



INGENIERIA DEL GAS

Definiciones y terminología del Gas Natural



DEFINICIONES

GAS NATURAL

El gas natural es una mezcla de gases compuesta principalmente por metano. Se trata de un gas combustible que proviene de formaciones geológicas, por lo que constituye una fuente de energía no renovable.

Otra definición del gas natural: Componentes del gas con moléculas de carbono con cuatro o menos (metano, etano, propano y butano).

¿Por qué?

Los hidrocarburos con más moléculas de carbono son líquidos en condiciones normales, pero pueden existir en fase gaseosa en el yacimientos.



DEFINICIONES

COMPONENTES DEL GAS NATURAL

Alcanos

C1 – C6 , C7+

Contaminantes (No hidrocarburos)

Hidrógeno (H)

Nitrógeno (N₂)

Dióxido de Carbono (CO₂)

Ácido Sulfúrico(HS₂)

Óxidos Nitrosos (NO_x)

Mercurio (Hg)

Otros (Helio, Argón)

DEFINICIONES

CROMATOGRAFÍA Y SU IMPORTANCIA



Ingeniería de gas, principios y aplicaciones

Análisis de la muestra de gas natural No.:90-08-10-01

Fecha: 10-08-90 Estado: Occidente Asociado
Muestra: G. N. Occid. Aso. Empresa: ING. CONS.
Temperatura: 90 °F Presión: 100 lpc
Tomada con fecha: 10-08-90 Profundidad: 0

Componentes	Porcentaje Molar	Contenido Líquido
CO2	4.4000	
N2	0.5000	
C1	73.1000	
C2	11.0000	
C3	6.0000	1.64956
i-C4	1.1000	0.35903
n-C4	1.9000	0.59766
i-C5	0.6000	0.21903
n-C5	0.5000	0.18067
n-C6	0.5000	0.20516
n-C7	0.4000	0.18408
	Σ 100.0000	Σ 3.39519

Características del gas natural

Gravedad Específica	0.79848	
Peso Molecular	23.12650	lbs/lbmol
Presión Pseudocrítica	676.82837	lpca
Temperatura Pseudocrítica	416.63272	*R
Pre. Pseudocrítica Corregida	666.42255	lpca
Temp. Pseudocrítica Corregida	410.22726	*R
Factor de Corrección por Acidez	6.40546	*R
Contenido Líquido (GPM) (C1+)	18.69185	gal/1000 pie3
Contenido Líquido (GPM) (C2+)	6.33039	gal/1000 pie3
Contenido Líquido (GPM) (C3+)	3.39519	gal/1000 pie3
Valor Calorífico Bruto	1271.52600	BTU/pie3
Valor Calorífico Neto	1155.07959	BTU/pie3
Contenido de H2S	20000.00000	ppm,v
Contenido de H2O	0.00000	lbs/MM pcn

Las constantes para los cálculos fueron tomadas del G.P.S.A. 87:
P = 14.696, T = 60 °F y Vol. molar = 379.4836 pie3/lbmol.

Composición

Wt

Yi

%

Valor calorífico del gas

Trazas de líquido

Propiedades pseudocríticas



DEFINICIONES

TIPOS DE GASES

Gas seco o pobre

Contiene más del 95% de metano.

Gas rico

Contiene menos del 95% de metano (+5% Etano, Propano, Butano, +C5).

Variaciones estimadas de la composición

	Componentes - % molar			
	<u>C₁</u>	<u>C₂</u>	<u>C₃ - C₆</u>	<u>C₇⁺</u>
GAS SECO	90-98	2-3	0,9-1,2	0,4-1,0
GAS NATURAL	70-89	2-20	3,0-15,0	0,0-6,0
GAS CONDENSADO	80-89	3-5	3,0-5,0	1,0-6,0
PETRÓLEO	< 80	> 5	> 5,0	> 6,0

Martinez, Macias: "Ingeniería de gas, principios y aplicaciones"

DEFINICIONES



DERIVADOS DEL GAS NATURAL

Gas Natural Licuado (GNL)

- Principalmente propano (C3) y butano (C4).
- Es gas natural enfriado (-161°C) y convertido en estado líquido para facilitar su transporte.
- La licuefacción puede reducir el volumen de gas hasta en 600 veces.
- Baja volatilidad en estado líquido.

Gas Natural Comprimido (GNC)

- Constituido principalmente por metano (C1).
- Alta volatilidad.
- Es gas natural almacenado a altas presiones (entre 200 y 250 bar).
- Es un combustible que se utiliza en vehículos ya que resulta económico y limpio en comparación a la gasolina (-30%).



¿QUE PASA LUEGO DE EXTRAÍDO EL GN?

Durante la extracción, algunos gases que forman parte de su composición natural se separan por diferentes motivos: por su bajo poder calorífico (p. ej. nitrógeno o dióxido de carbono), porque pueden condensarse en los gasoductos (al tener una baja temperatura de saturación) o porque dificultan el proceso de licuefacción de gases (como el dióxido de carbono, que se solidifica al producir gas natural licuado (GNL)).



¿QUE PASA LUEGO DE EXTRAÍDO EL GN?

El propano, butano y otros hidrocarburos más pesados también se separan porque dificultan que la combustión del gas natural sea eficiente y segura. El agua (vapor) se elimina por estos motivos y porque a presiones altas forma hidratos de metano, que obstruyen los gasoductos. Los derivados del azufre son depurados hasta concentraciones muy bajas para evitar la corrosión, formación de olores y emisiones de dióxido de azufre (causante de la lluvia ácida) tras su combustión.



ACTIVIDAD

¿Potencial o reservas de GN de Colombia?

¿Costo del GN hoy en día?

¿País más productor de GN en el mundo y en qué cantidad?



ACTIVIDAD

COLOMBIA

USA

RUSIA

QATAR

IRÁN

RESERVAS PROBABLES DE GN*

1. RESERVAS PROBADAS DE GN
2. CUOTA DE PRODUCCIÓN (MMPCD) DE GN
3. CUOTAS DE EXPORTACIÓN DE GN POR DÍA + PRINCIPALES MERCADOS (PAÍSES)
4. **OPCIONAL:** REPRESENTACIÓN (\$) DE VENTAS AL AÑO / POSICIÓN ACTUAL COMO EXPORTADOR DE GN EN EL MUNDO

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



Tabla de constantes y factores de conversión

Constantes básicas

Temperatura absoluta equivalente a 0° F	459,688 °R
Densidad máxima del agua (39,16 ° F)	0,999973 g por cm ³
Densidad del agua a 60 °F	0,999014 g por cm ³
Peso molecular promedio de aire seco	28,97
Número de Avogadro	2,733 × 10 ²⁶ moléculas por lb mol

Constantes derivadas

Constante del gas	10,732 $\frac{(\text{lpc}) (\text{p}^3)}{(\text{lb-mol}) (^\circ\text{R})}$
Volumen de 1 lb-mol de gas a 14,4 lpca y 60 °F	387,29z* p ³
Volumen de 1 lb-mol de gas a 14,65 lpca y 60 °F	380,68z p ³
Volumen de 1 lb-mol de gas a 14,696 lpca y 60 °F	379,51z p ³
Volumen de 1 lb-mol de gas a 14,7 lpca y 60 °F	379,41z p ³
Volumen de 1 lb-mol de gas a 14,73 lpca y 60 °F	378,62z p ³
Densidad de agua a 60 °F	62,366 lb por p ³
Un pie de agua a 60 °F	0,43310 lpc
Densidad del agua a 60 °F	8,33727 lb por gal

* z es el factor de desviación del gas.

