

01174

14



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**MODELO PARA CUATIFICAR GASTOS DE GAS HÚMEDO
CON MEDIDORES "V-CONE"**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA
(PETROLERA)**

**PRESENTA
FERNANDO REYES DELGADO**

**DIRECTOR DE TESIS
M. en I. NOEL E. SANTAMARÍA GUEVARA**

Ciudad Universitaria, México, DF., 2002.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

MODELO PARA CUATIFICAR GASTOS DE GAS HÚMEDO CON MEDIDORES "V-CONE"

CONTENIDO

	Página
DEDICATORIAS.-----	4
AGRADECIMIENTOS.-----	5
RESUMEN.-----	6
CAPÍTULOS.	
1. INTRODUCCIÓN.-----	7
2. GENERALIDADES DEL GAS NATURAL.-----	10
2.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES-----	10
2.2. PROPIEDADES DEL GAS NATURAL-----	14
2.3. ESPECIFICACIONES DEL GAS-----	17
3. TIPOS DE MEDIDORES DE GAS.-----	19
3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIDORES-----	26
4. MEDICIÓN DE GAS CON PLACA DE ORIFICIO.-----	28
4.1. EFECTO DE LA PRESENCIA DE LÍQUIDOS EN LA MEDICIÓN DE GAS NATURAL CON PLACA DE ORIFICIO-----	31
5. MEDICIÓN DE GAS CON MEDIDOR "V-CONE".-----	37
5.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN.-----	37
5.2 PERFIL DE VELOCIDADES.-----	39
5.3 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIDOR.-----	42
5.4 REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN.-----	46

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

5.5 COEFICIENTE DE DESCARGA. -----	48
5.6 CÁLCULOS DE GASTOS. -----	52
5.6.a Cálculos para líquidos. -----	53
5.6.b Cálculos para fluidos compresibles (gases y vapores). -----	54
5.7 APLICACIONES.-----	56
5.8 ESTUDIOS PREVIOS DEL COMPORTAMIENTO DEL "V-CONE". -----	58
6. DESARROLLO DEL MODELO. -----	66
6.1 ECUACIÓN DE ESTADO DE PENG-ROBINSON. -----	66
6.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO.-----	68
6.3 DIAGRAMA DE FLUJO. -----	71
7. VALIDACIÓN Y ANÁLISIS RESULTADOS. -----	76
7.1 VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS. -----	76
7.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD. -----	79
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. -----	83
8.1 CONCLUSIONES.-----	83
8.2 RECOMENDACIONES.-----	84
NOMENCLATURA. -----	85
REFERENCIAS. -----	88
BIBLIOGRAFÍA. -----	90
APÉNDICE. -----	92
"A" LISTADO DEL PROGRAMA. -----	92

DEDICATORIAS

A mi esposa Evangelina y a mis hijos: Claudia y Alejandro, por ese tiempo que me permitieron dedicar, para concluir esta etapa de superación profesional en mi vida.

A mis padres: Salomón y Guadalupe (q.e.p.d.), porque este logro es parte del resultado de la educación que me brindaron.

AGRADECIMIENTOS

Haber tenido como director de tesis al M. en I. Noel E. Santamaría Guevara fue para mí muy motivante y satisfactorio, gracias por darme el apoyo suficiente para terminar este trabajo.

Gracias a los Drs. Jesús Rivera Rodríguez, Fernando Samaniego Verduzco y Daniel García Gavito y al M. en I. Francisco Sánchez Arredondo por sus valiosos comentarios para finalizar este trabajo.

Agradezco a los profesores de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, que compartieron conmigo sus conocimientos y experiencias, además gracias por su gran paciencia que muestran con nosotros.

Por el apoyo que me dio el personal de Operación de Pozos e Instalaciones del activo de Chilapilla-Colomo de Pemex Exploración y Producción y las facilidades brindadas para asistir al posgrado.

RESUMEN

Uno de los principales problemas que se presentan durante el manejo de gas natural es su medición con un buen grado de precisión, debido a la gran cantidad de factores que afectan el resultado de la misma. Entre estos factores se incluye el hecho de no usar el elemento primario adecuado para el fluido sujeto a medición; y cuando se usa el medidor apropiado, generalmente no se opera adecuadamente, no se tiene estrictamente una sola fase, o no se utiliza el procedimiento riguroso para cuantificar el gasto.

Cualquiera de los factores mencionados puede ser corregido con sólo seguir estrictamente las recomendaciones aplicables, con excepción de la presencia de líquidos en el medidor, ya que no se dispone de un elemento primario diseñado para medir dos fases, ni de un procedimiento general que permita hacer las correcciones adecuadas para obtener el gasto real de gas seco.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo que permita cuantificar el volumen total de gas húmedo que pasa por un medidor "V-cone", determinar mediante cálculos de separación "flash" las fracciones de líquido y vapor a las condiciones del medidor y obtener finalmente el gasto de gas seco. El modelo fue validado con datos de laboratorio y fue utilizado para realizar un análisis de sensibilidad de las variables involucradas.

Al final del trabajo se concluye que el medidor "V-cone" puede ser utilizado para cuantificar el gasto de gas húmedo, con mejor certidumbre que la tradicional placa de orificio y se dan recomendaciones para mejorar el modelo y poder utilizarlo en forma generalizada.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La producción de hidrocarburos proveniente de los pozos productores de petróleo, se conduce a las baterías de separación con el objeto de obtener por separado las fases líquida y gaseosa. Esto se lleva a cabo utilizando equipo de separación convencional (separadores, rectificadores de gas, solo-aíres, tanques de almacenamiento, etc.), los productos que se obtienen (aceite, gas, condensado y agua) se manejan por separado y los que son de valor comercial se entregan a través de los medidores de flujo a los centros de procesamiento petroquímicos. Para que se lleve a cabo una medición confiable de los gastos de gas natural separado, éste debe estar libre de componentes pesados que formen líquidos a las condiciones del medidor.

En ocasiones no se tiene una separación adecuada en las baterías de recolección, o existen campos que producen gas y condensado arrastrando en la corriente componentes licuables, que al pasar por un sistema de medición ocasiona que se tenga una lectura errónea debido a los líquidos contenidos en la corriente de gas que está fluyendo por un sistema de medición.

Durante décadas la medición de gas natural se ha llevado a cabo utilizando los medidores de placa de orificio, ya que son los más aceptados por la industria debido a su simplicidad de diseño y confiabilidad, lo cual cobra singular relevancia por el valor monetario que tienen los volúmenes que de este fluido se procesan diariamente.

La correcta medición de los volúmenes de gas húmedo siempre ha representado un serio problema para el ingeniero de campo, siendo esto de

gran importancia en el desarrollo de nuevas técnicas de medición en estaciones de recolección y distribución de gas, plantas de proceso, transporte a los puntos de transferencia de custodia (comercialización interorganismos) o comercialización donde se manejan grandes volúmenes de gas natural, aun en las mediciones individuales que se tienen de los pozos, ya que esta medición incorrecta afecta a la historia de producción del yacimiento y por tanto para hacer estudios subsecuentes, por ejemplo de reservas petroleras, no se tienen los suficientes datos confiables de producción para dichos estudios.

El empleo de estas técnicas convencionales de medición habían sido suficientemente precisas para cuantificar los gastos de gas húmedo, pero debido a que en los últimos años el costo del gas se ha incrementado considerablemente, se hace indispensable efectuar una medición de mejor calidad para el gas.

Cuando se aplican estándares de medición desarrollados para fluidos en una sola fase y en particular para gas seco, a fluidos que contienen pequeñas cantidades de líquido, la incertidumbre en la medición se incrementa en porcentaje que no ha sido estrictamente obtenido hasta el momento.

Existen algunas correlaciones publicadas para aplicarse a medidores de gas que manejan pequeñas cantidades de líquido, particularmente a los medidores de placa de orificio; sin embargo éstas son de uso limitado ya que se basan en trabajos experimentales bajo condiciones totalmente controladas o en operaciones de campo con condiciones limitadas. Aunque a últimas fechas se cuenta con modernos simuladores de flujo multifásico que representan aproximadamente el fenómeno físico; no obstante, los resultados no han sido totalmente satisfactorios.

Todos estos estudios realizados por investigadores y compañías petroleras, en sistemas de flujo multifásico para determinar los problemas más

comunes en la medición con placa de orificio, han proporcionado resultados que permiten cuantificar la magnitud del error al involucrar más de una fase; sin embargo, no han servido para definir un método de corrección aplicable a los gastos de gas húmedo medidos, por lo que es importante la búsqueda de parámetros, factores de corrección y procedimientos que permitan predecir y compensar estos errores.

Para poder precisar el error ocasionado por los líquidos en el medidor de tipo de placa de orificio se han realizado diversos trabajos, los que se han llevado a cabo para diferentes condiciones de operación (presión, temperatura, diámetros de tubería, diámetros de medidores, relaciones de diámetros, coeficientes del medidor, etc.), sin que se pueda determinar con precisión el gasto de flujo de gas natural que pasa por este dispositivo.

Su configuración evita que se acumulen líquidos tanto corriente arriba como corriente abajo del medidor. Además de cuantificar el flujo de gas húmedo o gasto total que pasa por un sistema de medición "V-cone", con ayuda de cálculos de equilibrio vapor-líquido se pueden obtener las fracciones de líquido y gas de la mezcla, lo que permite obtener el gasto de la fase gaseosa.

Como parte del alcance de este trabajo se desarrolló un programa de cómputo que permite calcular el gasto total y de gas seco y las características del medidor "V-cone", tanto en su diseño como en su operación, de tal forma que se proporciona al ingeniero de medición una herramienta en la cual se apoye para la toma de decisiones en la selección de un sistema de medición de gas húmedo.

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES DEL GAS NATURAL

Normalmente el personal involucrado en el tema de medición está relacionando con los términos que normalmente se acostumbran; sin embargo se hace necesario definir algunos conceptos comúnmente manejados durante el proceso operativo relacionados con el tema, esto es con el fin de uniformizar criterios.

2.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

- **Gas ideal**

El gas ideal se puede definir como un gas en el que su volumen se reduce a la mitad cuando se duplica su presión, ésta y su temperatura también se duplican si se mantiene el volumen constante.

Las leyes generales de los gases consideran las siguientes características:

- EL volumen ocupado por las moléculas se desprecia con respecto al volumen ocupado por el gas en un contenedor.
- No existen fuerzas repulsivas o atractivas entre las moléculas y las paredes del contenedor.
- Todas las colisiones entre las moléculas son perfectamente elásticas, así que no existen pérdidas de energía por colisión entre ellas.

Las leyes son:

- Ley de Charles.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \dots\dots\dots(2.1)$$

- Ley de Boyle.

$$P_1 V_2 = P_2 V_1 \dots\dots\dots(2.2)$$

- Ley general de los gases.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \dots\dots\dots(2.3)$$

Por lo tanto, todo gas que cumple con la siguiente ecuación es denominado gas ideal.

$$P V = R T \dots\dots\dots(2.4)$$

También por el número de moles presentes en el gas:

$$P V = n R T \dots\dots\dots(2.5)$$

Donde :

P = Presión (lb/pg²).

V = Volumen (pie³).

T = Temperatura (°R).

R = Constante universal de gases (R = 10.732 (lb/pg² abs.- pie³ / mole-lb.-°R).

n = Número de moles de gas.

- **Gas real**

Es aquel gas, cuyo volumen se reduce a la mitad del original sin que la presión sea el doble de la original, es más compresible que un gas ideal o perfecto. A presiones bajas, las moléculas se encuentran distantes unas de otras, por lo que las fuerzas atractivas son despreciables y por lo tanto el gas tiende a comportarse como un gas ideal.

- **Gas natural**

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos gaseosos con algunas impurezas, como son el nitrógeno, ácido sulfhídrico y bióxido de carbono. Los gases que contienen ácido sulfhídrico y bióxido de carbono son conocidos como gases amargos.

El gas natural está formado básicamente por metano, etano, propano, butano, pentano y pequeñas cantidades de hexano, heptano y otras fracciones. En las mezclas de hidrocarburos gaseosos obtenidos de los diferentes yacimientos se ha observado que se encuentran concentraciones de metano que varían en proporciones desde un 80 hasta un 98%.

Es una cadena lineal compuesta de hidrocarburos ligeros, el volumen y la composición de un gas natural cambia con el tiempo debido a las variaciones de sus condiciones iniciales y presentes, por ejemplo en su transporte del lugar de producción hasta donde se consume, distribuye o se procesa.

Normalmente está asociado con líquidos como el condensado (que es un producto del gas húmedo debido al cambio de condiciones que puede sufrir el gas de presión y temperatura) o el agua libre; por lo tanto, el efecto que causa la presencia de líquido en el gas al momento de su medición tiene que ser considerado y evaluado.

- **Teoría cinética de los gases**

Por tratarse de los gases y su estudio en este trabajo, se mencionarán los postulados de un gas para poder entender el comportamiento de los gases ideales. Los postulados fundamentales de la teoría cinética son:

1. Se considera que los gases están constituidos por partículas diminutas discretas, llamadas moléculas de igual masa y tamaño en un mismo gas, pero diferentes para gases distintos.

2. Las moléculas en un recipiente se hallan en movimiento caótico continuo, durante el cual chocan entre sí o con las paredes del recipiente donde se encuentran.
3. El bombardeo de las paredes del recipiente origina una presión, es decir, una fuerza por unidad de área promedio de las colisiones de las moléculas.
4. Las colisiones de las moléculas son elásticas, es decir, mientras no varíe con el tiempo la presión del gas de un recipiente a cualquier temperatura y presión no se produce pérdida de energía por fricción.
5. La temperatura absoluta es una cantidad proporcional al promedio de la energía cinética de todas las moléculas de un sistema.
6. A presiones relativamente bajas, la distancia promedio entre las moléculas es grande en comparación con sus diámetros y de ahí que las fuerzas de atracción, que dependen de la separación molecular, se consideren despreciables.
7. Las moléculas son pequeñas en comparación con la distancia entre ellas, su volumen se considera despreciable con relación al volumen total.

• **Condensado**

Este concepto se define como cualquier mezcla de hidrocarburos relativamente ligeros que permanecen líquidos a temperatura y presión normales. Su composición principalmente es de propano y butano líquidos. A diferencia del aceite crudo tienen poca o ninguna cantidad de hidrocarburos pesados.

Hay tres fuentes principales de la producción de condensados:

1. Los hidrocarburos líquidos que se separan cuando el gas es tratado. Este condensado típicamente consiste de pentanos y octanos.
2. Los hidrocarburos líquidos provenientes del gas no asociado que son recuperados en la superficie.

3. Los hidrocarburos líquidos que provienen de los yacimientos de gas-condensado. Estos pueden ser apenas distinguibles de un crudo ligeramente estabilizado.

• **Medición de gas**

La palabra medición puede tener diferentes significados dependiendo del uso específico que le sea dado; para nuestro caso se definirá medición de gas. Como una corriente de flujo de gas que registra movimiento con un instrumento (medidor), instalado en una tubería para determinar la capacidad de volumen que pasa por él por unidad de tiempo.

2.2. PROPIEDADES DEL GAS NATURAL

A continuación se hace mención de algunas propiedades del gas natural que afectan directa o indirectamente al proceso de medición del gas natural. Tales conceptos son:

• **Factor de compresibilidad.**

Es el factor numérico que representa la medida en la desviación del comportamiento de un gas real respecto de un gas ideal, se representa por la letra Z, su valor se puede determinar mediante un análisis de laboratorio o por correlaciones empíricas partiendo de las condiciones de presión y temperatura.

La ecuación que representa el comportamiento de un gas real es la siguiente:

$$P V = Z R T \dots\dots\dots(2.6)$$

En términos del número de moles:

$$P V = n Z R T \dots\dots\dots(2.7)$$

El Reporte No. 8 de A.G.A.⁽¹⁾, presenta dos métodos recomendados para calcular con alta precisión el factor de compresibilidad y la densidad del gas natural. Estos métodos se conocen como caracterización detallada y caracterización bruta. El método de caracterización bruta considera que la mezcla de gas natural está formada por tres componentes: un componente hidrocarburo equivalente (componente pseudo hidrocarburo), uno nitrógeno y uno bióxido de carbono. El método predice el factor de compresibilidad del gas natural a unas condiciones de presión y temperaturas dadas utilizando como datos la densidad relativa del gas, el contenido de bióxido de carbono y el contenido de nitrógeno.

- **Densidad relativa del gas**

Es un número adimensional que está dado por la relación de la masa del cuerpo de un volumen igual de una sustancia que se toma como referencia, para el gas se refiere al aire. También se define como la razón de la densidad de un gas a determinadas presión y temperatura a la densidad del aire a la misma presión y temperatura, generalmente a 60 °F y presión atmosférica. Mientras que la densidad de los gases varía con la temperatura y la presión, la densidad relativa es independiente de estos factores, siempre y cuando el gas siga la ley de los gases perfectos o ideales. A partir de la relación entre los pesos moleculares se tiene la siguiente ecuación:

$$SG = \frac{PM_{gas}}{PM_{aire}} \dots\dots\dots(2.8)$$

Donde:

PM_{gas} = Peso molecular de gas.

PM_{aire} = Peso molecular de aire.

- **Densidad del gas**

Se define la densidad de una sustancia como su masa por unidad de volumen, ésta puede obtenerse de la densidad de un gas ideal a presión y

temperatura dadas sustituyendo m/M por n en la ecuación de los gases ideales, como se menciona a continuación:

$$P V = \frac{m}{M} RT \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\rho_g = \frac{m}{V} = \frac{P M}{RT} \dots\dots\dots (2.10)$$

Donde :

ρ_g = Densidad absoluta del gas (lb_m/pie^3).

P = Presión (lb/pg^2).

V = Volumen (pie^3).

T = Temperatura ($^{\circ}\text{R}$).

R = Constante universal de los gases ($R = 10.732 \text{ (lb}/\text{pg}^2 \text{ abs.} \cdot \text{pie}^3 / \text{mole} \cdot \text{lb} \cdot ^{\circ}\text{R})$).

$n = (m/M)$ Número de moles de gas.

• Temperatura

Los gases poseen ciertas propiedades relacionadas con este concepto y son susceptibles de ser medidas, la medición de estas propiedades permite la determinación indirecta del valor de la temperatura. Estas propiedades se afectan por la actividad molecular; por ejemplo, cuando se dice que un cuerpo; está más caliente o más frío, se quiere indicar que tiene mayor o menor temperatura. Esto se debe a la actividad molecular de dicho cuerpo, que es mayor cuando se trata de una temperatura alta. Por lo tanto, se puede decir que la temperatura es una propiedad de un cuerpo relacionada con su actividad molecular.

• Factor de volumen del gas

Se define como el volumen de una masa de gas medido a presión y temperatura del yacimiento o de escurrimiento, dividido entre el volumen de la misma masa de gas medido a condiciones estándar.

$$B_g = \frac{0.02825 * Z * (T + 460)}{P} \dots\dots\dots (2.11)$$

Donde:

Z = Es el factor de compresibilidad del gas (adimensional).

• **Viscosidad del gas**

Es la medición de la resistencia de un gas a fluir. La resistencia es provocada por la fricción interna que resulta de los efectos combinados de cohesión y adhesión. La viscosidad de los derivados del petróleo se expresa comúnmente en términos del tiempo requerido por volumen específico de líquido para fluir a través de un orificio de tamaño específico. El valor de la viscosidad se puede determinar mediante la correlación de Lee⁽¹⁴⁾.

$$\mu_g = K * 10^{-4} * \text{EXP} (X * (\rho_g / 62.428)^Y) \dots\dots\dots (2.12)$$

Donde:

$$K = ((9.4 + 0.5794 * SG) * (T + 460)^{1.5}) / (209 + (550.4 * SG) + (T+460))$$

$$X = 3.5 + (986/(T+460)) + 0.2897 * SG$$

$$Y = 2.4 - 0.2 * X$$

μ_g = Viscosidad del gas (cp).

2.3. ESPECIFICACIONES DEL GAS

Por lo general, el gas natural es producido en la superficie asociado a líquidos, esta mezcla es normalmente rica en gasolinas naturales (condensados) y con grandes porciones de crudo. A bajas condiciones de presión y temperatura de separación, el contenido de hidrocarburos pesados asociados al gas es muy alto.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Durante un proceso normal de separación de hidrocarburos se obtienen productos como gas y líquidos (aceite y agua). Pero para poder comercializar el gas natural separado, éste deberá cumplir con ciertas especificaciones de calidad de venta, tales como poder calorífico, porcentaje de agua, contenido de impurezas (ácido sulfhídrico (H_2S), dióxido de carbono (CO_2)). Se mencionarán brevemente estos conceptos.

- **Dióxido de carbono**

La determinación de dióxido de carbono en pozos de gas, se obtiene por medio de un cromatógrafo o de un análisis PVT (presión-volumen-temperatura). El máximo contenido que se permite en el gas natural de este contaminante para su comercialización es de 3%.

- **Ácido sulfhídrico**

El ácido sulfhídrico es una de las impurezas del gas natural que provoca graves problemas de corrosión, además de ser un ácido tóxico. La especificación marcada para su manejo en el gas natural para su comercialización como combustible es un contenido máximo de 5.7 mg / m^3 .

- **Poder calorífico**

Este parámetro se determina por medio de un calorímetro o un análisis cromatográfico. El poder calorífico base para fines de transferencia comercial es de 8460 Kcal / m^3 .

- **Tratamiento de gas por contenido de agua**

El tratamiento más común consiste en eliminar el agua del gas natural. El remover el agua es importante y necesario, ésta permite prever una mayor condensación de líquidos y formación de hidratos en ductos. El agua en estado líquido, causa problemas de corrosión en tuberías, válvulas y equipos (principalmente cuando existe H_2S y CO_2).

CAPÍTULO 3

TIPOS DE MEDIDORES DE GAS

Actualmente, existen campos petrolíferos que producen gas húmedo natural, el cual es tratado para que se separen los líquidos de los vapores de hidrocarburos, de tal manera que después de hacer pasar esta mezcla multifásica por la estación de recolección, no siempre se logra una separación efectiva de los productos y parte de los condensados o agua libre se van a la corriente de gas, ocasionando con esto, entre otras muchas cosas, las siguientes consecuencias:

- Paros en los equipos de compresión.
- Baja eficiencia de operación en aquellos pozos que toman directamente de la descarga de gas de alta presión con presencia de condensados.
- **Errores en la medición de gas por presencia de líquidos.**
- Contaminación del medio ambiente, ya que el gas que va disuelto en la corriente de aceite se evapora en el tanque de almacenamiento.
- Pérdidas económicas, debido al hecho de que los condensados son de mayor valor económico que el aceite y si se mezclan con éste no se aprovechan y además se pierden por evaporación.
- Altas erogaciones por corridas de diablos, ya que los líquidos se quedan en el interior de las tuberías y se tienen que limpiar de líquidos para recuperar su eficiencia de operación.

