL CO2



CO2									
PRESION	TEMPERATURA	VA. EF.	VI	KG2-	VC	KG2-	VS	KG2-	
	F								
10 LB/IN <sup>2</sup>	0 °F	211.11	11.4470	11.32676	10.921	11.8226	10.961	7.95561	0.17
	50 °F	259.67	11.1146	11.30268	0.96	11.8974	0.91	8.27161	0.20
	100 °F	308.33	10.8778	11.28003	0.11	12.0270	0.06	10.5039	0.24
	150 °F	357.00	10.7304	11.26040	0.15	12.2120	0.11	11.90910	0.28
	200 °F	405.67	10.6675	11.24320	0.19	12.4560	0.17	13.21560	0.31
	250 °F	454.33	10.6406	11.22810	0.21	12.7480	0.20	14.50110	0.34
25 LB/IN <sup>2</sup>	0 °F	211.11	4.4170	5.20676	10.261	5.25610	10.121	1.55561	0.15
	50 °F	259.67	5.21701	5.04398	10.061	5.01260	10.001	4.05261	0.17
	100 °F	308.33	6.01502	5.53510	0.00	5.00010	0.01	4.55100	0.24
	150 °F	357.00	6.79057	6.24660	0.07	5.24010	0.07	5.00010	0.28
	200 °F	405.67	7.56413	6.76270	0.12	6.00110	0.12	5.50010	0.31
	250 °F	454.33	8.33568	7.07300	0.16	7.00010	0.16	6.00010	0.34
100 LB/IN <sup>2</sup>	0 °F	211.11	1.05146	1.65668	10.571	1.52510	10.451	1.07561	10.01
	50 °F	259.67	1.20661	1.71568	10.351	1.53010	10.231	1.12610	0.06
	100 °F	308.33	1.47697	1.77630	10.201	1.57010	10.131	1.20010	0.10
	150 °F	357.00	1.69007	1.83710	10.091	1.74010	10.041	1.31410	0.13
	200 °F	405.67	1.86175	1.90110	10.011	1.80010	0.00	1.52010	0.19
	250 °F	454.33	2.00117	1.96720	0.06	1.85010	0.03	1.63660	0.25
150 LB/IN <sup>2</sup>	0 °F	211.11	0.8790	1.17110	10.731	1.05910	10.571	0.75770	10.11
	50 °F	259.67	0.92225	1.2070	10.461	1.10910	10.301	0.82570	10.001
	100 °F	308.33	0.97209	1.24660	10.251	1.13010	10.161	0.9010	0.07
	150 °F	357.00	1.10111	1.29010	10.151	1.19710	10.051	0.9750	0.12
	200 °F	405.67	1.2439	1.33660	10.081	1.24010	0.00	1.0450	0.16
	250 °F	454.33	1.30240	1.38560	0.01	1.28960	0.07	1.11760	0.19
	300 °F	487.70	1.3556	1.43660	0.01	1.33810	0.12	1.19060	0.22

TABLA 4. 19

PRESION	TEMPERATURA		GAS							
	F	K	VA. ESP.	V.	MOLES	V2	MOLES	V3	MOLES	
400	LD/100	0 00	211.14	0.4572	0.5070	11.36	0.4370	126.02	0.3220	119.53
		90 00	255.50	0.4774	0.5160	11.60	0.4410	126.61	0.3240	119.25
		180 00	299.86	0.4820	0.5180	11.62	0.4420	126.63	0.3240	119.05
		270 00	344.22	0.4830	0.5180	11.62	0.4420	126.63	0.3240	119.01
		360 00	388.58	0.4830	0.5180	11.62	0.4420	126.63	0.3240	119.00
		450 00	432.94	0.4830	0.5180	11.62	0.4420	126.63	0.3240	119.00
1000	LD/100	0 00	211.14	0.4554	0.5058	11.36	0.4360	126.02	0.3220	119.54
		90 00	255.50	0.4756	0.5148	11.60	0.4400	126.61	0.3240	119.24
		180 00	299.86	0.4802	0.5168	11.62	0.4410	126.63	0.3240	119.04
		270 00	344.22	0.4812	0.5168	11.62	0.4410	126.63	0.3240	119.00
		360 00	388.58	0.4812	0.5168	11.62	0.4410	126.63	0.3240	119.00
		450 00	432.94	0.4812	0.5168	11.62	0.4410	126.63	0.3240	119.00
1600	LD/100	0 00	211.14	0.4530	0.5030	11.36	0.4340	126.02	0.3200	119.27
		90 00	255.50	0.4732	0.5120	11.60	0.4380	126.61	0.3220	118.97
		180 00	299.86	0.4778	0.5140	11.62	0.4390	126.63	0.3220	118.73
		270 00	344.22	0.4788	0.5140	11.62	0.4390	126.63	0.3220	118.69
		360 00	388.58	0.4788	0.5140	11.62	0.4390	126.63	0.3220	118.69
		450 00	432.94	0.4788	0.5140	11.62	0.4390	126.63	0.3220	118.69
5000	LD/100	0 00	211.14	0.4474	0.4970	11.36	0.4280	126.02	0.3170	119.41
		90 00	255.50	0.4676	0.5060	11.60	0.4320	126.61	0.3190	119.11
		180 00	299.86	0.4722	0.5080	11.62	0.4330	126.63	0.3190	118.87
		270 00	344.22	0.4732	0.5080	11.62	0.4330	126.63	0.3190	118.83
		360 00	388.58	0.4732	0.5080	11.62	0.4330	126.63	0.3190	118.83
		450 00	432.94	0.4732	0.5080	11.62	0.4330	126.63	0.3190	118.83
TOTAL						-1.6307		-1.2511		-0.8036

TABLA 4. 13 CONTINUACION

Capítulo IV

Las mejores estimaciones según este análisis tienen lugar con los parámetros indicados en la tabla 4.14, mediante los cuales se generó la superficie PVT (fig.4.16).

T1 = 366.6	A1 = -1.067	B1 = 2.309
T2 = 533.3	A2 = -1.010	B2 = 2.382

TABLA 4.14 CONSTANTES PARA EL CO<sub>2</sub>

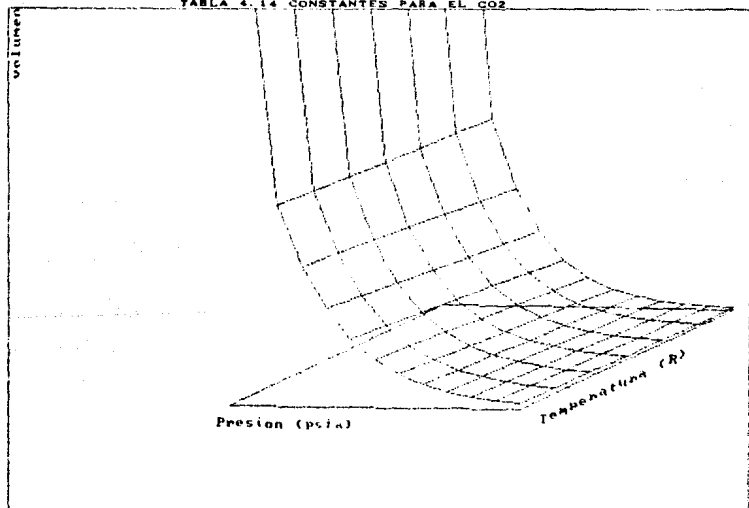


FIG 4.16 SUPERFICIE GENERADA PARA EL CO<sub>2</sub>

## CONCLUSIONES

La ecuación desarrollada por el método de Generación de Superficies , presenta una forma explícita para el volumen , involucrando coeficientes propios para cada sustancia los cuales estan en función de los intervalos de presión y temperatura de la región de la superficie en estudio .

Ya que la mayor parte de los gases presenta el mismo tipo de geometría en su superficie , el algoritmo planteado tiene la ventaja de generalizarse para sustancias con distintos comportamientos termodinámicos , lo cual se pudo apreciar con desarrollo del algoritmo para el CO<sub>2</sub> ( sustancia polar ) en la cual se obtuvieron predicciones satisfactorias.

Cuando se utiliza como directriz una isoterma cercana a la temperatura crítica , se pueden observar desviaciones en la predicción por lo que no es aconsejable su uso.

Por otra parte , se puede conferir mayor exactitud en la predicción de los volúmenes si se limitan los intervalos de aplicación de las ecuaciones directrices, ya que una vez evaluados pequeños intervalos de la superficie se puede proceder a una integración de los mismos para obtener una representación global de la región.

Para evaluar cualquier otra región de la superficie PVT se debe aplicar la misma secuencia de cálculo que se ha presentado , identificando en ella los nuevos parámetros ( directrices , generatriz e intervalos ). En general cualquier región puede ser reproducida siempre y cuando se tenga un conocimiento completo de su geometría.

El método que se ha utilizado para generar la superficie no es el único , como se mencionó en el capítulo III ,existen algunos otros tales como la regresión polinomial o los métodos diferenciales los cuales pueden ser aplicados para el mismo efecto ,variando unicamente la secuencia de cálculo del algoritmo.

Ya que el cálculo de propiedades termofísicas resulta esencial para el diseño , operación y optimización de procesos químicos , es muy importante que los paquetes termodinámicos puedan ser accedados en forma sistemática y sencilla , por lo que a continuación se incluye un diagrama de bloques para la incorporación del desarrollo de algoritmos a un sistema de computo fig c.1.

Por último , el presente estudio puede hacerse extensible a mezclas , ya que el método de desarrollo de las ecuaciones de estado parte de la Generación de una superficie , que y en el caso de las mezclas se puede hablar de una superficie Temperatura , Presión , composición como lo muestran los siguientes diagramas , aplicando el mismo criterio de selección de parámetros , lo cual se deja para estudios posteriores (diagrama de bloques c.2).

DIAGRAMA DE BLOQUES PARA EL DESARROLLO DE ECUACIONES DE ESTADO  
EMPLEANDO EL METODO DE GENERACION DE SUPERFICIES

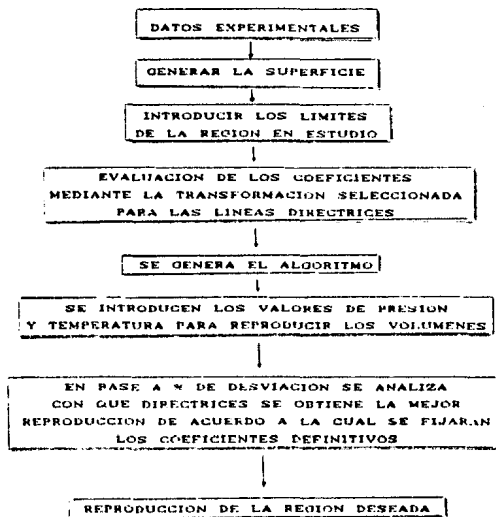
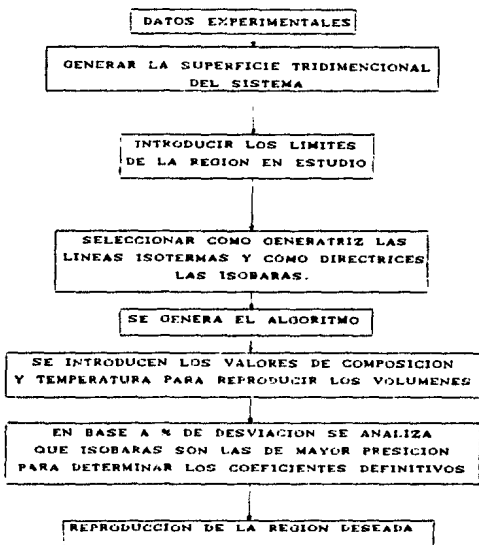
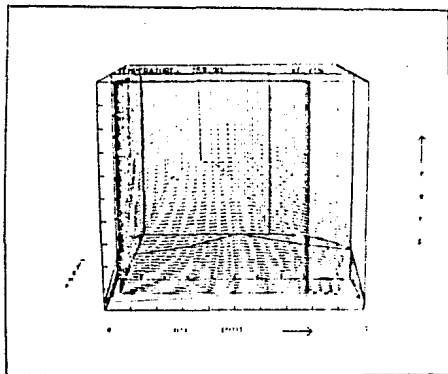


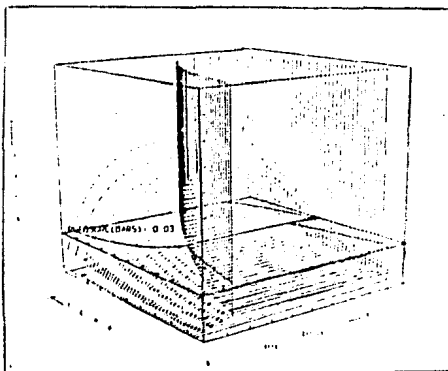
DIAGRAMA DE BLOQUES PARA EL DESARROLLO DE ECUACIONES DE ESTADO  
PARA SISTEMAS DE MEZCLAS



SISTEMA CDFI2 (1) FENTANO (2)



SISTEMA METANO (1) CF4 (2)



DIAGRAMAS TRIDIMENSIONALES PARA MEZCLAS



Si analizamos los datos obtenidos mediante la ecuación desarrollada por el método de generación de superficies, respecto a ecuaciones cúbicas de estado se aprecia que a presiones superiores a 150 psia las ecuaciones cúbicas presentan una desviación considerable respecto a los datos experimentales, mientras que la ecuación desarrollada reproduce las regiones a elevadas presiones con considerable exactitud ya que la geometría en esta parte de la superficie presenta inflexiones mínimas.

Los datos fueron analizados mediante la ecuación de Patel Teja ya que la ecuación de Soave, no permite calcular volúmenes en estos intervalos de presiones elevadas. Los resultados se reportan en las tablas c.2 c.3 y c.4 para las sustancias estudiadas en el capítulo IV. En la tabla c.4 se puede apreciar que existe una desviación aun mayor en los volúmenes reproducidos para el CO<sub>2</sub> con la ecuación de Patel Teja ya que se trata de una sustancia polar, lo cual no se observa en la ecuación desarrollada.