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



Tabla de constantes y factores de conversión

Convenciones

$M=1000$ y MM o $M^2=1.000.000$

MCF (inglés) = MPC (español) = $1.000 \text{ p}^3 \text{ std.}$

Temperatura standard legal comúnmente usada = 60°F

Unidades de longitud

1 cm = 0,3937 pl

1 p = 30,4801 cm

1 p = 0,3600 varas

1 m = 39,370 pl

1 m = 3,2808 p

1 milla = 5280 p

1 pl = 2,54001 cm

Unidades de superficie

1 ac = 43.560 p²

40 ac = 1320 p por 1320 p

1 ac = cuadrado de 208,71 pies de lado

1 milla² = 640 ac

Unidades de peso

1 oz = 28,34953 g

1 lb = 453,59243 g

1 lb = 16 oz

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



Tabla de constantes y factores de conversión

Unidades de volumen

1 ac-p=43.560 p³
1 ac-p=7758,4 bl
1 bl=42 gal U. S.
1 bl.=5,61458 p³
1 p³=1728 pl³
1 p³=7,4805 gal
1 p³=0,178108 bl
1 m³=6,2898 bl
1 gal=3785,43 cm³
1 gal=231 pl³
1 quart (cuarto de galón)=946,35 cm³

Escala de temperatura

Grados Farenheit (°F)1,8 (grados C)+32
Grados Centígrados (°C)(1/1,8) (grados F-32)
Grados Kelvin (°K)grados C+273,16
Grados Rankine (°R)grados F+459,7

Unidades de densidad

1 g por cm³=62,428 lb/p³
1 g por cm³=8,3455 lb/gal
1 g por cm³=350,51 lb/bl
1 lb por p³=0,0160184 g/cm³

Unidades de presión

1 atm=760 mm Hg (0 °C)
1 atm=29,921 pl Hg (0 °C)
1 atm=14,696006 lpc
1 atm=33,899 p de agua (4 °C)
1 p de agua (4 °C)=0,4335 lpc
1 pl Hg (0 °C)=0,4912 lpc
1 lpc=2,036 pl Hg (0 °C)

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



LEY DE GASES IDEALES (Condiciones Atmosféricas)

Boyle, Charles, Avogadro y Gay Lussac

$$pV = nRT$$

Donde:

$$n = \frac{m_g}{PM_g}$$

LEYENDA

n: moles

m_g: lb

PM_g: lb/mol

R: 10,73

psia*PC/lb-mol*°R

P: psia

T: °R

1lb-mol = 379,4 PC @ 14,7 psia, 1 ATM

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



PESOS ATÓMICOS Y MOLECULARES COMUNES

Elemento	Símbolo	Peso atómico	Fórmula molecular y peso del gas	
Argón	A	39,944	A	39,944
Carbono	C	12,010	C	12,010
Cloro	Cl	35,457	Cl ₂	70,914
Helio	He	4,003	He	4,003
Hidrógeno	H	1,008	H ₂	2,016
Nitrógeno	N	14,008	N ₂	28,016
Oxígeno	O	16,000	O ₂	32,000
Azufre	S	32,066	S	32,066

Condiciones atmosféricas

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



PROPIEDAD: GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS (SG_g)

$$\gamma_g = \frac{\frac{pM_g}{RT}}{\frac{pM_a}{RT}} = \frac{M_g}{M_a} = \frac{M}{28.96}$$

donde;

M_g : Peso molecular del gas, lbs/lb-mol o grs/gr-mol

M_a : Peso molecular del aire, (= 28.96 lbs/lb-mol)

Mismas condiciones de P y T

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



PROPIEDAD: GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS (SG_g)

Conocidas las fracciones molares de los compuestos en el gas

$$M = \sum_{i=1}^n y_i M_i$$

- M_i : Peso molecular del componente i en la mezcla, lbs/lb-mol o grs/gr-mol
 y_i : Componente i en la mezcla, fracción molar
 n : Número de componentes en la mezcla

Para conocer los pesos moleculares de los compuestos típicos – Tabla 1.2 (Correlaciones PVT – Carlos Banzer)

La sumatoria total de todas las fracciones molares de los compuestos en el gas deben ser 100%

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



PROPIEDAD: GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS (SG_g)

Componente	Fórmula	Símbolo (para cálculos)	Peso Molecular (lbs/lb-mol)	Temp. Crítica (°R)	Pres. Crítica (lpsca)	Vol. Crítico (pie ³ /lbs)	Grav. Espec. del Gas (aire = 1)	Grav. Espec. del Líquido (agua = 1)
Metano	CH ₄	C ₁	16.043	343.37	667.8	0.0988	0.554	
Etano	C ₂ H ₆	C ₂	30.070	550.09	707.8	0.0783	1.038	0.356*
Propano	C ₃ H ₈	C ₃	44.097	666.01	616.3	0.0727	1.523	0.508*
n-Butano	nC ₄ H ₁₀	n-C ₄	58.124	765.65	550.7	0.0703	2.007	0.508*
i-Butano	iC ₄ H ₁₀	i-C ₄	58.124	734.98	529.1	0.0714	2.007	0.563
n-Pentano	nC ₅ H ₁₂	n-C ₅	72.151	845.70	488.6	0.0675	2.491	0.631
i-Pentano	iC ₅ H ₁₂	i-C ₅	72.151	829.10	490.4	0.0679	2.491	0.625
n-Hexano	nC ₆ H ₁₄	n-C ₆	86.178	913.70	436.9	0.0688	2.975	0.664
n-Heptano	nC ₇ H ₁₆	n-C ₇	100.205	972.80	396.8	0.0691	3.460	0.688
n-Octano	nC ₈ H ₁₈	n-C ₈	114.232	1024.22	360.6	0.0690	3.944	0.707
n-Nonano	nC ₉ H ₂₀	n-C ₉	128.259	1070.68	332.0	0.0684	4.428	0.722
n-Decano	nC ₁₀ H ₂₂	n-C ₁₀	142.286	1112.10	304.0	0.0679	4.913	0.734
Aire	N ₂ +O ₂	N ₂ +O ₂	28.963	238.69	546.9	0.0517	1.000	0.875*
Agua	H ₂ O	H ₂ O	18.015	1165.16	3198.8	0.0497	0.622	1.000
Dióxido de carbono	CO ₂	CO ₂	44.010	547.90	1071.0	0.0344	1.520	0.818*
Helio	He	He	4.003	9.69	32.99	0.2300	0.138	0.138
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	H ₂ S	34.076	672.70	1306.0	0.0461	1.177	0.801*
Nitrógeno	N ₂	N ₂	28.013	227.60	493.0	0.0510	0.967	
Oxígeno	O ₂	O ₂	31.999	278.57	731.4	0.0367	1.105	1.142*

*A la presión de saturación y 60 °F

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



PROPIEDAD: GRAVEDAD ESPECIFICA DEL GAS (SG_g)

Fracciones molares de los compuestos en el gas menores o mayores a 100%

$$Y_i^* = \frac{Y_i}{\sum Y_i}$$

Normalización

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



EJEMPLO DE NORMALIZACIÓN

$$Y_i^* = \frac{Y_i}{\sum Y_i}$$

COMPUESTO	Y_i	$Y_i^* = Y_i / \sum Y_i$
C1	0,85	0,83
C2	0,16	0,16
C3	0,01	0,01
SUMATORIA	1,02 (102%)	1 (100%)

Usar los datos propuestos para calcular SG_g

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



AJUSTE DE LA ECUACIÓN IDEAL DE LOS GASES (FACTOR Z)

$$pV = \underline{z}nRT$$

Es una variable adimensional que permite conocer la exacta relación entre las variables P, V y T de un gas a condiciones diferentes a las normales (14,7 psia y 60°F).

Factor de compresibilidad del gas / Factor de desviación del gas /
Factor-z

El cálculo exacto de esta variable se basa en la estimación de las condiciones pseudocríticas y reducidas del gas

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



CONDICIONES PSEUDOCRÍTICAS DE GASES NATURALES – Método de Kay

$$P_{scM} = \sum_{i=1}^n y_i P_{ci}$$

$$T_{scM} = \sum_{i=1}^n y_i T_{ci}$$

donde;

- P_{scM} : Presión seudocrítica de la mezcla, lpca.
- T_{scM} : Temperatura seudocrítica de la mezcla, °R
- P_{ci} : Presión crítica del componente i , lpca.
- T_{ci} : Temperatura crítica del componente i , °R
- y_i : Componente i en la mezcla, fracción molar
- n : Número de componentes en la mezcla