Como se puede apreciar, el caso al que se le dedicará mayor atención y por tanto motivo de este trabajo, es el de errores en la medición de gas por presencia de líquidos.

Los métodos o procedimientos para realizar la medición de gas natural pueden ser directos o indirectos. Los métodos directos son aquellos en que se emplea un elemento primario de medición para cuantificar directamente el volumen por unidad de tiempo que pasa por el mismo. Éste es el caso de la medición por desplazamiento positivo en cualquiera de sus diferentes modalidades.

Los métodos indirectos, requieren de algún parámetro relacionado con el gasto, ya sea una carga manométrica, una diferencial de presiones o la velocidad, para que sobre la base de esta información se determine el volumen por unidad de tiempo.

Existen varios equipos de medición especializados, los cuales se pueden clasificar en monofásicos (una sola fase) y multifásicos (dos o tres fases), estos *están constituidos de dos partes:*

- (1) Elemento primario que puede estar o no en contacto con el fluido que se mide (medidor) y
- (2) Elemento secundario que es la instrumentación requerida para traducir las señales digitales a analógicas, paquetería de cómputo especializada para los cálculos del gasto de flujo, y en algunos casos como los cromatógrafos para la determinación de la calidad de los fluidos; todo esto integra un sistema de medición.

Como se mencionó, la medición es una de las operaciones más importantes en el proceso productivo de la industria petrolera debido a su importancia comercial. El avance tecnológico ha hecho posible el desarrollo de modernos medidores de flujo para manejar diferentes aplicaciones, entre las varias clasificaciones se tiene la siguiente:

Clase I.-	Medidores de flujo con partes móviles
Clase II.-	Medidores de flujo sin partes móviles
Clase III.-	Medidores de flujo intrusivos
Clase IV.-	Medidores de flujo no intrusivos (con sensores montados en la tubería)

- Los medidores de clase I

Utilizan aparatos de alta tolerancia con partes móviles, cuya operación y comportamiento dependen del tipo de medidor; estas partes móviles están sujetas a uso y por lo tanto a daño, lo que puede causar problemas al medidor. Cualquier alteración de la geometría por uso incrementa la incertidumbre asociada con la medición.

Entre los principales instrumentos de este tipo se encuentran los medidores de:

- Desplazamiento positivo
- Turbina
- Área variable

- Los medidores de clase II.

No tienen partes móviles y son conceptualmente más atractivos que otros; sin embargo el uso de aparatos que excedan la tolerancia puede causar incremento en la incertidumbre de la medición de fluidos. La carencia de partes móviles da por resultado menos fallas, aunque se tienen otros problemas tales como taponamiento u obstrucción en la tubería o caídas de presión excesivas a través del medidor, dependiendo del diseño.

Entre los principales medidores de este tipo se encuentran:

- Presión diferencial
- Oscilatorios
- Térmicos

Los medidores intrusivos de flujo de la clase III.

Se consideran a parte aunque forman parte de los medidores de flujo que no tienen partes móviles, estos permiten que el flujo pase a través de él en forma tranquila, con la ventaja de que pueden manejar fluidos sucios y abrasivos.

Entre los principales medidores de este tipo se encuentran:

- Coriolis
- Magnéticos
- Ultrasónicos

Los medidores de flujo que tienen sensores localizados de forma externa en la tubería son los de la clase tipo IV, los cuales son no intrusivos; esta clasificación tiene la ventaja de que aparte de ser no intrusivos no tienen partes móviles, lo que elimina el requerimiento de asegurar que estas partes del medidor sean compatibles con el fluido. Entre los principales medidores de este tipo se encuentran los ultrasónicos de brida.

Los medidores de flujo también se pueden agrupar de acuerdo al principio de medición que se utiliza como:

- Tipo A.- Volumétricos
- Tipo B.- Velocidad
- Tipo C.- Inferenciales
- Tipo D.- Másicos

Los medidores volumétricos del tipo A, como el medidor de desplazamiento positivo, mide el flujo determinando directamente el volumen; los aparatos volumétricos de medición de flujo usualmente tiene partes maquinadas de alta tolerancia que físicamente entrapan una cantidad precisa y conocida de fluido mientras giran.

Los medidores de velocidad de flujo son del tipo B, en estos se mide la velocidad de flujo que al ser multiplicada por el área permite determinar el flujo total. Se pueden usar varios principios para medir la velocidad, como lo muestra la gran variedad de medidores de este tipo, entre los que se incluyen turbina, vórtice y medidores ultrasónicos.

El tipo C es el medidor inferencial, que mide el flujo a través de una tubería por inferencia de algunos fenómenos físicos; un ejemplo de esto, es inferir el flujo a partir de una diferencial de presión a través de una restricción de la tubería, como es el caso del medidor de placa de orificio. Estos medidores no miden volumen, ni velocidad, pero el gasto del fluido se infiere de la diferencial de presión medida y de correlaciones experimentales aceptadas.

El medidor del tipo D mide directamente masa, un ejemplo es el medidor de flujo másico de Coriolis, el cual mide directamente la masa en función de la fuerza que ésta produce cuando se acelera en una tubería.

El medidor comúnmente utilizado en las transacciones de gas natural es el de placa de orificio concéntrico, cuya construcción, instalación y operación se lleva a cabo de acuerdo a las recomendaciones del A.P.I. ⁽²⁾ y A.G.A. ⁽¹⁾.

- Elemento primario

La operación de este elemento primario es muy simple y puede considerarse que está constituida por tres partes:

1. Tubo medidor

El tubo medidor se define como la sección recta de tubería que incluye todos los segmentos que integran al elemento primario de medición, por el cual pasa el gasto de fluido y es donde se tiene un contacto directo entre el fluido a medir y el elemento primario. El tubo medidor debe cumplir con los

requerimientos establecidos en el manual del A.P.I.⁽²⁾, donde se establecen las características de diseño e instalación del tubo.

2. Placa de orificio

Debe tener un diámetro calibrado, el cual forma una restricción al flujo provocando una diferencial de presión, tiene un ángulo de 45° aproximadamente en su borde interior, mismo que debe colocarse corriente abajo.

3. Portaplaca

Es un sujetador de la placa de orificio, se instala como parte integral del tubo medidor, su función es mantener la placa en posición vertical y concéntrica respecto al tubo medidor.

- *Elemento secundario*

Son los dispositivos necesarios para precisar la determinación del gasto de gas, estos son usualmente instrumentos que registran la presión diferencial y la estática, la temperatura del fluido y la densidad y/o la gravedad específica.

Estos dispositivos secundarios también tienen asociada una incertidumbre que se debe tomar en cuenta en la estimación del gasto del fluido.

- *Elemento terciario*

Se le llama así al equipo utilizado para medir otras variables necesarias para poder realizar el cálculo del gasto del fluido, este equipo lo componen básicamente termómetros, calorímetros, gravitómetros y cromatógrafos.

El centro de los agujeros para las tomas de presión debe estar colocado una pulgada corriente arriba y abajo de las caras anterior y posterior de la placa. La presión estática es la presión absoluta del fluido medida en una de

las tomas y la presión diferencial es la diferencia entre las presiones estáticas medidas corriente arriba y abajo de la placa.

La temperatura del fluido se puede medir corriente abajo o arriba de la placa de orificio, siempre que se cumpla con las recomendaciones del A.P.I., éstas incluyen también las relacionadas con las instalaciones del tubo medidor, la placa de orificio y las venas alineadoras, así como las diversas tolerancias permitidas en distancias, espesores, excentricidades, rugosidades, etc.

Para la medición del gas natural se aplican las recomendaciones del Capítulo 14, Sección 3, Parte 3 del A.P.I.⁽²⁾, éstas son aplicables esencialmente al flujo másico estacionario, gases que para fines prácticos se consideran limpios, en una sola fase, homogéneos y Newtonianos, con número de Reynolds iguales o mayores que 4000. Asimismo, son aplicables a medidores con placa de orificio circular concéntrico, de borde recto y tomas de presión en las bridas, con diámetros nominales iguales o mayores de 2 pg. diseñados, construidos e instalados de acuerdo a las recomendaciones.

La medición del gasto de gas a condiciones diferentes de las consideradas como base, implica la necesidad de efectuar ajustes por presión, temperatura y por compresibilidad; adicionalmente en transacciones comerciales se requiere efectuar ajustes por poder calorífico, dado que el gas natural es una mezcla de hidrocarburos. Los cálculos de algunos de estos parámetros se pueden adquirir a partir de la composición y otros pueden obtenerse en campo a partir de muestras de gas, utilizando la instrumentación adecuada.

La normatividad de la placa de orificio para medición de gas no toma en cuenta el contenido de humedad del gas, debido a que los principales factores que intervienen en la medición fueron determinados para gas seco.

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIDORES

El desarrollo del medidor es un criterio muy importante para la selección de éste, por tanto se deben examinar con mucho detenimiento las características de diseño, instalación y operación de cada uno de los medidores ya que no sólo depende de la tecnología propia del medidor sino de los criterios que se toman en cuenta como:

- Complejidad de instalación y costos
- Mantenimiento
- Exactitud
- Linealidad
- Repetibilidad
- Dependencia de las propiedades de los fluidos
- Costos de operación
- Características hidráulicas del medidor y de los fluidos
- Rangeabilidad
- Satisfacción

Por su importancia se mencionaran algunas de ellas:

- **Exactitud**

Es la característica que presenta un medidor para reproducir la información dentro de un intervalo de error y tolerancia, es un indicador de la confiabilidad del medidor para cuantificar el gasto. Representa una medida en la desviación del gasto medido con respecto al gasto real y se define como:

$$\text{Exactitud} = \frac{|\text{Gasto real} - \text{Gasto medido}|}{\text{Gasto real}} * 100 \dots (3.1)$$

La exactitud es reportada de dos formas: como un porcentaje respecto a una escala o como uno respecto a una lectura. Este último resulta mejor (para fines de evaluación del medidor), ya que el error que se obtiene en un proceso de medición generalmente es proporcional a la magnitud del gasto.

- **Rangeabilidad**

Esta característica es conocida como la relación entre los gastos máximo y el mínimo de flujo, para ciertas especificaciones de exactitud, a través de la cual la precisión es mantenida.

$$\text{Rangeabilidad} = \frac{\text{Máximo gasto que se puede medir}}{\text{Mínimo gasto que se puede medir}} \dots\dots\dots (3.2)$$

- **Repetibilidad**

Es la característica de un medidor para producir lecturas de medición iguales en condiciones de flujo de fluido idénticas durante un periodo de tiempo determinado. Esto es evaluado como la máxima diferencia entre la lectura de medición y se expresa como un porcentaje dentro de una escala total, este concepto no es sinónimo de exactitud, es decir, podría existir una muy buena repetibilidad pero una mala exactitud, un proceso de medición será excelente cuando se obtenga una buena exactitud acompañada de una buena repetibilidad.

- **Linealidad**

Es la característica que representa una desviación en las condiciones de operación respecto a las curvas de calibración de un medidor. Las líneas de calibración deberán ser tomadas en cuenta, ya que son los puntos de referencia proporcionados por el fabricante acerca del comportamiento y de las condiciones de operación del medidor para lograr una buena exactitud.

CAPÍTULO 4

MEDICIÓN DE GAS CON PLACA DE ORIFICIO

El gasto de gas medido con estos elementos primarios, se obtiene a partir de la medición de las presiones corriente abajo y corriente arriba de una placa plana y delgada colocada como restricción al flujo, en conjunto con la determinación de otros parámetros, siendo la pérdida de presión proporcional al cuadrado de la velocidad del flujo.

De estos medidores, el más común es el conformado básicamente por una placa con agujero circular concéntrico, colocada en un tramo de tubería recta con características particulares denominado tubo medidor.

La placa de orificio generalmente está construida de metal (acero al carbón, acero inoxidable o acero monel), con un agujero de tamaño predeterminado bien definido, realizado bajo cierta tolerancia de exactitud (las recomendaciones específicas se encuentran en el Capítulo 14 del manual de medición de gas de A.P.I.⁽²⁾). Ésta se instala de tal forma que el orificio de la placa sea concéntrico al tubo medidor y perpendicular a la dirección del flujo.

La placa es de un espesor determinado y está diseñada para resistir diversas condiciones de presión y temperatura, pudiéndose obtener la relación entre el diámetro del orificio y el del tubo medidor llamada β , que sirve para caracterizar y seleccionar la placa de orificio más adecuada según las condiciones de operación y de acuerdo a las recomendaciones A.P.I.⁽²⁾ y del reporte 8 del A.G.A.⁽¹⁾. Por construcción y diseño, el agujero de la placa de orificio concéntrico deberá contener un biselado en la parte corriente abajo con un ángulo aproximado de 45° con una tolerancia de $\pm 15^\circ$.

Cuando su instalación y operación se realizan adecuadamente y los cálculos se efectúan de acuerdo a los procedimientos recomendados, se logran muy buenas precisiones en la medición. Para esto, una de las prácticas que debe seguirse es acondicionar el gas natural de tal manera que se asegure el transporte en una sola fase a las condiciones del medidor.

Esto no representa ningún problema cuando se maneja gas natural comercial, que ha pasado por un proceso de separación y tratamiento que permite su transporte en una sola fase; sin embargo, en las operaciones de producción primaria de hidrocarburos, es común el manejo de gas húmedo debido a los cambios de condiciones de operación que promueven la formación de dos fases o como consecuencia de una baja eficiencia de separación.

La ecuación general para efectuar el cálculo del gasto del gas natural se deriva de la ecuación de energía, aplicada a dos puntos en una corriente de flujo (el primer punto representa la parte corriente arriba en la placa de orificio y el segundo la parte de estrangulamiento).

La ecuación fundamental de flujo másico es la siguiente:

$$Q_m = C_d * E_v * Y_1 * \left(\frac{\pi}{4}\right) * d^2 * \sqrt{2 * g_c * \rho_{T,P} * \Delta P} \text{ -----(4.1)}$$

Donde:

Q_m : flujo másico de gas (lb_m/seg)

C_d : Coeficiente de descarga (adim)

E_v : Eficiencia volumétrica (adim)

Y_1 : Coeficiente de expansión (adim)

d : Diámetro del medidor (pg)

g_c : Aceleración de la gravedad (32.2 pie/seg²)

$\rho_{T,P}$: Densidad del gas a condiciones de flujo (lb_m/pie³)

ΔP : Caída de Presión (lb/pg²)

El gasto volumétrico a condiciones base se obtiene con la expresión:

$$Q_b = \frac{Q_m}{\rho_b} \text{-----} (4.2)$$

Donde:

Q_b : flujo volumétrico de gas (pie³/día)

ρ_b : Densidad del gas a condiciones base (lb_m/pie³)

La ecuación práctica para el cálculo del gasto de gas con placa de orificio que involucra varios factores es la siguiente:

$$Q = F_n * (F_c + F_{sl}) * Y_1 * F_{pb} * F_{tr} * F_{gr} * F_{pv} * \sqrt{h_w * P} \text{-----} (4.3)$$

Donde:

h_w = Presión diferencial (pg. de agua)

P = Presión estática del gas en la tubería (lb/pg² abs)

La forma de calcular cada uno de los factores involucrados en la ecuación (4.1) puede verse en la referencia 2.

La presión estática de flujo se toma normalmente corriente arriba de la placa de orificio y la temperatura se mide corriente abajo de la placa. La expansión del gas a través del orificio es esencialmente adiabática; bajo estas condiciones, la densidad de la corriente cambia debido a la caída de presión y al cambio adiabático de la temperatura. Por lo tanto, se incluye un factor de expansión Y , calculado para el caso adiabático y reversible para corregir por esta variación en densidad.

Para encontrar el factor de compresibilidad se debe utilizar uno de los procedimientos que se presentan en el reporte No. 8 del A.G.A.⁽¹⁾, si se tiene la

composición se puede usar el método “detallado”, de otra manera se puede utilizar el método “grueso”.

4.1. EFECTO DE LA PRESENCIA DE LÍQUIDOS EN LA MEDICIÓN DE GAS NATURAL CON PLACA DE ORIFICIO

En muchas aplicaciones de mediciones de flujo de gas, pequeñas cantidades de líquido pueden estar contenidas en el gas. Los medidores de flujo instalados miden vapor o gas natural no procesado, los cuales normalmente tienen partículas de líquido dispersas.

En trabajos previos se muestra que el líquido afecta a la medición real del flujo de gas; muchos de estos trabajos se han realizado con medidores del tipo diferencial de placa de orificio. En trabajos de medidores de placa de orificio en flujo horizontal se ha demostrado que los líquidos se acumulan corriente arriba y corriente debajo de la placa, lo que contribuye al error en la medición de flujo de gas neto.

Cuando se trata de la medición de gas natural, en muchas ocasiones es difícil lograr que éste se conserve en una sola fase a las condiciones del medidor, debido a los cambios de operación (presión y temperatura) que originan condensación del gas y formación de agua libre.

Bajo condiciones cambiantes de operación, el gas natural normalmente no presenta la homogeneidad deseada; por lo tanto se tiene que recurrir a instalar sistemas de recolección de líquidos, trampas, calentadores y equipos de separación gas-líquido.

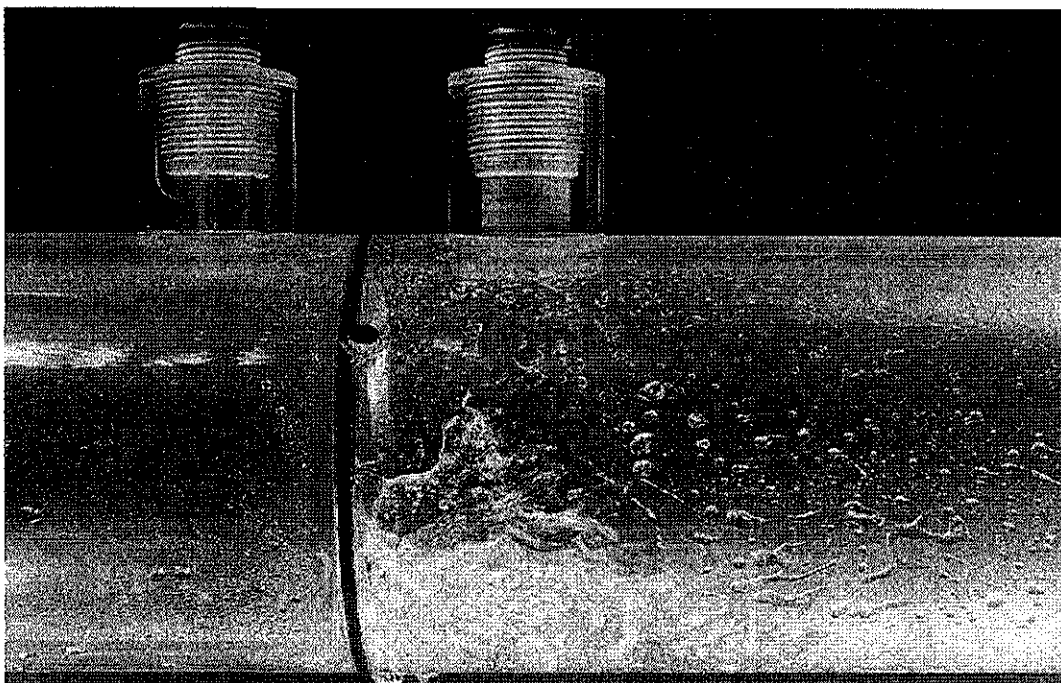


Fig. 4.1 Comportamiento de flujo de gas húmedo al pasar por una placa de orificio⁽³⁾.

Los trabajos realizados por diferentes investigadores se han llevado a cabo en forma tal que se observan todos los fenómenos que se presentan durante la medición de gas, con presencia de pequeñas cantidades de líquidos como se ve en la Fig 4.1.

Tales fenómenos son los siguientes:

- Una reducción en el área disponible al flujo de la fase gaseosa, ya que en el interior de la tubería se presenta acumulación de líquidos en el fondo de ella.
- Una considerable pérdida de energía debido a la rugosidad interna provocada por la superficie de contacto, ya que la presencia de líquido forma ondas.
- Debido al transporte de líquido a lo largo de la tubería se tiene una pérdida considerable de energía; se ha comprobado que la velocidad del gas es mayor cuando fluye en una sola fase.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- En los procesos relacionados con la medición de gas natural húmedo se deberá tener cuidado de no modificar bruscamente sus condiciones de operación (presión y temperatura), debido a que la variación de estos parámetros altera el comportamiento del gas y sus propiedades físicas.

Durante algunas temporadas del año (como en invierno), los hidrocarburos pesados de gas natural se depositan en el fondo de las tuberías formando pequeñas cantidades de líquidos, los cuales son transportados por la corriente, y en muchas ocasiones es apreciable la cantidad de líquido encontrada en las estaciones de separación y de recolección.

A este fenómeno se le conoce como condensación retrógrada, los cambios en las condiciones de operación, son los factores que dan origen a la formación de líquidos en las corrientes de gas. Una de las conclusiones obtenidas en uno de los estudios de campo más importante⁽⁵⁾ en cuanto a la formación de líquidos en la tubería es la siguiente:

“La formación de líquidos depende del medio ambiente donde se encuentre el sistema de medición. En los cruces de ríos, pantanos y lagunas se pudo apreciar que en épocas de invierno se alcanza una condensación del 50% de la corriente de gas, por lo que el volumen de líquidos origina una reducción en el área expuesta al flujo y por consiguiente, una reducción considerable en la capacidad de transporte, así como un incremento en la presión de compresión”.

Se desarrollaron diversos trabajos para estudiar el efecto de la presencia de líquidos en la medición de gas natural, mismos que se han llevado a cabo para diferentes gastos, condiciones de operación, arreglos físicos y características de fluidos particulares. En algunos casos se ha utilizado agua, aceite o condensado, como fase líquida y en la mayoría de ellos la fase gaseosa ha sido aire.

Uno de los primeros estudios para corregir las mediciones de gas natural por efecto de la presencia de líquidos a las condiciones del medidor, fue desarrollado por Katz ⁽⁴⁾. El trabajo experimental lo realizó en tuberías verticales y horizontales de 4 pg. de diámetro a presiones aproximadamente de 1400 lb/pg². La Fig. 4.2 muestra los factores de corrección a los gastos medidos de gas húmedo en función del contenido de líquido a las condiciones del medidor.