NITROGENO							
PRESION	TEMPERATURA		VOL. EXP	V1 ECS. MGN	ZDESU	V2 ECS. PAT	ZDESU
	F	K					
10 Lb/in2	-80.00	211.11	14.51917	13.14360	0.09	14.10200	0.03
	0.00	255.50	17.59052	16.25450	0.09	17.12600	0.03
	80.00	300.00	20.65600	19.37230	0.06	20.19170	0.02
	160.00	344.40	23.71900	22.48320	0.05	22.90000	0.03
	240.00	388.80	26.78194	25.59410	0.04	25.70620	0.03
	320.00	433.30	29.85230	28.71190	0.04	28.50200	0.04
	400.00	477.70	32.90900	31.82280	0.03	32.27750	0.02
	480.00	522.20	35.96132	34.94000	0.03	35.42300	0.01
25 Lb/in2	-80.00	211.11	5.79683	5.14550	0.11	5.38920	0.07
	0.00	255.50	7.03069	6.33780	0.10	6.58490	0.09
	80.00	300.00	8.26160	7.53270	0.09	7.70874	0.07
	160.00	344.40	9.49019	8.72500	0.08	8.98510	0.05
	240.00	388.80	10.71920	9.91730	0.07	10.18280	0.05
	320.00	433.30	11.94690	11.11220	0.07	11.20830	0.06
	400.00	477.70	13.17340	12.30450	0.07	12.25090	0.07
	480.00	522.20	14.39612	13.49440	0.06	14.01814	0.03
100 Lb/in2	-80.00	211.11	1.43590	1.24540	0.12	1.23000	0.14
	0.00	255.50	1.75090	1.52460	0.13	1.59060	0.09
	80.00	300.00	2.06200	1.80450	0.12	1.87440	0.09
	160.00	344.40	2.37318	2.08380	0.12	2.10570	0.11
	240.00	388.80	2.68243	2.36310	0.12	2.34060	0.13
	320.00	433.30	2.99100	2.64300	0.12	2.62430	0.12
	400.00	477.70	3.29914	2.92230	0.11	2.90750	0.12
	480.00	522.20	3.60705	3.20220	0.11	3.19120	0.12
400 Lb/in2	-80.00	211.11	0.34658	0.30140	0.13	0.25569	0.32
	0.00	255.50	0.43214	0.36680	0.15	0.30265	0.30
	80.00	300.00	0.51430	0.43239	0.16	0.32569	0.37
	160.00	344.40	0.59475	0.49770	0.16	0.34513	0.42
	240.00	388.80	0.67418	0.56310	0.16	0.37231	0.45
	320.00	433.30	0.75294	0.62860	0.17	0.38695	0.49
	400.00	477.70	0.83126	0.69400	0.17	0.45621	0.45
	480.00	522.20	0.90925	0.75950	0.16	0.56841	0.37

**TABLA C. 2 COMPARACION DE VOLUMENES OBTENIDOS CON LA ECUACION  
 DESARROLLADA POR METODO DE GENERACION DE SUPERFICIES Y LA ECUACION  
 DE PATEL - TEJA PARA EL NITROGENO**

NITROGENO

PRESION	TEMPERATURA		VOL. EXP	V1	ZDES	V2	ZDES
	F	K					
1000 Lb/in	-80.00	211.11	0.13180	0.11800	0.10	0.05698	0.57
	0.00	255.50	0.17089	0.14310	0.16	0.07089	0.59
	80.00	300.00	0.20660	0.16819	0.19	0.10660	0.48
	160.00	344.40	0.24083	0.19320	0.20	0.14083	0.42
	240.00	388.80	0.27401	0.21820	0.20	0.17403	0.36
	320.00	433.20	0.30660	0.24334	0.21	0.19875	0.35
	400.00	477.70	0.33886	0.26838	0.21	0.20570	0.39
	480.00	522.20	0.37675	0.29347	0.21	0.22075	0.40
1600 Lb/in <sup>2</sup>	-80.00	211.11	0.08130	0.07290	0.10	0.12560	(0.54)
	0.00	255.50	0.10770	0.08620	0.18	0.18975	(0.76)
	80.00	300.00	0.13138	0.10362	0.21	0.25897	(0.97)
	160.00	344.40	0.15365	0.11890	0.23	0.26680	(0.75)
	240.00	388.80	0.17510	0.13420	0.23	0.29874	(0.71)
	320.00	433.20	0.19602	0.14950	0.24	0.31590	(0.61)
	400.00	477.70	0.21650	0.16485	0.24	0.33713	(0.56)
	480.00	522.20	0.23680	0.18018	0.24	0.44590	(0.88)
3000 Lb/in <sup>2</sup>	-80.00	211.11	0.04740	0.03837	0.19		1.00
	0.00	255.50	0.06187	0.04628	0.25		1.00
	80.00	300.00	0.07523	0.05422	0.28		1.00
	160.00	344.40	0.08770	0.06214	0.29		1.00
	240.00	388.80	0.09976	0.07000	0.30		1.00
	320.00	433.20	0.11137	0.07798	0.30		1.00
	400.00	477.70	0.12271	0.08590	0.30		1.00
	480.00	522.20	0.13386	0.09383	0.30		1.00
6000 Lb/in <sup>2</sup>	-80.00	211.11	0.03188	0.01898	0.41		1.00
	0.00	255.50	0.03871	0.02270	0.41		1.00
	80.00	300.00	0.04550	0.02650	0.42		1.00
	160.00	344.40	0.05205	0.03037	0.42		1.00
	240.00	388.80	0.05835	0.03420	0.41		1.00
	320.00	433.20	0.06446	0.03800	0.41		1.00
	400.00	477.70	0.07040	0.04180	0.41		1.00
	480.00	522.20	0.07621	0.04570	0.40		1.00

TABLA C. 2 CONTINUACION

ETILENO							
PRESION	TEMPERATURA		VOL. EXP	V1	ZDES1	V2	ZDES2
	F	K					
10 Lb/in <sup>2</sup>	100.00	311.11	21.33342	20.27240	0.05	19.03650	0.11
	200.00	366.67	25.17525	24.08200	0.04	21.56988	0.14
	300.00	422.22	29.02945	27.89160	0.04	23.68950	0.18
	400.00	477.78	32.85540	31.69400	0.04	27.59370	0.19
	500.00	533.33	36.67511	35.50405	0.03	31.58900	0.14
25 Lb/in <sup>2</sup>	100.00	311.11	8.48975	8.46800	0.00	7.57814	0.11
	200.00	366.67	10.04174	9.86700	0.02	8.89745	0.11
	300.00	422.22	11.58537	11.26730	0.03	10.23600	0.12
	400.00	477.78	13.12524	12.66450	0.04	11.08900	0.16
	500.00	533.33	14.66399	14.05420	0.04	13.14760	0.10
100 Lb/in <sup>2</sup>	100.00	311.11	2.06536	2.25620	(0.09)	2.00985	0.03
	200.00	366.67	2.47128	2.55000	(0.03)	2.42560	0.02
	300.00	422.22	2.86961	2.86700	0.00	2.68940	0.06
	400.00	477.78	3.26120	3.17000	0.03	3.10258	0.05
	500.00	533.33	3.65099	3.56400	0.02	3.35742	0.08
150 Lb/in <sup>2</sup>	100.00	311.11	1.35077	1.43180	(0.06)	1.30459	0.03
	200.00	366.67	1.62965	1.72300	(0.06)	1.72394	(0.06)
	300.00	422.22	1.89972	1.91600	(0.01)	1.91603	(0.01)
	400.00	477.78	2.16496	2.14770	0.01	2.10779	0.03
	500.00	533.33	2.42720	2.35200	0.03	2.29988	0.05
500 Lb/in <sup>2</sup>	100.00	311.11	0.34423	0.29430	0.15	0.48460	(0.41)
	200.00	366.67	0.45093	0.44846	0.01	0.53380	(0.18)
	300.00	422.22	0.54398	0.53380	0.02	0.61259	(0.13)
	400.00	477.78	0.63115	0.59829	0.05	0.75821	(0.20)
	500.00	533.33	0.71515	0.68320	0.04	0.82457	(0.15)

TABLA C.3 COMPARACION DE VOLUMENES OBTENIDOS CON LA ECUACION  
 DESARROLLADA POR METODO DE GENERACION DE SUPERFICIES Y LA ECUACION  
 DE PATEL - TEJA PARA EL ETILENO

PREISION	F	K	VOL. EXP	V1	DESIV	V2	IDESV
1000 Lb/in2	100.00	311.11	0.111715	0.14100	0.025	0.14587	0.0291
	200.00	366.67	0.12799	0.11105	0.037	0.12711	0.0371
	300.00	422.22	0.13532	0.12570	0.048	0.14121	0.044
	400.00	477.78	0.14447	0.13154	0.058	0.15079	0.041
	500.00	533.33	0.15071	0.13412	0.067	0.15789	0.039
1500 Lb/in2	100.00	311.11	0.115726	0.12555	0.035	0.13754	0.034
	200.00	366.67	0.11860	0.11191	0.049	0.13754	0.041
	300.00	422.22	0.12116	0.10315	0.057	0.12678	0.036
	400.00	477.78	0.12782	0.12166	0.067	0.14784	0.031
	500.00	533.33	0.13054	0.12248	0.070	0.14284	0.038
2000 Lb/in2	100.00	311.11	0.04773	0.04188	0.012	0.11216	0.018
	200.00	366.67	0.08214	0.05560	0.029	1.00	1.00
	300.00	422.22	0.11688	0.10540	0.050	1.00	1.00
	400.00	477.78	0.14612	0.14820	0.061	1.00	1.00
	500.00	533.33	0.17214	0.15860	0.069	1.00	1.00
4000 Lb/in2	100.00	311.11	0.02697	0.04650	0.019	0.10759	0.025
	200.00	366.67	0.04921	0.09062	0.023	1.00	1.00
	300.00	422.22	0.06094	0.07047	0.017	1.00	1.00
	400.00	477.78	0.07718	0.07475	0.01	1.00	1.00
	500.00	533.33	0.09086	0.08029	0.03	1.00	1.00
5000 Lb/in2	100.00	311.11	0.03656	0.04228	0.017	1.00	1.00
	200.00	366.67	0.04211	0.04211	0.021	1.00	1.00
	300.00	422.22	0.04927	0.04748	0.02	1.00	1.00
	400.00	477.78	0.05868	0.05289	0.016	1.00	1.00
	500.00	533.33	0.06755	0.04292	0.021	1.00	1.00

TABLE C. 3 CONTINUACION

		CO2				
TEMPERATURA		VOL. EXP	V1	COESV	V2	COESV
F		K				
-----						
Lb/in2						
10	0.00	211.11	11.14376	11.32270	(0.02)	11.21284
	50.00	255.50	17.11144	17.25250	0.06	17.06076
	100.00	300.00	25.02760	25.38309	0.11	25.16976
	150.00	344.40	37.02711	38.40743	0.15	37.77111
	200.00	388.80	51.98259	55.42721	0.17	51.75280
	250.00	433.20	70.84208	75.48470	0.21	70.74460
	300.00	477.60	95.99547	101.48450	0.24	95.72140
25	0.00	211.11	4.41220	5.25876	(0.29)	5.25810
	50.00	255.50	5.21752	5.84260	(0.08)	5.81230
	100.00	300.00	6.61150	5.99570	0.00	5.96870
	150.00	344.40	8.79997	6.74820	0.07	6.72460
	200.00	388.80	12.58416	8.72270	0.12	8.68120
	250.00	433.20	18.34916	12.05520	0.16	12.02720
	300.00	477.60	26.95477	17.40920	0.19	17.37360
100	0.00	211.11	1.05146	1.35140	(0.37)	1.35116
	50.00	255.50	1.26861	1.71240	(0.35)	1.59890
	100.00	300.00	1.47691	1.77730	(0.29)	1.57260
	150.00	344.40	1.68763	1.97920	(0.09)	1.97230
	200.00	388.80	1.88175	1.90220	(0.01)	1.87260
	250.00	433.20	2.06217	1.96520	0.06	1.97260
	300.00	477.60	2.22952	2.02820	0.11	2.07260
150	0.00	211.11	0.67530	1.15110	(0.70)	1.35950
	50.00	255.50	0.82923	1.29760	(0.46)	1.25950
	100.00	300.00	0.97077	1.24420	(0.28)	1.30950
	150.00	344.40	1.11018	1.23940	(0.15)	1.26950
	200.00	388.80	1.24790	1.16190	(0.09)	1.05950
	250.00	433.20	1.38220	1.25770	0.02	1.25950
	300.00	477.60	1.51562	1.28950	0.08	1.27950

**TABLA C. 4 COMPARACION DE VOLUMENES OBTENIDOS CON LA ECUACION  
 DESARROLLADA POR METODO DE GENERACION DE SUPERFICIES Y LA ECUACION  
 DE PATEL - TEJA PARA EL CO2**

		COC					
		TEMPERATURA	VOL. EXP	V1	IDESV	V2	IDESV
		F	K				
PRESION		-----					
Lb/In <sup>2</sup>							
400	0.00	211.11	0.02572	0.05087	(2.24)	0.10373	(7.51)
	80.00	255.50	0.27740	0.51490	(6.86)	0.67750	(1.44)
	160.00	300.00	0.34226	0.52510	(6.52)	0.77790	(1.27)
	240.00	344.40	0.41059	0.53350	(6.22)	0.88790	(1.22)
	320.00	388.80	0.45559	0.54150	(6.19)	1.02790	(1.26)
	400.00	433.20	0.50894	0.54970	(6.08)	1.19790	(1.25)
	480.00	477.70	0.58101	0.55790	6.01	1.39790	(1.49)
1000	0.00	211.11	0.11354	0.23250	(13.96)	0.36750	(23.94)
	80.00	255.50	0.02063	0.23740	(10.31)	0.58740	(27.47)
	160.00	300.00	0.11220	0.23440	(1.08)	1.38759	(11.30)
	240.00	344.40	0.14436	0.23540	(6.57)	1.68759	(12.08)
	320.00	388.80	0.17090	0.23640	(6.38)	2.38759	(12.97)
	400.00	433.20	0.19511	0.23730	(6.22)	2.88759	(13.80)
	480.00	477.70	0.21759	0.23830	(6.09)	3.38759	(14.54)
1600	0.00	211.11	0.01538	0.15530	(9.10)	0.62410	(39.58)
	80.00	255.50	0.01867	0.15510	(7.22)	1.05479	(54.90)
	160.00	300.00	0.03495	0.15490	(1.82)	1.00	1.00
	240.00	344.40	0.08088	0.15470	(0.91)	1.00	1.00
	320.00	388.80	0.10045	0.15450	(0.54)	1.00	1.00
	400.00	433.20	0.11740	0.15440	(0.32)	1.00	1.00
	480.00	477.70	0.13294	0.15420	(0.16)	1.00	1.00
5000	0.00	211.11	0.01474	0.05820	(2.95)	1.00	1.00
	80.00	255.50	0.01654	0.05750	(2.48)	1.00	1.00
	160.00	300.00	0.01946	0.05670	(1.91)	1.00	1.00
	240.00	344.40	0.02446	0.05600	(1.29)	1.00	1.00
	320.00	388.80	0.03052	0.05520	(0.81)	1.00	1.00
	400.00	433.20	0.03644	0.05450	(0.50)	1.00	1.00
	480.00	477.70	0.04208	0.05370	(0.28)	1.00	1.00