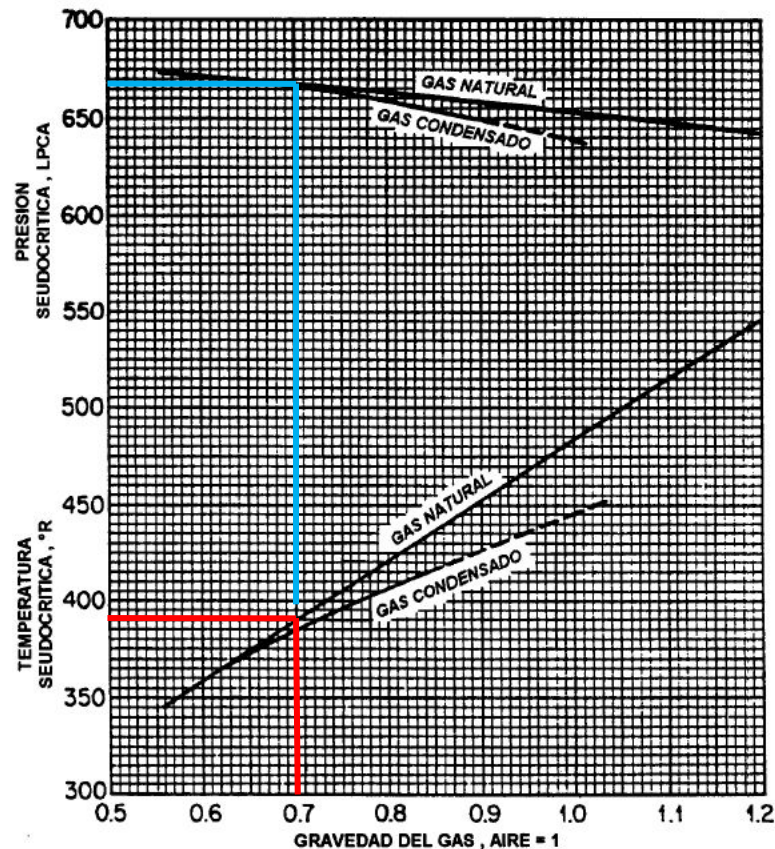
Componente	Fórmula	Símbolo (para cálculos)	Peso Molecular (lbs/lb-mol)	Temp. Crítica (°R)	Pres. Crítica (lpca)	Vol. Crítico (pie ³ /lbs)	Grav. Espec. del Gas (aire = 1)	Grav. Espec. del Líquido (agua = 1)
Metano	CH ₄	C ₁	16.043	343.37	667.8	0.0988	0.554	
Etano	C ₂ H ₆	C ₂	30.070	550.09	707.8	0.0783	1.038	0.356*
Propano	C ₃ H ₈	C ₃	44.097	666.01	616.3	0.0727	1.523	0.508*
<i>n</i> -Butano	<i>n</i> C ₄ H ₁₀	<i>n</i> -C ₄	58.124	765.65	550.7	0.0703	2.007	0.508*
<i>i</i> -Butano	<i>i</i> C ₄ H ₁₀	<i>i</i> -C ₄	58.124	734.98	529.1	0.0714	2.007	0.563
<i>n</i> -Pentano	<i>n</i> C ₅ H ₁₂	<i>n</i> -C ₅	72.151	845.70	488.6	0.0675	2.491	0.631
<i>i</i> -Pentano	<i>i</i> C ₅ H ₁₂	<i>i</i> -C ₅	72.151	829.10	490.4	0.0679	2.491	0.625
<i>n</i> -Hexano	<i>n</i> C ₆ H ₁₄	<i>n</i> -C ₆	86.178	913.70	436.9	0.0688	2.975	0.664
<i>n</i> -Heptano	<i>n</i> C ₇ H ₁₆	<i>n</i> -C ₇	100.205	972.80	396.8	0.0691	3.460	0.688
<i>n</i> -Octano	<i>n</i> C ₈ H ₁₈	<i>n</i> -C ₈	114.232	1024.22	360.6	0.0690	3.944	0.707
<i>n</i> -Nonano	<i>n</i> C ₉ H ₂₀	<i>n</i> -C ₉	128.259	1070.68	332.0	0.0684	4.428	0.722
<i>n</i> -Decano	<i>n</i> C ₁₀ H ₂₂	<i>n</i> -C ₁₀	142.286	1112.10	304.0	0.0679	4.913	0.734
Aire	N ₂ +O ₂	N ₂ +O ₂	28.963	238.69	546.9	0.0517	1.000	0.875*
Agua	H ₂ O	H ₂ O	18.015	1165.16	3198.8	0.0497	0.622	1.000
Dióxido de carbono	CO ₂	CO ₂	44.010	547.90	1071.0	0.0344	1.520	0.818*
Helio	He	He	4.003	9.69	32.99	0.2300	0.138	0.138
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	H ₂ S	34.076	672.70	1306.0	0.0461	1.177	0.801*
Nitrógeno	N ₂	N ₂	28.013	227.60	493.0	0.0510	0.967	
Oxígeno	O ₂	O ₂	31.999	278.57	731.4	0.0367	1.105	1.142*

*A la presión de saturación y 60 °F

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



CONDICIONES PSEUDOCRITICAS DE GASES NATURALES – Método Brown y Katz



Conocida la **SGg** se puede determinar P y T pseudocríticas.

Puede usarse cuando el %Contaminantes es 5 - 9.9%

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



CONDICIONES PSEUDOCRITICAS DE GASES NATURALES – Método Brown y Katz

Si el %Contaminantes en el GN está entre 5 y 9.99%, debemos usar el siguiente ajuste:

Gravedad Especifica del gas

$$\gamma_{gHC} = \frac{\gamma_{gM} - 0.967y_{N_2} - 1.52y_{CO_2} - 1.18y_{H_2S}}{1 - y_{N_2} - y_{CO_2} - y_{H_2S}}$$

donde;

- γ_{gHC} : Gravedad específica de la porción de gas hidrocarburo, (aire = 1)
- γ_{gM} : Gravedad específica de la mezcla total de gas, (aire = 1)
- y_{N_2} : Contenido de N_2 , fracción molar
- y_{CO_2} : Contenido de CO_2 , fracción molar
- y_{H_2S} : Contenido de H_2S , fracción molar

Corrección de Condiciones pseudocríticas

Gas Natural:

$$p_{scHC} = 677 + 15\gamma_{gHC} - 37.5\gamma_{gHC}^2 \dots$$

$$T_{scHC} = 168 + 325\gamma_{gHC} - 12.5\gamma_{gHC}^2$$

Gas Condensado:

$$p_{scHC} = 706 - 51.7\gamma_{gHC} - 11.1\gamma_{gHC}^2$$

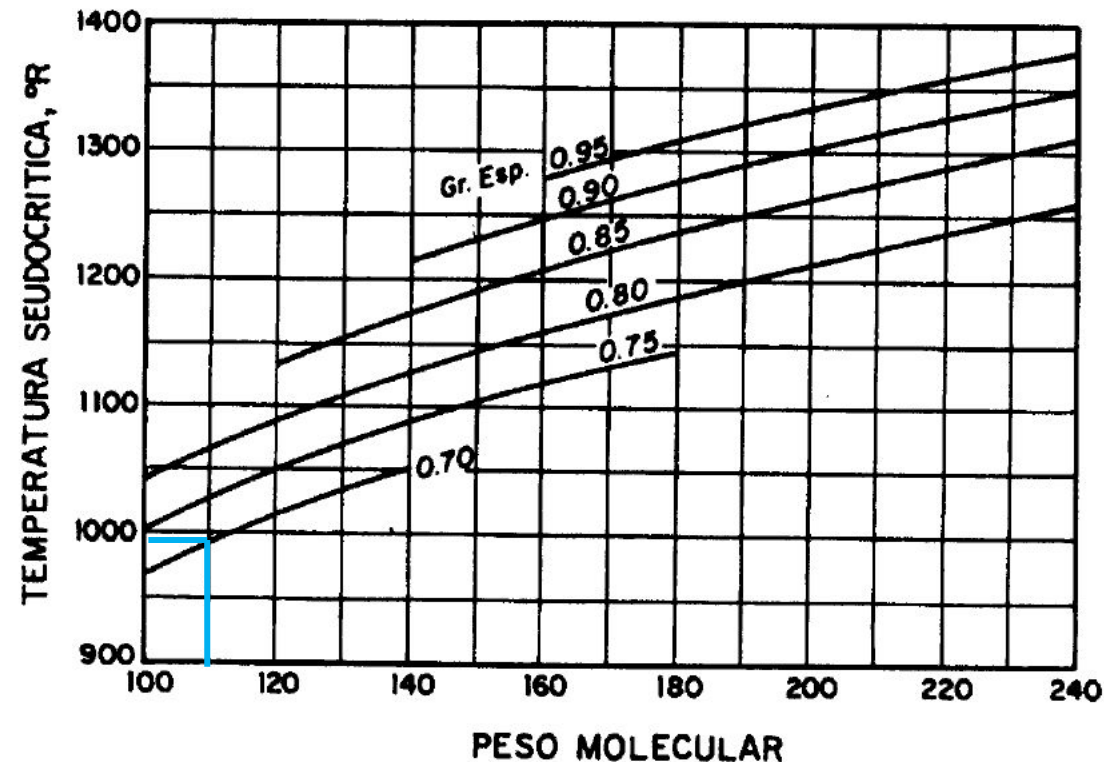
$$T_{scHC} = 187 + 330\gamma_{gHC} - 71.5\gamma_{gHC}^2$$