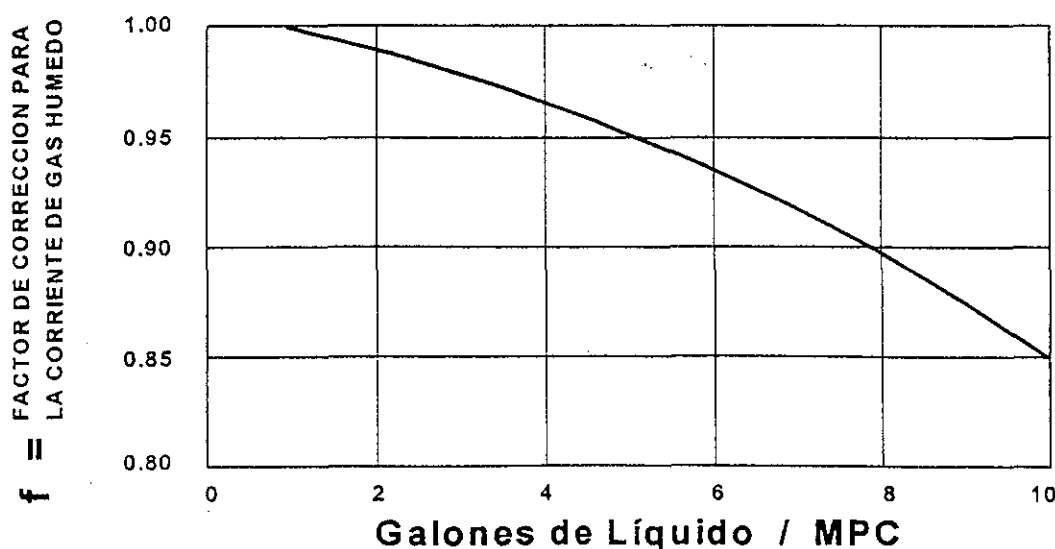


Fig. 4.2 Corrección por presencia de líquidos, Katz ⁽⁴⁾.

Para este caso se pudo concluir que la presencia de líquidos incrementa la lectura diferencial y por lo tanto el gasto de gas aparente. El incremento depende de la forma como se desplazan las fases en la corriente, lo cual es resultado del colgamiento del líquido en la tubería, de la geometría de las instalaciones y de las propiedades de cada una de las fases presentes.

Aarón Marino Garrido Hernández⁽⁵⁾, en 1998, realizó uno de los estudios más recientes para evaluar el efecto que causa la presencia de líquidos, como lo son agua libre y condensados de gas natural (gasolina ligera), en la medición de gas natural a través de placa de orificio.

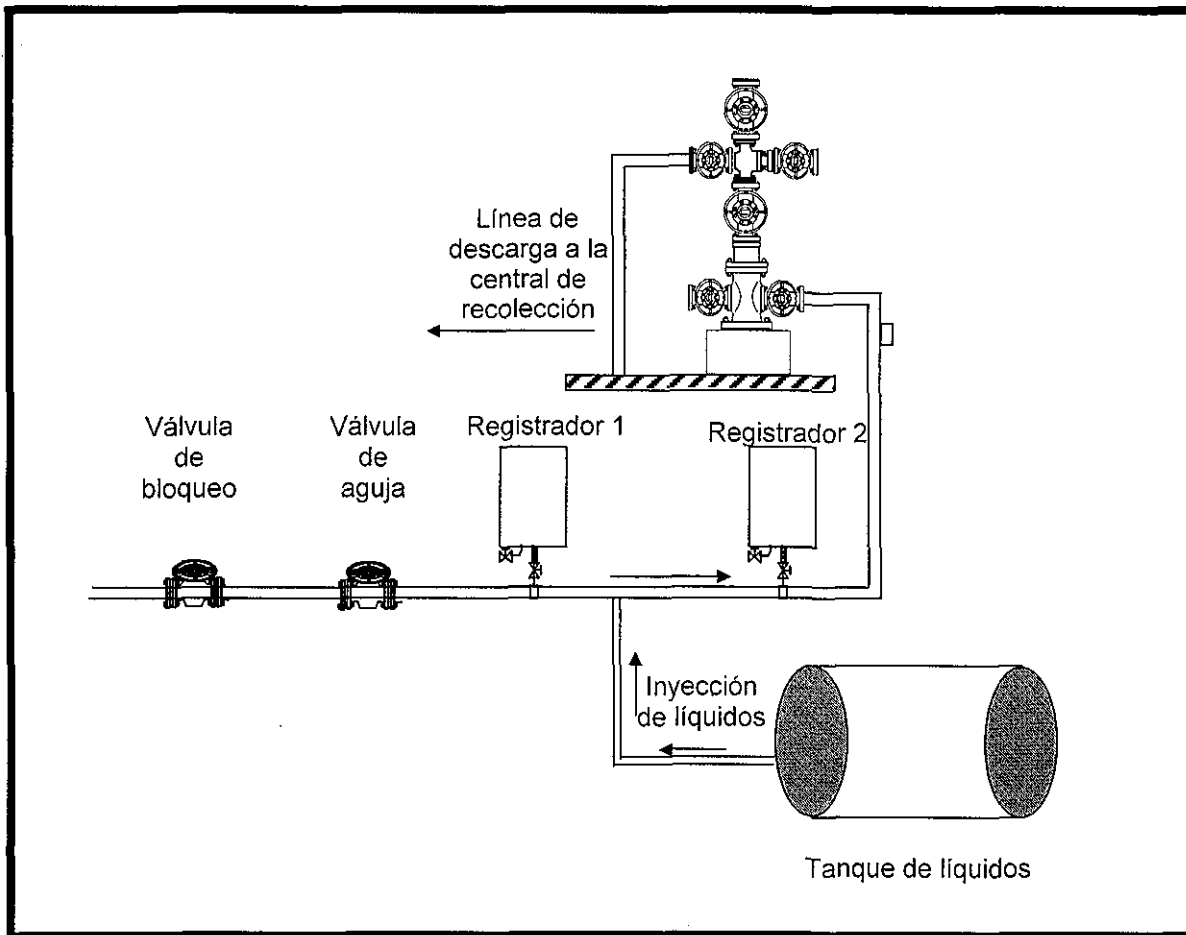


Fig. 4.3. Prototipo del modelo empleado en pozos⁽⁵⁾.

Mediante trabajos experimentales, efectuó una serie de pruebas sobre una línea de inyección de gas seco hacia el espacio anular de tres pozos que operan por medio de bombeo neumático en el distrito Agua Dulce. Para esto construyó el arreglo que se muestra en la figura 4.3, que consistió en instalar dos medidores de 2 pg. de diámetro con placa de orificio de $\frac{1}{2}$ pg. de diámetro sobre una corriente de gas seco.

A una determinada distancia, después del primer medidor, se colocó un inyector de líquidos y posteriormente el segundo medidor. Para alterar las características físicas de la corriente de gas seco, se inyectaron volúmenes controlados de agua o diesel.

La aportación más importante de su trabajo son las correlaciones empíricas que permiten convertir el gasto calculado de gas húmedo a gasto de gas seco y viceversa.

Además determinó que cuando el gasto de líquido era mínimo (menos de siete litros por día) no se manifestaba ninguna diferencia entre las lecturas estática y diferencial de las gráficas de ambos medidores; que el tipo de líquidos que se inyectaba al sistema no representaba ninguna diferencia en la medición; y que las lecturas diferenciales que se registraron en las gráficas del registrador de flujo corriente abajo del inyector de líquido condujeron a la obtención de mayores gastos; es decir, se obtuvo siempre una mayor cuantificación de los volúmenes de gas húmedo con respecto al seco.

En general, todos los estudios orientados a la determinación de factores de corrección al volumen de gas húmedo medido con placa de orificio, suponen que los valores de presión antes y después de la placa son proporcionales a la cantidad de líquido presente a las condiciones del medidor, sin definir las diferencias aplicables estrictamente a la turbulencia generada en la vecindad de la placa.

CAPÍTULO 5

MEDICIÓN DE GAS CON MEDIDOR “V-CONE”

Sobre la base de las teorías de Newton, Venturi y Bernoulli, se construyó el primer medidor comercial de flujo Venturi a fines del siglo 19; algunos estudios posteriores de estos medidores llevaron a la creación de una norma internacional de elementos de flujo de presión diferencial. Siguiendo la misma investigación en cuestión de medición se concibió y desarrolló el medidor “V-cone” a principios de los años 80's, que es un dispositivo que utiliza las teorías comunes de los medidores de flujo de presión diferencial.

5.1. PRINCIPIO DE OPERACIÓN

La teoría para el cálculo del gasto se basa principalmente en el Teorema de Bernoulli para la conservación de energía en una tubería cerrada. Este teorema establece que la diferencia entre la presión en la tubería y la presión en una restricción o garganta en la tubería, es proporcional a la diferencia entre el cuadrado de la velocidad del fluido en la tubería y el cuadrado de la velocidad del fluido en la restricción.

En términos más sencillos, el flujo es igual a una constante multiplicada por la raíz cuadrada de la presión diferencial generada al pasar el flujo a través de la restricción.

El medidor “V-cone” crea esta presión diferencial con un cono colocado en el centro del tubo medidor, este arreglo permite desarrollar una región de baja presión y de velocidad alta, sumamente turbulenta, corriente abajo del cono, así como realizar mediciones de fluido en un amplio intervalo de

Números de Reynolds bajo cualquier clase de condiciones de operación de varios fluidos.

Se presenta un cono localizado en el centro del tubo, el cono interactúa con el fluido reformando el perfil de velocidades del fluido y creando una región de baja presión inmediatamente después de pasar la corriente por el cono; la diferencia de presión mostrada entre la presión estática y la baja presión creada corriente abajo del cono, puede ser medida por medio de dos sensores.

Un sensor se localiza ligeramente corriente arriba del cono, el otro se debe colocar en la cara del cono corriente abajo, la presión diferencial generada se incorpora como una derivación de la ecuación de Bernoulli para determinar el gasto del fluido.

La posición central del cono en la línea favorece el perfil de velocidades de flujo en el punto de medición asegurando una alta precisión, ya que la medición del fluido no se ve afectada por las condiciones del flujo corriente arriba del medidor.

La relación beta es igual a la relación de diámetros al cuadrado, que es inversamente proporcional al diámetro del tubo medidor y directamente proporcional a la diferencia de cuadrados de diámetros (el diámetro del cono del "V-cone" "d" y el del tubo medidor "D"), ver Fig. 5.1.

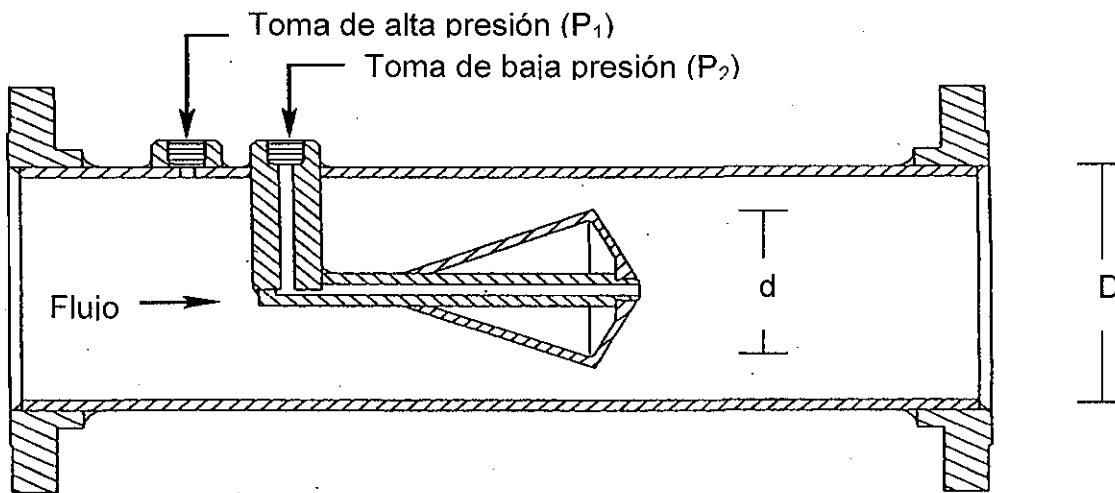


Fig. 5.1 Tomas de presiones en un medidor "V-cone" ⁽⁶⁾.

Un transmisor de presión diferencial mide ésta de la señal del elemento primario, éste genera una señal electrónica que es interpretada por un monitor de flujo u otros sistemas de control de procesos. Para fluidos compresibles, se requiere medir la presión y la temperatura de flujo. El fabricante puede ofrecer transmisores de presión diferencial, computadores de flujo y sensores de presión y temperatura para mediciones de flujo másico, todo calibrado y programado en el taller.

5.2. PERFIL DE VELOCIDADES

El medidor "V-cone" es similar a otros medidores de presión diferencial en las ecuaciones de flujo que utiliza; geoméricamente es totalmente diferente a los medidores tradicionales de presión diferencial. Restringe el flujo por la posición de un cono en el centro de la tubería, esto obliga al flujo en el centro de la tubería a fluir alrededor del cono, por el espacio anular.

La forma del cono ha sido continuamente evaluada y probada desde hace diez años para desarrollar la mejor forma para diferentes condiciones de operación de medición.

Para entender la idea del perfil de velocidades (Fig. 5.2) en una tubería hay que entender el desarrollo del medidor "V-cone". Si el flujo en una tubería larga no tiene obstrucciones o disturbios, es un flujo bien desarrollado. Si una partícula pasa a través de este flujo, la velocidad en cada punto será diferente, la velocidad podrá ser cero en la pared de la tubería, será máxima en el centro y cero en la pared opuesta, esto es debido a la fricción en las paredes de la tubería que se muestra al paso del fluido.

En el caso del medidor "V-cone" se tiene un cono suspendido en el centro de la tubería. Este cono obliga al núcleo de alta velocidad a mezclarse con los flujos de baja velocidad encontrados en las paredes de la tubería, otros medidores de presión diferencial han tratado de mezclar las diferentes velocidades de flujo pero no la han logrado satisfactoriamente, ésta es una importante ventaja para el medidor "V-cone" a bajos gastos. Como los gastos decrecen, el medidor continúa mezclándose con las diferentes velocidades del flujo en la tubería.

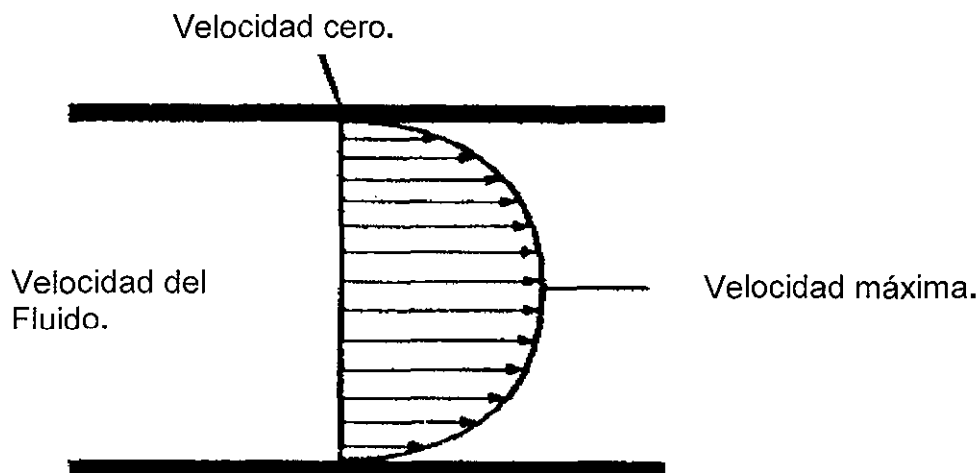


Fig. 5.2 Perfil de Velocidades ⁽⁷⁾.

El perfil de velocidades en la tubería real raramente es ideal. Hay instalaciones donde un medidor mide un flujo no bien desarrollado. Prácticamente algunos cambios en los tubos, como codos, válvulas, reducciones, extensiones, tees y bombas, pueden causar disturbios en el flujo. Si se intenta medir interferencias de flujo se crea un problema substancial para otros medidores; el medidor "V-cone" previene esto modificando el perfil de velocidades corriente arriba del cono, esto es un beneficio derivado de la forma cónica y su posición en el centro de la tubería, ya que obliga al perfil a tomar una forma convexa, como se puede ver en la Fig. 5.3.

Perfil de Velocidades causados por disturbios corriente arriba.

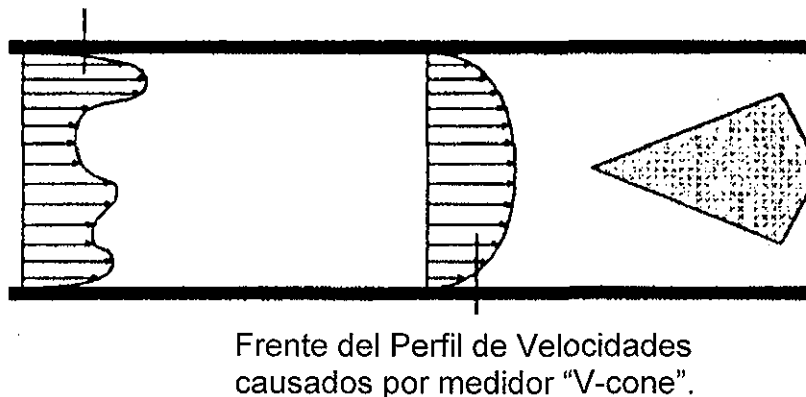


Fig. 5.3. Avance del perfil de velocidades. ⁽⁸⁾.

El medidor "V-cone" puede estabilizar el flujo aun bajo condiciones extremas, por ejemplo un simple codo o dos posicionados fuera del plano corriente arriba del medidor. Esto significa que los diferentes perfiles de flujo son aprovechados por el medidor; por lo tanto siempre se tendrá un perfil de velocidades predeterminado para el medidor, asegurando una medición real en condiciones no ideales.

El contorno del cono dispersa el flujo de manera más uniforme a través de la sección transversal total de la tubería, también asegura que el fluido no

impacte sobre el borde del cono abruptamente, esto reduce al mínimo el desgaste y permite calibrar el medidor con menos frecuencia.

El medidor "V-cone" actúa como su propio acondicionador de flujo, por esta razón la señal de presión diferencial es estable y predecible a través de zonas amplias de flujo, el contorno de la corriente descendente del cono mejora la estabilidad de la señal del medidor. En otros dispositivos de presión diferencial el elemento primario típicamente genera grandes vórtices en la corriente descendente, en cambio con el medidor "V-cone no se crean estos vórtices en la corriente descendente.

5.3. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIDOR

- Exactitud

El medidor "V-cone" como elemento primario tiene una exactitud de ± 0.5 % de la lectura. El nivel de exactitud depende de un grado de aplicación de parámetros e instrumentación secundaria, el tipo de fluido también influye en forma importante.

- Repetibilidad

En pruebas de laboratorio se ha comprobado que el medidor "V-cone", como elemento primario de medición, exhibe una capacidad de repetición superior de ± 0.1 o mejor, esta repetibilidad rinde una indicación de flujo instantánea muy precisa.

- Rangeabilidad

La rangeabilidad de un medidor "V-cone" está sobre los tradicionales de placa de orificio. Una rangeabilidad normal en el medidor es de diez a uno.

- Caída de presión permanentemente baja

Con el impacto del flujo en una superficie, la caída de presión es menos que en un medidor típico de placa de orificio. También la señal estabilizada del medidor “V-cone” sigue la escala normal de una señal de un medidor de presión diferencial, en algunos casos esta señal puede ser más baja.

- Tamaño

La geometría única del medidor “V-cone” se tiene para un amplio intervalo de relaciones beta. Esta relación estándar debe estar en el intervalo de 0.45 a 0.85 para una mejor especificación.

- Zonas de no-movilización

El “barrido directo” de diseño del cono no considera las zonas de no-movilización con impurezas, condensado o partículas en el fluido que se podrían acumular en estas zonas.

- Mezclas:

Se forma una mezcla con los vórtices cortos descritos sobre la mezcla del fluido, que atraviesan uniformemente al cono hasta estar corriente abajo. El medidor “V-cone” generalmente es para muchas aplicaciones como un mezclador estático donde se hace la medición de la mezcla.

- Modelos:

A continuación, en las Figuras 5.4.a, 5.4.b y 5.4.c, se muestran algunos modelos de elementos primarios de medidor “V-cone” ⁽⁹⁾:

- El tubo medidor “V-cone” de precisión, que se fabrica en diámetros de ½ pg. hasta 72 pg.
- El cono “V-cone” de inserción, que se fabrica en diámetros de 6 pg. hasta 72 pg.
- El “V-cone” para agua, que se fabrica en diámetros de ½ pg. a 6 pg.

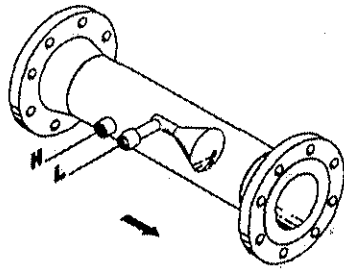


Fig. 5.4.a Medidor "V-cone" de precisión⁽⁹⁾.

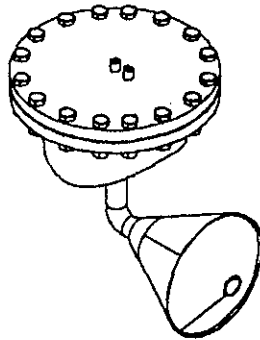


Fig. 5.4.b Medidor "V-cone" de inserción⁽⁹⁾.

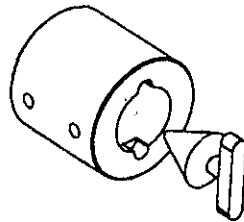


Fig. 5.4.c Medidor "V-cone" para agua⁽⁹⁾.

Además, el medidor "V-cone" está disponible en una amplia variedad de configuraciones de acuerdo a los requerimientos estándar de normas internacionales. Se puede utilizar la siguiente tabla para encontrar el mejor modelo para una aplicación específica.