TABLE C. 4 CONTINUACION

## APENDICE A

### DATOS P-V-T PARA METANO



## Thermodynamic Properties of Methane (Continued)

P	T	-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40
1	V	230.9225A	263.5786A	285.5277A	304.7270A	324.2316A	337.2862A	349.8079	353.5787
	H	-1815.165	-1805.548	-1795.747	-1785.800	-1775.477	-1765.226	-1755.407	-1746.358
	S	2.9037	2.9694	2.9943	2.9781	2.9303	2.9774	2.9541	2.9073
	PPR	1.0079	1.0918	1.0912	1.0746	1.0227	1.0312	1.0516	1.0079
1P	V	23.97356	25.31224	26.44918	27.21768	27.85827	28.40963	28.88611	29.30325
	H	-18.16117	-18.00715	-17.85017	-17.70000	-17.55703	-17.45260	-17.38529	-17.34847
	S	2.6171	2.6815	2.6927	2.6758	2.7341	2.7792	2.7988	2.7400
	PPR	0.9957	0.9956	0.9970	0.9976	0.9980	0.9986	0.9983	0.9987
14.7	V	16.27760	17.13858	18.12294	19.24124	20.39496	20.76843	21.28024	22.00115
	H	-18.0145	-18.0140	-17.99673	-17.96027	-17.91322	-17.8578	-17.8045	-17.8222
	S	2.4880	2.5458	2.5776	2.6047	2.6278	2.6478	2.6607	2.7100
	PPR	0.9936	0.9947	0.9953	0.9960	0.9967	0.9972	0.9976	0.9978
15	V	15.04568	16.25011	17.75132	19.54407	21.55551	22.45723	23.38113	25.20051
	H	-18.0147	-17.95462	-17.86134	-17.74022	-17.60570	-17.45720	-17.30570	-17.15023
	S	2.3663	2.4279	2.4371	2.4821	2.5053	2.6075	2.7003	2.7905
	PPR	0.9935	0.9945	0.9953	0.9963	0.9968	0.9974	0.9979	0.9980
25	V	6.95756	10.07037	15.61802	11.16117	11.70357	12.24576	12.78930	13.32015
	H	-18.0708	-18.00785	-17.96085	-17.92866	-17.90685	-17.88136	-17.85741	-17.83320
	S	2.5019	2.5726	2.6530	2.6791	2.6701	2.6716	2.6805	2.6887
	PPR	0.9980	0.9917	0.9921	0.9931	0.9940	0.9948	0.9956	0.9962
80	V	4.70823	4.98756	5.26689	5.54726	5.81822	6.02054	6.16195	6.30383
	H	-15.1855	-15.0430	-14.9876	-14.9278	-14.8727	-14.8217	-14.7749	-14.7314
	S	2.6111	2.6874	2.6782	2.6878	2.7136	2.7367	2.7586	2.7787
	PPR	0.9782	0.9712	0.9828	0.9792	0.9832	0.9876	0.9903	0.9920
75	V	3.02906	3.29214	3.60761	3.96743	4.35213	4.63954	4.92710	5.20608
	H	-18.0207	-18.00037	-17.99429	-17.99091	-17.98981	-17.98981	-17.98981	-17.98981
	S	2.3402	2.3877	2.4137	2.4384	2.4627	2.4868	2.5108	2.5253
	PPR	0.9671	0.9710	0.9739	0.9769	0.9792	0.9816	0.9841	0.9860
100	V	2.29880	2.66423	2.98814	2.73086	2.67211	2.71457	2.75730	2.79101
	H	-18.0188	-18.01106	-18.00702	-18.00208	-17.99736	-17.99287	-17.98861	-17.98461
	S	2.2317	2.3086	2.3729	2.4000	2.4288	2.4487	2.4688	2.4891
	PPR	0.9561	0.9626	0.9670	0.9724	0.9760	0.9791	0.9819	0.9845
150	V	1.49811	1.59586	1.69512	1.79348	1.89051	1.98504	2.07818	2.17005
	H	-18.0188	-18.01491	-18.0131	-18.0120	-18.0118	-18.0118	-18.0118	-18.0118
	S	2.2454	2.2763	2.3113	2.3486	2.3717	2.3968	2.4131	2.4300
	PPR	0.9366	0.9461	0.9521	0.9587	0.9642	0.9688	0.9726	0.9758
200	V	1.08887	1.17074	1.24888	1.32486	1.39955	1.47367	1.54652	1.61980
	H	-18.0179	-18.01495	-18.0129	-18.0118	-18.0118	-18.0118	-18.0118	-18.0118
	S	2.1736	2.2033	2.2311	2.2573	2.2727	2.2868	2.2998	2.3118
	PPR	0.9129	0.9258	0.9366	0.9451	0.9524	0.9588	0.9645	0.9693
300	V	0.69427	0.74819	0.80077	0.85222	0.90283	0.95010	1.00118	1.05130
	H	-18.0179	-18.01507	-18.0127	-18.0118	-18.0118	-18.0118	-18.0118	-18.0118
	S	2.1039	2.1316	2.1581	2.1834	2.2074	2.2294	2.2494	2.2674
	PPR	0.8772	0.8895	0.9053	0.9183	0.9292	0.9386	0.9467	0.9528
403	V	0.47951	0.52966	0.57922	0.62701	0.67338	0.71815	0.76150	0.80276
	H	-18.0179	-18.01491	-18.0127	-18.0118	-18.0118	-18.0118	-18.0118	-18.0118
	S	2.1070	2.1313	2.1556	2.1797	2.2027	2.2247	2.2447	2.2627
	PPR	0.8576	0.8637	0.8768	0.8881	0.8982	0.9081	0.9167	0.9248
505	V	0.35277	0.38899	0.42401	0.45838	0.49161	0.52363	0.55421	0.58354
	H	-18.0179	-18.01491	-18.0127	-18.0118	-18.0118	-18.0118	-18.0118	-18.0118
	S	2.0507	2.1014	2.1394	2.1677	2.1965	2.2211	2.2426	2.2728
	PPR	0.7959	0.8162	0.8366	0.8569	0.8769	0.8968	0.9167	0.9277
600	V	0.28614	0.31012	0.33681	0.36381	0.41995	0.44590	0.47396	0.50337
	H	-18.0179	-18.01491	-18.0127	-18.0118	-18.0118	-18.0118	-18.0118	-18.0118
	S	2.0181	2.0688	2.1184	2.1551	2.1857	2.2137	2.2307	2.2468
	PPR	0.7747	0.7873	0.8148	0.8274	0.8618	0.8798	0.8991	0.9071
785	V	0.19688	0.22690	0.26285	0.31568	0.34881	0.37323	0.39865	0.42502
	H	-18.0179	-18.01491	-18.0127	-18.0118	-18.0118	-18.0118	-18.0118	-18.0118
	S	1.9615	2.0240	2.0888	2.1550	2.1950	2.2380	2.2678	2.2924
	PPR	0.7808	0.7982	0.8295	0.8415	0.8401	0.8610	0.8787	0.9038

## Thermodynamic Properties of Methane (Continued)

P	T	-100	-80	-60	-40	-20	0	20	40
800	V	0.13091	0.18408	0.23278	0.28584	0.33290	0.38260	0.43458	0.48959
	H	-1752.24	-1856.14	-1945.10	-1925.20	-1912.14	-1904.02	-1900.57	-1897.40
	S	1.9485	1.9840	2.0367	2.0774	2.1124	2.1434	2.1713	2.1955
	F <sub>20</sub>	0.5581	3.7125	7.5652	0.7306	7.4140	0.8625	3.8027	3.4704
900	V	0.20555	0.28320	0.36345	0.44588	0.53100	0.61840	0.70858	0.80198
	H	-1731.28	-1870.19	-1955.14	-1920.19	-1914.76	-1910.40	-1907.90	-1906.14
	S	1.7081	1.8494	2.0040	2.1607	2.3181	2.4751	2.6311	2.7856
	F <sub>20</sub>	0.4030	3.1978	6.7277	0.7484	6.7941	1.0244	3.3475	3.9902
1000	V	0.27139	0.42075	0.58204	0.74381	0.91971	0.24493	1.16176	1.41059
	H	-1744.79	-1848.72	-1931.63	-1967.24	-1924.51	-1904.59	-1913.24	-1917.41
	S	1.7543	1.9917	2.2430	2.5066	2.7781	2.1077	2.1117	2.1127
	F <sub>20</sub>	0.5502	3.6484	6.6398	0.7428	7.7774	1.0071	0.4418	3.4520
1100	V	0.33134	0.51942	0.71342	0.91322	1.11926	1.22113	1.32469	1.42924
	H	-1757.59	-1875.37	-1972.97	-1970.37	-1910.29	-1910.80	-1910.21	-1908.59
	S	1.7130	1.9612	2.2192	2.4822	2.7433	2.9903	2.1124	2.1121
	F <sub>20</sub>	0.4370	3.0124	6.0724	0.7194	7.9082	0.7355	0.4159	3.4149
1200	V	0.40417	0.60934	0.81734	1.02853	1.24299	1.46061	1.68549	1.92709
	H	-1756.41	-1871.67	-1963.31	-1967.00	-1916.13	-1916.97	-1902.49	-1907.69
	S	1.7180	1.9197	2.1155	2.3166	2.5222	2.7313	2.9453	3.1630
	F <sub>20</sub>	0.4134	3.5412	6.0493	0.6974	7.7301	1.0738	0.4023	3.4273
1300	V	0.48073	0.69784	0.91847	1.14313	1.37157	1.60423	1.84159	2.08313
	H	-1751.67	-1870.35	-1953.10	-1953.27	-1904.24	-1904.24	-1910.75	-1914.30
	S	1.7079	1.9153	2.1230	2.3317	2.5427	2.7567	2.9744	3.1953
	F <sub>20</sub>	0.4713	3.5871	6.0700	0.6764	7.7007	1.0574	0.3956	3.4151
1400	V	0.56075	0.78730	1.01813	1.25299	1.49244	1.73607	2.08367	2.43573
	H	-1749.11	-1871.14	-1960.93	-1971.21	-1910.51	-1910.51	-1907.29	-1904.20
	S	1.6946	1.9227	2.1517	2.3815	2.6114	2.8414	3.0714	3.3015
	F <sub>20</sub>	0.4574	3.1010	6.1010	0.6567	7.6712	1.0421	0.3751	0.4734
1500	V	0.64431	0.88035	1.12034	1.36477	1.61400	1.86843	2.12837	2.39340
	H	-1747.11	-1870.79	-1962.31	-1977.16	-1911.11	-1911.11	-1904.13	-1904.13
	S	1.6810	1.9144	2.1484	2.3833	2.6182	2.8531	3.0880	3.3229
	F <sub>20</sub>	0.4414	3.0398	6.0734	0.6374	7.6452	1.0273	0.3622	0.4720
1600	V	0.73130	0.97843	1.23007	1.48571	1.74676	1.99363	2.24584	2.50287
	H	-1746.83	-1871.19	-1963.57	-1974.94	-1907.94	-1907.94	-1904.11	-1904.11
	S	1.6674	1.9054	2.1394	2.3743	2.6092	2.8441	3.0790	3.3139
	F <sub>20</sub>	0.4254	3.0033	6.0374	0.6184	7.6192	1.0124	0.3477	0.4710
1700	V	0.82171	1.08040	1.33407	1.59199	1.85454	2.12199	2.39489	2.67264
	H	-1746.41	-1871.07	-1964.65	-1972.20	-1904.20	-1904.20	-1904.20	-1904.20
	S	1.6537	1.8954	2.1294	2.3643	2.5992	2.8341	3.0690	3.3039
	F <sub>20</sub>	0.4094	2.9673	6.0014	0.6001	7.5932	0.9975	0.3334	0.4700
1800	V	0.91540	1.18519	1.44302	1.70928	1.98443	2.25899	2.53349	2.80744
	H	-1746.74	-1871.13	-1965.13	-1971.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27
	S	1.6400	1.8844	2.1184	2.3533	2.5882	2.8231	3.0580	3.2929
	F <sub>20</sub>	0.3934	2.9312	5.9654	0.5814	7.5672	0.9826	0.3191	0.4690
1900	V	1.01240	1.29431	1.54502	1.79999	2.05944	2.32379	2.58754	2.85119
	H	-1746.74	-1871.13	-1965.13	-1971.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27
	S	1.6263	1.8727	2.1071	2.3420	2.5769	2.8118	3.0467	3.2816
	F <sub>20</sub>	0.3774	2.8891	5.9294	0.5624	7.5412	0.9677	0.3047	0.4680
2000	V	1.11270	1.40791	1.65202	1.89999	2.15244	2.40979	2.66654	2.92319
	H	-1746.74	-1871.13	-1965.13	-1971.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27
	S	1.6126	1.8610	2.0954	2.3303	2.5652	2.8001	3.0350	3.2700
	F <sub>20</sub>	0.3614	2.8429	5.8934	0.5434	7.5152	0.9528	0.2903	0.4670
2100	V	1.21610	1.52431	1.76402	2.01599	2.27244	2.52879	2.78454	3.03979
	H	-1746.74	-1871.13	-1965.13	-1971.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27
	S	1.5989	1.8493	2.0897	2.3246	2.5595	2.7944	3.0293	3.2643
	F <sub>20</sub>	0.3454	2.7967	5.8574	0.5244	7.4892	0.9379	0.2759	0.4660
2200	V	1.32260	1.64631	1.88002	2.13799	2.39844	2.65479	2.91054	3.16579
	H	-1746.74	-1871.13	-1965.13	-1971.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27
	S	1.5852	1.8356	2.0800	2.3155	2.5504	2.7853	3.0202	3.2552
	F <sub>20</sub>	0.3294	2.7509	5.8214	0.5054	7.4632	0.9230	0.2615	0.4650
2300	V	1.43210	1.78231	1.99902	2.26399	2.52844	2.78079	3.03254	3.28279
	H	-1746.74	-1871.13	-1965.13	-1971.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27
	S	1.5715	1.8219	2.0703	2.3004	2.5353	2.7702	3.0051	3.2401
	F <sub>20</sub>	0.3134	2.7051	5.7854	0.4864	7.4372	0.9081	0.2471	0.4640
2400	V	1.54460	1.93131	2.12102	2.39399	2.66244	2.91679	3.15854	3.40179
	H	-1746.74	-1871.13	-1965.13	-1971.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27
	S	1.5578	1.8082	2.0606	2.2853	2.5202	2.7551	2.9900	3.2250
	F <sub>20</sub>	0.2974	2.6593	5.7494	0.4674	7.4112	0.8932	0.2327	0.4630
2500	V	1.66010	2.09331	2.24702	2.52799	2.80444	3.05879	3.30954	3.56779
	H	-1746.74	-1871.13	-1965.13	-1971.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27	-1902.27
	S	1.5441	1.7945	2.0509	2.2702	2.5051	2.7400	2.9749	3.2099
	F <sub>20</sub>	0.2814	2.6135	5.7134	0.4484	7.3852	0.8783	0.2183	0.4620



12 Fluid Thermodynamic Properties for Light Petroleum Systems

Thermodynamic Properties of Methane (Continued)