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



CONDICIONES PSEUDOCRITICAS DE LOS COMPONENTES PESADOS (C7+) – Correlación de Mathews, Roland y Katz

Conociendo la SG_{C7+} y PM_{C7+} ----- Psc y Tsc

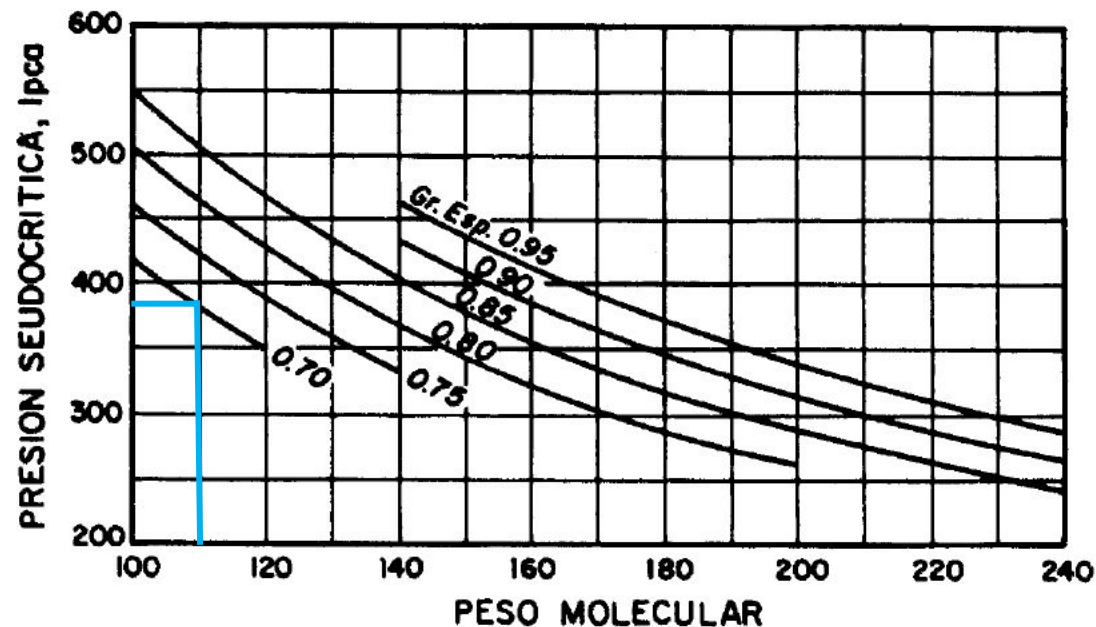


PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



CONDICIONES PSEUDOCRITICAS DE LOS COMPONENTES PESADOS (C7+) – Correlación de Mathews, Roland y Katz

Conociendo la SG_{C7+} y PM_{C7+} ----- Psc y Tsc





PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

CONDICIONES PSEUDOCRÍTICAS DE LOS COMPONENTES PESADOS (C7+) –

Correlación de Mathews, Roland y Katz

Ecuación

$$p_{scC7+} = 1188 - 431 \log(M_{C7+} - 61.1) + [2319 - 852 \log(M_{C7+} - 53.71)] (\gamma_{C7+} - 0.8)$$

$$T_{scC7+} = 608 + 364 \log(M_{C7+} - 71.2) + (2450 \log M_{C7+} - 3800) \log \gamma_{C7+}$$

donde;

p_{scC7+} : Presión pseudocrítica del C_{7+} , lpc.

T_{scC7+} : Temperatura pseudocrítica del C_{7+} , °R

M_{C7+} : Peso molecular del C_{7+} , lbs/lb-mol

γ_{C7+} : Gravedad específica del C_{7+} , (agua = 1)

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



CÁLCULO DEL FACTOR Z

$$pV = nzRT$$

$$pV = \frac{m}{M} zRT$$

LEYENDA

n: moles

m_g: lb

PM_g: lb/mol

R: 10,73

psia*PC/lb-mol*°R

P: psia

T: °R

Z: adimensional

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



CALCULO DEL FACTOR Z

CONDICIONES PSEUDOREDUCIDAS

$$P_{sr} = \frac{P}{P_{scM}}$$

$$T_{sr} = \frac{T}{T_{scM}}$$

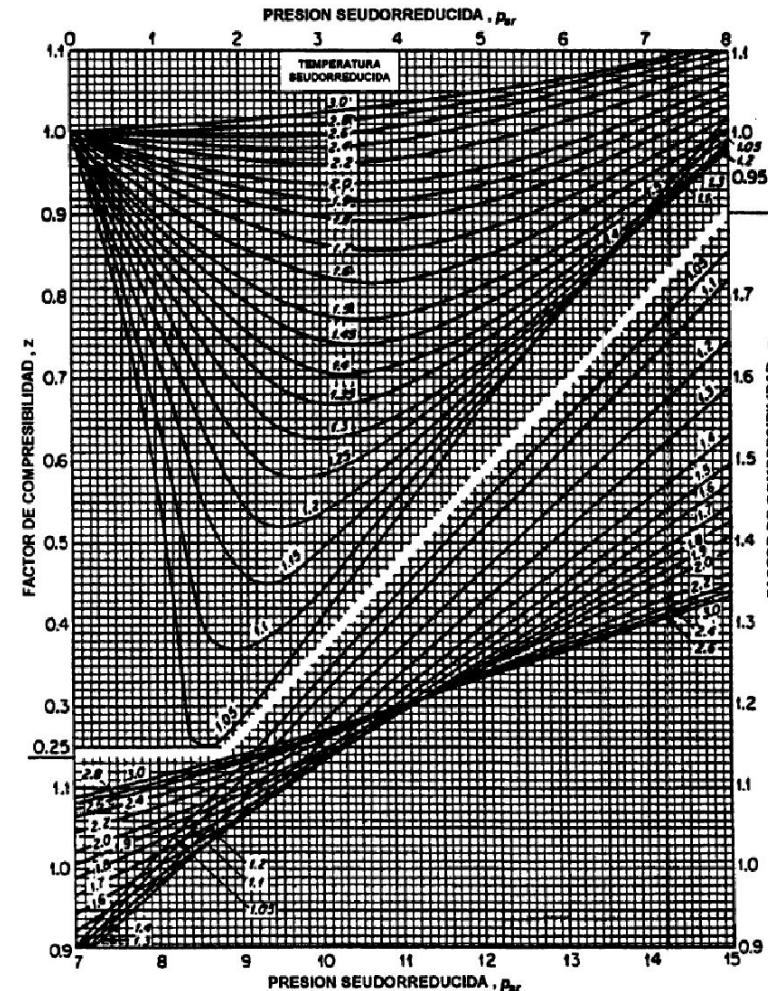
PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