Tabla 5.1. Modelos:

Modelos	Configuración	Tamaños (pg)
VB	Terminaciones Biseladas	0.5 a 60.0
VP	Terminaciones Lisas	0.5 a 60.0
VT	Terminaciones con Cuerda	0.5 a 6.0
VS(L)	B.C.L ANSI B16.5-Clase 150 o 300	0.5 a 24.0
VS(H)	B.C.L ANSI B16.5-Clase 600 o 900	0.5 a 24.0
VS(X)	B.C.L ANSI B16.5-Clase 120 o 250	30.0 a 60.0
VW(L)	B.C.L.C.S. ANSI B16.5-Clase 150 o 300	0.5 a 24.0
VW(H)	B.C.L.C.S. ANSI B16.5-Clase 600 o 900	0.5 a 24.0
VQ(L)	R.T.J.B.F. ANSI B16.5-Clase 150 o 300	0.5 a 24.0
VR(L)	R.T.J.C.S. ANSI B16.5-Clase 150 o 300	0.5 a 24.0
VR(H)	R.T.J.C.S. ANSI B16.5-Clase 600 o 900	0.5 a 24.0
VC	D.I.N.C.C.L. ANSI B16.5	0.5 a 24.0
VJ	J.I.S.C.C.L. ANSI B16.5	0.5 a 24.0
VI	Montados en Inserción ANSI	6.0 a 36.0
VD	Con Bordos en cuellos DIN 2633 (PN16)	0.5 a 24.0

- Especificaciones

El medidor "V-cone" es de presión diferencial, de diseño único para medir en condiciones de presión y temperatura de flujo. A continuación se presentan las especificaciones y características de diseño:

Tabla 5.2 Especificaciones y características

Exactitud superior a ± 0.5 % de las condiciones de flujo real
Repetibilidad de ± 0.1 %
Linealidad de 10:1 normalmente, más alto para algunas aplicaciones
El intervalo de beta es de 0.45 a 0.85.
Bajas caídas de presión
Solamente se requiere de cero a tres diámetros corriente arriba y de cero a un diámetro corriente abajo.
No tiene partes móviles
Diseñado y calibrado para aplicaciones específicas
Construcción disponible en ASME B31.3
Tamaños disponibles de 0.5 pg. a 120 pg
Variedad en materiales de construcción
Más bajo mantenimiento que ningún otro
El perfil de velocidades formado por el cono en el centro hace más estable la señal de flujo

5.4. REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN

Desde que el medidor "V-cone" pudo igualar el perfil de velocidades en el interior de la tubería, funcionó mucho mejor que otros medidores de presión diferencial cuando se someten a las interferencias corriente arriba.

La instalación recomendada para el medidor es de cero a tres diámetros de tubería recta corriente arriba y de cero a un diámetro de tubería recta corriente abajo. Se han hecho pruebas sobre el medidor "V-cone con codos simples de 90° y con dos codos 90° en diferentes planos, como se muestra en la Fig. 5.5. Estas pruebas muestran que puede ser instalado entre codos en diferentes planos sin sacrificar exactitud.

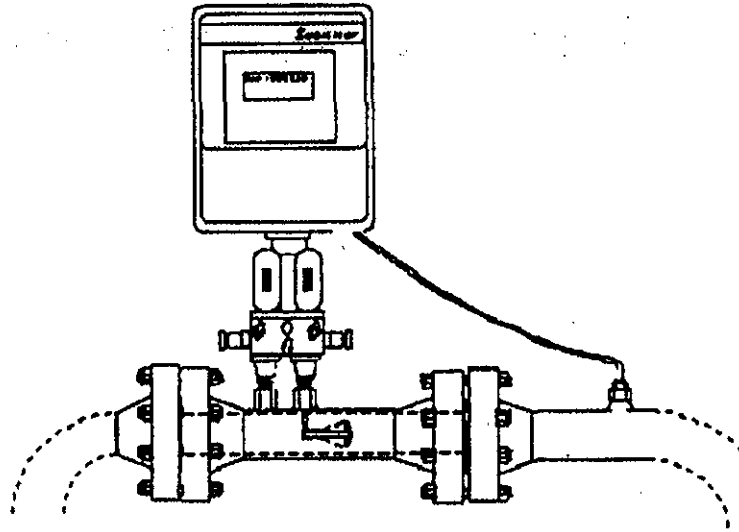


Fig. 5.5 Instalación de un medidor "V-cone" (7).

- Desarrollo en tramos largos

La forma del contorno del cono restringe el flujo sin descomponer su estabilidad aun en superficies abruptas. Una capa límite a lo largo del cono influye directamente sobre el fluido y el contorno de la relación beta, esto quiere decir que los fluidos no-limpios no afectan la relación beta y la calibración del medidor será exacta por un largo tiempo.

Todo medidor de presión diferencial tiene una "señal saltada", esto significa que el flujo es estable; la señal generada por el elemento primario fluctuará en una cantidad real, en una placa de orificio típica los vórtices que forma justo después de la placa son largos. Estos vórtices crean una amplitud alta y una señal de frecuencia baja a partir de la placa de orificio.

Esto podría distribuir las lecturas del medidor de presión diferencial. El medidor "V-cone" forma varios vórtices cortos cuando el flujo pasa a través del cono, estos vórtices crean una baja amplitud y una señal de frecuencia alta.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Esto se logra con la estabilidad que se alcanza con el cono; las señales representativas para un medidor “V-cone” y para una placa de orificio se presentan en la Fig. 5.5.

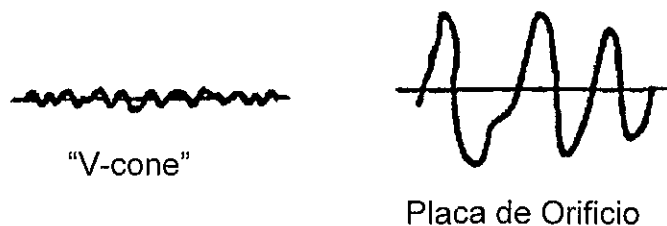


Fig. 5.6. Señales representativas de cada medidor⁽⁹⁾.

5.5. COEFICIENTE DE DESCARGA

El coeficiente de descarga del medidor es el que permite ajustar el gasto calculado con las ecuaciones básicas de flujo al gasto real que ha pasado por el medidor. Este es obtenido por los fabricantes a partir de pruebas de laboratorio, siendo por lo tanto el “know-how” de cada fabricante.

Para obtener una correlación que permita conocer en forma generalizada el coeficiente de descarga de un medidor “V-cone”, se deben realizar suficientes pruebas de laboratorio para varias condiciones de gastos, diferentes densidades de gas y relaciones de diámetros, que son los parámetros que más afectan al coeficiente de descarga.

El coeficiente de descarga propuesto para ser utilizado en el modelo presentado en este trabajo, se obtuvo a partir de un análisis de datos publicados en la literatura⁽¹⁵⁾, en los que se correlaciona el coeficiente de descarga con el número de Reynolds para diferentes arreglos de sistemas de medición, utilizando el medidor “V-cone”.

Como resultado de este análisis se determinó una correlación que permite obtener el coeficiente de descarga en función del número de Reynolds y ser utilizada en las ecuaciones para el cálculo del gasto de gas que ha pasado por un medidor "V-cone".

Las pruebas que se describen en la referencia mencionada fueron hechas por Interim Low Pressure Loop (ILPL) de GRI Metering Research Facility localizado en SwRI (Southwest Research Institute) de San Antonio Texas, la prueba fue dirigida por McCrometer Division of Ketema, Inc.

Todas las pruebas fueron hechas con un medidor "V-cone de 4 pg., con una relación de diámetros de 0.67, usando nitrógeno seco a una presión de 115 lb/pg² abs., con un intervalo de gastos de gas de 0.0576 a 0.576 MMPCD, medido el gas a condiciones de flujo; con este gasto de gas se determinó un intervalo de número de Reynolds de 125,000 a 1,245,000.

El objetivo de ese estudio era establecer un coeficiente de descarga en función del número de Reynolds para varios arreglos de tubería corriente arriba del medidor, se realizaron dos corridas en intervalos de 15 días entre cada uno de ellos en un total de siete arreglos diferentes.

En el estudio se observó que no se tiene un efecto considerable en el coeficiente de descarga por efecto de los diferentes arreglos y que éste se incrementa muy poco en función del número de Reynolds, tal como se ve en la Fig. 5.7, donde se reproducen las curvas del coeficiente de descarga y el número de Reynolds para los siguientes arreglos:

Arreglo 1: Tubería recta corriente arriba

Arreglo 2: Codo de 90° corriente arriba

Arreglo 3: Codo de 90° y válvula de bloqueo corriente arriba

Arreglo 4: Cople corto a codo de 90° corriente arriba

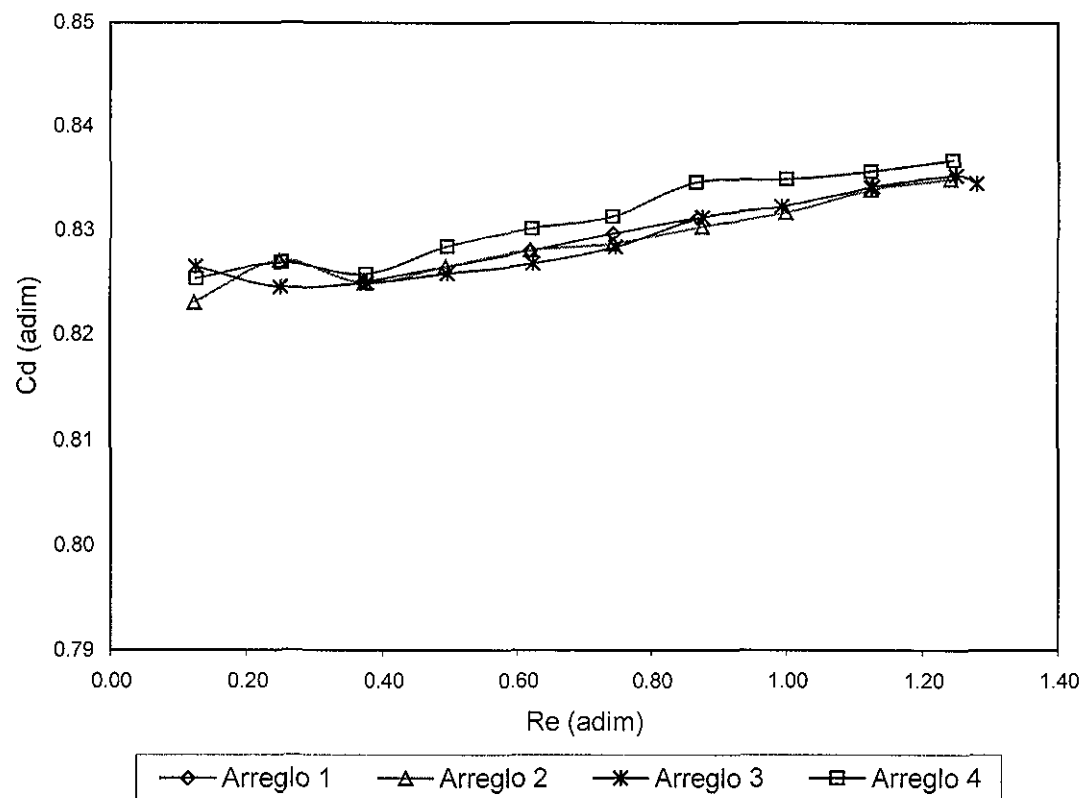


Fig. 5.7. Comportamiento de Cd con el número de Reynolds.

La correlación que se encontró es la siguiente:

$$Cd = 0.8212 * EXP(1.5157 * 10^{-8} * Re) \text{-----} (5.1)$$

Los coeficientes de descarga obtenidos con esta correlación se compararon con las curvas que se muestran en la Fig. 5.7, obteniéndose buenos resultados, ya que la desviación promedio fue de 0.04 %.

A continuación se muestra gráficamente la correlación propuesta en este trabajo para calcular el coeficiente de descarga.

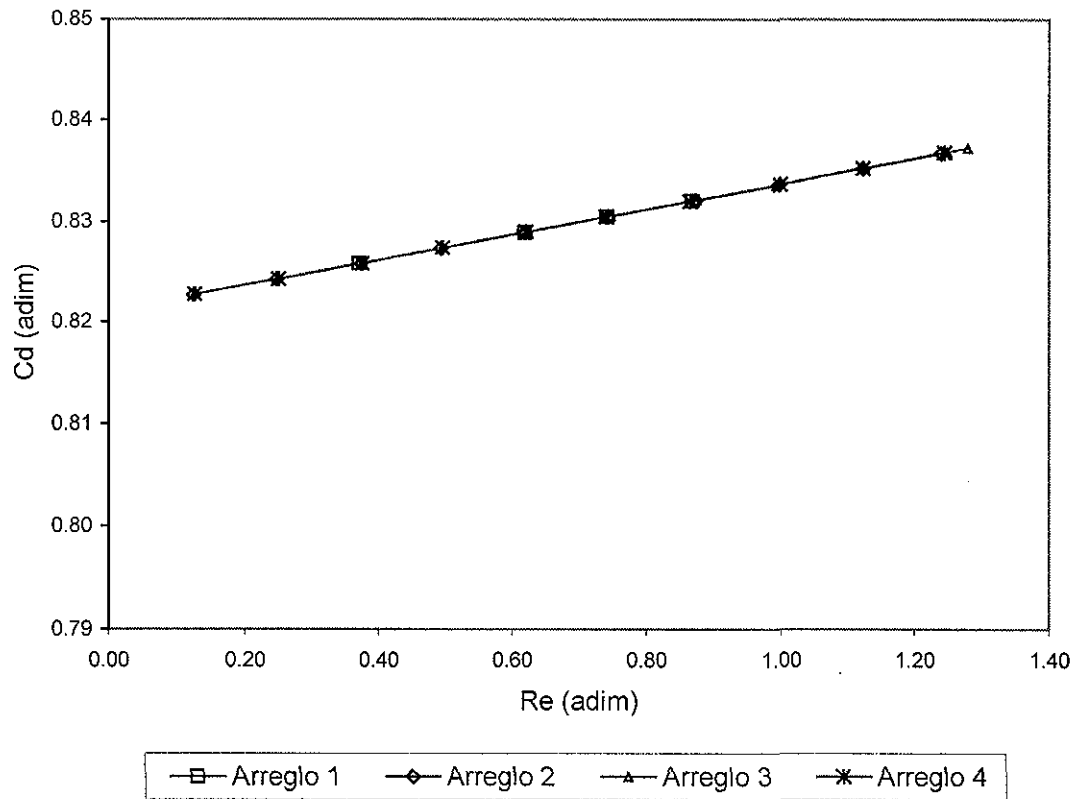


Fig 5.8. Coeficiente de descarga, C_d .

El número de Reynolds se calculó con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{123.9 * v * D * \rho}{\mu} \quad \text{----- (5.2)}$$

Donde:

v : Es la velocidad del gas a través del medidor (pie/seg)

D : Diámetro del medidor (pg.)

ρ : Densidad del gas (lb/pie³)

μ : Viscosidad del gas (cp.)

La velocidad del gas se calcula con:

$$v = \frac{q * 4.0}{\pi * D^2} \quad \text{----- (5.3)}$$

Donde:

q : Gasto de gas a condiciones reales (pie^3/seg)

D : Diámetro del medidor (pie.)

Π : Constante numérica (3.14159)

Si no se conoce el valor de la viscosidad, ésta se puede determinar mediante la correlación de Lee⁽¹⁴⁾.

5.6. CÁLCULO DE GASTOS

Para el cálculo de gasto total de gas se involucran las siguientes formulas:

- Presión diferencial:

$$\Delta P = P_1 - P_2 \text{ ----- (5.4)}$$

Donde:

P_1 = Presión corriente arriba (lb/pg^2)

P_2 = Presión corriente abajo (lb/pg^2)

- Caída de presión permanente

La caída de presión permanente en medidores de presión diferencial se define como un porcentaje de la presión diferencial a un determinado gasto; para un medidor "V-cone" típico se tiene la mitad de la presión diferencial que se presenta en otros medidores de este tipo de presión. Por lo tanto la caída de presión permanente en un medidor "V-cone" es mucho menor que en los otros medidores.

Este porcentaje se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\Delta P = (1.3 - 1.25 \cdot \beta) \cdot 100 \text{ ----- (5.5)}$$

- Relación de diámetros (β)

Para la placa de orificio se define la relación de diámetros como la que existe entre el diámetro de orificio de la placa y el diámetro del tubo medidor, ambos diámetros calculados a la temperatura de flujo, a partir de los respectivos diámetros especificados a una temperatura de referencia de 68°F.

Para el medidor "V-cone" la relación de diámetros se define como la relación de diámetros al cuadrado, que es inversamente proporcional al diámetro del tubo medidor y directamente proporcional a la diferencia de cuadrados de diámetros (el diámetro del cono del "V-cone" y el del tubo medidor).

$$\beta = \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{D} \quad \text{-----}(5.6)$$

Las relaciones de diámetro estándar para medidores "V-cone" son 0.45, 0.55, 0.65, 0.75 y 0.85, otras relaciones pueden ser usadas si son necesarias; para aplicaciones de vapor o gas las relaciones de diámetros no pueden ser usadas para generar un factor de expansión menor de 0.8.

- Constante de flujo (k_1)

$$k_1 = \frac{\pi * \sqrt{2 * g_c * D^2 * \beta^2 * C_d}}{576 * \sqrt{1 - \beta^4}} \quad \text{-----}(5.7)$$

5.6.a Cálculos para líquidos

- Densidad (ρ)

$$\rho = S_f * \rho_{\text{agua}} \quad \text{-----}(5.8)$$

- Gasto (Q_L)

$$Q_L = k_1 * \sqrt{\frac{5.197 * \Delta P}{\rho}} \quad \text{-----}(5.9)$$

5.6.b Cálculos para fluidos compresibles (gases y vapores)

- Factor de expansión (Y)

Cuando un gas fluye a través de un orificio, el cambio en la velocidad del fluido y la presión estática es acompañada por un cambio en la densidad; para efectuar los ajustes por este cambio, se aplica el factor de expansión, **Y**, el cual es función de la relación de diámetros, de presiones diferencial y estática y del exponente isentrópico (**K**).

Para gas se considera un **K** = 1.3

$$Y = \sqrt{\frac{\left((1-\beta^4) * \frac{k}{k-1} * R^{\frac{2}{k}} * (1-R^{\frac{k-1}{k}}) \right)}{\left((1 - (\beta^4 * R^{\frac{2}{k}})) * (1-R) \right)}} \quad \text{-----}(5.10)$$

$$R = 1 - \left(\frac{\Delta P}{27.7 * P} \right) \quad \text{-----}(5.11)$$

- Densidad del gas (ρ_g)

$$\rho_g = 2.6988 * \frac{S_{STP} * P}{Z * T} \quad \text{-----}(5.12)$$

- Factor de compresibilidad (Z)

Es el factor que representa la desviación del comportamiento de un gas real respecto de un gas ideal, se denomina con la letra Z, se puede determinar mediante un análisis de laboratorio o por correlaciones empíricas partiendo de las condiciones de presión y temperatura.

Como ya se mencionó, en el Reporte No. 8 de A.G.A.⁽¹⁾, se presentan dos métodos recomendados para calcular con alta precisión el factor de compresibilidad y la densidad del gas natural.

Estos métodos se conocen como caracterización detallada y caracterización bruta; este último considera que la mezcla de gas natural está formada por tres componentes: un componente hidrocarburo equivalente (componente pseudo hidrocarburo), uno nitrógeno y uno bióxido de carbono. El método predice el factor de compresibilidad del gas natural a unas condiciones de presión y temperaturas dadas.

Dentro de las correlaciones empíricas que se tienen, se utilizó la correlación de Azíz⁽¹³⁾, que permite calcular el valor de Z por un procedimiento interactivo de ensaye y error, que consiste en suponer un valor de Z y obtener una densidad relativa para ese valor supuesto.

Se calcula Z y se compara con el supuesto, si no coinciden estos valores, se hace para la siguiente iteración el valor de Z supuesto igual al valor de Z calculado. El procedimiento se repite hasta una tolerancia preestablecida, para este caso se hizo menor o igual a $1 * 10^{-12}$.

- Gasto de gas (Q_g)

$$Q_g = k1 * Y * \sqrt{\frac{5.197 * \Delta P}{\rho_g} \frac{P * T_{cb} * Z_{cb}}{P_{cb} * T * Z}} \quad \text{----- (5.13)}$$

5.7 APLICACIONES

Desde las primeras construcciones del medidor "V-cone", se ha cumplido un programa continuo de pruebas y de investigación; como resultado de este programa se ha mejorado el diseño de los medidores.

Para aplicaciones en gas y vapores, interviene el factor de compresibilidad del gas en las ecuaciones de cálculo de gasto.

Cada medidor "V-cone" es fabricado para una aplicación específica, de acuerdo a los parámetros físicos involucrados. El registro generado para la preparación usa datos básicos de aplicación para predecir el desarrollo del medidor.

La escala normal de un medidor de presión diferencial (típicamente de 50 pg. H₂O), para un intervalo de flujo, para una precisión esperada y una caída de presión establecida, son determinadas antes de la fabricación del medidor.

El medidor "V-cone" se utiliza en muchas aplicaciones de plantas de vapor; en gas ha sido exitosamente aplicado para medir el flujo de metano, gas de separación, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y otros.

Para cada aplicación en particular se tienen que examinar los parámetros de flujo y de instalación, para poder hacer una mejor selección del medidor que se debe utilizar, ver la tabla 5.3:

Tabla 5.3. Parámetros de flujo e instalación

Parámetros de flujo y del medidor	Tipo de flujo a medir	-Mezclas de gas y líquidos limpios o sucios -Gas húmedo o seco -Flujos abrasivos
	Exactitud	± 0.5 %, dependiendo de la aplicación
	Repetibilidad	± 0.1 %
	Rangeabilidad	10:1
	Temp. de operación	Dependiendo del material de construcción
	Presión de operación	Dependiendo del material de construcción
	Caída de presión	Varía con la beta y la diferencial de presión
Parámetros de Instalación	Tamaño de tubería	0.5 a 120.0 pg. o mayores
	Tipos de conexiones	Lisas, de cuerda, biseladas, etc.
	Tomas de presión arriba y abajo del medidor	Corriente arriba: 0 a 3 diámetro Corriente abajo: 0 a 1 diámetro
	Otros	En juego de válvulas, se recomiendan de 3 a 5 válvulas

5.8 ESTUDIOS PREVIOS DEL COMPORTAMIENTO DEL “V-CONE”

A continuación se hace una recapitulación de los estudios previos que se han realizado, así como de los autores de dichos trabajos.

Gas seco

Maron J. Dahlstrom⁽⁸⁾ de la compañía Phillips Petroleum Company Norway, en su artículo publicado en 1994, describe el comportamiento y discute las ventajas y desventajas de medidor “V-cone” al utilizarlo para medir gas.

En este estudio se demostró:

- La baja influencia que tienen los disturbios corriente arriba.
- Que las dimensiones del medidor no cambiaron con el tiempo (en un período de un año).
- Que no se requirieron cambios en la calibración del medidor.

El flujo en torbellinos que se genera en un medidor de presión diferencial es un factor muy importante cuando se selecciona o se diseña un sistema de medición, para tener una medición de mejor calidad. Los puntos que se deben cuidar más son los que se encuentran corriente arriba y corriente abajo entre el medidor y el disturbio más cercano (por ejemplo un codo o una “T”).