P	T	80	90	100	120	140	160	180	200
370	V	1.11152	1.10511	1.20478	1.29709	1.39506	1.38775	1.40021	1.44745
	H	-1541.36	-1532.12	-1526.82	-1520.44	-1497.00	-1488.05	-1476.76	-1462.47
	S	2.3680	2.3494	2.4103	2.4308	2.4508	2.4595	2.4687	2.5088
	F/P	0.4955	0.4935	0.4978	0.4976	0.4976	0.4979	0.4985	0.5029
400	V	0.82131	0.80924	0.89641	0.93110	0.97004	1.00750	1.04381	1.07900
	H	-1565.94	-1549.07	-1523.36	-1512.70	-1503.17	-1488.94	-1476.17	-1464.96
	S	2.1270	2.1008	2.2111	2.2409	2.2612	2.2621	2.2651	2.2707
	F/P	0.7432	0.6918	0.4975	0.4925	0.4969	0.4970	0.4970	0.4971
450	V	0.64764	0.62928	0.70244	0.74051	0.77648	0.80057	0.82019	0.85190
	H	-1549.76	-1518.75	-1526.12	-1514.87	-1502.76	-1490.48	-1476.91	-1460.83
	S	2.2295	2.3181	2.3308	2.3600	2.3818	2.4017	2.4214	2.4407
	F/P	0.7322	0.6902	0.5064	0.4937	0.4981	0.4981	0.4982	0.4982
500	V	0.53201	0.51403	0.58555	0.61165	0.63778	0.66291	0.68797	0.71291
	H	-1532.95	-1502.19	-1526.10	-1517.14	-1505.16	-1493.12	-1481.21	-1469.45
	S	2.2040	2.2814	2.3136	2.3350	2.3560	2.3764	2.3963	2.4158
	F/P	0.8164	0.6241	0.4974	0.4950	0.4951	0.4952	0.4952	0.4953
700	V	0.44397	0.42344	0.49084	0.51978	0.54835	0.56659	0.58457	0.60232
	H	-1545.36	-1544.36	-1531.88	-1518.92	-1507.95	-1498.35	-1489.09	-1479.76
	S	2.2846	2.2982	2.2978	2.3130	2.3159	2.3258	2.3347	2.3434
	F/P	0.7068	0.6181	0.4979	0.4965	0.4967	0.4967	0.4967	0.4968
800	V	0.38791	0.36948	0.43048	0.45768	0.48124	0.49910	0.51644	0.53329
	H	-1547.89	-1547.12	-1534.77	-1522.20	-1510.24	-1499.58	-1489.20	-1479.03
	S	2.2736	2.2767	2.2725	2.2787	2.2813	2.2852	2.2891	2.2929
	F/P	0.6196	0.5374	0.4974	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949
900	V	0.34012	0.32387	0.37956	0.40277	0.42109	0.43600	0.45141	0.46728
	H	-1548.08	-1548.08	-1535.44	-1522.86	-1511.22	-1499.76	-1489.23	-1478.81
	S	2.2622	2.2652	2.2612	2.2674	2.2697	2.2736	2.2775	2.2814
	F/P	0.4927	0.3946	0.4974	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949
1000	V	0.30077	0.28213	0.33817	0.35951	0.37213	0.38443	0.39644	0.40814
	H	-1548.61	-1548.27	-1535.24	-1522.31	-1510.44	-1499.36	-1489.27	-1479.31
	S	2.2515	2.2544	2.2504	2.2566	2.2587	2.2621	2.2654	2.2687
	F/P	0.5717	0.4807	0.4974	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949
1100	V	0.27112	0.25281	0.30887	0.32777	0.33931	0.35119	0.36286	0.37431
	H	-1548.78	-1548.28	-1534.77	-1522.07	-1510.21	-1499.15	-1489.04	-1479.03
	S	2.2408	2.2438	2.2398	2.2460	2.2481	2.2514	2.2547	2.2580
	F/P	0.4957	0.4046	0.4974	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949
1200	V	0.24653	0.22819	0.28375	0.29972	0.30859	0.32041	0.33198	0.34344
	H	-1548.11	-1548.08	-1534.58	-1522.00	-1510.36	-1499.31	-1489.20	-1479.20
	S	2.2300	2.2330	2.2290	2.2352	2.2373	2.2406	2.2439	2.2472
	F/P	0.4967	0.4052	0.4974	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949
1300	V	0.22457	0.20724	0.26302	0.27740	0.28396	0.29584	0.30741	0.31888
	H	-1548.67	-1548.27	-1534.51	-1522.18	-1510.46	-1499.43	-1489.27	-1479.21
	S	2.2192	2.2222	2.2182	2.2244	2.2265	2.2304	2.2343	2.2382
	F/P	0.4147	0.4374	0.4974	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949
1400	V	0.20548	0.18976	0.24541	0.25757	0.26259	0.27437	0.28594	0.29742
	H	-1548.27	-1548.27	-1534.21	-1522.06	-1510.33	-1499.22	-1489.04	-1479.03
	S	2.2084	2.2114	2.2074	2.2136	2.2157	2.2196	2.2235	2.2274
	F/P	0.4977	0.4064	0.4974	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949
1500	V	0.18831	0.17340	0.22919	0.23971	0.24396	0.25564	0.26711	0.27848
	H	-1548.01	-1548.01	-1534.07	-1522.01	-1510.26	-1499.20	-1489.13	-1479.14
	S	2.2010	2.2040	2.2000	2.2062	2.2083	2.2122	2.2161	2.2200
	F/P	0.4177	0.4400	0.4974	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949
1600	V	0.17400	0.16022	0.21610	0.22526	0.22822	0.23991	0.25138	0.26271
	H	-1548.27	-1548.27	-1534.00	-1522.08	-1510.36	-1499.36	-1489.21	-1479.20
	S	2.1902	2.1932	2.1892	2.1954	2.1975	2.2014	2.2053	2.2092
	F/P	0.4041	0.4316	0.4974	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949
1700	V	0.16254	0.14984	0.20604	0.21460	0.21720	0.22890	0.24037	0.25170
	H	-1548.30	-1548.30	-1534.03	-1522.02	-1510.31	-1499.26	-1489.14	-1479.14
	S	2.1822	2.1852	2.1812	2.1874	2.1895	2.1934	2.1973	2.2012
	F/P	0.4041	0.4316	0.4974	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949	0.4949

APENDICE B

DATOS P-V-T PARA NITROGENO

## Thermodynamic Properties of Nitrogen (Continued)

P	T	20	40	60	80	100	120	140	160
1	M	182.76130	100.76764	146.18665	206.20551	273.91414	27.15760C	276.97619	216.22460
	H	118.841	123.87	127.28	132.74	138.76	143.77	148.59	153.00
	S	1.7066	1.8009	1.877	1.9273	1.9733	1.9947	1.9973	1.9804
	F/P	1.0530	1.0074	1.0000	1.0021	1.0037	1.0047	1.0051	1.0054
10	M	18.30500	16.11768	19.06095	20.85034	21.42557	22.16500	22.95549	23.71912
	H	118.87	123.87	127.27	132.73	138.76	143.77	148.59	153.00
	S	1.6934	1.6438	1.6747	1.6937	1.7123	1.7200	1.7261	1.7304
	F/P	1.0001	1.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
10 <sup>2</sup>	M	12.44630	13.71025	13.53727	14.55374	14.57660	15.14674	15.61892	16.14180
	H	118.74	123.76	127.27	132.73	138.67	143.65	148.67	153.00
	S	1.6004	1.6105	1.6074	1.6050	1.6040	1.6037	1.6037	1.6031
	F/P	0.9987	0.9987	0.9989	0.9989	0.9989	0.9989	0.9989	0.9989
15	M	12.23374	12.76517	13.25663	13.70677	14.20086	14.70063	15.20528	15.61876
	H	118.76	123.76	127.27	132.73	138.67	143.65	148.67	153.00
	S	1.6046	1.6150	1.6264	1.6384	1.6505	1.6625	1.6742	1.6856
	F/P	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986	0.9986
25	M	7.33878	7.66549	7.95423	7.90195	8.56225	8.87628	9.16219	9.44019
	H	118.70	123.76	127.26	132.66	138.61	143.59	148.57	153.55
	S	1.5082	1.5767	1.6006	1.5981	1.6072	1.6160	1.6243	1.6324
	F/P	0.9980	0.9983	0.9984	0.9984	0.9987	0.9988	0.9989	0.9989
50	M	3.66761	3.82027	3.97479	4.12890	4.28307	4.43758	4.60184	4.74574
	H	118.50	123.48	127.49	132.47	138.46	143.45	148.44	153.42
	S	1.5108	1.5823	1.6202	1.5898	1.6079	1.6260	1.6439	1.6611
	F/P	0.9970	0.9980	0.9980	0.9980	0.9980	0.9980	0.9980	0.9980
75	M	2.44122	2.58666	2.66638	2.75154	2.84881	2.95081	3.05100	3.13396
	H	118.70	123.30	127.30	132.31	138.31	143.31	148.31	153.31
	S	1.4887	1.5002	1.5102	1.5194	1.5279	1.5377	1.5461	1.5542
	F/P	0.9969	0.9976	0.9975	0.9977	0.9979	0.9980	0.9981	0.9982
100	M	1.62013	1.67317	1.68118	2.06679	2.14063	2.21613	2.29575	2.37318
	H	118.70	123.11	126.21	133.24	138.18	143.17	148.16	153.18
	S	1.4690	1.4808	1.4908	1.4991	1.5063	1.5130	1.5205	1.5276
	F/P	0.9956	0.9968	0.9975	0.9975	0.9978	0.9979	0.9980	0.9982
150	M	1.21715	1.26686	1.32208	1.37433	1.43406	1.47807	1.52030	1.56294
	H	117.87	122.73	127.78	132.82	137.86	142.84	147.82	152.76
	S	1.4378	1.4501	1.4602	1.4698	1.4790	1.4874	1.4953	1.5028
	F/P	0.9938	0.9952	0.9964	0.9974	0.9983	0.9986	0.9987	0.9988
200	M	0.91123	0.95090	0.97073	1.02613	1.06956	1.10884	1.14820	1.18726
	H	117.26	122.30	127.43	132.50	137.59	142.62	147.67	152.71
	S	1.4188	1.4291	1.4392	1.4489	1.4582	1.4671	1.4755	1.4837
	F/P	0.9910	0.9937	0.9953	0.9967	0.9978	0.9986	0.9991	0.9994
300	M	0.60954	0.63253	0.66039	0.68617	0.71279	0.73920	0.76574	0.79213
	H	116.46	121.60	127.74	131.87	136.98	142.02	147.17	152.25
	S	1.3883	1.3981	1.4083	1.4181	1.4278	1.4374	1.4469	1.4562
	F/P	0.9781	0.9906	0.9932	0.9952	0.9970	0.9985	0.9994	1.0000
450	M	0.45280	0.47351	0.49436	0.51421	0.53406	0.55390	0.57374	0.59476
	H	115.66	120.81	126.07	131.25	136.41	141.55	146.68	151.80
	S	1.3666	1.3774	1.3877	1.3977	1.4071	1.4161	1.4247	1.4330
	F/P	0.9666	0.9883	0.9918	0.9949	0.9974	0.9988	0.9996	1.0000
600	M	0.36180	0.37426	0.39688	0.41127	0.42777	0.44447	0.46027	0.47666
	H	114.80	120.14	125.41	130.68	135.89	141.08	146.21	151.33
	S	1.3462	1.3563	1.3670	1.3788	1.3904	1.4018	1.4131	1.4245
	F/P	0.9614	0.9859	0.9907	0.9930	0.9950	0.9968	0.9984	1.0000
800	M	0.30072	0.31441	0.32866	0.34289	0.35871	0.37505	0.39111	0.40707
	H	114.07	119.44	124.76	130.05	135.21	140.24	145.16	150.00
	S	1.3348	1.3461	1.3577	1.3697	1.3819	1.3940	1.4060	1.4178
	F/P	0.9784	0.9837	0.9883	0.9922	0.9955	0.9984	0.9998	1.0001
1000	M	0.25743	0.26878	0.28199	0.29609	0.30906	0.32196	0.33476	0.34819
	H	113.31	118.75	124.13	129.47	134.78	140.06	145.31	150.59
	S	1.3278	1.3380	1.3487	1.3594	1.3700	1.3804	1.3907	1.4008
	F/P	0.9756	0.9810	0.9851	0.9889	0.9924	0.9954	0.9981	1.0001
800	M	0.22507	0.23804	0.25080	0.26536	0.280817	0.29706	0.31413	0.33080
	H	112.87	118.07	123.21	128.30	133.27	138.10	142.80	147.32
	S	1.3118	1.3233	1.3351	1.3474	1.3604	1.3739	1.3872	1.4004
	F/P	0.9731	0.9801	0.9860	0.9911	0.9955	0.9987	1.0000	1.0000

## Thermodynamic Properties of Nitrogen (Continued)

P	T	20	40	60	80	100	120	140	160
900	V	0.26031	0.20989	0.21963	0.22925	0.23879	0.24821	0.25757	0.26687
	M	111.88	117.41	122.92	128.47	133.97	139.43	144.85	149.76
	S	1.7022	1.7337	1.7647	1.7951	1.8250	1.8544	1.8833	1.9117
1000	V	0.18005	0.18005	0.18005	0.18005	0.18005	0.18005	0.18005	0.18005
	M	111.14	118.77	126.34	133.84	141.28	148.66	155.98	163.24
	S	1.2933	1.3051	1.3161	1.3264	1.3361	1.3451	1.3534	1.3611
1100	V	0.16186	0.17204	0.18233	0.19267	0.20301	0.21334	0.22367	0.23400
	M	110.98	116.15	121.27	126.34	131.36	136.33	141.24	146.10
	S	1.2452	1.2711	1.2961	1.3211	1.3461	1.3711	1.3961	1.4211
1200	V	0.15031	0.15031	0.15031	0.15031	0.15031	0.15031	0.15031	0.15031
	M	109.78	115.55	121.23	126.83	132.37	137.86	143.30	148.70
	S	1.2776	1.2896	1.3011	1.3121	1.3226	1.3326	1.3421	1.3516
1300	V	0.13920	0.14816	0.15719	0.16619	0.17516	0.18410	0.19301	0.20189
	M	103.16	110.77	118.30	125.76	133.15	140.48	147.76	155.00
	S	1.2709	1.2930	1.3145	1.3354	1.3558	1.3757	1.3951	1.4141
1400	V	0.12835	0.13805	0.14766	0.15719	0.16664	0.17601	0.18530	0.19451
	M	101.51	110.00	118.40	126.70	134.91	143.04	151.09	159.16
	S	1.2584	1.2787	1.2981	1.3166	1.3342	1.3509	1.3667	1.3816
1500	V	0.12103	0.12735	0.13356	0.13966	0.14564	0.15150	0.15724	0.16285
	M	101.91	110.86	119.70	128.43	136.94	145.33	153.60	161.85
	S	1.2782	1.2977	1.3162	1.3337	1.3503	1.3660	1.3808	1.3947
1600	V	0.11361	0.11777	0.12183	0.12579	0.12964	0.13339	0.13704	0.14059
	M	101.12	110.13	119.00	127.73	136.33	144.80	153.14	161.45
	S	1.2748	1.2931	1.3104	1.3267	1.3421	1.3566	1.3702	1.3829
1700	V	0.10787	0.11131	0.11466	0.11791	0.12106	0.12411	0.12706	0.13001
	M	100.77	110.00	119.00	127.80	136.40	144.80	153.00	161.10
	S	1.2671	1.2841	1.2996	1.3141	1.3276	1.3401	1.3516	1.3621
1800	V	0.10196	0.10526	0.10846	0.11156	0.11456	0.11746	0.12026	0.12296
	M	101.23	110.30	119.10	127.70	136.20	144.50	152.70	160.80
	S	1.2740	1.2909	1.3067	1.3214	1.3351	1.3478	1.3596	1.3704
1900	V	0.09622	0.09942	0.10252	0.10552	0.10842	0.11122	0.11392	0.11652
	M	101.71	110.80	119.60	128.20	136.70	145.00	153.20	161.30
	S	1.2711	1.2871	1.3016	1.3151	1.3276	1.3391	1.3496	1.3591
2000	V	0.09044	0.09354	0.09654	0.09944	0.10224	0.10494	0.10754	0.11004
	M	100.21	110.00	119.00	127.80	136.40	144.80	153.00	161.10
	S	1.2674	1.2834	1.2979	1.3114	1.3239	1.3354	1.3459	1.3554
2100	V	0.08466	0.08766	0.09056	0.09336	0.09606	0.09866	0.10116	0.10356
	M	101.12	110.10	118.90	127.50	135.90	144.10	152.20	160.20
	S	1.2740	1.2899	1.3044	1.3179	1.3304	1.3419	1.3524	1.3619
2200	V	0.07888	0.08178	0.08458	0.08728	0.08988	0.09238	0.09478	0.09708
	M	101.12	110.10	118.90	127.50	135.90	144.10	152.20	160.20
	S	1.2740	1.2899	1.3044	1.3179	1.3304	1.3419	1.3524	1.3619
2300	V	0.07310	0.07590	0.07860	0.08120	0.08370	0.08610	0.08840	0.09060
	M	101.12	110.10	118.90	127.50	135.90	144.10	152.20	160.20
	S	1.2740	1.2899	1.3044	1.3179	1.3304	1.3419	1.3524	1.3619
2400	V	0.06732	0.06992	0.07242	0.07482	0.07712	0.07932	0.08142	0.08342
	M	101.12	110.10	118.90	127.50	135.90	144.10	152.20	160.20
	S	1.2740	1.2899	1.3044	1.3179	1.3304	1.3419	1.3524	1.3619
2500	V	0.06154	0.06394	0.06624	0.06844	0.07054	0.07254	0.07444	0.07624
	M	101.12	110.10	118.90	127.50	135.90	144.10	152.20	160.20
	S	1.2740	1.2899	1.3044	1.3179	1.3304	1.3419	1.3524	1.3619

