

“NUEVA ECUACIÓN PARA DETERMINAR EL FACTOR DE DESVIACIÓN “Z” DEL GAS NATURAL”

GUIBER OLAYA MARÍN
Ingeniero de Petróleos
Profesor del área de Gas
Universidad Surcolombiana

El factor de desviación Z es la variable más importante en el cálculo de las propiedades volumétricas del gas natural, las cuales son empleadas en el diseño de equipos y de cualquier dispositivo mecánico utilizado en la industria del petróleo y gas. El cálculo y empleo adecuado del factor de desviación Z, es fundamental en las actividades de producción, transporte y distribución del gas natural. Además, es la propiedad más importante en la comercialización y sobre todo en la medición del gas natural, ya que una estimación imprecisa de ésta propiedad, trae como consecuencia una mala determinación de la cantidad medida de gas, que puede representar mucho dinero en favor o en contra de una empresa, en la compra y venta del gas natural. Por esta razón es necesario conocer los diferentes métodos empleados para su cálculo, seleccionando el más adecuado, basado en la precisión y facilidad del cálculo, en las limitaciones y en el rango de aplicación. De esta manera se puede obtener una buena evaluación del factor de desviación Z y por lo tanto de las propiedades volumétricas.

FACTOR DE DESVIACIÓN Z

El factor de desviación Z determina o mide, que tanto se aleja en el comportamiento volumétrico un gas real, con respecto al comportamiento volumétrico que tendría un modelo de gas ideal, tomado como patron de referencia. El modelo termodinámico de gas ideal, se basa en las siguientes dos suposiciones:

1. Las moléculas del gas tienen volumen despreciable. ($V=0$).
2. No existen fuerzas de atracción ni de repulsión entre las moléculas.

Físicamente, se puede interpretar como un “factor de corrección” adimensional, que se aplica al volumen ideal, para obtener el volumen real.

$$PV = nRT \quad V_{ideal} = \frac{nRT}{P} \quad V_{real} = V_{ideal} * Z$$

O, entenderlo como un “volumen relativo” entre el gas real y el gas ideal. Ambos volúmenes, medidos a las mismas condiciones de presión y temperatura.

$$Z = \left(\frac{V_{real}}{V_{ideal}} \right)_{P,T} = \frac{\text{Volumen real de } n \text{ moles de gas a } P \text{ y } T}{\text{Volumen ideal de } n \text{ moles de gas a } P \text{ y } T}$$

Las moléculas individuales de un gas, teóricamente pueden reaccionar con otras en tres formas diferentes: ser atraídas, repelidas, o permanecer neutrales. Las moléculas de un gas real se atraen o se repelen unas a otras. El factor de desviación Z es entonces, una medida de cuánto se atraen o se repelen las moléculas de un gas, a una presión y temperatura dada.

El gas natural incluso a condiciones ambientales normales, presenta una ligera desviación del comportamiento ideal, creciendo ésta



proporcionalmente a medida que aumenta la presión. Por lo tanto se requiere el cálculo adecuado del factor de desviación Z, para hacer las correcciones volumétricas necesarias en la medición en gasoductos urbanos.

$$P_{sr} = \frac{P_{ope}}{P_{sc}} \quad T_{sr} = \frac{T_{ope}}{T_{sc}}$$

Donde:

P_{ope} y T_{ope} son la presión y la temperatura absolutas a las cuales se desea calcular Z.

P_{sc} y T_{sc} son la presión y la temperatura pseudo críticas del gas en unidades absolutas.

Determinación del factor de desviación (Z)

Para determinar el valor del factor de desviación Z, existen mas de veinte (20) métodos diferentes, cada uno de ellos desarrollado para condiciones de operaciones específicas, unos sencillos y otros más complicados, que funcionan muy bien para ciertas condiciones, pero que en otras presentan mucha desviación del valor real, limitando de esta forma el empleo de un solo método general, que funcione bien para todos los casos posibles con buena precisión en la determinación de esta propiedad. Estos métodos se pueden clasificar en los siguientes dos (2) grupos:

Por el teorema de los estados correspondientes los métodos más empleados en la industria del petróleo y del gas, son el método gráfico de Standing y Katz por su facilidad de uso y rapidez; y el método de Dranchuk - Abou - Kassen por brindar buena precisión en el calculo.