La solución al problema de los torbellinos es que se acondicione el flujo antes de la medición; el medidor “V-cone” por su geometría puede resolver este problema. A diferencia de otros medidores de presión diferencial, éste crea un espacio anular entre la pared del tubo medidor y el elemento primario de medición que es un cono, el resultado del flujo es una forma cónica del perfil de velocidades que acondiciona al flujo antes de la medición.

Los medidores "V-cone" diseñados con espacios anulares adecuados suprimen completamente los efectos de torbellinos, para un intervalo de número de Reynolds y dentro de un intervalo de relación de diámetros.

Otro estudio desarrollado de un medidor "V-cone" en flujo turbulento fue realizado por J.J.S. Shen⁽¹⁰⁾ en 1995, en él se describe una prueba de evaluación de mediciones exactas de tres medidores de 6 pg. de diferentes relaciones de diámetros en flujo turbulento. La propuesta fue estabilizar los efectos de la instalación de estos medidores relativamente nuevos y comparar su desarrollo con los de placa de orificio bajo condiciones de operación similares. La prueba realizada en un sistema de baja presión de Chevron, mostró que el medidor "V-cone" fue el menos afectado por el flujo turbulento en comparación con el de placa de orificio.

Siempre que se tuvo flujo turbulento alto (torbellinos de más de 40°), los gastos medidos estuvieron dentro del 5% de la línea base de turbulencia. La prueba del laboratorio de Statoil en gas natural a alta presión (7.5 Mpa) confirma el excelente desarrollo del medidor "V-cone" demostrado en la prueba de Chevron. Desde entonces se sabe que los medidores "V-cone" no son afectados en forma apreciable por los remolinos, ellos pueden ser una mejor opción que los medidores de placa de orificio en aplicaciones costa fuera. Los medidores "V-cone" permiten medir gastos con razonable exactitud con disturbios corriente arriba localizados tan cerca como diez diámetros medidos a partir del medidor bajo cualquier condición de flujo.

Las conclusiones a que llegaron son las siguientes:

1. Los resultados obtenidos con los de Chevron son consistentes con el comportamiento del medidor "V-cone" en flujo turbulento.
2. Los efectos de instalación de tres medidores "V-cone" de 6 pg. de diámetro, con relaciones de diámetros de 0.45, 0.55 y 0.65 fueron probados en el sistema de flujo de aire de baja presión con

diferentes flujos turbulentos generados artificialmente. En los extremos del intervalo probado, el desarrollo del medidor "V-cone" es bueno en términos de exactitud, repetibilidad y existencia de los remolinos.

3. Las mediciones del medidor "V-cone" estuvieron generalmente dentro de $\pm 1\%$ de la velocidad del sonido. Debido a problemas mecánicos con uno de los fuelles del sistema, el gasto de flujo fue limitado por esta prueba. A una presión diferencial mucho más baja que el intervalo recomendado, el medidor "V-cone" todavía muestra un nivel aceptable de exactitud.
4. Los efectos fueron registrados por dos medidores (con relación de diámetros beta de 0.65 y 0.45) en el laboratorio de alta presión. El efecto de remolino que fue observado confirma el resultado obtenido por Chevron.
5. Las diferencia entre los medidores "V-cone" y el de referencia (placa de orificio) a condiciones de laboratorio fue de aproximadamente entre el 3% y el 4%.
6. Las diferencias entre el medidores "V-cone" y el de referencia a condiciones de Chevron y laboratorio no se pudieron realizar, quedando pendientes para pruebas futuras.

El efecto del flujo turbulento se refleja en una menor proporción en las mediciones usando el medidor "V-cone". En flujos donde se tienen ángulos de remolinos de más de 40° las características del diseño del medidor "V-cone" tienden a sobreestimar un poco en valor del gasto en comparación con el medidor de referencia.

Gas húmedo

Para muchos procesos de producción de aceite y gas, éste está saturado de vapor de agua y otras partículas de líquidos. En cuanto a las aplicaciones para medición de gas húmedo se tiene lo siguiente:

En el reporte para un medidor "V-cone" de Steven J. Svedeman⁽³⁾, se menciona que cuando los medidores de flujo de gas son instalados para aplicaciones en vapor o gas que contienen pequeñas cantidades de líquido, la cuantificación de flujo no es real por la medición de las dos fases y la magnitud de error depende del diseño del medidor y de las condiciones de flujo.

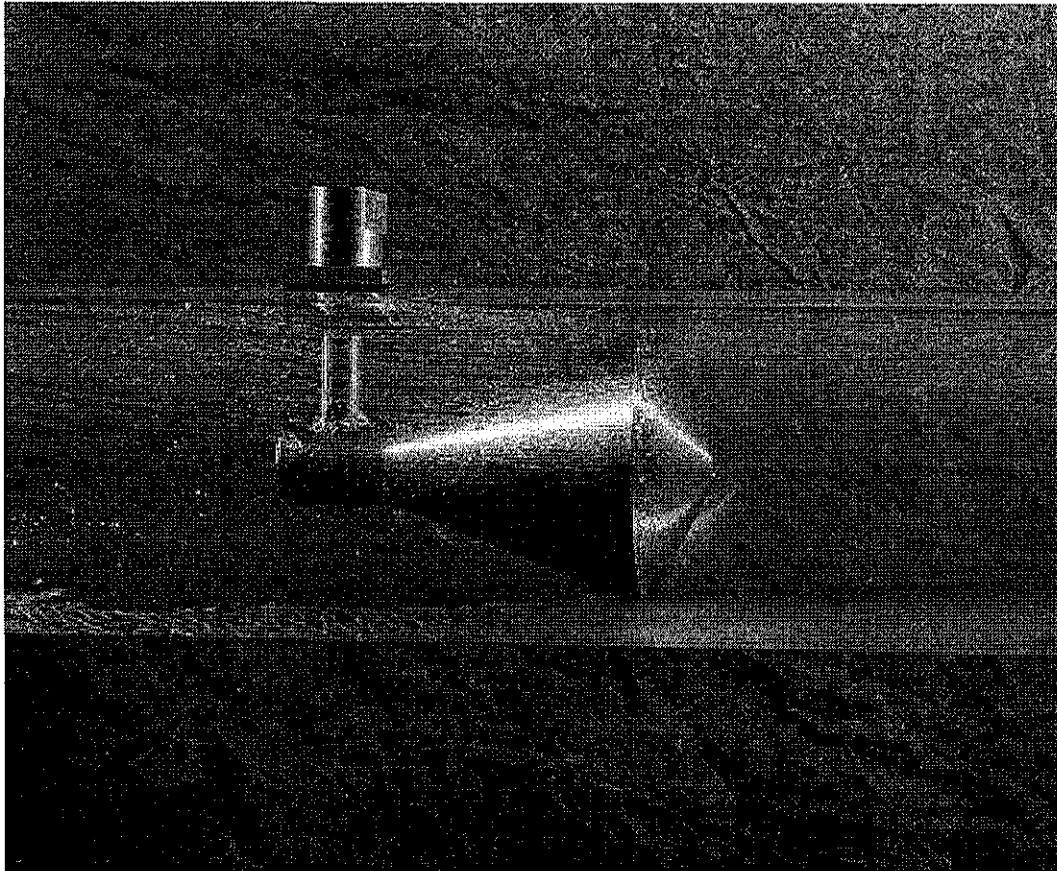


Fig. 5.9 Comportamiento del flujo de gas húmedo que pasa por un medidor "V-cone"⁽³⁾.

En este reporte se evaluó la medición real de un medidor "V-cone" con flujo de gas húmedo (ver Fig. 5.7) y se comparó el error de medición con un medidor de placa de orificio. Las pruebas fueron hechas en un medidor de 4" de diámetro instalado en un tubo horizontal, las relaciones beta (0.65, 0.59 y 0.45) fueron probadas con tres diferentes gastos por medidor, en cada uno de los gastos la fracción másica fue variando a partir de cero a cinco por ciento (0

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

a 5%), las pruebas fueron hechas con nitrógeno y agua a presiones de 30 y 110 lb/pg².

El resultado experimental mostró los siguientes resultados:

- Se registró un incremento en la lectura del flujo de gas cuando se fue incorporando el líquido en el gas. Los cálculos con un medidor estándar (placa de orificio) muestran un gasto sobreestimado con respecto del medidor "V-cone".
- El incremento de gasto dependió de la relación de diámetros, de la fracción másica de líquido, la presión de operación y el gasto de gas.
- La relación de diámetros de 0.67 del medidor tomó el más alto error de medición de gas (1.5%).
- La beta de 0.45 del medidor mostró el más bajo error en la medición de gas para los medidores probados a 30 lb/pg². A una presión de 110 lb/pg² la beta de 0.59 del medidor tuvo el más bajo valor de error de medición para el intervalo de condiciones probadas.
- El gasto de flujo másico total (gas y líquido) está sobreestimado en un 5% cuando la densidad del gas es usada en los cálculos del medidor. Los cálculos usando el promedio de la densidad de la mezcla, sobreestiman el gasto de flujo másico total en un 2%.
- Las dos betas más pequeñas de los medidores de flujo de gas dan una medición del 1% de error con fracciones másicas del 5% de líquido en gas. Después los medidores "V-cone" pueden ser usados en aplicaciones de flujo gas neto, cuando la medición real es de una magnitud aceptable.
- La medición real de gas con un medidor "V-cone" fue comparada con los datos de un medidor de placa de orificio. La medición de gas del medidor "V-cone" fue generalmente mayor que la cantidad real de gas que pasó a través del medidor para todos los

medidores probados. Las mediciones con placas de orificio varían de mayor a menor del flujo de gas real dependiendo de las condiciones de flujo.

Dentro de las conclusiones que se tienen, las pruebas demostraron que el medidor "V-cone" es capaz de medir el flujo total de gas cuando pequeñas cantidades de líquido están entrando a la corriente de gas. Por la variedad de las pruebas se demostró que el máximo error de medición causado por la entrada de líquidos fue cerca del 1.5%. Las pruebas en los medidores "V-cone" con relaciones beta de 0.45 y 0.59 mostraron que el error de medición fue menor al 1% dentro de un intervalo de condiciones de prueba, significativamente más que el valor de beta de 0.67 del medidor "V-cone".

Esto demuestra que el menor error de medición puede ser obtenido seleccionando relaciones de diámetros beta de alrededor de 0.5. El error de medición más bajo obtenido fue con la relación beta de 0.45 a 30 lb/pg² de presión de operación. A 110 lb/pg² de presión de operación, la relación beta de 0.59 mostró el error de medición más bajo.

El contenido de líquido en una corriente de gas en un medidor del tipo "V-cone" produce una lectura más grande que el flujo de gas real. Los errores en la medición de gas en placas de orificio han sido reportados en ambos casos (es decir a favor y en contra de la medición real). Dentro de las correlaciones de los medidores de las placas de orificio han demostrado que el error a favor o en contra de la medición real depende de las condiciones de flujo, esto se probó con un medidor "V-cone" bajo las mismas condiciones de flujo y se observó que se pueden llegar a comparar con los resultados del medidor de placa de orificio.

En el medidor "V-cone" no se tiene la lectura negativa que se puede observar en el medidor de placa de orificio, esto es debido a que en el

medidor "V-cone" es menos probable tener agua acumulada corriente arriba del medidor y el cambio de velocidad de gas también es aprovechado. Esto es una ventaja clara del diseño del medidor "V-cone" sobre los de placa de orificio cuando se está midiendo una corriente de gas con contenido de líquidos en la corriente.

Un medidor "V-cone" es capaz de realizar una compensación por el contenido de líquidos en una corriente de gas, los parámetros que pueden afectar la medición real del gas pueden ser los siguientes: la presión de operación, la fracción másica de líquido, el gasto de gas y la relación de diámetros beta y el número de Reynolds.

El régimen en dos fases y la presión diferencial del medidor son factores que no contribuyen al error de medición de la corriente de gas. Si una relación puede ser encontrada para correlacionar el error de medición, no será de una forma simple. Esto suele aparecer en un gran número de diferentes fenómenos que afectan al error de medición.

Para un medidor, el error de medición se incrementa conforme aumenta el flujo de gas; en otros medidores sucede al revés, pequeñas cantidades de líquido adicionándose en la corriente de gas crean un error de medición mayor para las mismas condiciones de flujo, mientras para otras, la misma fracción másica de líquido apenas afecta el error de medición.

Algunos de los factores que afectan la medición de gas húmedo también son mencionados por Murdock⁽¹¹⁾, pero en su modelo homogéneo no incorpora muchos de los factores antes mencionados que contribuyen al error de la medición real.

Los resultados de las pruebas demostraron que el error de medición fue menor al 1% para fracciones másicas de líquido del 5%, para medidores "V-

cone” con relaciones beta de 0.45 o 0.59. Para muchas aplicaciones esto podría ser una medición real aceptable.

Algunas pruebas adicionales necesitaron ser hechas para verificar la medición real dentro de un amplio intervalo de condiciones de flujo. Además estas pruebas pudieron incluir altas presiones de operación, diferentes tamaños de medidores (diámetros) y líquidos y gases con diferentes propiedades a partir de agua y nitrógeno, variando por ejemplo la viscosidad de la mezcla, la tensión superficial y la densidad.

CAPÍTULO 6

DESARROLLO DEL MODELO

A continuación se presenta la forma como se desarrolló el modelo para el cálculo de gasto de gas seco que pasa por un medidor "V-cone". Considerando la composición de la mezcla como dato ésta es posible obtenerla de un análisis cromatográfico con una muestra del gas o directamente de un cromatógrafo conectado a la línea de flujo, al igual que la temperatura y la presión a condiciones de flujo, así como el coeficiente del medidor, el que es proporcionado por el fabricante. Para determinar las condiciones de equilibrio de la mezcla se utilizó la ecuación de estado de Peng-Robinson.

6.1. ECUACIÓN DE ESTADO PENG-ROBINSON

Para resolver las condiciones de equilibrio que se dan en una mezcla de hidrocarburos como es en un gas húmedo, se hace uso de una ecuación de estado que resuelva el equilibrio que hay en cada una de las fases que se tiene en la mezcla, al analizar varias ecuaciones de estado la que mejor resultado dio para encontrar el valor de equilibrio en las fases fue la ecuación de Peng-Robinson⁽¹²⁾, en su forma más general se escribe a continuación:

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v(v+b)+b(v-b)} \quad \text{-----} \quad (6.1)$$

En su forma cúbica se

$$Z^3 - (1-B) * Z^2 + (A + B^2 - 2 * B) * Z - (A * B - B^2 - B^3) = 0.0 \quad \text{-----} \quad (6.2)$$

La solución de esta ecuación de tercer grado tiene tres raíces para un conjunto de datos de composición, presión y temperatura; el valor más grande de las raíces pertenece a la fase vapor, que es el valor de interés para este trabajo, el valor más pequeño representa la fase de líquido.

En donde las variables de A y B se definen como sigue:

$$A = \frac{a * P}{R^2 * T^2} \quad \text{-----} \quad (6.3)$$

$$B = \frac{b * P}{P * T} \quad \text{-----} \quad (6.4)$$

Los valores de a y b se obtienen con las siguientes ecuaciones para un sistema multicomponente:

$$a = \sum_j^n \sum_i^n x_i x_j (a_{ci} a_{cj} \alpha_i \alpha_j)^{0.5} (1 - k_{ij}) \quad \text{-----} \quad (6.5)$$

$$b = \sum_j^n x_j b_j \quad \text{-----} \quad (6.6)$$

Definiendo cada uno estos parámetros:

$$a_{ci} = 0.45724 * \frac{R^2 * T_{ci}^2}{P_{ci}} \quad \text{-----} \quad (6.7)$$

$$b_i = 0.07780 * \frac{R * T_{ci}}{P_{ci}} \quad \text{-----} \quad (6.8)$$

6.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO.

El programa para el modelo fue hecho en Visual Basic TM Versión 6, el programa ejecutable se puede correr en un paquete que contenga el ambiente Windows, el listado se presenta en el Apéndice A.

Éste está formado de un programa principal y dos subrutinas; en el programa principal se calcula el gasto total que pasa por el medidor "V-cone", mientras que una de las subrutinas calcula el factor de compresibilidad por la correlación de Aziz⁽¹³⁾, que es una correlación de ensaye y error, la otra subrutina es el cálculo de las fracciones de gas y líquido con la ecuación de estado de Peng-Robinson en su forma cúbica.

Es importante mencionar que se requirió del cálculo del factor de supercompresibilidad ya que para el cálculo del gasto total se pasó de condiciones de flujo a condiciones estándar, mientras que la ecuación de estado de Peng-Robinson fue utilizada para el cálculo de las fugacidades de cada una de las fases y determinar la fracción de las fases.

La subrutina que calcula la ecuación de estado se apoya en otras dos subrutinas, una de ellas calcula los valores de las raíces de la ecuación cúbica por medio del método de Cardano; estos valores son los que determinan las condiciones en las que se encuentra una mezcla; la otra subrutina ayuda a determinar cuál valor de estos es el mayor y el menor, el significado físico de estos valores es que el valor mayor corresponde al vapor (gas), el valor menor corresponde al líquido y el tercer valor no tiene un significado físico.

El programa se presenta de una forma interactiva en la que se van pidiendo los datos requeridos para realizar el cálculo de los diferentes parámetros que permiten calcular el gasto total que pasa por el medidor "V-cone", también permite la opción de involucrar datos de impurezas del gas.

Como datos fundamentales que alimentan al programa, se tienen considerados la densidad relativa de la mezcla de gases en forma adimensional, la presión corriente arriba del medidor en lb/pg^2 , la presión corriente abajo en lb/pg^2 , la temperatura de flujo en $^{\circ}\text{F}$, en caso de que la mezcla contenga impurezas, se piden los valores de dióxido de carbono y ácido sulfúrico, el diámetro interior del tubo medidor en pg . y el diámetro del cono medidor en pg .

Como resultado del programa se tiene el volumen de gas seco a condiciones estándar en MMPCD que pasa por el medidor "V-cone".

El modelo está integrado por dos módulos principales, uno de ellos permite calcular el gasto total (Q_t) que está fluyendo por el medidor "V-cone" y otro que ayuda a determinar las fracciones de gas y líquido a las condiciones del medidor.

El gasto total (Q_t) se obtiene de las ecuaciones desarrolladas para el medidor "V-cone", como ya se vieron en el capítulo anterior.

Las fracciones de cada una de las fases, F_g y F_l , se obtienen efectuando un cálculo flash con la ecuación de estado de Peng-Robinson para las condiciones de presión y temperatura del medidor.

Una vez que ya se tienen las fracciones de cada fase, se multiplican por el gasto total para obtener el gasto de cada una de las fases.

$$Q_g = Q_t * F_g \text{ -----(6.9)}$$

$$Q_l = Q_t * F_l \text{ -----(6.10)}$$

Para el cálculo del factor de compresibilidad, se utilizó para este trabajo la correlación de Aziz⁽¹³⁾, que es un método de ensaye y error, el que fue programado en una subrutina teniendo una tolerancia de $1 * 10^{-12}$.

El Cd es el coeficiente del medidor que está en función del número de Reynolds, dado por la correlación que se obtuvo en este trabajo con las características físicas del medidor y del fluido; la viscosidad del gas en caso de no tenerse como dato, se calcula con la correlación de Lee⁽¹⁴⁾.

El factor de expansión, Y, para flujo de fluidos compresibles como el gas natural y el coeficiente isentrópico k se tomó con un valor de 1.3 para flujo de gas.

La relación de diámetros beta se calcula por que se requiere para el cálculo del gasto total, pero el fabricante lo debe dar como dato ya que el patín de medición viene de fábrica y su beta ya está establecido.

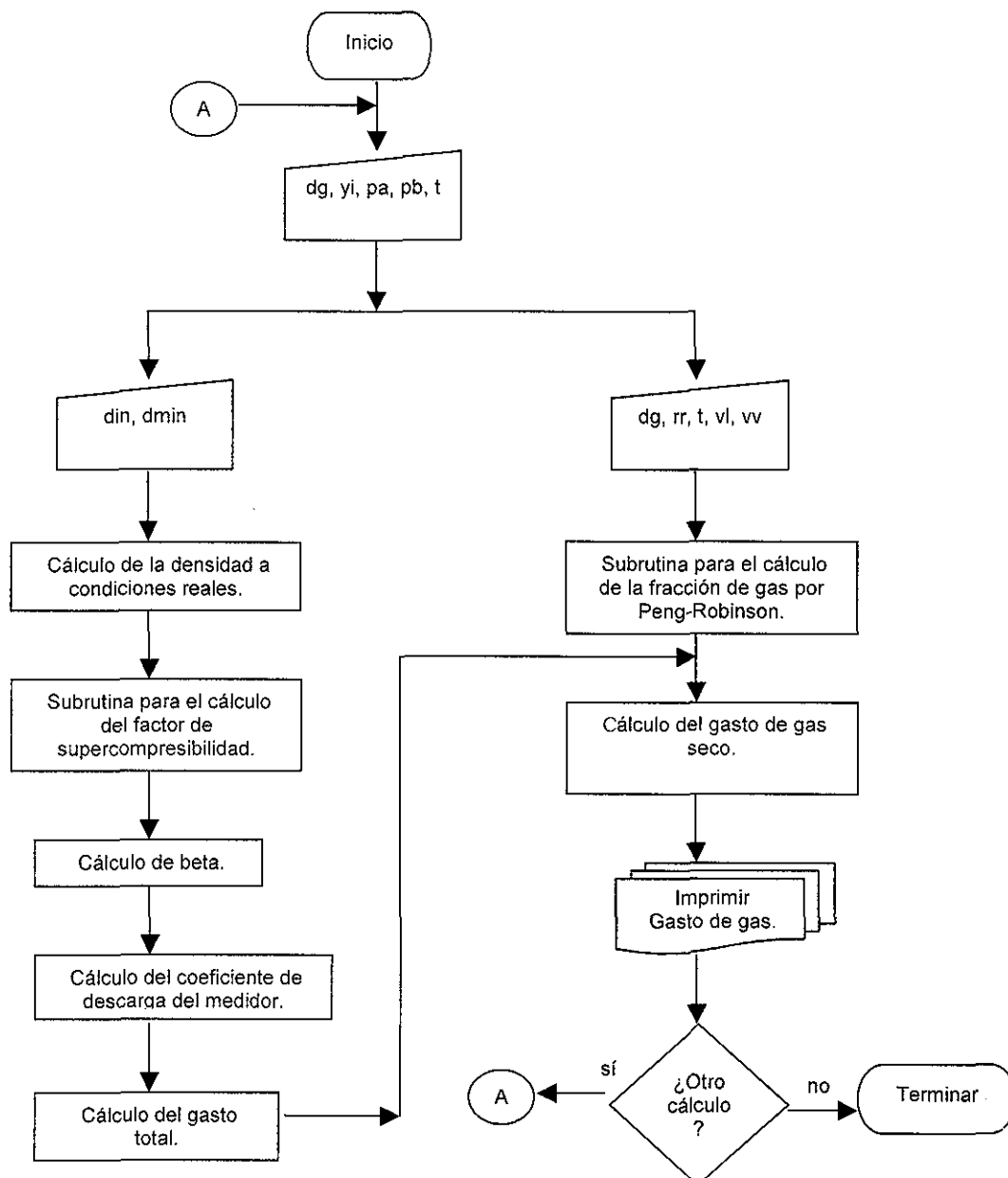
Teniendo la fracción de gas (F_g) que se da con la ecuación de estado de Peng-Robinson, se multiplica por el gasto total de gas y se conoce el volumen de gas seco que se mide por el medidor "V-cone".