Thermodynamic Properties of Nitrogen (Continued)

P	T	20	40	60	80	100	120	140	160
8000	V	0.00002	0.00013	0.00024	0.00035	0.00046	0.00057	0.00068	0.00079
	H	97.49	106.42	113.32	118.63	123.00	126.59	129.48	131.81
	S	1.1207	1.1613	1.1975	1.2300	1.2594	1.2859	1.3098	1.3314
1000	V	0.00007	0.00015	0.00022	0.00029	0.00036	0.00042	0.00048	0.00054
	H	97.52	106.39	113.22	118.49	123.00	126.69	129.61	131.97
	S	1.1141	1.1548	1.1910	1.2235	1.2529	1.2794	1.3033	1.3249
8000	V	0.00050	0.00095	0.00133	0.00165	0.00192	0.00216	0.00232	0.00241
	H	99.08	107.16	113.11	118.47	123.00	126.76	129.71	132.03
	S	1.1015	1.1422	1.1784	1.2109	1.2393	1.2632	1.2837	1.3011

P	T	180	200	220	240	260	280	300	320
1	V	266.33467	261.22253	256.95301	253.42249	250.41117	247.81371	245.52822	243.41733
	H	156.83	157.51	158.40	159.57	160.99	162.64	164.50	166.56
	S	1.4683	1.5755	1.6667	1.7467	1.8187	1.8847	1.9457	1.9992
10	V	26.46627	26.26699	26.08210	25.91474	25.76474	25.63177	25.51376	25.40904
	H	156.59	157.57	158.75	160.10	161.61	163.28	165.10	167.07
	S	1.5052	1.6127	1.6976	1.7720	1.8379	1.8964	1.9494	1.9973
14.7	V	16.96620	17.17376	17.39389	17.62470	17.86474	18.11279	18.36765	18.62915
	H	156.57	157.55	158.73	160.08	161.59	163.26	165.08	167.05
	S	1.5770	1.6845	1.7694	1.8438	1.9097	1.9682	2.0202	2.0667
15	V	16.18667	16.39577	16.60709	16.83049	17.06497	17.30952	17.56314	17.82482
	H	156.57	157.55	158.73	160.08	161.59	163.26	165.08	167.05
	S	1.6786	1.7861	1.8710	1.9454	2.0113	2.0698	2.1218	2.1683
25	V	9.79974	10.10797	10.41206	10.71190	11.00739	11.29854	11.58532	11.86805
	H	156.53	157.51	158.69	160.04	161.55	163.22	165.04	167.01
	S	1.8002	1.9076	1.9925	2.0573	2.1158	2.1679	2.2136	2.2530
50	V	6.89856	7.23055	7.55709	7.87710	8.19058	8.49751	8.79789	9.09172
	H	156.41	157.39	158.57	160.00	161.51	163.18	165.00	167.00
	S	1.9200	2.0274	2.1123	2.1771	2.2356	2.2877	2.3334	2.3738
75	V	3.29662	3.58998	3.87256	4.14437	4.40551	4.65699	4.89982	5.13500
	H	157.30	158.28	159.46	161.00	162.51	164.18	166.00	168.00
	S	1.9620	2.0694	2.1543	2.2191	2.2776	2.3297	2.3754	2.4158
100	V	2.65002	2.89207	3.12525	3.34957	3.56503	3.77165	3.96942	4.15843
	H	158.28	159.26	160.44	162.00	163.51	165.18	167.00	169.00
	S	1.9814	2.0888	2.1737	2.2385	2.2970	2.3491	2.3948	2.4352
150	V	1.82638	1.98622	2.13797	2.28168	2.41735	2.54500	2.66462	2.77621
	H	159.27	160.25	161.43	163.00	164.51	166.18	168.00	170.00
	S	1.9913	2.0987	2.1836	2.2484	2.3069	2.3590	2.4047	2.4451
200	V	1.22036	1.32638	1.42038	1.50233	1.57321	1.63403	1.68579	1.73850
	H	159.76	160.74	161.93	163.50	165.01	166.68	168.50	170.50
	S	1.9916	2.0990	2.1839	2.2487	2.3072	2.3593	2.4050	2.4454
300	V	0.81866	0.88674	0.94700	0.99953	1.04431	1.08135	1.11165	1.13521
	H	159.33	160.31	161.50	163.07	164.58	166.25	168.07	170.07
	S	1.9821	2.0895	2.1744	2.2392	2.2977	2.3498	2.3955	2.4359





## Thermodynamic Properties of Nitrogen (Continued)

P	T	180	200	220	240	260	280	300	320
1000	V	0.13667	0.14070	0.14487	0.14920	0.15369	0.15835	0.16318	0.16818
	H	172.404	157.728	143.271	129.171	115.464	102.180	89.354	76.927
	S	1.3713	1.2570	1.1537	1.0620	0.9819	0.9126	0.8536	0.8043
1020	V	0.12949	0.13352	0.13773	0.14212	0.14669	0.15144	0.15636	0.16146
	H	159.004	144.328	129.871	115.771	102.064	88.780	75.954	63.527
	S	1.3171	1.2028	1.0995	1.0078	0.9277	0.8584	0.8004	0.7530
1040	V	0.12201	0.12604	0.13025	0.13474	0.13941	0.14426	0.14928	0.15446
	H	145.604	130.928	116.471	102.371	88.664	75.380	62.554	50.127
	S	1.2629	1.1486	1.0453	0.9536	0.8735	0.8042	0.7462	0.7000
1060	V	0.11529	0.11932	0.12353	0.12802	0.13277	0.13778	0.14305	0.14848
	H	142.204	127.528	113.071	98.971	85.264	71.980	59.154	46.727
	S	1.2087	1.0944	0.9911	0.9004	0.8203	0.7510	0.6930	0.6478
1080	V	0.10923	0.11326	0.11747	0.12196	0.12671	0.13172	0.13700	0.14244
	H	138.804	124.128	109.671	95.571	81.864	68.580	55.754	43.327
	S	1.1545	1.0402	0.9369	0.8462	0.7661	0.6968	0.6388	0.5946
1100	V	0.10375	0.10778	0.11199	0.11648	0.12123	0.12624	0.13152	0.13706
	H	135.404	120.728	106.271	92.171	78.464	65.180	52.354	40.927
	S	1.1003	0.9860	0.8827	0.7920	0.7119	0.6426	0.5846	0.5404
1120	V	0.09883	0.10286	0.10707	0.11156	0.11631	0.12132	0.12660	0.13214
	H	132.004	117.328	102.871	88.771	75.064	61.780	48.954	37.527
	S	1.0461	0.9318	0.8285	0.7378	0.6577	0.5884	0.5304	0.4862
1140	V	0.09435	0.09838	0.10259	0.10708	0.11183	0.11684	0.12212	0.12766
	H	128.604	113.928	99.471	85.371	71.664	58.380	45.554	34.127
	S	0.9919	0.8776	0.7743	0.6836	0.6035	0.5342	0.4762	0.4320
1160	V	0.09039	0.09442	0.09863	0.10312	0.10787	0.11288	0.11816	0.12370
	H	125.204	110.528	96.071	81.971	68.264	54.980	42.154	30.727
	S	0.9377	0.8234	0.7201	0.6294	0.5493	0.4800	0.4220	0.3778
1180	V	0.08691	0.09094	0.09515	0.09964	0.10439	0.10940	0.11468	0.12022
	H	121.804	107.128	92.671	78.571	64.864	51.580	38.754	27.327
	S	0.8835	0.7692	0.6659	0.5752	0.4951	0.4258	0.3678	0.3236
1200	V	0.08383	0.08786	0.09207	0.09656	0.10131	0.10632	0.11160	0.11714
	H	118.404	103.728	89.271	75.171	61.464	48.180	35.354	23.927
	S	0.8293	0.7150	0.6117	0.5210	0.4409	0.3716	0.3136	0.2694
1220	V	0.08115	0.08518	0.08939	0.09388	0.09863	0.10364	0.10892	0.11446
	H	115.004	100.328	86.171	72.071	58.364	45.080	32.254	20.827
	S	0.7751	0.6608	0.5575	0.4668	0.3867	0.3174	0.2594	0.2152
1240	V	0.07887	0.08290	0.08711	0.09160	0.09635	0.10136	0.10664	0.11218
	H	111.604	96.928	82.871	68.771	55.064	41.780	28.954	17.527
	S	0.7209	0.6066	0.5033	0.4126	0.3325	0.2632	0.2052	0.1610
1260	V	0.07699	0.08102	0.08523	0.08972	0.09447	0.09948	0.10476	0.11030
	H	108.204	93.528	79.371	65.271	51.564	38.280	25.454	14.027
	S	0.6667	0.5524	0.4491	0.3584	0.2783	0.2090	0.1510	0.1068
1280	V	0.07541	0.07944	0.08365	0.08814	0.09289	0.09790	0.10318	0.10872
	H	104.804	90.128	76.071	61.971	48.264	34.980	22.154	10.727
	S	0.6125	0.4982	0.3949	0.3042	0.2241	0.1548	0.0968	0.0526
1300	V	0.07413	0.07816	0.08237	0.08686	0.09161	0.09662	0.10190	0.10744
	H	101.404	86.728	72.671	58.571	44.864	31.580	18.754	7.327
	S	0.5583	0.4440	0.3407	0.2500	0.1709	0.1016	0.0436	0.0000

P	T	340	360	380	400	420	440	460	480
1	V	104.03210	111.05964	118.10379	125.16452	132.24284	139.33984	146.45660	153.59412
	H	1866.35	1720.76	1575.20	1430.68	1287.20	1144.76	1003.36	863.00
	S	1.5224	1.4081	1.3048	1.2121	1.1292	1.0563	0.9934	0.9405
12	V	20.60711	21.39976	22.19387	22.98944	23.78657	24.58526	25.38551	26.18732
	H	144.53	129.85	115.17	100.49	85.81	71.13	56.45	41.77
	S	1.1594	1.0451	0.9418	0.8491	0.7662	0.6933	0.6304	0.5775
14.7	V	26.08736	27.08001	28.07266	29.06531	29.95796	30.85061	31.74326	32.63591
	H	146.52	131.84	117.16	102.48	87.80	73.12	58.44	43.76
	S	1.1321	1.0178	0.9145	0.8218	0.7389	0.6660	0.6031	0.5502
19	V	29.67922	30.77187	31.86452	32.95717	34.04982	35.14247	36.23512	37.32777
	H	148.51	133.83	119.15	104.47	89.79	75.11	60.43	45.75
	S	1.1048	0.9905	0.8872	0.7945	0.7116	0.6387	0.5758	0.5229
26	V	12.29253	12.78518	13.27783	13.77048	14.26313	14.75578	15.24843	15.74108
	H	144.49	129.81	115.13	100.45	85.77	71.09	56.41	41.73
	S	1.0004	0.8861	0.7828	0.6901	0.6072	0.5343	0.4714	0.4185
50	V	6.12452	6.28207	6.43962	6.59717	6.75472	6.91227	7.06982	7.22737
	H	144.43	129.75	115.07	100.41	85.75	71.09	56.43	41.77
	S	1.0002	0.8859	0.7826	0.6899	0.6070	0.5341	0.4712	0.4183