METODOS DE CALCULO DEL FACTOR Z – STANDING-KATZ

CONDICIONES PSEUDOREDUCIDAS

Se entra con **Psr** y **Tsr** ----- **z**



PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



METODOS DE CALCULO DEL FACTOR Z – STANDING-KATZ

CONDICIONES PSEUDOREDUCIDAS

GN a presión de sistema cerca a 1 ATM

Se entra con P_{sr} y T_{sr} ----- z

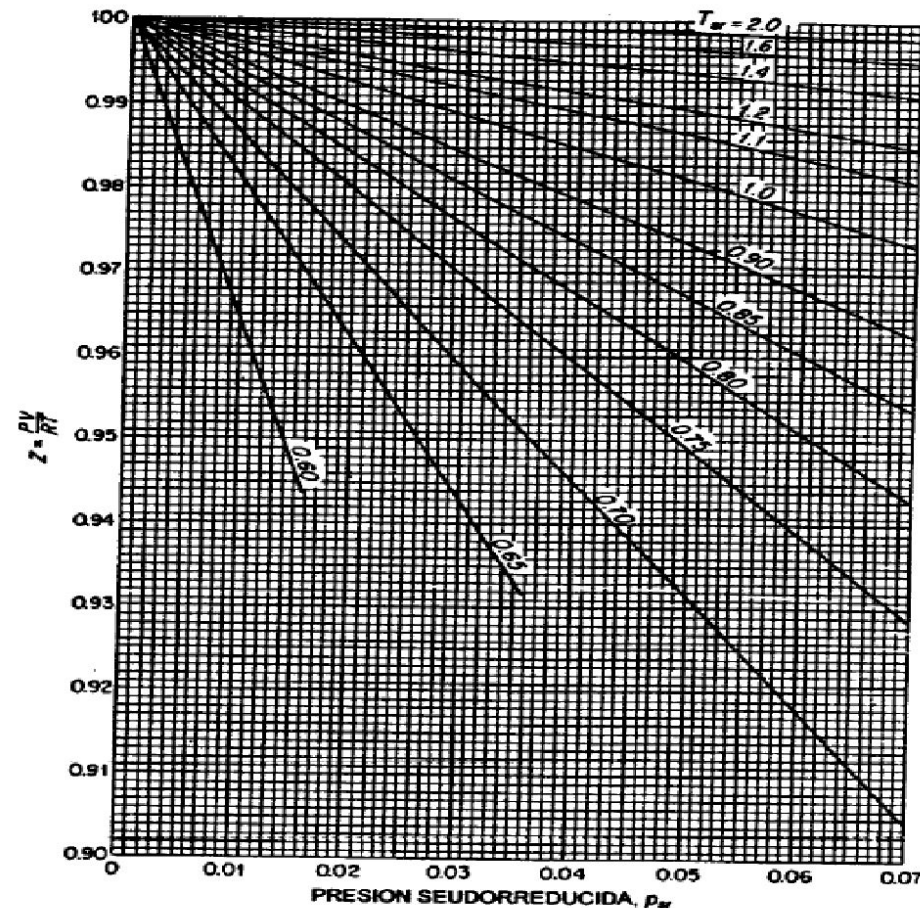


Fig. 1.6.- Factores de compresibilidad para gases naturales cerca de la presión atmosférica (Ref. 6).

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



METODOS DE CALCULO DEL FACTOR Z – STANDING-KATZ

CONDICIONES PSEUDOREDUCIDAS

GN a bajas presiones pseudoreducidas

Se entra con P_{sr} y T_{sr} ----- z

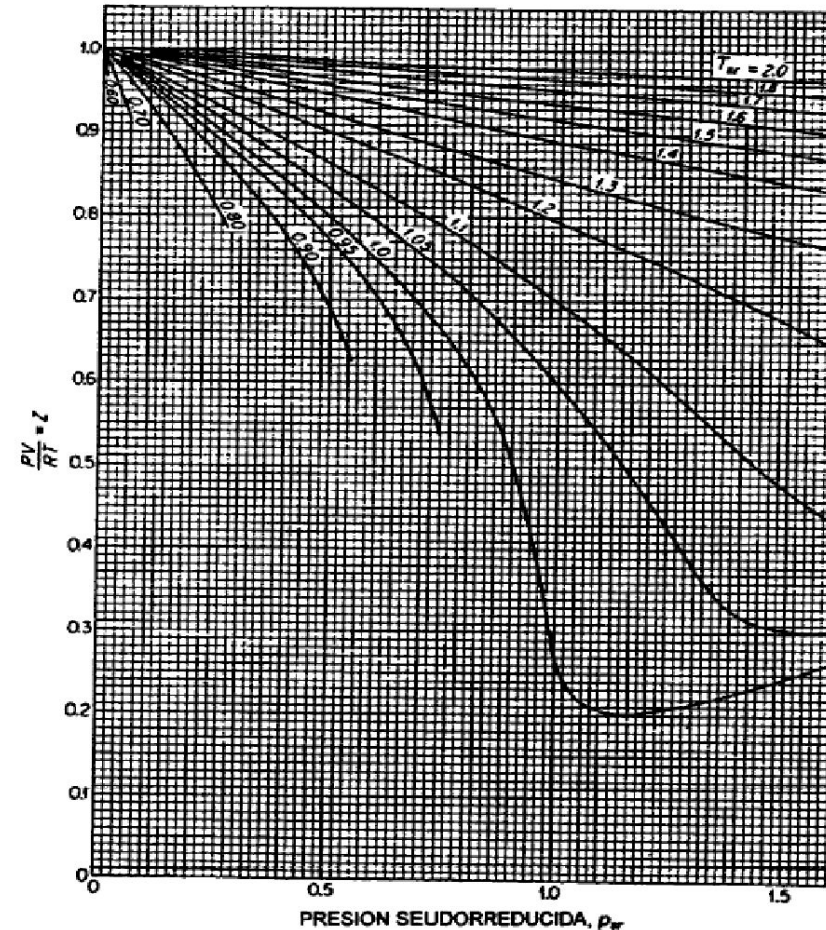


Fig. 1.5.- Factores de compresibilidad para gases naturales a bajas presiones seudorreducidas (Ref. 6).

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



METODOS DE CALCULO DEL FACTOR Z – STANDING-KATZ

CONSIDERACIONES DEL MÉTODO

1. El gas debe ser rico en metano ($C_1 > 90\%$).
2. El gas no debe tener hidrocarburos aromáticos.
3. El gas no debe tener impurezas. El contenido de 20% de N_2 produce un error del 4%. La presencia de CO_2 produce un error en el cálculo de z igual al valor del porcentaje de CO_2 en la mezcla.
4. No presenta buenos resultados a presiones y temperaturas cercanas a la crítica.
5. No se recomienda su uso en el cálculo de z a presiones mayores de 10.000 lpca.

Corregir por Wichert y Aziz en caso de altos niveles de H_2S , N_2 , CO_2

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



METODOS DE CALCULO DEL FACTOR Z – CORRECCIÓN POR CONTAMINANTES WICHERT Y AZIZ (Contaminantes $\geq 10\%$)

$$\varepsilon = 120 [(y_{\text{CO}_2} + y_{\text{H}_2\text{S}})^{0.9} - (y_{\text{CO}_2} + y_{\text{H}_2\text{S}})^{1.6}] + 15 (y_{\text{H}_2\text{S}}^{0.5} - y_{\text{H}_2\text{S}}^4)$$

$$T'_{scM} = \sum_{i=1}^n y_i T_{ci} - \varepsilon \dots\dots\dots$$

$$P'_{scM} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i p_{ci} \right) \cdot T'_{scM}}{\sum_{i=1}^n y_i T_{ci} + y_{\text{H}_2\text{S}} (1 - y_{\text{H}_2\text{S}}) \cdot \varepsilon} \dots\dots\dots$$

Contaminantes
> 10%

Se aplica después de tener los valores de P y T pseudocriticos por vía normal (Kay) y Roland-Katz

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



MÉTODOS DE CALCULO DEL FACTOR Z
CORRECCIÓN POR CONTAMINANTES
WICHERT Y AZIZ (Contaminantes $\geq 10\%$) -
Gráficamente