La ecuación que se propone en este trabajo es la siguiente:

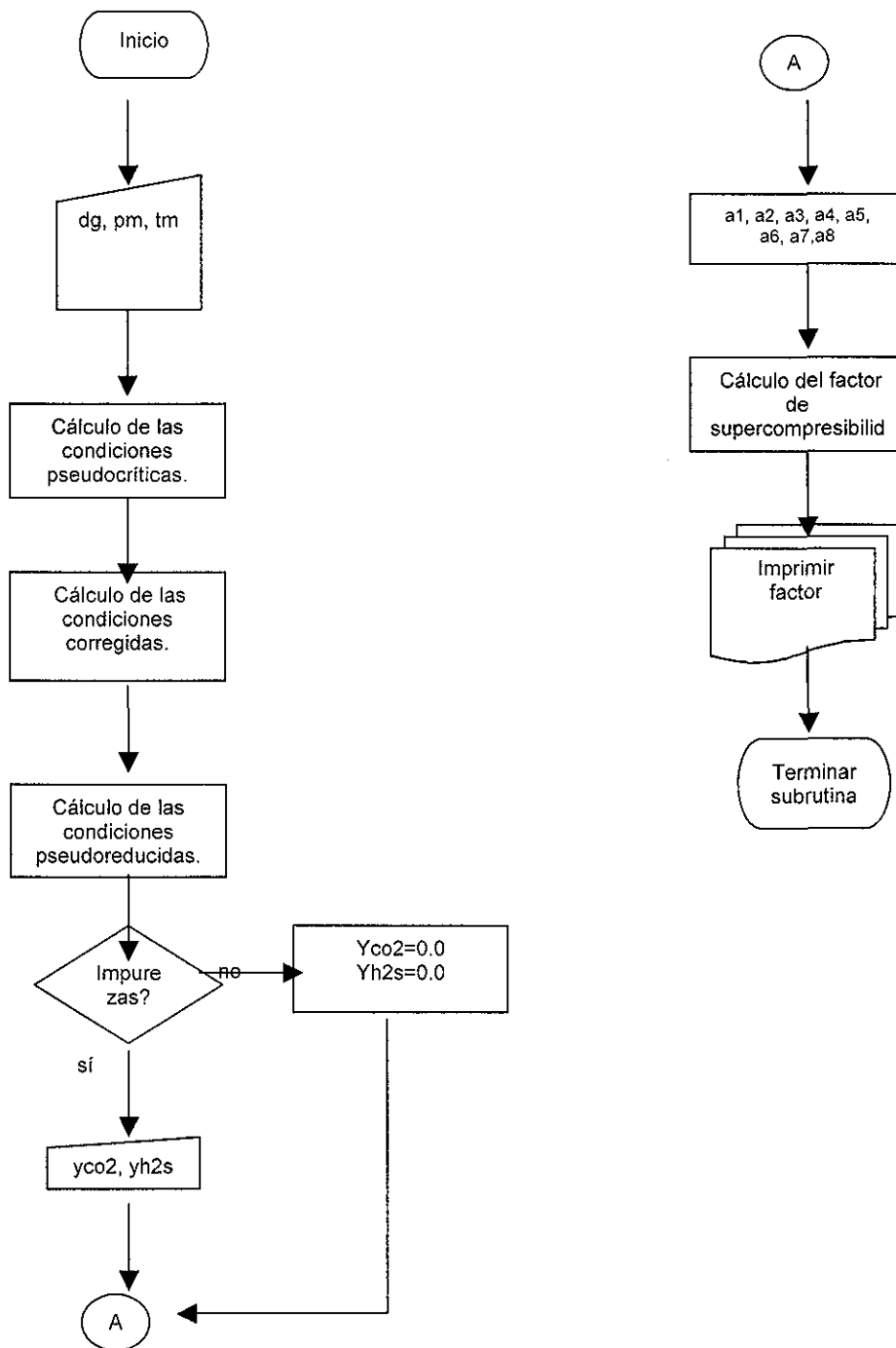
$$Q_g = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2 * g_c}{\rho}} * \frac{D^2 * \beta^2}{\sqrt{1 - \beta^4}} * \sqrt{\Delta P} * C_d * Y * F_g \quad \text{-----(6.11)}$$

6.3. DIAGRAMAS DE FLUJO.

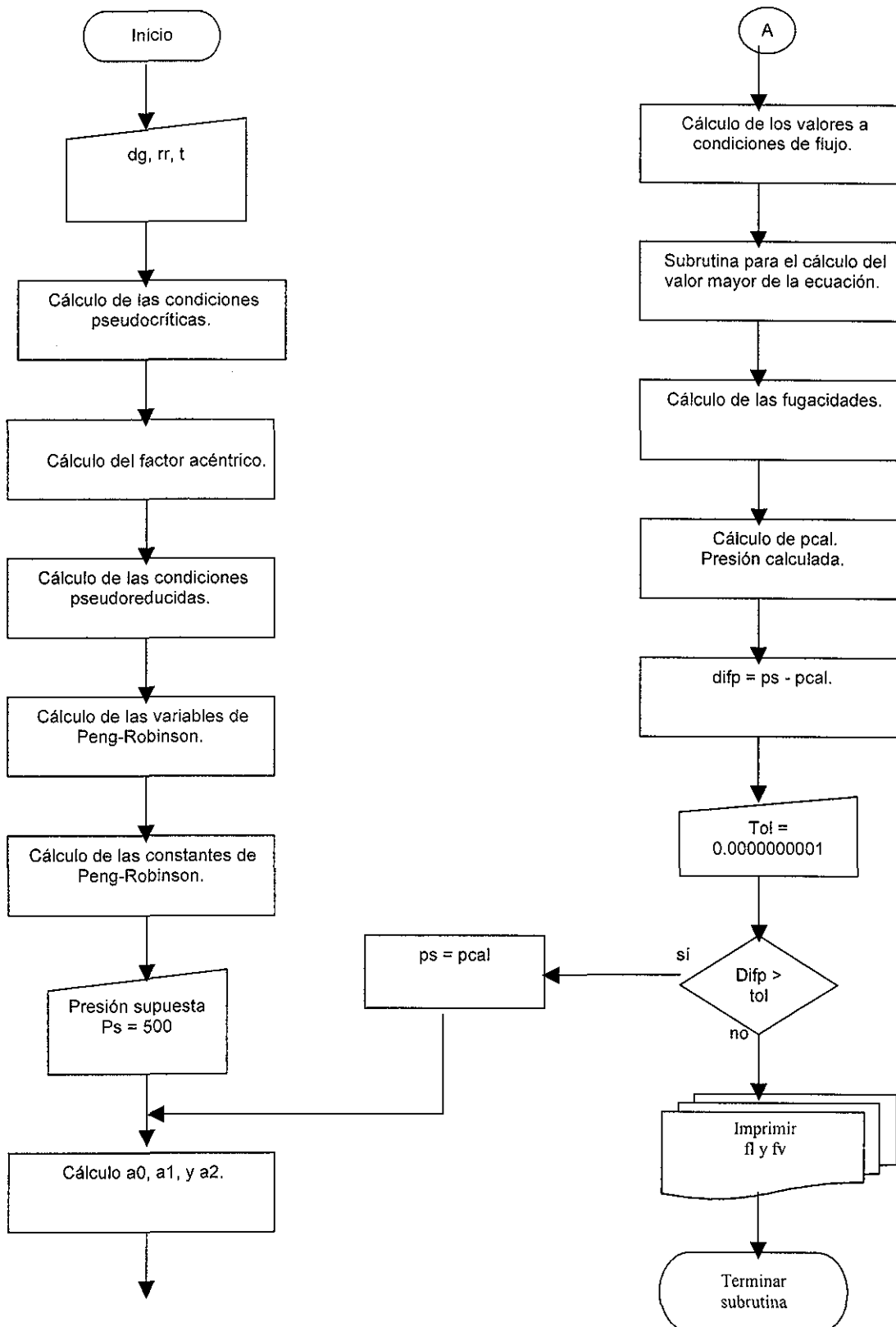
En esta parte se muestran los diagramas de flujo que se utilizarán como base para elaborar el programa de cómputo, en los cuales se observan las operaciones a realizar y el orden en que éstas se deben llevar a cabo. Estos diagrama son ilustrativos, ya que en ellos se muestran procedimientos, que no están descritos totalmente y se programaron de manera detallada para el desarrollo del modelo que determina el gasto de gas seco que pasa por el medidor "V-cone".



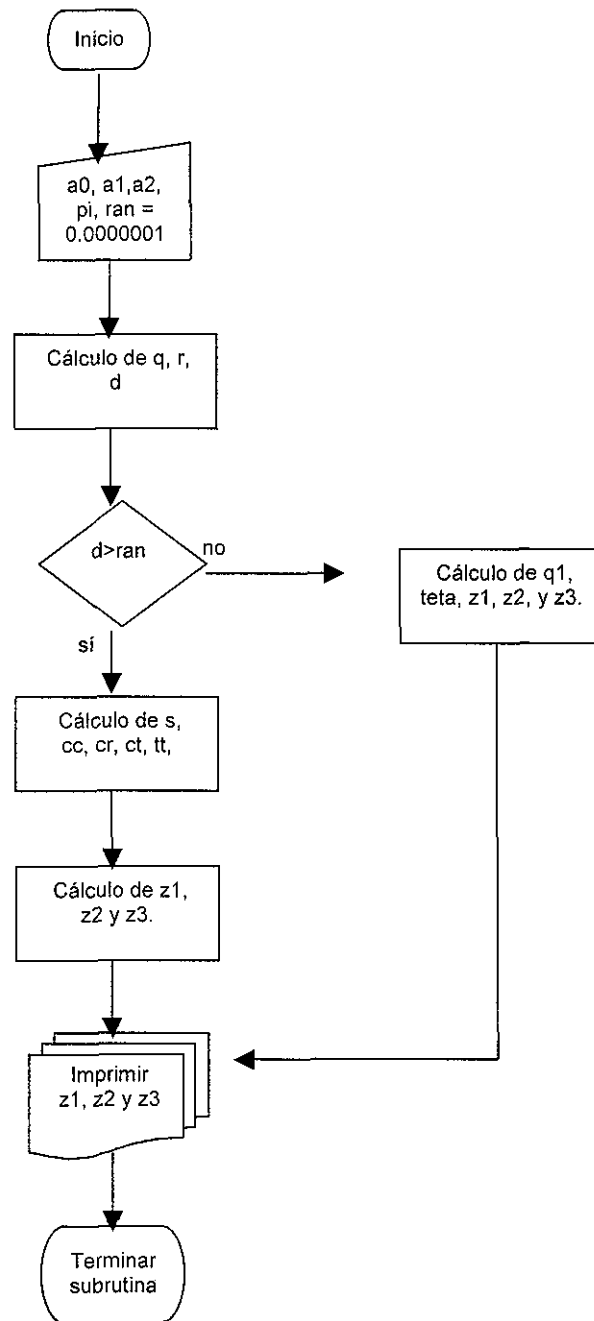
Subrutina para el cálculo del factor de supercompresibilidad



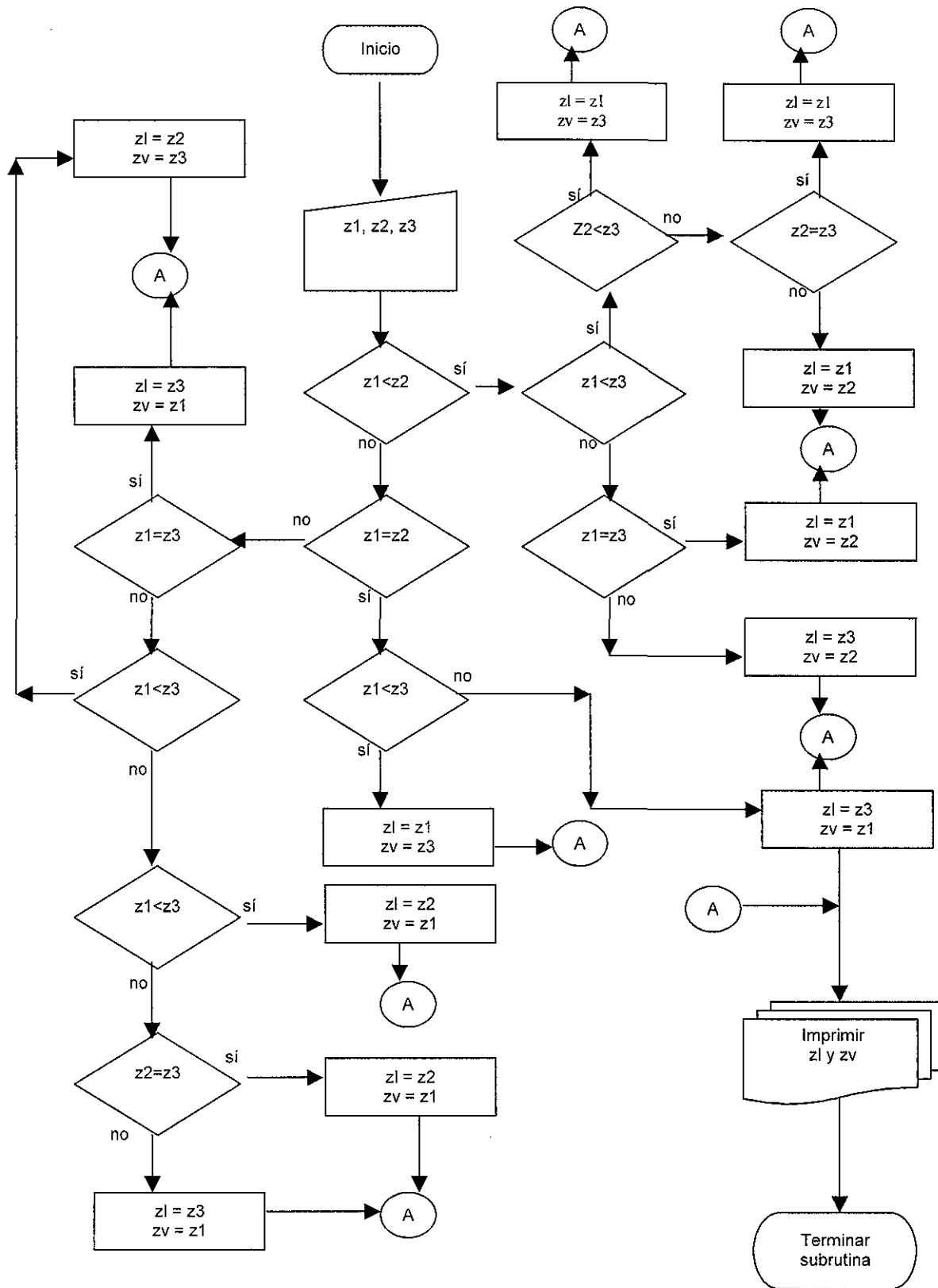
Subrutina de la ecuación de estado de Peng-Robinson



Subrutina para el método de Cardano para resolver ecuaciones cúbicas



Subrutina para selección del valor mayor y el valor menor



CAPÍTULO 7

VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las ecuaciones que determinan el gasto de gas que pasa por un medidor "V-cone" ya han sido planteadas en el Capítulo 5, además de realizar un modelo que permite calcular el volumen de gas seco que pasa por el medidor, para lo cual se desarrolló un programa de cómputo en Visual Basic™ Versión 6 que da como resultado final el gasto de gas seco a partir de la medición de gas húmedo.

7.1. VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la validación del modelo propuesto en este trabajo se utilizaron los datos reportados en la literatura⁽¹⁰⁾, en la que se hace un estudio con pruebas de un laboratorio K-Lab de Statoil en Haugessund, Norway.

Con el desarrollo en forma analítica descrito en el Capítulo 5 y el programa de cómputo planteado en el Capítulo 6, se realizó la validación con los datos de la literatura; los resultados indican una tendencia muy similar a los valores experimentales que presenta la literatura.

Los datos de la literatura son dos pruebas, con las siguientes condiciones de operación para cada una de ellas:

Para la prueba No.1 se tienen los siguientes datos:

- Un medidor "V-cone" No. 95013031

- La presión corriente abajo de 10.878 lb/pg², se mantuvo constante para las dos pruebas.
- La presión corriente arriba y la densidad relativa fueron variando.
- La temperatura de flujo 110 °F fue constante en las dos pruebas.
- No se consideraron impurezas como dióxido de carbono y ácido sulfúrico.
- Diámetro interior del tubo medidor de 6.0 pg.
- Diámetro del cono medidor de 4.56 pg. y
- El coeficiente de flujo del medidor de 0.843 (adim.).

Con estos datos se corrió el programa y se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 7.1. Validación de resultados

corrida	presión arriba (lb/pg ² abs)	densidad relativa.	Gasto MMPCD		desviación
			q referencia	q programa	
1	11.48	0.66	1.467	1.457	0.69
2	11.39	0.65	1.348	1.341	0.55
3	11.30	0.65	1.220	1.206	1.19
4	11.29	0.65	1.210	1.191	1.63
5	11.22	0.65	1.091	1.077	1.26
6	11.21	0.65	1.081	1.060	1.94
7	11.11	0.63	0.867	0.890	-2.58
8	11.08	0.63	0.812	0.828	-1.91
9	10.98	0.62	0.562	0.586	-4.11
10	10.93	0.62	0.410	0.415	-1.19
11	10.92	0.61	0.377	0.376	0.25
12	10.91	0.61	0.319	0.328	-2.69
13	10.90	0.61	0.271	0.271	-0.07
14	10.89	0.61	0.202	0.200	0.93

La desviación o error de los resultados del programa con respecto a los datos de la literatura fue determinada de la forma clásica, como sigue:

$$\text{Desviación} = \frac{\text{Gasto de programa} - \text{Gasto de referencia}}{\text{Gasto de referencia}} * 100$$

El promedio de desviación para esta prueba fue de 0.29, por lo tanto se considera que se tiene una buena similitud del programa con los datos de la literatura.

Para la prueba No.2 se tienen los siguientes datos:

- Un medidor "V-cone" No. 95013033
- La presión corriente arriba y la densidad relativa fueron variando.
- No se consideraron impurezas como dióxido de carbono y ácido sulfúrico.
- Diámetro interior del tubo medidor de 6.0 pg.
- Diámetro del cono medidor de 5.36 pg. y
- El coeficiente de flujo del medidor de 0.879 (adim.).

Con estos datos se corrió el programa y se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 7.2 Validación de resultados

corrida	presión arriba (lb/pg ² abs)	densidad relativa.	Gasto MMPCD		desviación
			Q referencia	Q programa	
1	11.99	0.65	1.001	0.916	9.33
2	11.92	0.64	0.924	0.888	4.06
3	11.75	0.63	0.811	0.806	0.60
4	11.70	0.65	0.831	0.779	6.71
5	11.69	0.65	0.821	0.762	7.78
6	11.38	0.60	0.600	0.606	-1.07
7	11.34	0.62	0.561	0.569	-1.47

8	11.33	0.62	0.563	0.563	0.03
9	11.11	0.57	0.399	0.412	-3.18
10	11.09	0.59	0.388	0.386	0.54
11	10.94	0.58	0.211	0.207	1.86
12	10.94	0.56	0.213	0.211	0.83
13	10.90	0.57	0.125	0.124	0.95
14	10.90	0.56	0.125	0.125	0.05
15	10.90	0.55	0.125	0.126	-0.74

El promedio de desviación para esta prueba fue de 1.75.

La diferencia en los resultados con el programa propuesto en este trabajo se puede deber a la exactitud con la cual se realizaron las pruebas en laboratorio, o a las condiciones base que se emplearon para cada prueba y para el modelo.

7.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Durante las pruebas de la validación se observó como resultado de una comparación que se hizo entre los datos de la literatura y los resultados del programa, una desviación que se puede deber a que se tienen valores muy bajos de presión y gasto; por tal motivo, se realizó un análisis de sensibilidad de los principales parámetros que afectan al gasto como son las presiones corriente arriba y corriente abajo, la temperatura, la relación de diámetros y la densidad relativa del gas.

El coeficiente de flujo del medidor se fue calculando de acuerdo a la correlación que se obtuvo en este trabajo. Las presiones que se manejaron fueron de 100 a 150 lb/pg² cada 5 lb/pg², la temperatura fue variando de 100 °F

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

a 140 °F en intervalos de 10 °F, se tomaron tres relaciones de diámetros para las pruebas de 0.65, 0.55 y 0.45, la densidad se mantuvo en un valor de 0.65, para cada una de las 15 pruebas se hicieron diez corridas por prueba.

Las gráficas con los resultados con los diámetros respectivos para las diferentes pruebas se pueden ver en las Figuras 7.1 a 7.4. Todas estas pruebas se hicieron con gasto total, considerando una corriente de gas seco.

Para los valores de temperatura, en la Fig. 7.1, se van incrementando cada 10 °F para cada prueba y el efecto que provoca el aumento de temperatura es la disminución del gasto de fluido que pasa por el medidor, para una misma presión se tiene un gasto mayor a medida que disminuye la temperatura, esto es posible porque la temperatura tiene mucha influencia en la medición del gas.

Como se puede observar, para relaciones de diámetros mayores, en las Figuras 7.2 a 7.3 con las mismas condiciones de operación de presión y temperatura y la misma densidad de gas, se tendrá un mayor flujo de gas a través del medidor; esto es debido a la mayor área anular que se tiene entre la pared del tubo medidor y el cono del medidor "V-cone".

En cuanto al contenido de líquidos, el medidor "V-cone" no tiene ningún problema en medirlos, ya que éste mide el flujo total que pasa por el medidor, únicamente se debe ser cuidadoso en el análisis cromatográfico que se obtiene de la mezcla que se está midiendo.

A continuación se presentan las gráficas de los resultados.