## APENDICE C

### DATOS P-V-T PARA ETILENO

## Thermodynamic Properties of Ethylene (Continued)

P	T	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60
1	V	186.91129	192.32788	199.49703	197.39215	179.80651	182.17106	192.63176	199.04523
	H	1265.008	1246.16	1232.75	1229.29	1212.98	1212.98	1214.91	1216.87
	S	1.0433	1.0598	1.0757	1.0911	1.1054	1.1203	1.1356	1.1504
	F/P	1.0002	1.0019	1.0028	1.0037	1.0044	1.0049	1.0052	1.0053
10	V	14.35112	15.13722	15.91417	16.68723	17.45858	17.78367	18.22246	18.79252
	H	1016.117	1041.95	1072.73	1098.55	1125.38	1152.27	1179.31	1206.52
	S	1.7787	1.7906	1.8118	1.8324	1.8524	1.8718	1.8907	1.9091
	F/P	0.8865	0.9102	0.94018	0.9671	0.9931	0.998	0.9992	0.9998
16.7	V	9.71075	10.24002	10.76613	11.22227	11.65112	12.0214	12.3122	12.6109
	H	1021.88	1045.12	1071.65	1098.30	1126.07	1154.94	1184.94	1216.28
	S	1.7526	1.7676	1.7819	1.7956	1.8088	1.8216	1.8341	1.8464
	F/P	0.9030	0.9058	0.9077	0.9094	0.9109	0.9122	0.9133	0.9142
19	V	9.51125	11.07861	12.96855	11.08828	11.61178	12.12938	12.64519	13.16089
	H	1036.66	1045.09	1051.83	1058.21	1064.35	1070.27	1076.01	1081.61
	S	1.7411	1.7661	1.7874	1.7991	1.8133	1.8280	1.8424	1.8566
	F/P	0.9926	0.9953	0.9974	0.9982	0.9984	0.9987	0.9989	0.9991
25	V	9.53509	9.96126	9.28366	8.60278	8.42065	7.23676	7.55107	7.86582
	H	1037.62	1048.17	1056.81	1057.34	1054.38	1071.76	1074.98	1078.25
	S	1.7110	1.7283	1.7466	1.7528	1.7571	1.7710	1.7840	1.7968
	F/P	0.4708	0.4753	0.4787	0.4817	0.4841	0.4981	0.4978	0.4966
50	V	8.72882	2.81868	3.02908	3.13667	3.40188	3.78214	3.72724	3.82734
	H	1234.91	1241.90	1248.75	1255.66	1262.63	1269.62	1276.73	1283.87
	S	1.6870	1.6953	1.6984	1.7011	1.7032	1.7047	1.7054	1.7061
	F/P	0.9419	0.9435	0.9448	0.9459	0.9468	0.9472	0.9474	0.9476
75	V	1.19326	1.67672	1.99654	2.31384	2.72082	2.38061	2.45227	2.59222
	H	1032.04	1039.31	1046.51	1053.69	1060.85	1068.00	1075.25	1082.51
	S	1.6229	1.6420	1.6607	1.6770	1.6922	1.7068	1.7209	1.7345
	F/P	7.3128	0.4559	0.9364	0.3830	0.9582	0.9581	0.9631	0.9673
100	V	1.28287	1.36296	1.45942	1.55500	1.64013	1.72781	1.81388	1.89781
	H	1029.99	1036.07	1041.22	1046.59	1052.15	1057.91	1063.88	1069.82
	S	1.5987	1.6170	1.6350	1.6524	1.6691	1.6851	1.7004	1.7152
	F/P	0.8630	0.8613	0.8584	0.8548	0.8504	0.8442	0.8369	0.8285
150	V	0.71183	0.03267	0.91655	0.94956	1.05085	1.13388	1.17868	1.23888
	H	854.07	866.39	874.07	877.80	881.57	885.37	889.15	892.90
	S	1.1347	1.1669	1.1996	1.2318	1.2634	1.2944	1.3248	1.3546
	F/P	0.6087	0.8888	0.8734	0.8908	0.9088	0.9184	0.9286	0.9355
200	V	0.03139	0.03267	0.08032	0.15937	0.25933	0.40472	0.58309	0.90190
	H	896.16	897.85	901.68	904.89	908.50	912.50	916.88	921.61
	S	1.1342	1.1682	1.1986	1.2266	1.2526	1.2771	1.3001	1.3216
	F/P	0.6455	0.8424	0.8315	0.8545	0.8735	0.8892	0.9024	0.9136
300	V	0.03133	0.03071	0.07397	0.23504	0.48083	0.81883	1.33538	2.56675
	H	894.24	894.56	897.27	897.95	901.91	906.17	910.73	915.57
	S	1.1333	1.1650	1.1964	1.2258	1.2530	1.2780	1.3010	1.3224
	F/P	0.3103	0.4361	0.5873	0.7841	0.9104	0.9388	0.9648	0.9713
400	V	0.03126	0.03126	0.03395	0.03503	0.03615	0.03707	0.03785	0.03861
	H	894.53	898.88	897.29	897.79	897.79	897.82	897.82	897.82
	S	1.1317	1.1619	1.1949	1.2265	1.2563	1.2841	1.3091	1.3315
	F/P	0.2378	0.4888	0.6784	0.8338	0.9338	0.9798	0.9867	0.9892
500	V	0.03120	0.03116	0.03372	0.03543	0.03778	0.04026	0.04285	0.21183
	H	894.73	896.82	896.32	896.34	896.34	896.34	896.34	896.34
	S	1.1311	1.1626	1.1935	1.2238	1.2524	1.2791	1.3035	1.3260
	F/P	0.1943	0.2730	0.3676	0.4770	0.5900	0.7237	0.7987	0.7973
800	V	0.03118	0.03249	0.03381	0.03525	0.03785	0.04098	0.04481	0.21835
	H	894.93	896.96	897.36	897.89	898.66	899.65	900.93	902.45
	S	1.1301	1.1619	1.1921	1.2218	1.2500	1.2760	1.3000	1.3224
	F/P	0.1655	0.2374	0.3128	0.4080	0.5105	0.6217	0.7523	0.7952
1000	V	0.03116	0.03240	0.03384	0.03538	0.03798	0.04024	0.04294	0.18024
	H	895.16	897.11	897.43	897.88	898.67	899.67	900.93	902.41
	S	1.1292	1.1604	1.1907	1.2204	1.2478	1.2738	1.3000	1.3224
	F/P	0.1468	0.2034	0.2718	0.3520	0.4468	0.5568	0.6868	0.7823

## Thermodynamic Properties of Ethylene (Continued)

P	T	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60
800	V	0.01033	0.02012	0.03330	0.05062	0.07688	0.11073	0.16511	0.10199
	H	879.130	887.27	876.50	842.32	785.15	621.67	462.36	1.00148
	S	1.1273	1.1592	1.1893	1.2136	1.2404	1.2690	1.2996	1.3322
900	V	0.01077	0.01970	0.03298	0.04977	0.07644	0.11073	0.16511	0.10199
	H	955.57	972.85	976.59	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1273	1.1592	1.1893	1.2136	1.2404	1.2690	1.2996	1.3322
1000	V	0.00970	0.01765	0.03194	0.04842	0.07567	0.11073	0.16511	0.10199
	H	985.70	1001.61	976.50	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1283	1.1592	1.1893	1.2136	1.2404	1.2690	1.2996	1.3322
1100	V	0.00866	0.01660	0.03100	0.04748	0.07521	0.11073	0.16511	0.10199
	H	996.01	1007.19	976.50	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1254	1.1561	1.1858	1.2101	1.2368	1.2653	1.2941	1.3271
1200	V	0.00801	0.01600	0.03090	0.04735	0.07501	0.11073	0.16511	0.10199
	H	996.24	997.97	976.50	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1283	1.1581	1.1887	1.2130	1.2400	1.2687	1.2985	1.3317
1300	V	0.00766	0.01577	0.03080	0.04723	0.07493	0.11073	0.16511	0.10199
	H	996.47	998.17	976.50	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1230	1.1531	1.1838	1.2081	1.2351	1.2638	1.2936	1.3268
1400	V	0.00741	0.01577	0.03070	0.04711	0.07485	0.11073	0.16511	0.10199
	H	996.71	998.36	976.50	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1227	1.1527	1.1829	1.2072	1.2342	1.2629	1.2927	1.3259
1500	V	0.00726	0.01568	0.03060	0.04700	0.07478	0.11073	0.16511	0.10199
	H	997.09	998.67	976.50	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1213	1.1512	1.1813	1.2056	1.2326	1.2613	1.2911	1.3243
1600	V	0.00711	0.01559	0.03050	0.04689	0.07471	0.11073	0.16511	0.10199
	H	997.36	998.89	976.50	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1210	1.1509	1.1810	1.2053	1.2323	1.2610	1.2908	1.3240
1700	V	0.00706	0.01550	0.03040	0.04678	0.07464	0.11073	0.16511	0.10199
	H	997.64	999.13	976.50	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1202	1.1501	1.1802	1.2045	1.2315	1.2602	1.2900	1.3232
1800	V	0.00701	0.01541	0.03030	0.04667	0.07457	0.11073	0.16511	0.10199
	H	997.93	999.38	976.50	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1193	1.1492	1.1793	1.2036	1.2306	1.2593	1.2891	1.3223
1900	V	0.00696	0.01532	0.03020	0.04656	0.07450	0.11073	0.16511	0.10199
	H	998.23	999.64	976.50	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1185	1.1484	1.1785	1.2028	1.2298	1.2585	1.2883	1.3215
2000	V	0.00691	0.01523	0.03010	0.04645	0.07443	0.11073	0.16511	0.10199
	H	998.54	999.91	976.50	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1177	1.1476	1.1777	1.2020	1.2290	1.2577	1.2875	1.3207
2050	V	0.00686	0.01514	0.03000	0.04634	0.07436	0.11073	0.16511	0.10199
	H	998.87	999.20	976.50	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1170	1.1469	1.1769	1.2012	1.2282	1.2569	1.2867	1.3199
4000	V	0.00745	0.01600	0.03117	0.04820	0.07581	0.11073	0.16511	0.10199
	H	997.74	999.80	976.50	942.29	885.09	721.67	562.36	1.00148
	S	1.1205	1.1505	1.1805	1.2048	1.2318	1.2605	1.2903	1.3235

## Thermodynamic Properties of Ethylene (Continued)

P	T	-80	-60	-40	-20	0	20	40	60
6000	V	0.02936	0.03002	0.03073	0.03147	0.03217	0.03282	0.03344	0.03403
	H	866.78	877.72	887.56	896.34	904.20	911.32	917.74	923.50
	S	1.00667	1.01373	1.02121	1.02904	1.03724	1.04574	1.05447	1.06335
8000	V	0.04095	0.04160	0.04230	0.04304	0.04377	0.04448	0.04516	0.04582
	H	869.44	880.38	890.20	898.98	906.84	913.96	920.38	926.14
	S	1.00958	1.01663	1.02411	1.03194	1.04014	1.04864	1.05737	1.06625
10000	V	0.05270	0.05334	0.05403	0.05476	0.05548	0.05618	0.05686	0.05752
	H	873.16	884.10	893.92	902.70	910.56	917.68	924.10	929.86
	S	1.01252	1.01957	1.02705	1.03488	1.04308	1.05158	1.06031	1.06919
12000	V	0.06456	0.06519	0.06587	0.06659	0.06732	0.06803	0.06872	0.06939
	H	877.00	887.94	897.76	906.54	914.40	921.52	927.94	933.70
	S	1.01540	1.02245	1.02993	1.03776	1.04596	1.05446	1.06321	1.07211
14000	V	0.07654	0.07716	0.07783	0.07854	0.07926	0.08000	0.08072	0.08142
	H	880.84	891.78	901.60	910.38	918.24	925.36	931.78	937.54
	S	1.01830	1.02535	1.03283	1.04066	1.04886	1.05736	1.06611	1.07501
16000	V	0.08862	0.08923	0.08989	0.09059	0.09130	0.09202	0.09274	0.09344
	H	884.68	895.62	905.44	914.22	922.08	929.20	935.62	941.38
	S	1.02120	1.02825	1.03573	1.04356	1.05176	1.06026	1.06901	1.07791

P	T	80	100	120	140	160	180	200	220
1	V	206.25961	213.46193	221.01690	228.91366	237.06040	245.46511	254.23317	263.36194
	H	1096.331	1101.823	1106.633	1111.422	1115.930	1120.379	1124.678	1128.829
	S	7.02626	7.02749	7.02874	7.03001	7.03129	7.03258	7.03388	7.03519
10	V	20.59832	21.33362	22.10051	22.89836	23.72636	24.58455	25.47295	26.39161
	H	1033.09	1038.58	1043.37	1047.56	1051.14	1054.12	1056.50	1058.28
	S	1.42021	1.42145	1.42270	1.42396	1.42522	1.42648	1.42774	1.42900
100	V	13.96971	14.48702	15.02243	15.58585	16.17718	16.80551	17.47125	18.17584
	H	1003.67	1009.16	1014.96	1020.96	1027.02	1033.32	1039.83	1046.53
	S	1.87316	1.8851	1.8974	1.9101	1.9231	1.9364	1.9500	1.9639
1000	V	13.88851	14.19679	14.51240	14.83575	15.16608	15.50352	15.84798	16.19942
	H	1001.66	1007.15	1012.95	1018.96	1025.01	1031.21	1037.56	1044.07
	S	1.8701	1.8826	1.8954	1.9085	1.9219	1.9356	1.9496	1.9639
10000	V	8.17812	8.68275	9.26020	9.91254	9.42329	9.73196	10.0171	10.30085
	H	1001.19	1007.16	1013.41	1019.92	1026.68	1033.69	1040.95	1048.43
	S	1.8533	1.8658	1.8787	1.8919	1.9054	1.9192	1.9333	1.9477
100000	V	8.17024	8.67515	9.25223	9.90451	9.41526	9.72393	10.00905	10.29278
	H	1001.18	1007.15	1013.40	1019.91	1026.67	1033.68	1040.94	1048.42
	S	1.8533	1.8658	1.8787	1.8919	1.9054	1.9192	1.9333	1.9477
75	V	2.67178	2.77570	2.88120	2.98830	3.09692	3.20694	3.31822	3.43181
	H	1000.80	1006.80	1013.01	1019.41	1026.00	1032.78	1039.75	1046.91
	S	1.7925	1.7944	1.7963	1.7982	1.7999	1.8019	1.8039	1.8059
100	V	1.96264	2.05936	2.14761	2.22732	2.31032	2.39705	2.48798	2.58252
	H	1001.37	1007.45	1013.75	1020.25	1026.96	1033.88	1041.01	1048.35
	S	1.7731	1.7747	1.7764	1.7780	1.7796	1.7812	1.7828	1.7844
150	V	1.23110	1.30271	1.40736	1.49370	1.59172	1.70448	1.82985	1.96888
	H	1001.07	1007.15	1013.45	1020.00	1026.71	1033.58	1040.61	1047.89
	S	1.6987	1.7001	1.7017	1.7033	1.7049	1.7064	1.7080	1.7096
200	V	0.84776	0.90201	1.03740	1.08110	1.12619	1.18269	1.25033	1.33008
	H	1001.41	1007.49	1013.81	1020.36	1027.14	1034.16	1041.43	1048.96
	S	1.6749	1.6808	1.6822	1.6837	1.6851	1.6865	1.6879	1.6893

## Thermodynamic Properties of Ethylene (Continued)

P	T	80	100	120	140	160	180	200	220
300	V	0.00135	0.01421	0.04056	0.08767	0.17232	0.25841	0.37603	0.51724
	H	1076.136	1087.50	1096.43	1103.50	1110.44	1117.49	1124.63	1131.80
	S	1.28350	1.4549	1.6700	1.9087	2.1609	2.4231	2.6921	2.9727
400	V	0.00208	0.03366	0.10023	0.25592	0.52051	0.85309	1.25739	1.74338
	H	1072.25	1092.45	1091.41	1121.12	1133.43	1144.76	1154.70	1164.72
	S	1.51905	1.6675	1.8436	2.0501	2.2871	2.5487	2.8221	3.1026
500	V	0.01926	0.36673	0.95792	2.38959	5.41072	9.41112	14.4243	21.024
	H	1096.27	1076.13	1066.56	1049.30	1035.04	1023.28	1013.59	1005.47
	S	1.9885	1.6042	1.2113	0.8277	0.5136	0.3056	0.1833	0.0977
600	V	0.1114	0.8316	2.8884	8.0647	20.970	45.527	79.051	113.44
	H	1096.27	1076.13	1066.56	1049.30	1035.04	1023.28	1013.59	1005.47
	S	1.9885	1.6042	1.2113	0.8277	0.5136	0.3056	0.1833	0.0977
700	V	0.2716	0.2716	0.2716	0.2716	0.2716	0.2716	0.2716	0.2716
	H	1096.27	1076.13	1066.56	1049.30	1035.04	1023.28	1013.59	1005.47
	S	1.9885	1.6042	1.2113	0.8277	0.5136	0.3056	0.1833	0.0977
800	V	0.31676	0.2716	0.1958	0.22120	0.1078	0.2435	0.25138	0.2716
	H	1096.27	1076.13	1066.56	1049.30	1035.04	1023.28	1013.59	1005.47
	S	1.9885	1.6042	1.2113	0.8277	0.5136	0.3056	0.1833	0.0977
900	V	0.11311	0.14072	0.14209	0.14121	0.14274	0.14224	0.14259	0.14281
	H	1096.27	1076.13	1066.56	1049.30	1035.04	1023.28	1013.59	1005.47
	S	1.9885	1.6042	1.2113	0.8277	0.5136	0.3056	0.1833	0.0977
1000	V	0.28224	0.11215	0.13016	0.15983	0.17584	0.18876	0.19798	0.21041
	H	1096.27	1076.13	1066.56	1049.30	1035.04	1023.28	1013.59	1005.47
	S	1.9885	1.6042	1.2113	0.8277	0.5136	0.3056	0.1833	0.0977
1100	V	0.25864	0.09102	0.11878	0.15323	0.18485	0.21253	0.23723	0.25864
	H	1096.27	1076.13	1066.56	1049.30	1035.04	1023.28	1013.59	1005.47
	S	1.9885	1.6042	1.2113	0.8277	0.5136	0.3056	0.1833	0.0977
1200	V	0.25726	0.07677	0.09796	0.11553	0.13156	0.14622	0.15965	0.17270
	H	1096.27	1076.13	1066.56	1049.30	1035.04	1023.28	1013.59	1005.47
	S	1.9885	1.6042	1.2113	0.8277	0.5136	0.3056	0.1833	0.0977
1300	V	0.25314	0.07377	0.09686	0.11014	0.12604	0.14063	0.15410	0.16757
	H	1096.27	1076.13	1066.56	1049.30	1035.04	1023.28	1013.59	1005.47
	S	1.9885	1.6042	1.2113	0.8277	0.5136	0.3056	0.1833	0.0977
1400	V	0.25249	0.06121	0.07555	0.08931	0.10291	0.11536	0.12676	0.13708
	H	1096.27	1076.13	1066.56	1049.30	1035.04	1023.28	1013.59	1005.47
	S	1.9885	1.6042	1.2113	0.8277	0.5136	0.3056	0.1833	0.0977
1500	V	0.01940	0.05720	0.20873	0.20160	0.04422	0.10587	0.11600	0.12608
	H	1096.27	1076.13	1066.56	1049.30	1035.04	1023.28	1013.59	1005.47
	S	1.9885	1.6042	1.2113	0.8277	0.5136	0.3056	0.1833	0.0977
1600	V	0.06716	0.05925	0.08384	0.07748	0.06629	0.05732	0.05026	0.04476
	H	1096.27	1076.13	1066.56	1049.30	1035.04	1023.28	1013.59	1005.47
	S	1.9885	1.6042	1.2113	0.8277	0.5136	0.3056	0.1833	0.0977
1700	V	0.04403	0.04203	0.04616	0.04076	0.03788	0.03496	0.03208	0.02924
	H	1096.27	1076.13	1066.56	1049.30	1035.04	1023.28	1013.59	1005.47
	S	1.9885	1.6042	1.2113	0.8277	0.5136	0.3056	0.1833	0.0977