Aplicación directa de Ecuaciones de Estado (EOS)

Son modelos matemáticos que presentan muy buenas predicciones, siempre y cuando los coeficientes de la ecuación se puedan calibrar con datos experimentales del gas natural específico. Tienen cierto grado de complejidad puesto que son ecuaciones cúbicas o de orden superior que requieren ser resueltas de forma iterativa con la ayuda de un computador.

Método gráfico de Standing y Katz. Este método determina por medio de gráficas generalizadas el factor de desviación (Z), como función de las propiedades pseudo - reducidas de presión y temperatura. Presenta el problema de lectura en los casos, en los cuales las condiciones pseudo - reducidas no dan sobre las curvas de la gráfica, necesitándose así una interpolación no lineal entre las curvas, difícil de realizar a simple vista dando resultados no precisos en la determinación de Z.

Teorema de los Estados Correspondientes

El Teorema de los Estados Correspondientes establece que dos sistemas tienen propiedades similares a determinadas condiciones correspondientes y estas se referencian a cierta propiedad base, medida en el punto crítico. Para el caso del gas natural (mezcla de hidrocarburos), se emplean como condiciones correspondientes, la presión y temperatura pseudo-reducidas, referenciadas a la presión y temperatura pseudo-críticas. En otras palabras, a las mismas condiciones pseudo-reducidas de presión y temperatura, cualquier gas tiene el mismo factor de desviación Z.

Método de Dranchuk-Abou-Kassem (DA). Este método correlaciona 1500 datos experimentales de Z con la ecuación de estado de Starling, en función de la densidad relativa del gas, dando los valores de las 11 constantes necesarias para determinar Z de forma iterativa.

Es el método generalizado más preciso, que funciona para presiones pseudo - reducidas mayores de 0.2 y menores de 30. En esta ecuación tomaron el factor de compresibilidad en el punto crítico $Z_c = 0.27$, considerando apropiado este valor para el gas natural. Es muy utilizado en cálculos de Ingeniería de Yacimientos.

Las condiciones pseudo-reducidas de presión y temperatura son adimensionales por lo tanto no dependen del sistema de unidades utilizado. Estas condiciones se definen así:

CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS GASODUCTOS URBANOS

La cadena comercial del gas natural en Colombia esta conformada por los Productores, Transportadores, Distribuidores y Comercializadores. Cada actividad comercial presenta características muy particulares que la



diferencian de las otras, razón por la cual tienen regulaciones y normatividad particulares, a la vez que son operadas por diferentes empresas.

En este punto, me centraré en la actividad de distribución de gas natural por red física, con el propósito de determinar las condiciones de operación de los gasoductos urbanos en Colombia; teniendo en cuenta las regulaciones y normas de calidad que delimitan esta actividad comercial en nuestro país.

Según el Reglamento Unico de Transporte (RUT), expedido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), mediante la resolución 071 de 1999, se establecen las condiciones de calidad que debe tener el gas natural antes de ser entregado a un sistema de transporte, para posteriormente llevarlo a los grandes centros de consumo y distribuirlo a cada usuario por medio de redes urbanas de gas.

Adicionalmente la NTC 3838 (Norma Técnica Colombiana) expedida por el ICONTEC,

establece como la presión máxima de operación de una red urbana de gas natural en 250 psig

Basado en los documentos anteriormente mencionados, las condiciones de operación que se pueden presentar en un gasoducto urbano en Colombia, varían según los rangos que se muestran a continuación:

1. La temperatura promedio de flujo (T_p), puede estar entre 40 °F y 140 °F.
2. La presión de operación (P) en las tuberías será entre 14.7 psia (0 psig) y 264.7 psia (250 psig).
3. La masa molecular aparente del gas natural (M) varía entre 16 y 40, ya que más del 80% de la composición es metano.

Con base en los puntos enumerados anteriormente se hallan los resultados que se enuncian en la Tabla 1.

PARAMETRO	MINIMO	MAXIMO
T_p	40 °F	140 °F
P	14.7 psia	264.7 psia
M	16	40
G	0,55	1,38
T_c	339 °F	511 °F
P_c	569 psia	684 psia
T_r	0,98	1,77
P_r	0,02	0,47

Tabla 1. Rangos de operación de los gasoductos urbanos en Colombia

Como se puede apreciar en la Tabla 1, las condiciones pseudo-reducidas del gas para un gasoducto urbano, son muy pequeñas si se comparan con las condiciones que se manejan en yacimientos. El método de DA cubre parcialmente este rango de operación y por tanto hay que descartarlo. Entonces los métodos gráficos son los únicos que se pueden emplear para el cálculo del factor de desviación (Z) en gasoductos urbanos, toda vez que las correlaciones empíricas no cubren el rango de operación del gasoducto urbano.