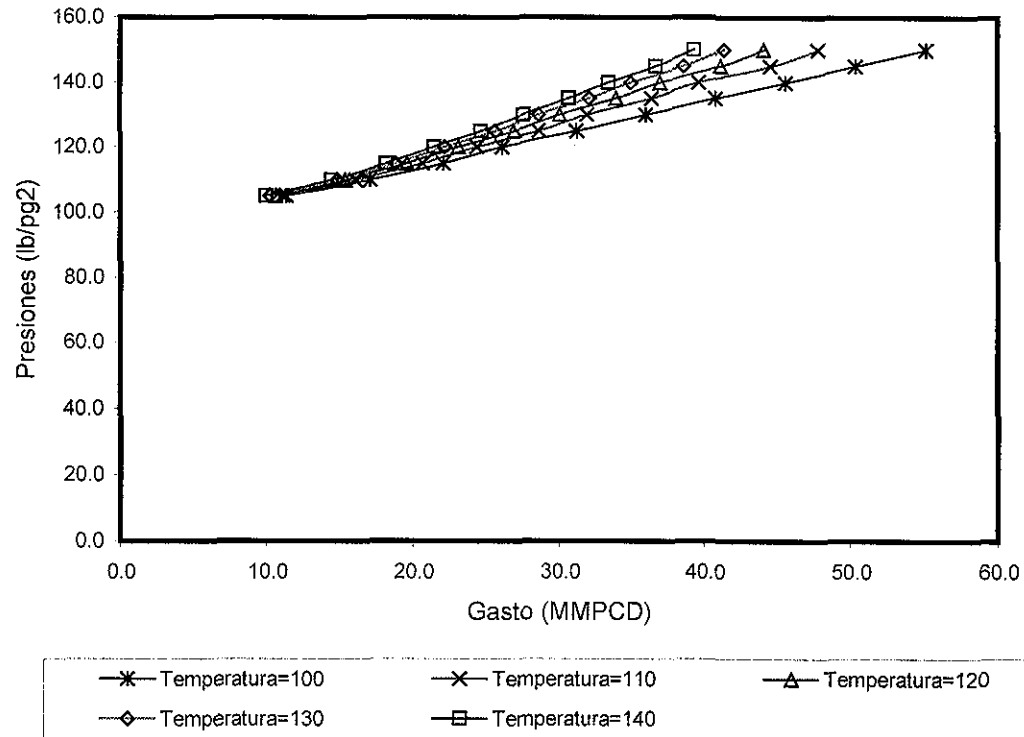


Fig. 7.1. Comportamiento de la temperatura.

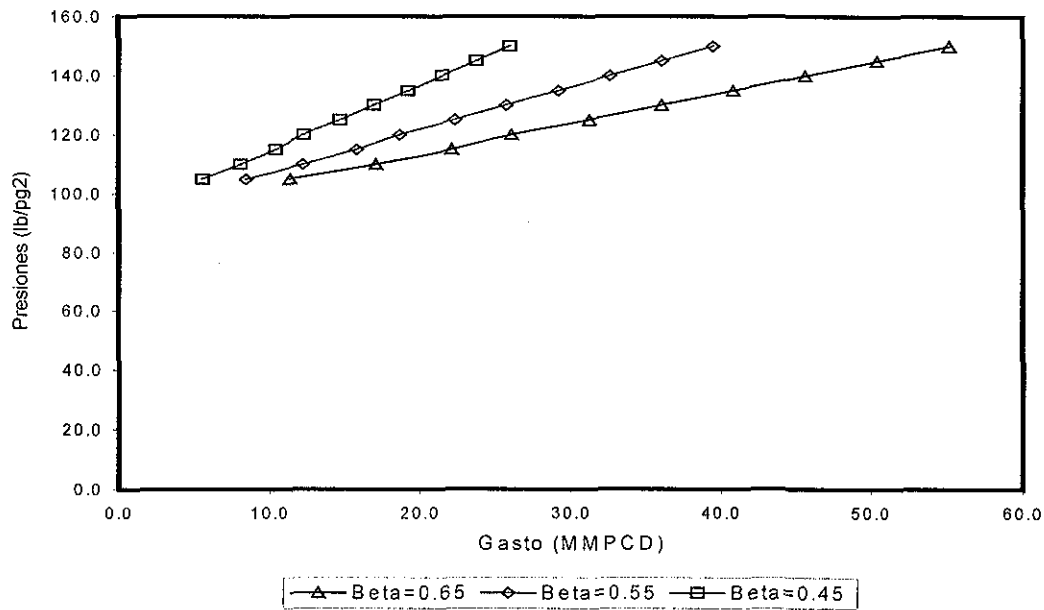


Fig. 7.2. Comportamiento de Beta.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

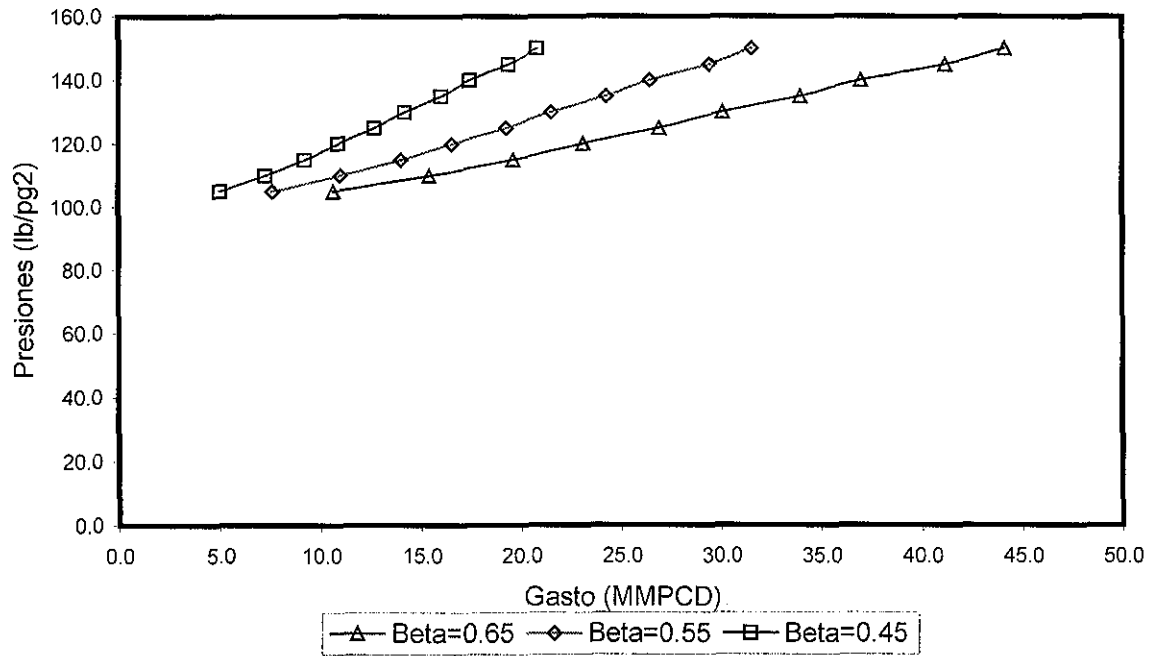


Fig. 7.3. Comportamiento de Beta.

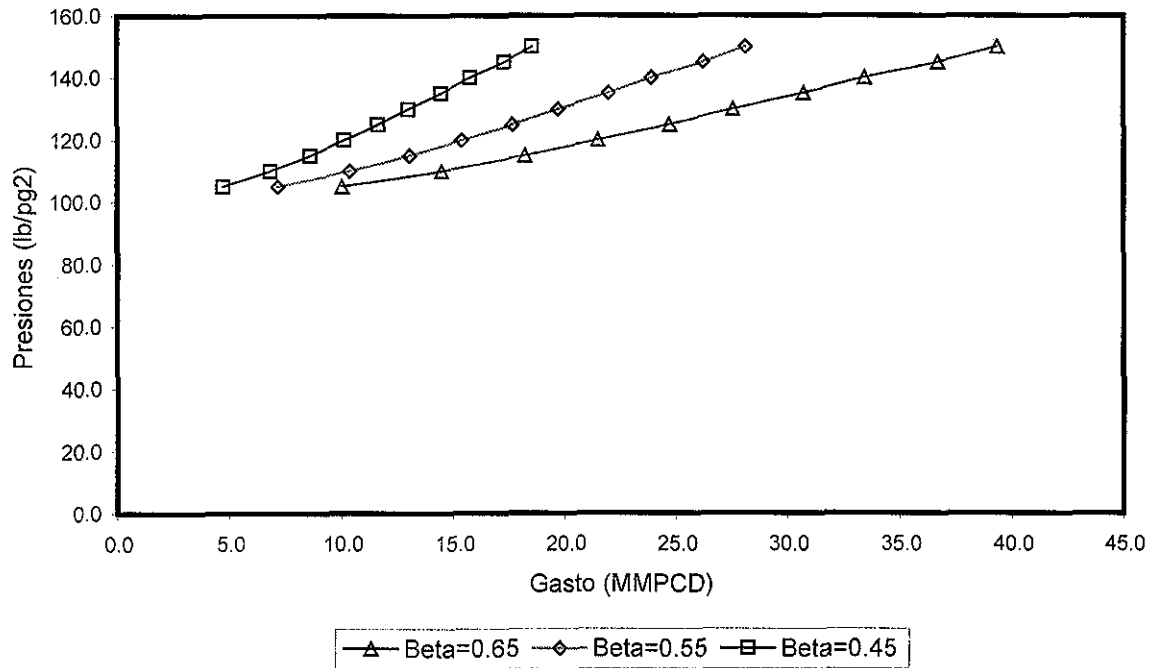


Fig. 7.4. Comportamiento de Beta.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

Como conclusiones derivadas de la investigación en este trabajo, se hacen las siguientes:

1. Se desarrolló un programa de cómputo que permite obtener en forma rápida y confiable el gasto de gas seco, a partir de las mediciones de gasto de una corriente de gas húmedo medido con un medidor "V-cone".
2. El modelo que se plantea en este trabajo, validado con los datos de laboratorio de Statoil, permite alcanzar mejores resultados que los obtenidos con medidores de la placa de orificio, cuando se utiliza para medir gas húmedo.
3. El medidor "V-cone" tiene una gran ventaja sobre otros medidores de presión diferencial para un servicio de medición de gas húmedo, por la estabilidad y homogeneidad que se tiene de la mezcla de hidrocarburos al momento de hacer la medición.

8.2. RECOMENDACIONES

Derivado de este trabajo se hacen las siguientes recomendaciones:

- Dado que la correlación propuesta para calcular el coeficiente de descarga de medidor "V-cone" reproduce la información de laboratorio obtenida para valores particulares de diámetros, relación beta y densidad relativa del gas, se recomienda efectuar pruebas de laboratorio para un intervalo más amplio de valores de los parámetros involucrados, para tener una correlación de aplicación general.
- Se recomienda ampliar este trabajo para validar la aplicación del modelo con información de corrientes de gas natural húmedo con diferentes características y condiciones de operación.
- Cuando no sea posible lograr un buen acondicionamiento del gas natural, se deberán instalar en línea un cromatógrafo de gas y un computador de flujo programado para determinar la relación gas-líquido a las condiciones del medidor y aplicar el modelo que se presenta en este trabajo, para obtener el gasto real de gas seco.
- Las modificaciones que se consideren pertinentes para alguna aplicación en específico, se pueden realizar en el programa de cómputo mencionado.

NOMENCLATURA

A continuación se presenta una lista de los símbolos empleados en el desarrollo de este trabajo.

Símbolo	Concepto	unidades
a	Variables de Peng-Robinson	
A	Variables de Peng-Robinson	
b	Variables de Peng-Robinson	
B	Variables de Peng-Robinson	
B_g	Factor de volumen del gas	$\text{pie}^3 @ \text{yac} / \text{pie}^3 @ \text{st}$
C_d	Coefficiente de descarga del medidor	
D	Diámetro del tubo medidor	(pg)
d	Diámetro del cono medidor	(pg)
E_v	Eficiencia volumétrica	
F_c	Factor de cálculo de orificio	
F_g	Fracción de gas	
F_{gr}	Factor por densidad relativa	
F_l	Fracción de líquido	
F_n	Factor de conversión numérica	
F_{pb}	Factor de presión base	
F_{pv}	Factor de supercompresibilidad	
F_{sl}	Factor de pendiente	
F_{tf}	Factor de temperatura de flujo	
g_c	Aceleración de la gravedad.	$(32.2 \text{ pie}/\text{seg}^2)$
h_w	Presión diferencial	(pg de H_2O)
K	Exponente Isentrópico	

K_1	Constante de flujo	
n	Número de moles de gas	
P	Presión	(lb/pg ² abs)
PM_{aire}	Peso molecular del aire	(28.29 moles)
PM_{gas}	Peso molecular del gas	(moles)
Q_b	Gasto volumétrico	(pie ³ /día)
q	Gasto de gas a condiciones reales	(pie ³ /seg)
Q_m	Gasto másico	(lb _m /seg)
Q_g	Gasto de gas	(MMPCD)
Q_l	Gasto de líquido	BPD
Q_t	Gasto total	(MMPCD)
		(10.72 lb/pg ² abs.-
R	Constante Universal de los gases	pie ³ /mole-lb.-°R)
R_1	Relación de presiones	
Re	Número de Reynolds	
S_f	Densidad específica de operación	(lb _m /pie ³)
SG	Densidad relativa del gas	
S_{STP}	Densidad @ estándar	
T	Temperatura	(°R)
V	Volumen	(pie ³)
v	Velocidad del gas	(pie/seg)
X	Calidad de corriente húmeda	(%)
Y	Factor de expansión del gas	
Z	Factor de compresibilidad	

subíndices

1	Corriente arriba
2	Corriente abajo
l	Líquido
m	Másico
cb	Condiciones base
d	Coefficiente de descarga
g	Gas
i	Componente
j	Componente
v	Volumétrica
w	Agua

Griegas

ρ	Densidad.	(lb _m /pie ³)
μ	Viscosidad	(cp.)
β	Relación de diámetros	
ΔP	Caída de Presión	(lb/pg ² abs)
π	Constante numérica	(3.14159)

REFERENCIAS

1. AGA - American Gas Association, Report No. 8, "Compressibility Factors of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Gases", Second Edition, November 1992, 2nd printing July 1994.
2. API - American Petroleum Institute, "Manual of Petroleum Measurement Standards", Chapter 14 Natural Gas Fluids Measurement, Section 3 "Concentric Square-Edged Orifice Meters", Part 3 "Natural Gas Applications", Third Edition, August 1992.
3. Steven, J. S. "V-Cone Meter Measurement Accuracy for Wet Gas Flow", *Final Report Sw RI Project o4-8369-002, McCrometer, Inc.* May-1997.
4. Katz, D. L. "Handbook of Natural Gas Engineering", McGraw-Hill Book Co. Inc., New York. pp 332-351., 1959.
5. Garrido, H. A. M., "Efecto que causa la presencia de líquidos en la medición de gas natural", Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM., p 105 . 1998.
6. Astleford, W. J. "Baseline and Installation Effects of the V-Cone Meter", Final Report , Southwest Research Institute, San Antonio, Texas, July-1994.
7. Ifft, S. A., "Installation Effects on the V-Cone Flowmeter", presentado en la 3er. Simposium Internacional de Flujo de Fluido, San Antonio, Texas, March-1995.

8. Dahlstrom, M. J., "V-Cone Meter: Gas Measurement For The Real World", presentado en The North Sea Flow Measurement Workshop, Peebles, Scotland, October-1994.
9. Lawrence, P. A., "V-Cone Technology, DP Metering For _The New Millennium", McCrometer, Inc. 1998.
10. Shen, J. J. S., Bosio J. R. and Larsen S.K. "A Performance Study of a V-Cone Meter in Swirling Flow", Paper 20 presentado en North Sea Flow Measurement Workshop,. 1995.
11. Murdock, J. W. "Two-Phase Flow Measurement with Sharp-Edged Orifices", J. Basic Engineering, Vol. 84, No. 4. 1965.
12. Peng, D.Y. y Robinson, D.B., "A New Two-Constant Equation of States" Ind. Eng. Chem. Fund., vol. 15, p. 59, 1976.
13. Wichert, E. y Aziz, K., "Calculate Z's for Sow Gases ", Hydrocarbon Processing, May 1972.
14. Lee, A.L. "The Viscosity of Natural Gases " , Trans. AIME (1942), 197.
15. William, J. A., "Baseline and Installation Effects Tests of the V-cone Meter", GRI, Metering Research Facility, Southwest Research Institute, Final Report, July 1994.

BIBLIOGRAFÍA

- Mejía, S. A. A. "Modelo para seleccionar el tratamiento y optimizar el transporte de gas y condensado", Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM., 1997.
- Trujillo, C. W. "Ajuste automático de ecuaciones de estado a mezclas naturales de hidrocarburos", Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM., pág. 171. 1996.
- Santamaría, N. E., Garrido, A. M. "Efecto de Líquidos en la Medición del Gas Natural con Placa de Orificio"., Institute British Petroleum, 1998.
- Szabo, W. H., "V-Cone Meter for Natural Gas Flows", McCrometer, Inc. 1992.
- Shen, J. J. S., "Effects of a Swirler on Orifice Meter Flow Measurement", presentado en AIChE Spring National Meeting, Houston, Texas, April-1989.
- Shen, J. J. S., "Characterization of Swirling Flow and Its Effects on Orifice Metering", SPE 22865, presentado en SPE 66th Annual Technical Meeting and Exhibition, Dallas, Texas, October-1991.
- Ifft, S. A. and Mikkelsen, E. D., "Pipe Elbow Effects on the V-Cone Flowmeter", presentado en North Sea Flow Measurement Workshop, Peebles, Scotland, October-1992.

- González, M. A. B., "Propuesta para la integración y fortalecimiento de los grupos de medición de hidrocarburos en el IMP", Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM., pág. 44, 2000.
- Mejía, S. A. A., "Modelo para seleccionar el tratamiento de optimizar el transporte de gas y condensado", Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM., pág. 119. 1997.
- Spitzer, W. D., "Industrial Flow Measurement", ISA (Instrument Society of America), Resources for Measurement and Control Series, pág. 439. 1990.

APÉNDICE "A"

A continuación se presenta el listado del programa:

COMPOSICION.FRM

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
  If Text1 = "" Then
```

```
    Text1 = 0
```

```
  End If
```

```
  If Text2 = "" Then
```

```
    Text2 = 0
```

```
  End If
```

```
  If Text3 = "" Then
```

```
    Text3 = 0
```

```
  End If
```

```
  If Text4 = "" Then
```

```
    Text4 = 0
```

```
  End If
```

```
  If Text5 = "" Then
```

```
    Text5 = 0
```

```
  End If
```

```
  If Text6 = "" Then
```

```
    Text6 = 0
```

```
  End If
```

```
  If Text7 = "" Then
```

```
    Text7 = 0
```

```
  End If
```

```
  If Text8 = "" Then
```

```
    Text8 = 0
```

```
  End If
```

```
  If Text9 = "" Then
```

```
    Text9 = 0
```

```
  End If
```

```
  If Text10 = "" Then
```

```
    Text10 = 0
```

```
  End If
```

```
  If Text11 = "" Then
```

```
Text11 = 0
End If
If Text12 = "" Then
Text12 = 0
End If
If Text13 = "" Then
Text13 = 0
End If
If Text14 = "" Then
Text14 = 0
End If
If Text15 = "" Then
Text15 = 0
End If
If Text16 = "" Then
Text16 = 0
End If
If Text17 = "" Then
Text17 = 0
End If
If Text18 = "" Then
Text18 = 0
End If
If Text19 = "" Then
Text19 = 0
End If
If Text20 = "" Then
Text20 = 0
End If
If Text21 = "" Then
Text21 = 0
End If
If Text22 = "" Then
Text22 = 0
End If
If Text23 = "" Then
Text23 = 0
End If
```

```

If Text24 = "" Then
Text24 = 0
End If
a = Text1 * 16.043 + Text2 * 30.07 + Text3 * 44.097 + Text4 * 58.124 + Text5 * 72.151
b = Text6 * 86.178 + Text7 * 100.205 + Text8 * 114.232 + Text9 * 128.259 + Text10 * 142.286
c = Text11 * 70.135 + Text12 * 84.162 + Text13 * 84.162 + Text14 * 98.189 + Text15 * 44.01
d = Text16 * 34.076 + Text17 * 28.013 + Text18 * 28.054 + Text19 * 42.081 + Text20 * 56.108
e = Text21 * 26.038 + Text22 * 78.114 + Text23 * 95.141 + Text24 * 28.964
densidad = (a + b + c + d + e) / 28.964
Datos.Text9 = Round(densidad, 4)
Datos.Text6 = Text15
Datos.Text7 = Text16
Datos.Text15 = Text17
Unload Me
Datos.Text9.Visible = True
End Sub

```

Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```

If KeyAscii = 13 Then
    If Text1.Text <> "" Then
        Text2.SetFocus
    Else
        Text1.Text = 0
    End If
End If
End Sub

```

Private Sub Text2_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```

If KeyAscii = 13 Then
    If Text2.Text <> "" Then
        Text3.SetFocus
    Else
        Text2.Text = 0
    End If
End If
End Sub

```

Private Sub Text3_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
  If Text3.Text <> "" Then
    Text4.SetFocus
  Else
    Text3.Text = 0
  End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text4_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
  If Text4.Text <> "" Then
    Text5.SetFocus
  Else
    Text4.Text = 0
  End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text5_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
  If Text5.Text <> "" Then
    Text6.SetFocus
  Else
    Text5.Text = 0
  End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text6_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
  If Text6.Text <> "" Then
    Text7.SetFocus
  Else
    Text6.Text = 0
  End If
End If
End Sub
```


Private Sub Text7_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text7.Text <> "" Then
        Text8.SetFocus
    Else
        Text7.Text = 0
    End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text8_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text8.Text <> "" Then
        Text9.SetFocus
    Else
        Text8.Text = 0
    End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text9_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text9.Text <> "" Then
        Text10.SetFocus
    Else
        Text9.Text = 0
    End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text10_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text10.Text <> "" Then
        Text11.SetFocus
    Else
        Text10.Text = 0
    End If
End If
```

```
End If  
End Sub
```

Private Sub Text11_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then  
    If Text11.Text <> "" Then  
        Text12.SetFocus  
    Else  
        Text11.Text = 0  
    End If  
End If  
End Sub
```

Private Sub Text12_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then  
    If Text12.Text <> "" Then  
        Text13.SetFocus  
    Else  
        Text12.Text = 0  
    End If  
End If  
End Sub
```

Private Sub Text13_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then  
    If Text13.Text <> "" Then  
        Text14.SetFocus  
    Else  
        Text13.Text = 0  
    End If  
End If  
End Sub
```