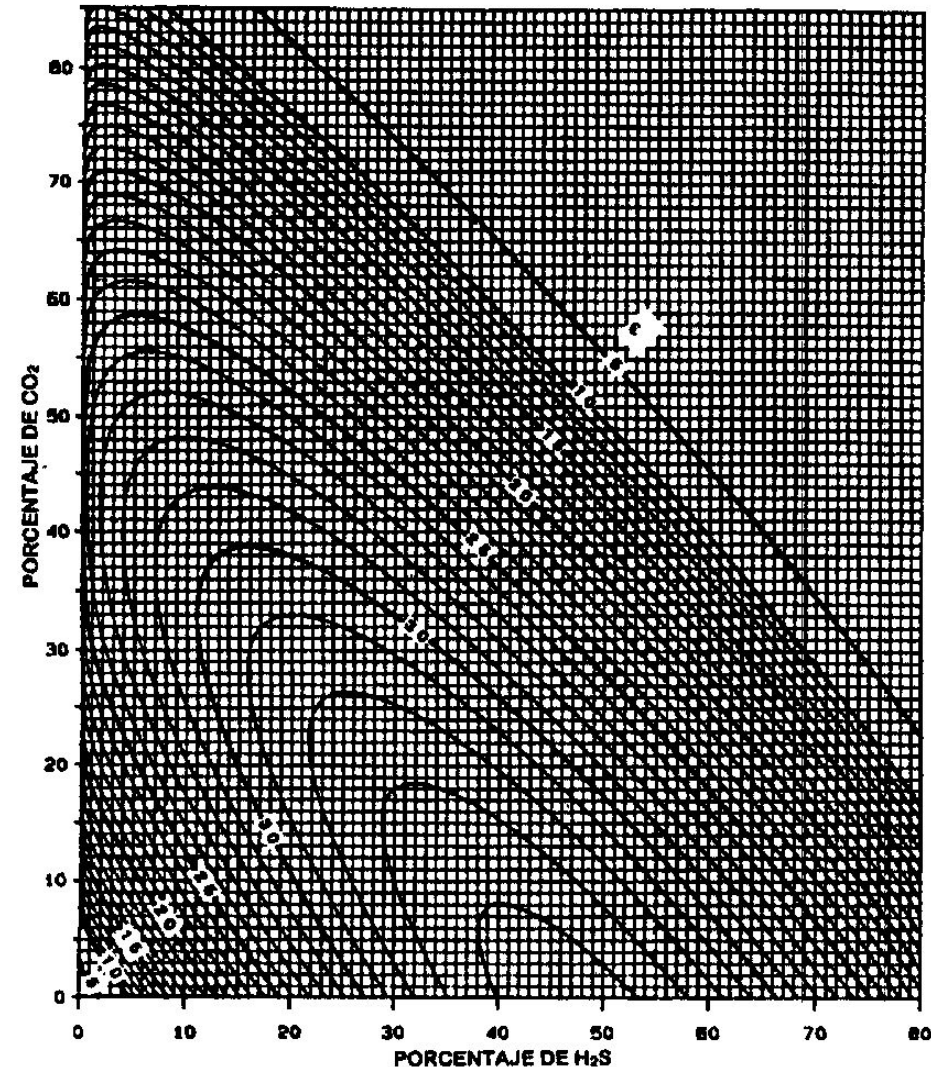


Fig. 1.7.- Factor de ajuste por componentes no-hidrocarburos para la presión y temperatura pseudocríticas de gases naturales (Ref. 12).

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



METODOS DE CALCULO DEL FACTOR Z – CORRECCIÓN POR CONTAMINANTES WICHERT Y AZIZ

- ε : Factor de ajuste, °R
- p_{ci} : Presión crítica del componente i , lpca.
- T_{ci} : Temperatura crítica del componente i , °R
- y_{CO_2} : Contenido de CO_2 , fracción molar
- $y_{\text{H}_2\text{S}}$: Contenido de H_2S , fracción molar
- y_i : Componente i en la mezcla, fracción molar
- p'_{scM} : Presión pseudocrítica de la mezcla corregida por CO_2 y/o H_2S , lpca.
- T'_{scM} : Temperatura pseudocrítica de la mezcla corregida por CO_2 y/o H_2S , °R

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



MÉTODOS DE CÁLCULO DEL FACTOR Z – CORRELACIÓN BEGGS Y BRILL

$$z = A + \frac{1 - A}{\exp(B)} + C p_{sr}^D$$

$$A = 1.39 (T_{sr} - 0.92)^{0.5} - 0.36 T_{sr} - 0.10$$

$$B = (0.62 - 0.23 T_{sr}) p_{sr} + \left[\frac{0.066}{T_{sr} - 0.86} - 0.037 \right] p_{sr}^2 + \frac{0.32}{10^{9(T_{sr}-1)}} p_{sr}^6$$

$$C = 0.132 - 0.32 \log T_{sr}$$

$$D = \text{antilog}(0.3106 - 0.49 T_{sr} + 0.1824 T_{sr}^2)$$

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



MÉTODOS DE CÁLCULO DEL FACTOR Z – CORRELACIÓN PAPAY

$$z = 1 - \frac{3.52 p_{sr}}{10^{0.9813 T_{sr}}} + \frac{0.274 p_{sr}^2}{10^{0.8157 T_{sr}}}$$

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS



METODOS DE CALCULO DEL FACTOR Z – LIMITACIONES

MÉTODO	Tsr	Psr	%ERROR	CONSIDERACIONES
STANDING-KATZ			0.97 - 6.59	Pop (154-7026 psia) Top (40-300 °F) CO ₂ < 54%molar H ₂ S < 73%molar
PAPAY	1.2 - 3.0	0.2 - 15.0		Mejor que S-K en esos rangos pseudoreducidos (-4.873%)
BEGGS-BRILL	1.2 - 2.4	0.0 - 13	0.02	No usar fuera de rango de Tsr

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

FACTOR VOLUMÉTRICO DEL GAS

$$B_g = 0.00503 \frac{zT}{p} , \frac{BY}{PCN}$$

B_g : Factor volumétrico del gas, PCY/PCN o BY/PCN

z : Factor de compresibilidad del gas, adim.

p : Presión, lpca.

T : Temperatura, °R (= °F + 460)

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

VISCOSIDAD DEL GAS – COMPORTAMIENTO TÍPICO (GAS PURO)