Para diseñar redes físicas de distribución urbana

de gas natural, es necesario el empleo de computadores con simuladores que permitan hacer buen dimensionamiento de estas, requiriendo el valor de Z en todos los cálculos, razón por la cual el método gráfico en este caso pierde aplicabilidad, ya que los simuladores no pueden interpretar gráficas. Debido a esto se desarrolló la ecuación que se expone en la siguiente sección.

NUEVA ECUACIÓN

Esta nueva ecuación fue desarrollada por el autor del artículo para ser empleada especialmente en



redes físicas de distribución urbana de gas natural, y en cualquier situación particular en la que las condiciones de operación estén dentro del rango de aplicabilidad de la misma. Esta ecuación se debe emplear solamente cuando se presenten las siguientes condiciones y características del gas natural:

- ❖ Masa molecular (M) aparente del gas natural menor de 40.
- ❖ Presión reducida (P_r) menor o igual a 0.5.
- ❖ Temperatura reducida (T_r) mayor o igual a uno (1.0) y menor o igual a dos (2.0).

$$Z = 1 - \left(\frac{P_r}{26 + 8.7T_r^2 \text{Ln}T_r} \right)$$

Donde:

Z = Factor de desviación de la idealidad del gas natural.

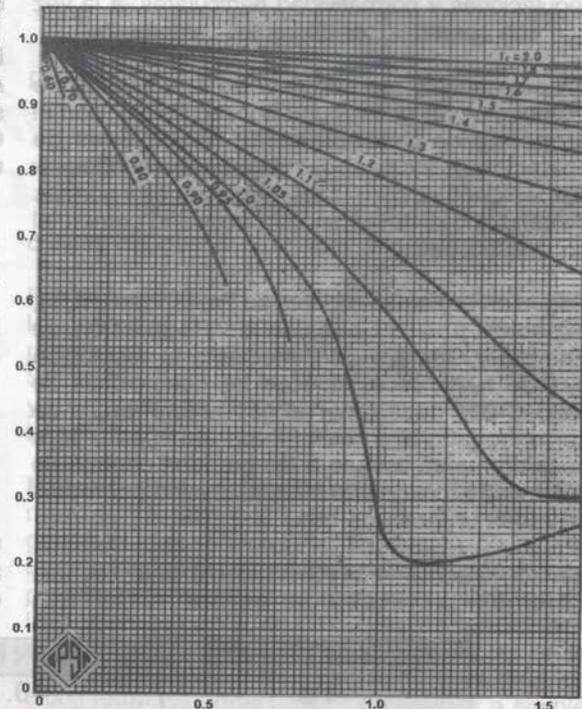
P_r = Presión seudo reducida del gas natural.

T_r = Temperatura seudo reducida del gas natural.

VENTAJAS

- ❖ Presenta un error máximo del 1% comparado con la gráfica del factor de desviación Z para bajas presiones reducidas, tomado del Engineering Data Book de la GPSA. Ver gráfica No. 1.

FACTOR DE DESVIACION Z PARA BAJAS PRESIONES



- ❖ Permite el cálculo directo del factor de desviación Z , sin necesidad de realizar iteraciones.
- ❖ Mejora la precisión del método gráfico en el rango aplicable, porque no necesita hacer interpolaciones entre las curvas del gráfico.

DESVENTAJAS

- ❖ Rango de aplicación reducido.

BIBLIOGRAFÍA

1. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS, CREG. Reglamento único de transporte de gas. Resolución 071 de dic. 3 de 1999.
2. CRAFT, B.C. and HAWKINS, M.R. Petroleum Reservoir Engineering. New Jersey. Prentice - Hall. 1959.
3. GAS PROCESSORS ASSOCIATION, GPSA. Engineering Data Book. Décima edición 1987.
4. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, ICONTEC. Gasoductos. Presiones de operación para el transporte, distribución y suministro de gases combustibles. NTC 3838.
5. MARTÍNEZ, Marcias y PEREZ P. Ramiro. Curso: Características y Comportamiento del Gas Natural. Maracaibo 1990. ISBN 980-07-1676-9.