## APENDICE D

### DATOS P-V-T PARA CO<sub>2</sub>



## Thermodynamic Properties of Carbon Dioxide (Continued)

P	T	100	120	140	160	180	200	220	240
1	V	136.00067	141.13123	145.65489	150.47756	155.63306	161.15559	167.08220	169.55818
	H	-3746.882	-3719.280	-3692.883	-3667.643	-3643.518	-3620.471	-3600.466	-3583.550
	S	1.24071	1.22805	1.22045	1.21517	1.21149	1.20880	1.20668	1.20500
10	V	13.02610	14.15467	14.77419	15.27716	15.71714	16.11763	16.49226	16.73310
	H	-3747.410	-3713.327	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	1.18666	1.17028	1.15874	1.15030	1.14380	1.13880	1.13460	1.13100
100	V	0.26418	0.27351	0.28136	0.28725	0.29157	0.29461	0.29660	0.29781
	H	-3747.420	-3713.111	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	1.18666	1.17028	1.15874	1.15030	1.14380	1.13880	1.13460	1.13100
15	V	0.25026	0.25853	0.26532	0.27072	0.27500	0.27833	0.28087	0.28276
	H	-3747.420	-3713.111	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	0.99550	0.97660	0.95955	0.94480	0.93180	0.92000	0.90900	0.90000
25	V	0.21626	0.22353	0.22932	0.23372	0.23700	0.23933	0.24087	0.24176
	H	-3747.420	-3713.111	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	0.99550	0.97660	0.95955	0.94480	0.93180	0.92000	0.90900	0.90000
50	V	0.14667	0.15393	0.15972	0.16412	0.16740	0.16973	0.17127	0.17206
	H	-3747.420	-3713.111	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	0.99550	0.97660	0.95955	0.94480	0.93180	0.92000	0.90900	0.90000
75	V	0.11662	0.12388	0.12967	0.13407	0.13735	0.13968	0.14122	0.14201
	H	-3747.420	-3713.111	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	0.99550	0.97660	0.95955	0.94480	0.93180	0.92000	0.90900	0.90000
100	V	0.10129	0.10855	0.11434	0.11874	0.12202	0.12435	0.12589	0.12668
	H	-3747.420	-3713.111	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	0.99550	0.97660	0.95955	0.94480	0.93180	0.92000	0.90900	0.90000
150	V	0.08088	0.08814	0.09393	0.09833	0.10161	0.10394	0.10548	0.10627
	H	-3747.420	-3713.111	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	0.99550	0.97660	0.95955	0.94480	0.93180	0.92000	0.90900	0.90000
200	V	0.07390	0.08116	0.08695	0.09135	0.09463	0.09696	0.09850	0.09929
	H	-3747.420	-3713.111	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	0.99550	0.97660	0.95955	0.94480	0.93180	0.92000	0.90900	0.90000
300	V	0.05367	0.06093	0.06672	0.07112	0.07440	0.07673	0.07827	0.07906
	H	-3747.420	-3713.111	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	0.99550	0.97660	0.95955	0.94480	0.93180	0.92000	0.90900	0.90000
400	V	0.03967	0.04693	0.05272	0.05712	0.06040	0.06273	0.06427	0.06506
	H	-3747.420	-3713.111	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	0.99550	0.97660	0.95955	0.94480	0.93180	0.92000	0.90900	0.90000
500	V	0.03010	0.03736	0.04315	0.04755	0.05083	0.05316	0.05470	0.05549
	H	-3747.420	-3713.111	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	0.99550	0.97660	0.95955	0.94480	0.93180	0.92000	0.90900	0.90000
600	V	0.02472	0.03198	0.03777	0.04217	0.04545	0.04778	0.04932	0.05011
	H	-3747.420	-3713.111	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	0.99550	0.97660	0.95955	0.94480	0.93180	0.92000	0.90900	0.90000
750	V	0.01818	0.02544	0.03123	0.03563	0.03891	0.04124	0.04278	0.04357
	H	-3747.420	-3713.111	-3678.443	-3643.750	-3610.291	-3578.000	-3547.831	-3520.810
	S	0.99550	0.97660	0.95955	0.94480	0.93180	0.92000	0.90900	0.90000

## Thermodynamic Properties of Carbon Dioxide (Continued)

P	T	100	120	140	160	180	200	220	240
800	V	0.11783	0.13885	0.16180	0.18755	0.21606	0.24708	0.28032	0.31656
	M	-3773.44	-3768.44	-3758.82	-3753.97	-3747.62	-3741.66	-3735.28	-3728.57
	PPP	0.7453	0.7868	0.8316	0.8789	0.9277	0.9780	1.0308	1.0862
		0.7541	0.7957	0.8405	0.8878	0.9365	0.9863	0.1036	0.1052
900	V	0.09081	0.10889	0.12934	0.15210	0.17711	0.20436	0.23385	0.26559
	M	-3778.43	-3768.43	-3758.82	-3753.97	-3747.62	-3741.66	-3735.28	-3728.57
	PPP	0.7453	0.7868	0.8316	0.8789	0.9277	0.9780	1.0308	1.0862
		0.7541	0.7957	0.8405	0.8878	0.9365	0.9863	0.1036	0.1052
1000	V	0.07307	0.09245	0.11332	0.13575	0.16076	0.18834	0.21850	0.25133
	M	-3785.41	-3775.41	-3765.79	-3759.47	-3752.35	-3744.44	-3735.82	-3726.49
	PPP	0.8273	0.8688	0.9136	0.9615	1.0125	1.0668	1.1245	1.1848
		0.7354	0.7765	0.8202	0.8675	0.9185	0.9722	1.0287	1.0880
1100	V	0.05866	0.07833	0.10045	0.12417	0.14950	0.17654	0.20539	0.23605
	M	-3792.41	-3782.41	-3772.79	-3765.47	-3757.35	-3748.44	-3738.82	-3728.49
	PPP	0.9158	0.9573	1.0021	1.0500	1.1010	1.1552	1.2127	1.2735
		0.7255	0.7666	0.8103	0.8576	0.9086	0.9623	1.0188	1.0781
1200	V	0.05032	0.06961	0.09146	0.11498	0.14031	0.16745	0.19640	0.22716
	M	-3800.97	-3790.97	-3781.35	-3774.03	-3765.91	-3757.00	-3747.38	-3737.05
	PPP	0.9993	1.0408	1.0856	1.1335	1.1845	1.2388	1.2963	1.3571
		0.6950	0.7361	0.7808	0.8281	0.8781	0.9308	0.9862	1.0443
1300	V	0.04367	0.06251	0.08378	0.10750	0.13283	0.15982	0.18857	0.21908
	M	-3810.35	-3800.35	-3790.73	-3783.41	-3775.29	-3766.38	-3756.76	-3746.43
	PPP	0.9114	0.9529	0.9977	1.0456	1.0966	1.1510	1.2087	1.2707
		0.6851	0.7262	0.7709	0.8182	0.8682	0.9209	0.9763	1.0344
1400	V	0.03836	0.05673	0.07740	0.10042	0.12505	0.15138	0.17852	0.20747
	M	-3820.31	-3810.31	-3800.69	-3793.37	-3785.25	-3776.34	-3766.72	-3756.39
	PPP	0.8234	0.8649	0.9097	0.9576	1.0086	1.0629	1.1206	1.1817
		0.6752	0.7163	0.7610	0.8083	0.8583	0.9110	0.9664	1.0245
1500	V	0.03422	0.05213	0.07242	0.09475	0.11838	0.14331	0.16954	0.19707
	M	-3830.81	-3820.81	-3811.19	-3803.87	-3795.75	-3786.84	-3777.22	-3766.89
	PPP	0.7354	0.7769	0.8217	0.8696	0.9206	0.9749	1.0326	1.0937
		0.6655	0.7066	0.7513	0.7986	0.8486	0.9013	0.9567	1.0148
1600	V	0.03108	0.04851	0.06842	0.09015	0.11318	0.13751	0.16314	0.18907
	M	-3841.80	-3831.80	-3822.18	-3814.86	-3806.74	-3797.83	-3788.21	-3777.88
	PPP	0.6473	0.6888	0.7336	0.7815	0.8325	0.8868	0.9445	1.0056
		0.6554	0.6965	0.7412	0.7885	0.8385	0.8912	0.9466	1.0047
1700	V	0.02802	0.04501	0.06448	0.08561	0.10858	0.13341	0.15910	0.18567
	M	-3853.31	-3843.31	-3833.69	-3826.37	-3818.25	-3809.34	-3800.72	-3791.39
	PPP	0.5603	0.6018	0.6466	0.6945	0.7455	0.8008	0.8595	0.9216
		0.6455	0.6866	0.7313	0.7786	0.8286	0.8813	0.9367	0.9948
1800	V	0.02592	0.04251	0.06158	0.08201	0.10438	0.12861	0.15470	0.18167
	M	-3865.31	-3855.31	-3845.69	-3838.37	-3830.25	-3821.34	-3812.72	-3803.39
	PPP	0.4753	0.5168	0.5616	0.6095	0.6605	0.7148	0.7725	0.8336
		0.6356	0.6767	0.7214	0.7687	0.8187	0.8714	0.9268	0.9849
1900	V	0.02478	0.04101	0.05958	0.07951	0.10138	0.12561	0.15130	0.17737
	M	-3877.81	-3867.81	-3858.19	-3850.87	-3842.75	-3833.84	-3825.22	-3815.89
	PPP	0.3923	0.4338	0.4786	0.5265	0.5775	0.6318	0.6895	0.7506
		0.6258	0.6669	0.7116	0.7589	0.8089	0.8616	0.9170	0.9751
2000	V	0.02408	0.03991	0.05808	0.07751	0.09878	0.12191	0.14690	0.17277
	M	-3890.81	-3880.81	-3871.19	-3863.87	-3855.75	-3846.84	-3838.22	-3828.89
	PPP	0.3103	0.3518	0.3966	0.4445	0.4955	0.5498	0.6075	0.6686
		0.6159	0.6570	0.7017	0.7490	0.7990	0.8517	0.9071	0.9652
2100	V	0.02382	0.03931	0.05708	0.07611	0.09688	0.12041	0.14540	0.17127
	M	-3904.31	-3894.31	-3884.69	-3877.37	-3869.25	-3860.34	-3851.72	-3842.39
	PPP	0.2303	0.2718	0.3166	0.3645	0.4155	0.4698	0.5275	0.5886
		0.6114	0.6525	0.6972	0.7445	0.7945	0.8472	0.9026	0.9607
2200	V	0.02358	0.03881	0.05628	0.07491	0.09518	0.11821	0.14320	0.16907
	M	-3918.31	-3908.31	-3898.69	-3891.37	-3883.25	-3874.34	-3865.72	-3856.39
	PPP	0.1523	0.1938	0.2386	0.2865	0.3375	0.3918	0.4495	0.5106
		0.6075	0.6486	0.6933	0.7406	0.7906	0.8433	0.8987	0.9568
2300	V	0.02338	0.03841	0.05558	0.07381	0.09358	0.11601	0.14090	0.16667
	M	-3932.81	-3922.81	-3913.19	-3905.87	-3897.75	-3888.84	-3880.22	-3870.89
	PPP	0.0773	0.1188	0.1636	0.2115	0.2625	0.3168	0.3745	0.4356
		0.6037	0.6448	0.6895	0.7368	0.7868	0.8395	0.8949	0.9530
2400	V	0.02322	0.03801	0.05488	0.07281	0.09218	0.11411	0.13890	0.16457
	M	-3947.81	-3937.81	-3928.19	-3920.87	-3912.75	-3903.84	-3895.22	-3885.89
	PPP	0.0023	0.0438	0.0886	0.1365	0.1875	0.2418	0.2995	0.3606
		0.6000	0.6411	0.6858	0.7331	0.7831	0.8358	0.8912	0.9493

Flux Thermodynamic Properties of Carbon Dioxide 161

Thermodynamic Properties of Carbon Dioxide (Continued)

P	T	100	120	140	160	180	200	220	240
500	V	0.0131	0.0178	0.0185	0.0196	0.0204	0.0217	0.0233	0.0244
	H	-3948.87	-3948.87	-3936.20	-3926.87	-3916.76	-3905.00	-3891.72	-3877.02
	S	0.2734	0.2786	0.2775	0.2781	0.2785	0.2788	0.2791	0.2792
	F/P	0.7673	0.7696	0.7654	0.7626	0.7593	0.7559	0.7524	0.7489
600	V	0.0167	0.0220	0.0230	0.0235	0.0238	0.0241	0.0244	0.0247
	H	-3924.87	-3924.87	-3912.20	-3902.87	-3892.76	-3881.00	-3867.72	-3853.02
	S	0.2781	0.2833	0.2822	0.2828	0.2832	0.2835	0.2838	0.2840
	F/P	0.7672	0.7695	0.7653	0.7625	0.7592	0.7558	0.7523	0.7488
700	V	0.0193	0.0250	0.0260	0.0265	0.0268	0.0271	0.0274	0.0277
	H	-3898.87	-3898.87	-3886.20	-3876.87	-3866.76	-3855.00	-3841.72	-3827.02
	S	0.2766	0.2818	0.2807	0.2813	0.2817	0.2820	0.2823	0.2825
	F/P	0.7640	0.7663	0.7621	0.7593	0.7560	0.7526	0.7491	0.7456
800	V	0.0217	0.0270	0.0280	0.0285	0.0288	0.0291	0.0294	0.0297
	H	-3872.87	-3872.87	-3860.20	-3850.87	-3840.76	-3829.00	-3815.72	-3801.02
	S	0.2751	0.2803	0.2792	0.2798	0.2802	0.2805	0.2808	0.2810
	F/P	0.7605	0.7628	0.7586	0.7558	0.7525	0.7491	0.7456	0.7421