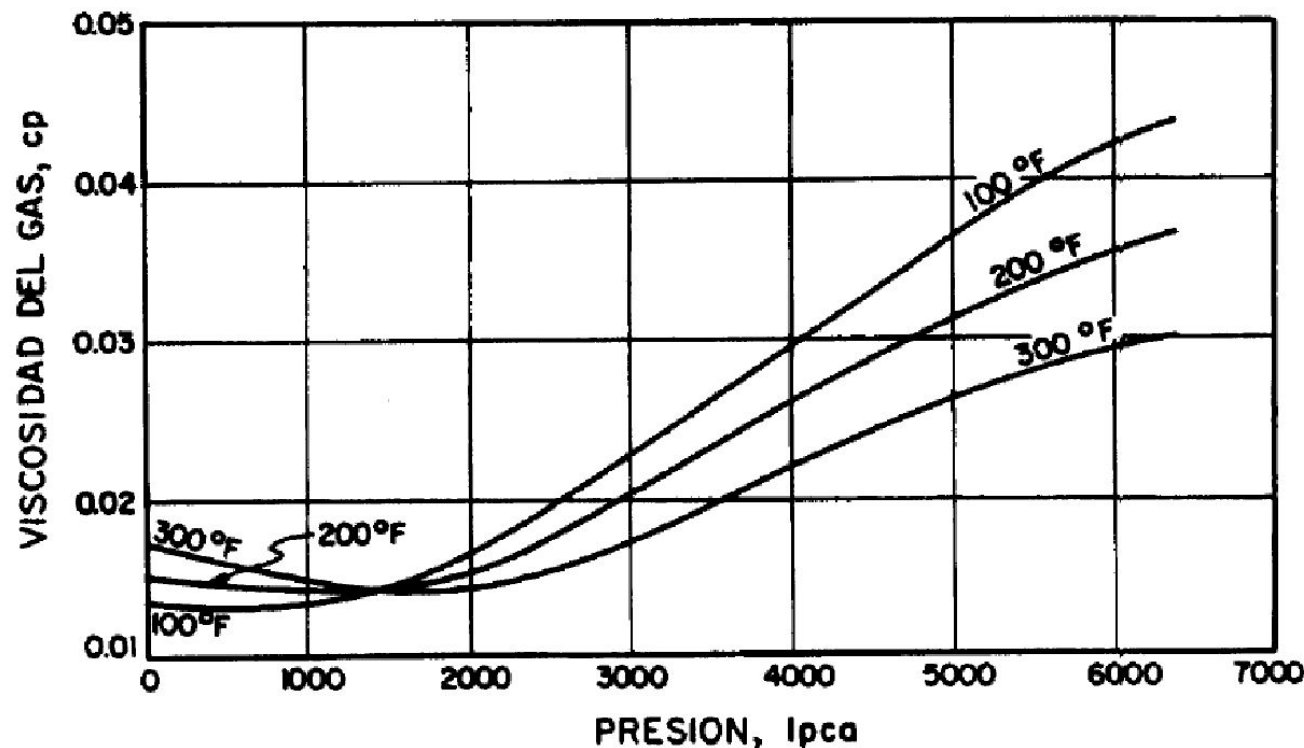


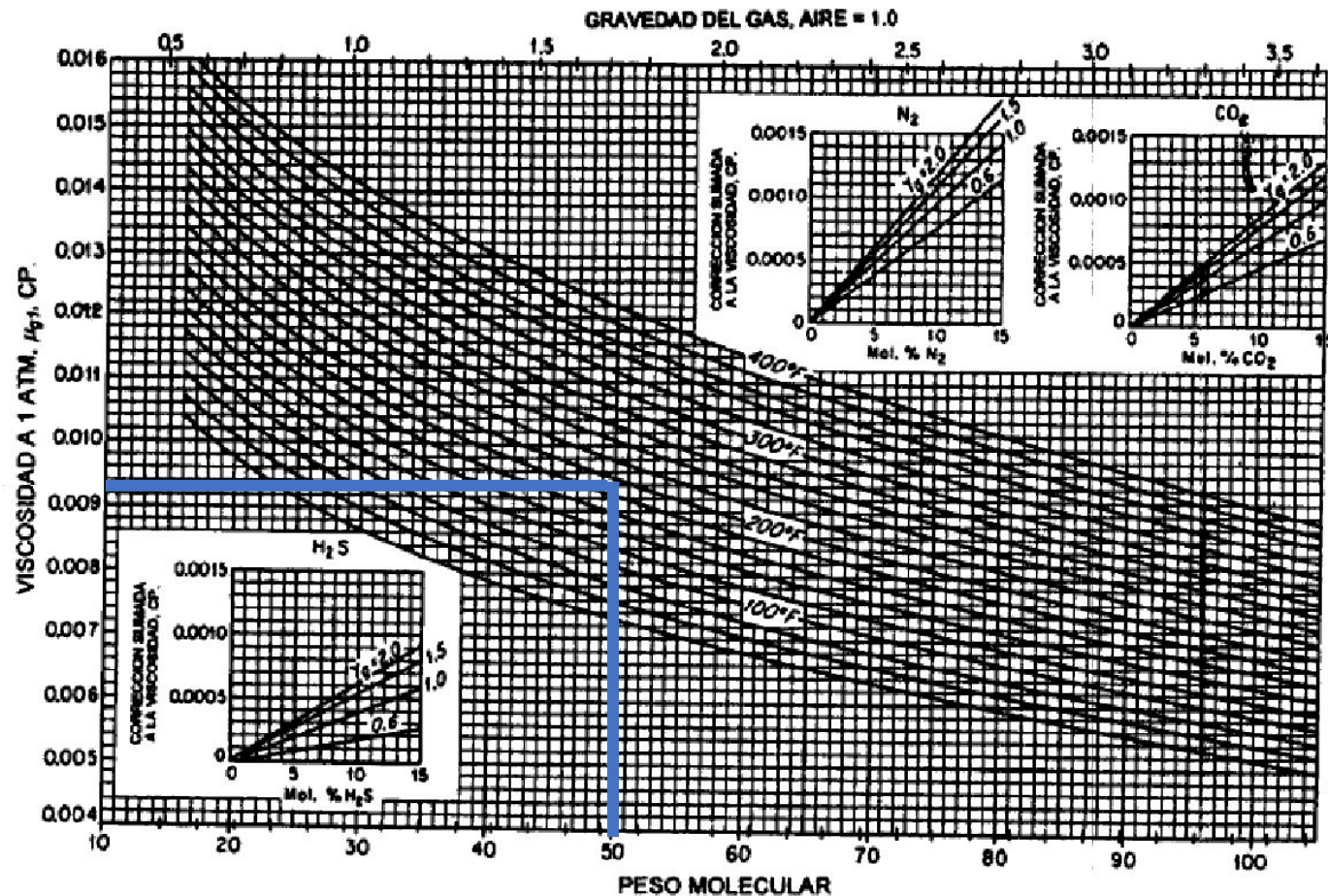
Fig. 1.12.- Comportamiento típico de μ_g vs. presión a tres temperaturas diferentes.

Los siguientes factores afectan la viscosidad de un gas natural:

- A bajas presiones (<1000–1500 lpca) a medida que aumenta la temperatura aumenta la viscosidad del gas debido al incremento de la energía cinética de las moléculas que producen gran número de choques intermoleculares.
- A elevadas presiones (>1000–1500 lpca) a medida que aumenta la temperatura disminuye la viscosidad del gas debido a la expansión térmica de las moléculas. A elevadas presiones las distancias intermoleculares de los gases son pequeñas y un gas tiende a comportarse como un líquido.
- A cualquier temperatura, la viscosidad de un gas aumenta con el incremento de presión debido a la disminución de las distancias intermoleculares.
- A medida que un gas es más pesado, sus moléculas serán más grandes y por tanto su viscosidad será mayor.

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

VISCOSIDAD DEL GAS – CORRELACIÓN DE CARR-KOBAYASHI



Con PMg o SGg ----- μ_{g1} (cp) sin corregir

Correcciones por contaminantes (Y_{cont}) y SGg ----- C_{cont}

$$\mu_{g1c} = \mu_{g1} + C_{CO_2} + C_{H_2S} + C_{N_2}$$

Fig. 1.13.- Viscosidad de gases naturales a 1 atm. y temperatura del yacimiento (Ref. 30).

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

VISCOSIDAD DEL GAS – CORRELACIÓN DE CARR-KOBAYASHI

$$\mu_{g1c} = \mu_{g1} + C_{CO_2} + C_{H_2S} + C_{N_2}$$

Donde:

μ_{g1c} : Viscosidad del gas a 1 atm. y T , corregida por impurezas, cp.
 μ_{g1} : Viscosidad del gas a 1 atm. y T , sin corregir (leída de la Fig. 1.13), cp.
 $C_{CO_2}, C_{H_2S}, C_{N_2}$: Correcciones por presencia de H_2S , CO_2 y/o N_2 , cp. Estos valores se obtienen de las líneas que aparecen en los cuadros insertos en la Fig. 1.13.

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

VISCOSIDAD DEL GAS – CORRELACIÓN DE CARR-KOBAYASHI

Ajuste de la curva

$$\mu_{gl} = (1.709 \times 10^{-5} - 2.062 \times 10^{-6} \gamma_g) T + 8.188 \times 10^{-3} - 6.15 \times 10^{-3} \log \gamma_g$$

Ajuste numérico de correcciones por contaminantes (C)

$$C_{N_2} = y_{N_2} (8.48 \times 10^{-3} \log \gamma_g + 9.59 \times 10^{-3})$$

$$C_{CO_2} = y_{CO_2} (9.08 \times 10^{-3} \log \gamma_g + 6.24 \times 10^{-3})$$

$$C_{H_2S} = y_{H_2S} (8.49 \times 10^{-3} \log \gamma_g + 3.73 \times 10^{-3})$$

- T : Temperatura, °F
- γ_g : Gravedad específica del gas, (aire = 1)
- y_{N_2} : Contenido de N_2 , fracción molar
- y_{CO_2} : Contenido de CO_2 , fracción molar
- y_{H_2S} : Contenido de H_2S , fracción molar

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

VISCOSIDAD DEL GAS – CORRELACIÓN DE CARR-KOBAYASHI

¿Cómo pasar de viscosidad @ 1 ATM y Pr a una presión determinada?