P	T	260	280	300	320	340	360	380	400
1	V	174.79563	180.33434	184.73282	188.25126	190.20630	191.31802	191.72377	191.60004
	H	-3712.80	-3708.10	-3702.80	-3696.98	-3690.65	-3683.80	-3676.42	-3668.52
	S	1.3430	1.3501	1.3554	1.3618	1.3677	1.3733	1.3781	1.3824
	F/P	1.0039	1.0001	1.0027	1.0044	1.0041	1.0024	1.0002	0.9976
10	V	17.51903	18.06887	18.50239	18.82086	19.04707	19.19074	19.25187	19.24208
	H	-3712.72	-3708.02	-3702.72	-3696.90	-3690.57	-3683.72	-3676.34	-3668.44
	S	1.2700	1.2760	1.2809	1.2859	1.2907	1.2954	1.2999	1.3042
	F/P	3.0992	0.9095	0.8080	0.7297	0.6708	0.6284	0.5987	0.5767
16.7	V	11.01314	12.28915	12.55188	12.71764	12.79977	12.79180	12.70136	12.54888
	H	-3712.80	-3708.10	-3702.80	-3696.98	-3690.65	-3683.80	-3676.42	-3668.52
	S	1.2229	1.2286	1.2334	1.2383	1.2433	1.2482	1.2531	1.2580
	F/P	0.9094	0.8085	0.8087	0.7931	0.7780	0.7636	0.7491	0.7345
15	V	11.09235	12.00320	12.32790	12.57151	12.73667	12.82327	12.83098	12.76911
	H	-3712.81	-3708.10	-3702.81	-3696.99	-3690.66	-3683.81	-3676.43	-3668.53
	S	1.2218	1.2277	1.2327	1.2378	1.2429	1.2481	1.2532	1.2583
	F/P	0.9081	0.8152	0.8094	0.7939	0.7787	0.7642	0.7497	0.7351
25	V	6.74574	7.19223	7.36432	7.50816	7.62156	7.70209	7.75944	7.79311
	H	-3712.76	-3708.06	-3702.76	-3696.94	-3690.61	-3683.76	-3676.38	-3668.48
	S	1.1104	1.1203	1.1289	1.1364	1.1429	1.1484	1.1530	1.1576
	F/P	0.9107	0.8070	0.8073	0.8077	0.8077	0.8074	0.8072	0.8068
50	V	3.49920	3.59518	3.61889	3.73257	3.81614	3.87209	3.90767	3.92766
	H	-3713.33	-3708.64	-3703.34	-3697.52	-3691.19	-3684.34	-3676.96	-3669.06
	S	1.1007	1.1104	1.1184	1.1258	1.1324	1.1381	1.1429	1.1476
	F/P	0.9092	0.8089	0.8090	0.8090	0.8088	0.8085	0.8083	0.8081
75	V	2.31623	2.38278	2.40054	2.51589	2.57178	2.60767	2.63477	2.65292
	H	-3713.71	-3709.02	-3703.72	-3697.90	-3691.57	-3684.72	-3677.34	-3669.44
	S	1.0481	1.0587	1.0673	1.0747	1.0813	1.0870	1.0918	1.0959
	F/P	0.8098	0.8087	0.8086	0.8083	0.8082	0.8081	0.8080	0.8079
100	V	1.71308	1.78122	1.81155	1.88175	1.93167	1.95913	1.97911	1.99177
	H	-3714.20	-3709.51	-3704.21	-3698.39	-3692.06	-3685.21	-3677.83	-3670.45
	S	1.0180	1.0280	1.0360	1.0430	1.0490	1.0540	1.0580	1.0610
	F/P	0.8086	0.8085	0.8087	0.8086	0.8085	0.8084	0.8083	0.8082
150	V	1.18802	1.26033	1.28005	1.37022	1.42818	1.47126	1.49892	1.51250
	H	-3714.85	-3710.16	-3704.86	-3699.04	-3692.71	-3685.86	-3678.48	-3671.10
	S	1.0155	1.0255	1.0335	1.0405	1.0465	1.0515	1.0555	1.0595
	F/P	0.8089	0.8088	0.8089	0.8088	0.8087	0.8086	0.8085	0.8084

## Thermodynamic Properties of Carbon Dioxide (Continued)

P	T	260	280	300	320	340	360	380	400
200	V	0.09388	0.07944	0.06530	0.05310	0.04560	0.04021	1.00714	0.0202
	M	-3719.82	-3710.98	-3702.74	-3701.91	-3696.74	-3691.98	-3687.11	-3682.28
	S	1.01919	1.1082	1.1184	1.1208	1.1265	1.1322	1.1381	1.1436
320	V	0.26040	0.25787	0.26051	0.01411	0.43151	0.04902	0.06032	0.07556
	M	-3717.18	-3712.41	-3707.91	-3702.80	-3697.96	-3691.10	-3684.22	-3678.31
	S	1.0521	1.0865	1.0948	1.1010	1.1071	1.1120	1.1168	1.1216
400	V	0.41600	0.42864	0.44213	0.45559	0.46915	0.48280	0.49750	0.50804
	M	-3718.77	-3713.94	-3709.00	-3704.10	-3699.19	-3694.26	-3689.31	-3684.34
	S	1.0475	1.0741	1.0875	1.0988	1.0930	1.0908	1.1049	1.1109
500	V	0.32881	0.33824	0.34952	0.36157	0.37170	0.38262	0.39345	0.40420
	M	-3720.38	-3715.39	-3710.30	-3705.42	-3700.53	-3695.62	-3690.71	-3685.78
	S	1.0358	1.0626	1.0691	1.0725	1.0818	1.0878	1.0938	1.0998
600	V	0.26929	0.27812	0.28790	0.29734	0.30676	0.31607	0.32528	0.33442
	M	-3722.01	-3716.71	-3711.82	-3706.75	-3701.67	-3696.50	-3691.31	-3686.12
	S	1.0260	1.0520	1.0598	1.0661	1.0724	1.0786	1.0847	1.0907
700	V	0.22048	0.23144	0.24373	0.25721	0.26960	0.28266	0.29681	0.30987
	M	-3721.67	-3716.45	-3711.26	-3706.08	-3700.91	-3695.77	-3690.62	-3685.47
	S	1.0373	1.0644	1.0737	1.0794	1.0843	1.0892	1.0940	1.0988
800	V	0.19514	0.20701	0.21971	0.23182	0.24266	0.25286	0.26219	0.27078
	M	-3723.36	-3718.01	-3712.70	-3707.42	-3702.14	-3696.86	-3691.57	-3686.28
	S	1.0296	1.0568	1.0648	1.0705	1.0754	1.0802	1.0850	1.0897
900	V	0.17078	0.18400	0.19804	0.21182	0.22458	0.23631	0.24714	0.25729
	M	-3725.06	-3719.59	-3714.14	-3708.74	-3703.34	-3697.94	-3692.53	-3687.11
	S	1.0225	1.0497	1.0577	1.0634	1.0682	1.0729	1.0776	1.0822
1000	V	0.15131	0.16502	0.17954	0.19294	0.20511	0.21621	0.22641	0.23581
	M	-3726.80	-3721.18	-3715.64	-3710.16	-3704.71	-3699.26	-3693.81	-3688.37
	S	1.0160	1.0434	1.0514	1.0571	1.0617	1.0662	1.0707	1.0752
1100	V	0.13540	0.14910	0.16379	0.17632	0.18766	0.19791	0.20727	0.21591
	M	-3728.58	-3722.81	-3717.05	-3711.32	-3705.61	-3700.03	-3694.45	-3688.87
	S	1.0104	1.0377	1.0457	1.0513	1.0559	1.0604	1.0649	1.0694
1200	V	0.12171	0.13612	0.15089	0.16394	0.17548	0.18561	0.19431	0.20264
	M	-3730.32	-3724.41	-3718.41	-3712.31	-3706.24	-3700.20	-3694.16	-3688.12
	S	1.0048	1.0321	1.0401	1.0457	1.0502	1.0547	1.0592	1.0637
1300	V	0.11011	0.12504	0.14021	0.15294	0.16460	0.17526	0.18501	0.19381
	M	-3732.11	-3726.04	-3720.01	-3713.91	-3707.84	-3701.80	-3695.76	-3689.72
	S	0.9992	1.0265	1.0345	1.0401	1.0446	1.0491	1.0536	1.0581
1400	V	0.10144	0.11669	0.13229	0.14570	0.15804	0.16940	0.17981	0.18931
	M	-3733.91	-3727.78	-3721.61	-3715.41	-3709.24	-3703.10	-3696.96	-3690.81
	S	0.9936	1.0209	1.0289	1.0345	1.0390	1.0435	1.0480	1.0525
1500	V	0.09329	0.10884	0.12489	0.13904	0.15240	0.16506	0.17701	0.18821
	M	-3735.72	-3729.51	-3723.21	-3716.81	-3710.41	-3704.01	-3697.61	-3691.21
	S	0.9880	1.0153	1.0233	1.0289	1.0334	1.0379	1.0424	1.0469
1600	V	0.08614	0.09912	0.11309	0.12744	0.14160	0.15566	0.16961	0.18341
	M	-3737.53	-3731.24	-3724.81	-3718.31	-3711.81	-3705.31	-3698.81	-3692.31
	S	0.9824	1.0097	1.0177	1.0233	1.0278	1.0323	1.0368	1.0413

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

- the historical origins of the VDW equation  
M.J.Klein  
Physica 73 (1974) 28-47 (1)
- Improvement of the VDW equation of state  
G.Soave  
Chemical Eng. Science Vol.39 No.2 1984 (2)
- A modified VDW type equation of state  
G. Schmidt & H. Wenzel  
Chemical Engineering Science Vol. 35 ( 1503-1512 ) (3)
- Improvement of the VDW equation of state  
G. Soave  
Chemical Engineering Science Vol. 3 No. 2 (1984) (4)
- Equation of state from VDW theory : The legacy of Otto Redlich  
J. M. Prausnitz  
Fluid phase equilibria , 24 ( 1985 ) 63-76 (5)
- A comparison of Equations of State  
K. K. Shah & G. Thodos  
Ind. and Engineering Chemistry  
Vol. 27 No. 3 Mar. 1965 (6)
- Cubic Equations of State (7)  
J. J. Martin  
Ind. and Engineering Chemistry  
Vol. 59 No. 12 Dic. 1967
- Equation of State for non-attracting rigid spheres  
Carnahan N. F. & K.E. Starling (11)  
Jcurnal Chem. Phys. 51 (1969) 635
- Optimal temperature - dependent "a" and "b" parameters  
for the Redlich - Kwong equation of State. (10)  
R. W. Morris & E. A. Turek  
ACS National Meeting , Miami ( 1985 )
- A new cubic equation of State for fluids and fluids mixtures  
Patel N. C. & Teja A. S. ( 8 )  
Chem. Eng. Sci. No. 37 , 463 ( 1982 )
- Equilibrium constants from a modified Redlich-Kwong  
Equation of State (10)  
G. Soave  
Chem. Eng. Science No. 27 , 1197 ( 1972 )
- A new two constant equation of State  
Peng D. Y. & Robinson D. B. (12)  
Ind. Eng. Chem. fundamentals No. 15 (1) ( 1976 )

- Rigorous and simplified procedures for determining the pure component parameters in Redlich-Kwong-Saave EOS.  
G. Soave (13)  
Chem. Eng. Science No. 35 , 1725 ( 1980 )
- Simplest Equation of State for Vapor-Liquid equilibrium calculation a modification of the VDW equation.  
Yoshinori Adachi & C. Lu (14)  
AIChE Journal Vol. 30 No. 6 ( 1984 )
- Correlation and prediction of VLE and LLE by empirical EOS  
Grazyna Kolasinska (16)  
Fluid Phase Equilibria , No.27 289-308 ( 1986 )
- Evaluation of Cubic Equation of State  
Yoshinori Adachi & Hidezumi Sugie (15)  
Journal of Chemical Eng. of Japan Vol.17 No.6 (1984)
- Phase Equilibria in Chemical Engineering  
Stanley M. Walas (16)  
Butterworth publishers ( 1985 )
- The representation fo highly Non-ideal phase using computer graphics (17)  
G.N. Charos , P. Clancy , E. Gubbins  
Chemical Engineering Education Spring 1986
- The use of computer graphics to teach thermodynamic phase diagrams (17)  
Chandrashekhar , D. Naik, P. Clancy  
Chemical Engineering Education Spring 1985
- Recherches experimentales sur quelques proprietes thermiques des gaz (18)  
Cardoso A. Bruno  
J. Chim. Phys No. 20 ( 347-351 ) ( 1973 )
- On The flexibility and limitations of Cubic EOS  
Vera J. H. , Huron M. J. & Vidal J. (19)  
Chemical Engineering Communication Vol. 26 , 311 (1984)
- An improved Peng-Robinson EOS for pure compounds and mixtures  
R. Stryjek & J.H. Vera (13)  
Canadian Journal of Chemical Eng. Vol 64 ( 1986 )
- The development of the Peng-Robinson Equation and its application to phase equilibrium in a system containing methanol  
D. Robinson , D. Y. Peng & S. Y. Chung (12)  
Fluid Phase Equilibria No. 24 ( 25-41) ( 1985 )

- Evaluacion de las diversas modificaciones a la ecuacion de Redlich - Kwong  
F. Barnes y J. Flores (11)  
XVI convencion nacional IMIQ ( 1976 ) Nov-Dic
- Prediccion de las propiedades termodinamicas de gases ideales  
F. Barnes y J. Flores (2)  
Rev. IMIQ ( Energeticos ) Junio 1976
- From Redlich-Kwong to the present  
C. Tsonopoulos & J. I. Heidman (15)  
Fluid Phase Equilibria No. 24 , 1-23 ( 1985 )
- Computer Aider thermodynamic of gases and theoria of models and programs (18)  
Benedik P. & Qiti F.  
Ed. Walley ( 1985 )
- ENGINEERING THERMODYAMICS (5)  
R. E. Balzhiser & R. Samuels  
Prentice - Hall ( cap. III ) ( 1983 )
- INGENIERIA TERMODINAMICA (5)  
W. Reynolds & H. Perkins  
Mc. Graw Hill ( cap. IV ) ( 1979 )
- FUNDAMENTALS OF STATISTICAL THERMODYNAMICS (19)  
Schnntag van Wylen  
Ed. Wiley
- PROBABILITY AND STATISTICS FOR ENGINEERS (19)  
I. Miller & J. Freund  
Ed. Prentice Hall
- INTRODUCCION A LA PROBABILIDAD Y A LA ESTADISTICA (20)  
Mendenhall f.  
Ed. Wadsworth International Iberoamericana
- PROBABILIDAD Y ESTADISTICA ( Aplicaciones y metodos ) (19)  
G. C . Canavos  
Ed. Mc Graw Hill
- DIFFERENTIAL GEOMETRY (21)  
Guggenheimer H. W.  
Ed. Mc. Graw Hill
- SURVEYING PROBLEMS AND SOLUTIONS (22)  
D. R. Foote & J. Kelly  
Ed.. Mc Graw Hill ( cap XI )