1. Calcular P y T pseudoreducida.
2. Usar gráfica 1.14 y 1.15 (Libro PVT – Carlos Banzer) razón μ_g/μ_{g1}
3. Sustituir razón en la siguiente ecuación:

$$\mu_g = \left(\frac{\mu_g}{\mu_{g1}} \right) \cdot \mu_{g1c}$$

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

VISCOSIDAD DEL GAS – CORRELACIÓN DE CARR-KOBAYASHI

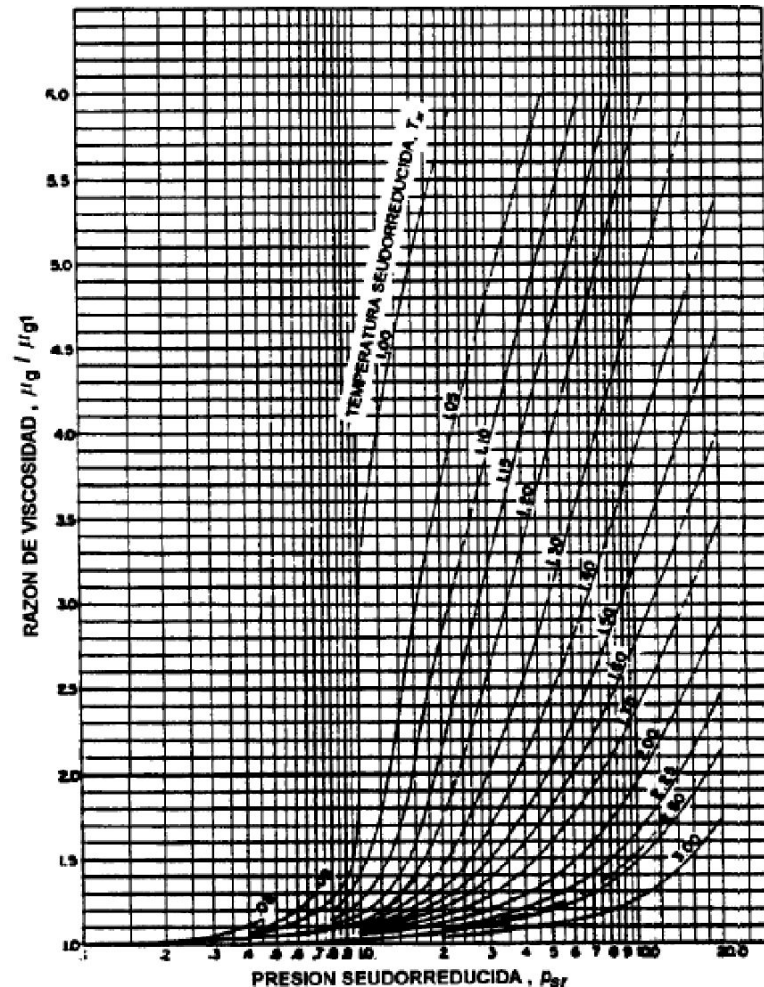


Fig. 1.14.- Correlación del cociente de viscosidad μ_g / μ_{g1} con presión y temperatura seudorreducidas (Ref. 30).

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

VISCOSIDAD DEL GAS – CORRELACIÓN DE CARR-KOBAYASHI

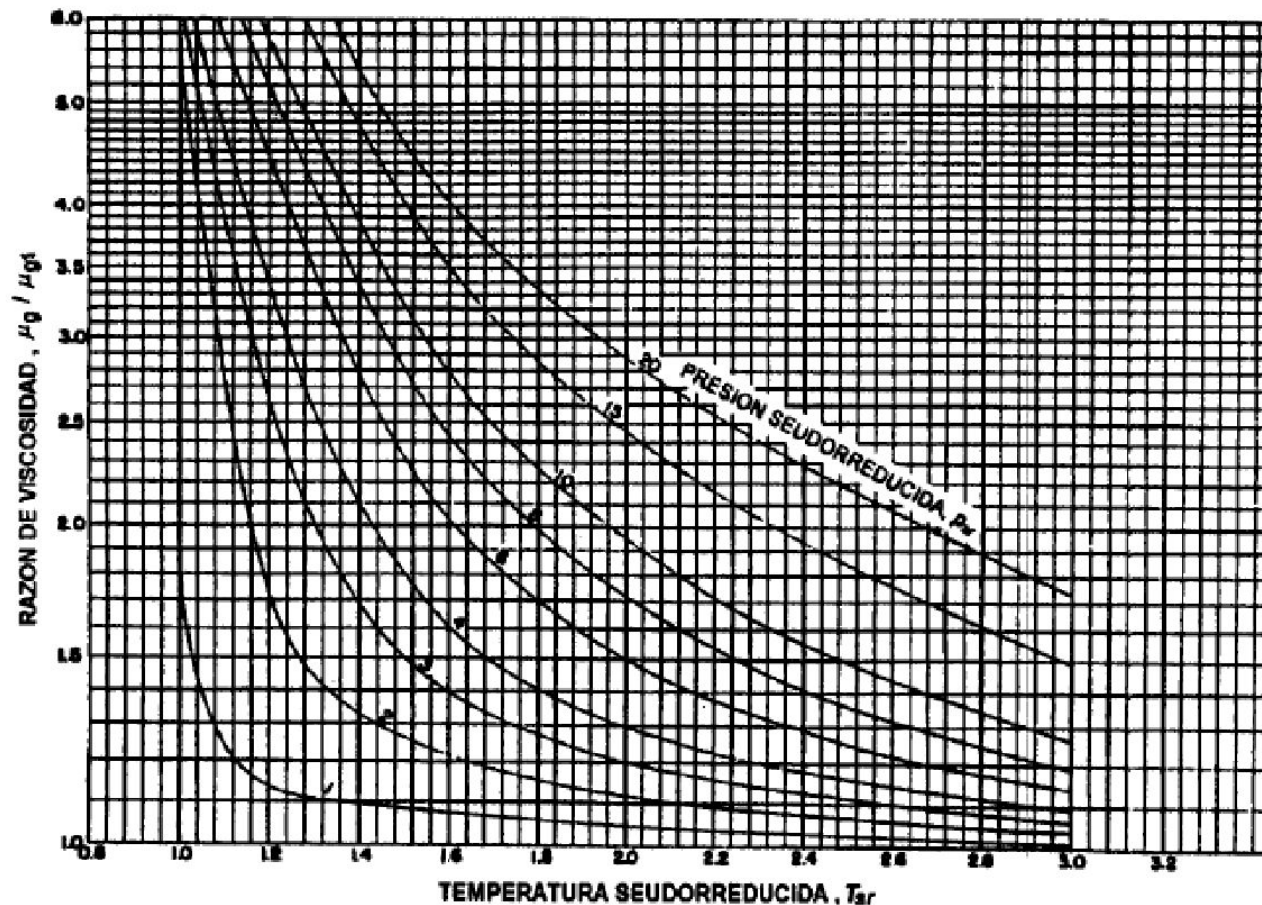


Fig. 1.15.- Correlación del cociente de viscosidad μ_g / μ_{g1} con presión y temperatura seudorreducidas (Ref. 30).

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

VISCOSIDAD DEL GAS – CORRELACIÓN DE LEE-GONZALEZ-EAKIN

VARIABLES

$$\mu_g = \frac{K \exp(X \rho_g^Y)}{10^4}$$

- μ_g : Viscosidad del gas a p y T , cp.
 ρ_g : Densidad del gas, grs/cc.
 M : Peso molecular del gas ($= 28.96 \gamma_g$), lbs/lb-mol
 z : Factor de compresibilidad del gas, adim.
 p : Presión, lpca.
 T : Temperatura, °R

$$K = \frac{(9.4 + 0.02 M) T^{1.5}}{209 + 19 M + T}$$

$$X = 3.5 + \frac{986}{T} + 0.01 M$$

$$Y = 2.4 - 0.2 X$$

$$\rho_g = 1.4935 \times 10^{-3} \frac{pM}{zT}$$

PROPIEDADES FISICAS Y TERMODINAMICAS

DENSIDAD DEL GAS

$$\rho_g = \frac{m}{V} = \frac{(28.96)p\gamma_g}{(10.73)zT} = 2.70 \frac{p\gamma_g}{zT}$$

- ρ_g : Densidad del gas a p y T , lbs/pie³
 γ_g : Gravedad específica del gas, (aire = 1)
 z : Factor de compresibilidad del gas, adim.
 p : Presión, lpca.
 T : Temperatura, °R

TALLER

Componente	Fracc. Mol. y_i	Peso Mol. (lbs/lb-mol)	Temp. Crít. (°R)	Pres. Crít. (lpca)
H ₂ S	0.0491	34.076	672.70	1306.0
CO ₂	0.1101	44.010	547.90	1071.0
N ₂	0.0051	28.013	227.60	493.0
C ₁	0.5770	16.043	343.37	667.8
C ₂	0.0722	30.070	550.09	707.8
C ₃	0.0455	44.097	666.01	616.3
i-C ₄	0.0096	58.124	734.98	529.1
n-C ₄	0.0195	58.124	765.65	550.7
i-C ₅	0.0078	72.151	829.10	490.4
n-C ₅	0.0071	72.151	845.70	488.6
C ₆	0.0145	86.178	913.70	436.9
C ₇₊ *	0.0835	142.00	1144.23**	370.3**

PMc7+ = 142 lb/mol
SGc7+ = 0,807

3810 PSIA
194 °F

Calcular:

- Z = Beggs-Brill
- Viscosidad:
 - C-K (graf+num)