Private Sub Text14_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then  
    If Text14.Text <> "" Then  
        Text15.SetFocus  
    Else
```

```
Text14.Text = 0
End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text15_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text15.Text <> "" Then
        Text16.SetFocus
    Else
        Text15.Text = 0
    End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text16_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text16.Text <> "" Then
        Text17.SetFocus
    Else
        Text16.Text = 0
    End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text17_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text17.Text <> "" Then
        Text18.SetFocus
    Else
        Text17.Text = 0
    End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text18_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text18.Text <> "" Then
```

```
Text19.SetFocus
Else
Text18.Text = 0
End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text19_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text19.Text <> "" Then
        Text20.SetFocus
    Else
        Text19.Text = 0
    End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text20_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text20.Text <> "" Then
        Text21.SetFocus
    Else
        Text20.Text = 0
    End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text21_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text21.Text <> "" Then
        Text22.SetFocus
    Else
        Text21.Text = 0
    End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text22_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text22.Text <> "" Then
        Text23.SetFocus
    Else
        Text22.Text = 0
    End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text23_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text23.Text <> "" Then
        Text24.SetFocus
    Else
        Text23.Text = 0
    End If
End If
End Sub
```

Private Sub Text24_KeyPress(KeyAscii As Integer)

```
If KeyAscii = 13 Then
    If Text24.Text <> "" Then
        Command1.SetFocus
    Else
        Text24.Text = 0
    End If
End If
End Sub
```

DATOS.FRM

Private Sub Command1_Click()

```
a: Datos.Visible = True
If Text3 = "" Or Text4 = "" Or Text5 = "" Or Text14 = "" Or Text1 = "" Or Text2 = "" Then
    If MsgBox("Está faltando algún dato, favor de verificar", vbInformation, "Atención") = vbOK Then
        Cancel = True
    End If
Else
```

```

If Text6 = "" Or Text7 = "" Or Text8 = "" Or Text9 = "" Then
    If MsgBox("Falta realizar alguno de los cálculos, favor de verificar", vbInformation, "Atención")
    = vbOK Then
        Cancel = True
    End If
Else
    p1 = Text3.Text
    p2 = Text4.Text
    pi = 4 * Atn(1)
    dens = Text9 * 28.97
    visco = Text8.Text
    diamt = Text1.Text
    diamc = Text2.Text
    temp = Text5.Text
    co2 = Text6.Text
    h2s = Text7.Text
    n2 = Text15.Text
    k = 1.3
    beta = (1 - diamc ^ 2 / diamt ^ 2) ^ 0.5
    gc = 32.2
    Text14.Text = beta
    'cálculo de z
    'Función para el cálculo de Z.
    Tipo_ac = 1
    Dens_rel_g = Text9.Text
    If Tipo_ac = 1 Then
        tpc = 167 + (316.67 * Dens_rel_g)
        ppc = 702.5 - (50 * Dens_rel_g)
    Else
        tpc = 238 + (210 * Dens_rel_g)
        ppc = 740 - (100 * Dens_rel_g)
    End If
    corr = 120 * (co2 * 1 + h2s * 1) ^ 0.9 - (co2 * 1 + h2s * 1) ^ 1.6 + 15 * (h2s * 1 ^ 10.5 - h2s * 1
    ^ 4) + 200
    tpc = tpc - corr
    ppc = ppc * tpc / (tpc + h2s * (1 - h2s) * corr)
    tpr = (temp + 460) / tpc
    ppr = p1 / ppc

```

```

If p1 < 4000 Then
z = 1
conv = 10
Do Until (conv < 0.00001)
Ror = 0.27 * ppr / (z * tpr)
  A1 = 0.31506
  A2 = -1.0467
  A3 = -0.5783
  A4 = 0.5353
  A5 = -0.6123
  A6 = -0.10489
  A7 = 0.68157
  A8 = 0.68446
z1 = 1 + (A1 + A2 / tpr + A3 / tpr ^ 3) * Ror + (A4 + A5 / tpr) * Ror ^ 2 + (A5 * A6 * Ror ^ 5 /
tpr) + (A7 * Ror ^ 2 / tpr ^ 3) * (1 + A8 * Ror ^ 2) * Exp(-A8 * Ror ^ 2)
cont = cont + 1
If cont > 3000 Then
  If MsgBox("Está faltando algún dato, favor de verificar", vbInformation, "Atención") = vbOK
  Then
    Cancel = True
  End If
  Unload Me
  Datos.Visible = True
End If
conv = Abs(z - z1)
z = z1
Loop
Else
ah = 10
z = 1
rors = 1
Do While (Abs(ah) > 0.0001)
  T = 1 / tpr
  aa = -(0.06125 * T * Exp(-1.2 * (1 - T) ^ 2))
  ab = 14.76 * T - 9.76 * T ^ 2 + 4.58 * T ^ 3
  ac = 90.7 * T - 242.2 * T ^ 2 + 42.4 * T ^ 3
  ad = 29.52 * T - 19.52 * T ^ 2 + 9.16 * T ^ 3
  ae = 2.18 + 2.82 * T

```

```

ag = 1.18 + 2.82 * T
ah = ppr * aa + (rors + rors ^ 2 + rors ^ 3 - rors ^ 4) / (1 + rors) ^ 3 - (ab * rors ^ 2 + ac * rors ^
ae)
al = (1 + 4 * rors ^ 2 + 4 * rors ^ 3 + rors ^ 4) / (1 + rors) ^ 4 - ad * rors + ae * ac * rors ^ ag
rorc = rors + ah / al
rors = (rorc)
cont = cont + 1
Loop
z = 0.06125 * ppr * Exp(-1.2 * (1 - T) ^ 2) / rors
End If
Text10.Text = Round(z, 4)
'coeficiente de descarga
q = 100
difgasto = 10
Do While Abs(difgasto) > 0.000000000001
v = (q * 4) / (3.1416 * (diamt / 12) ^ 2)
re = (123.9 * v * diamt * dens / 28.97) / (visco * 1000000#)
If cd > 1 Then
If MsgBox("Verifica tus datos", vbInformation, "Desbordamiento") = vbOK Then
Cancel = True
End If
Unload Me
GoTo a:
End If
cd = 0.82125 * Exp(0.015157 * re)
'cálculo de coeficiente de expansión
Y = 1 - ((0.75 + (6.787 * beta ^ 8)) * ((p1 - p2) / (144 * k * p1)))
gasto = (13.55397) * ((2 * gc / dens) ^ 0.5) * (((diamt / 12) ^ 2 * beta ^ 2) / ((1 - beta ^ 4) ^ 0.5)) *
(((p1 - p2) * 144) ^ 0.5) * Y * cd
gastoce = gasto * (p1 / 14.22) * (528 / (temp + 460)) * (1 / z)
difgasto = gastoce - q
q = gastoce
Loop
q = q * 0.0864
'gasto total en mmpcd
Text11 = Round(q, 2)
'cálculo de fracción de gas y líquido con la ecuación de estado de peng robinson
'cálculo de las constantes

```


rp = 10.783

'X1 = Text16

'X2 = Text17

'X3 = Text18

'X4 = Text19

'X5 = Text20

'X6 = Text21

'X7 = Text22

'X8 = Text23

'X9 = Text24

'X10 = Text25

'sum1 = X1 * X1 * 96.97 + X2 * X1 * 120.94 + X3 * X1 * 137.75 + X4 * X1 * 151.91 + X5 * X1 * 164.5 + X6 * X1 * 175.78 + X7 * X1 * 185.85 + X8 * X1 * 120.66 + X9 * X1 * 108.81 + X10 * X1 * 85.21

'sum2 = X1 * X2 * 120.94 + X2 * X2 * 150.84 + X3 * X2 * 171.8 + X4 * X2 * 189.46 + X5 * X2 * 205.17 + X6 * X2 * 219.24 + X7 * X2 * 231.79 + X8 * X2 * 150.49 + X9 * X2 * 135.71 + X10 * X2 * 106.27

'sum3 = X1 * X3 * 137.75 + X2 * X3 * 171.8 + X3 * X3 * 195.68 + X4 * X3 * 215.79 + X5 * X3 * 233.69 + X6 * X3 * 249.71 + X7 * X3 * 264.01 + X8 * X3 * 171.41 + X9 * X3 * 154.57 + X10 * X3 * 121.04

'sum4 = X1 * X4 * 151.91 + X2 * X4 * 189.46 + X3 * X4 * 215.79 + X4 * X4 * 237.98 + X5 * X4 * 257.71 + X6 * X4 * 275.38 + X7 * X4 * 291.15 + X8 * X4 * 189.03 + X9 * X4 * 170.46 + X10 * X4 * 133.49

'sum5 = X1 * X5 * 164.5 + X2 * X5 * 205.17 + X3 * X5 * 233.69 + X4 * X5 * 257.71 + X5 * X5 * 279.08 + X6 * X5 * 298.21 + X7 * X5 * 315.29 + X8 * X5 * 204.7 + X9 * X5 * 184.6 + X10 * X5 * 144.55

'sum6 = X1 * X6 * 175.78 + X2 * X6 * 219.24 + X3 * X6 * 249.71 + X4 * X6 * 275.38 + X5 * X6 * 298.21 + X6 * X6 * 318.66 + X7 * X6 * 336.91 + X8 * X6 * 218.74 + X9 * X6 * 197.25 + X10 * X6 * 154.46

'sum7 = X1 * X7 * 185.85 + X2 * X7 * 231.79 + X3 * X7 * 264.01 + X4 * X7 * 291.15 + X5 * X7 * 315.29 + X6 * X7 * 336.91 + X7 * X7 * 356.2 + X8 * X7 * 231.26 + X9 * X7 * 208.55 + X10 * X7 * 163.31

'sum8 = X1 * X8 * 120.66 + X2 * X8 * 150.49 + X3 * X8 * 171.41 + X4 * X8 * 189.03 + X5 * X8 * 204.7 + X6 * X8 * 218.74 + X7 * X8 * 231.26 + X8 * X8 * 150.15 + X9 * X8 * 135.4 + X10 * X8 * 106.03

'sum9 = X1 * X9 * 108.81 + X2 * X9 * 135.71 + X3 * X9 * 154.57 + X4 * X9 * 170.46 + X5 * X9 * 184.6 + X6 * X9 * 197.25 + X7 * X9 * 208.55 + X8 * X9 * 135.4 + X9 * X9 * 122.1 + X10 * X9 * 95.61

```
'sum10 = X1 * X10 * 85.21 + X2 * X10 * 106.27 + X3 * X10 * 121.04 + X4 * X10 * 133.49 + X5 * X10
* 144.55 + X6 * X10 * 154.46 + X7 * X10 * 163.31 + X8 * X10 * 106.03 + X9 * X10 * 95.61 + X10 *
X10 * 74.87
```

```
'at = sum1 + sum2 + sum3 + sum4 + sum5 + sum6 + sum7 + sum8 + sum9 + sum10
```

```
'bp = X1 * 0.4317 + X2 * 0.6523 + X3 * 0.9068 + X4 * 1.1668 + X5 * 1.4526 + X6 * 1.7536 + X7 *
2.0581 + X8 * 0.3051 + X9 * 0.4289 + X10 * 0.3884
```

```
'constantes de la ecuación
```

```
ps = p1
```

```
cont = 0
```

```
tol = 10
```

```
Do While tol > 0.0000001
```

```
ca = (at * ps) / ((10.783 * (temp + 459.67)) ^ 2)
```

```
cb = bp * ps / (10.783 * (temp + 459.67))
```

```
A0 = (-1) * ((ca * cb) - (cb ^ 2) - (cb ^ 3))
```

```
A1 = ca - (3 * (cb ^ 2)) - (2 * cb)
```

```
A2 = (-1) * (1 - cb)
```

```
'cálculo de la ecuación
```

```
p = (3 * A1 - A0 ^ 2) / 3
```

```
qc = (27 * A2 - 9 * A0 * A1 + 2 * A0 ^ 3) / 27
```

```
r = (p / 3) ^ 3 + (qc / 2) ^ 2
```

```
  If r >= 0 Then
```

```
    a = Abs(-qc / 2 + (r) ^ 0.5) ^ 0.333333 * ((-qc / 2 + (r) ^ 0.5) / Abs((-qc / 2 + (r) ^ 0.5)))
```

```
    b = Abs(-qc / 2 - (r) ^ 0.5) ^ 0.333333 * ((-qc / 2 - (r) ^ 0.5) / Abs((-qc / 2 - (r) ^ 0.5)))
```

```
    Y1 = a + b
```

```
    Y2 = -(a + b) / 2
```

```
    Y3 = -(a + b) / 2
```

```
  Else
```

```
    X = (((qc ^ 2 / 4) / (-p ^ 3 / 27)) ^ 0.5)
```

```
    teta = Atn(-X / Sqr(-X * X + 1)) + 2 * Atn(1)
```

```
    Y1 = -2 * (-p / 3) ^ 0.5 * Cos((((teta * 180 / pi) / 3) * pi / 180))
```

```
    Y2 = -2 * (-p / 3) ^ 0.5 * Cos((((teta * 180 / pi) / 3) + 120) * pi / 180)
```

```
    Y3 = -2 * (-p / 3) ^ 0.5 * Cos((((teta * 180 / pi) / 3) + 240) * pi / 180)
```

```
  End If
```

```
z1 = Abs(Y1 - A0 / 3)
```

```
z2 = Abs(Y2 - A0 / 3)
```

```
z3 = Abs(Y3 - A0 / 3)
```

```
  If (z1 < z2) Then
```

```
    If (z1 < z3) Then
```

```
If (z2 < z3) Then
  z1 = z1
  zv = z3
Else
  If (z2 = z3) Then
    z1 = z1
    zv = z3
  Else
    z1 = z1
    zv = z2
  End If
End If
Else
  If (z1 = z3) Then
    z1 = z1
    zv = z2
  Else
    z1 = z3
    zv = z2
  End If
End If
Else
  If (z1 = z2) Then
    If (z1 < z3) Then
      z1 = z1
      zv = z3
    Else
      z1 = z3
      zv = z1
    End If
  Else
    If (z1 = z3) Then
      z1 = z2
      zv = z1
    Else
      If (z1 < z3) Then
        z1 = z2
        zv = z3
      End If
    End If
  End If
End If
```

```

Else
  If (z2 < z3) Then
    z1 = z2
    zv = z1
  Else
    If (z2 = z3) Then
      z1 = z2
      zv = z1
    Else
      z1 = z3
      zv = z1
    End If
  End If
End If
End If
End If
End If
fv1 = zv - 1 - Log(zv - cb)
fv2 = Log((zv + 2.414 * cb) / (zv - 0.414 * cb))
fv3 = Exp((fv1 - ca / (2 * 2 ^ 0.5 * cb)) * fv2)
fvv = fv3 * ps
fl1 = z1 - 1 - Log(z1 - cb)
fl2 = Log((z1 + 2.414 * cb) / (z1 - 0.414 * cb))
fl3 = Exp((fl1 - ca / (2 * 2 ^ 0.5 * cb)) * fl2)
fll = fl3 * ps
vl = (1 - zv) * 10.783 * (temp + 459.67) / p1
vv = zv * 10.783 * (temp + 459.67) / p1
tol = Abs(fvv - fll)
pscal = ps * (fvv / fll)
ps = pscal
cont = cont + 1
Loop
fgs = ((vv / (vl + vv)))
fva = vl / (vl + vv)
'cálculo de gas seco
gastototal = q * (1 - Round((1 - fgs) - 7.9 / 100, 4))
Text12.Text = gastototal 'gas seco
Text13 = Round((1 - fgs) * 100, 1) - 7.9

```

```

Datos.Visible = False
gastos.Show
End If
End If
End Sub
Static Function Arccos(X)
Arccos(X) = Atn(-X / Sqr(-X * X + 1)) + 2 * Atn(1)
End Function
Static Function Log10(X)
Log10 = Log(X) / Log(10#)
End Function

```

Private Sub Command2_Click()

```

a: Datos.Visible = True
If Text3 = "" Or Text4 = "" Or Text5 = "" Or Text14 = "" Or Text1 = "" Or Text2 = "" Then
If MsgBox("Está faltando algún dato, favor de verificar", vbInformation, "Atención") = vbOK Then
Cancel = True
End If
Else
If Text6 = "" Or Text7 = "" Or Text = 15 = "" Or Text8 = "" Or Text9 = "" Then
If MsgBox("Falta realizar alguno de los cálculos, favor de verificar", vbInformation, "Atención")
= vbOK Then
Cancel = True
End If
Else
p1 = Text3.Text
p2 = Text4.Text
pi = 4 * Atn(1)
dens = Text9 * 28.97
visco = Text8.Text
diamt = Text1.Text
diamc = Text2.Text
temp = Text5.Text
co2 = Text6.Text
h2s = Text7.Text
n2 = Text15.Text
k = 1.3
beta = (1 - diamc ^ 2 / diamt ^ 2) ^ 0.5

```

```

gc = 32.2
Text14.Text = beta
'calculo de z
'Función para el cálculo de Z.
Tipo_ac = 1
Dens_rel_g = Text9.Text
  If Tipo_ac = 1 Then
    tpc = 167 + (316.67 * Dens_rel_g)
    ppc = 702.5 - (50 * Dens_rel_g)
  Else
    tpc = 238 + (210 * Dens_rel_g)
    ppc = 740 - (100 * Dens_rel_g)
  End If
corr = 120 * (co2 * 1 + h2s * 1) ^ 0.9 - (co2 * 1 + h2s * 1) ^ 1.6 + 15 * (h2s * 1 ^ 10.5 - h2s * 1
^ 4) + 200
tpc = tpc - corr
ppc = ppc * tpc / (tpc + h2s * (1 - h2s) * corr)
tpr = (temp + 460) / tpc
ppr = p1 / ppc
If p1 < 4000 Then
  z = 1
  conv = 10
  Do Until (conv < 0.00001)
    Ror = 0.27 * ppr / (z * tpr)
    A1 = 0.31506
    A2 = -1.0467
    A3 = -0.5783
    A4 = 0.5353
    A5 = -0.6123
    A6 = -0.10489
    A7 = 0.68157
    A8 = 0.68446
    z1 = 1 + (A1 + A2 / tpr + A3 / tpr ^ 3) * Ror + (A4 + A5 / tpr) * Ror ^ 2 + (A5 * A6 * Ror ^ 5 /
tpr) + (A7 * Ror ^ 2 / tpr ^ 3) * (1 + A8 * Ror ^ 2) * Exp(-A8 * Ror ^ 2)
    conv = Abs(z - z1)
    z = z1
  Loop
Else

```

```

ah = 10
z = 1
rors = 1
Do While (Abs(ah) > 0.0001)
  T = 1 / tpr
  aa = -(0.06125 * T * Exp(-1.2 * (1 - T) ^ 2))
  ab = 14.76 * T - 9.76 * T ^ 2 + 4.58 * T ^ 3
  ac = 90.7 * T - 242.2 * T ^ 2 + 42.4 * T ^ 3
  ad = 29.52 * T - 19.52 * T ^ 2 + 9.16 * T ^ 3
  ae = 2.18 + 2.82 * T
  ag = 1.18 + 2.82 * T
  ah = ppr * aa + (rors + rors ^ 2 + rors ^ 3 - rors ^ 4) / (1 + rors) ^ 3 - (ab * rors ^ 2 + ac * rors ^
  ae)
  al = (1 + 4 * rors ^ 2 + 4 * rors ^ 3 + rors ^ 4) / (1 + rors) ^ 4 - ad * rors + ae * ac * rors ^ ag
  rorc = rors + ah / al
  rors = (rorc)
  cont = cont + 1
Loop
z = 0.06125 * ppr * Exp(-1.2 * (1 - T) ^ 2) / rors
End If
Text10.Text = Round(z, 4)
'coeficiente de descarga
q = 100
difgasto = 10
Do While Abs(difgasto) > 0.000000000001
  v = (q * 4) / (3.1416 * (diamt / 12) ^ 2)
  re = (123.9 * v * diamt * dens / 28.97) / (visco * 1000000#)
  If cd > 1 Then
    If MsgBox("Verifica tus datos", vbInformation, "Desbordamiento") = vbOK Then
      Cancel = True
    End If
  Unload Me
  GoTo a:
End If
cd = 0.82125 * Exp(0.015157 * re)
'cálculo de coeficiente de expansión
Y = 1 - ((0.75 + (6.787 * beta ^ 8)) * ((p1 - p2) / (144 * k * p1)))

```

```

gasto = (13.55397) * ((2 * gc / dens) ^ 0.5) * (((diamt / 12) ^ 2 * beta ^ 2) / ((1 - beta ^ 4) ^ 0.5)) *
(((p1 - p2) * 144) ^ 0.5) * Y * cd
gastoce = gasto * (p1 / 14.22) * (528 / (temp + 460)) * (1 / z)
difgasto = gastoce - q
q = gastoce
Loop
q = q * 0.0864
'gasto total en mmpcd
Text11 = Round(q, 2)
'cálculo de fracción de gas y líquido con la ecuación de estado de peng robinson
'constantes de la ecuación
rp = 10.783
'X1 = Text16
'X2 = Text17
'X3 = Text18
'X4 = Text19
'X5 = Text20
'X6 = Text21
'X7 = Text22
'X8 = Text23
'X9 = Text24
'X10 = Text25
'sum1 = X1 * X1 * 96.97 + X2 * X1 * 120.94 + X3 * X1 * 137.75 + X4 * X1 * 151.91 + X5 * X1 *
164.5 + X6 * X1 * 175.78 + X7 * X1 * 185.85 + X8 * X1 * 120.66 + X9 * X1 * 108.81 + X10 * X1 *
85.21
'sum2 = X1 * X2 * 120.94 + X2 * X2 * 150.84 + X3 * X2 * 171.8 + X4 * X2 * 189.46 + X5 * X2 *
205.17 + X6 * X2 * 219.24 + X7 * X2 * 231.79 + X8 * X2 * 150.49 + X9 * X2 * 135.71 + X10 * X2 *
106.27
'sum3 = X1 * X3 * 137.75 + X2 * X3 * 171.8 + X3 * X3 * 195.68 + X4 * X3 * 215.79 + X5 * X3 *
233.69 + X6 * X3 * 249.71 + X7 * X3 * 264.01 + X8 * X3 * 171.41 + X9 * X3 * 154.57 + X10 * X3 *
121.04
'sum4 = X1 * X4 * 151.91 + X2 * X4 * 189.46 + X3 * X4 * 215.79 + X4 * X4 * 237.98 + X5 * X4 *
257.71 + X6 * X4 * 275.38 + X7 * X4 * 291.15 + X8 * X4 * 189.03 + X9 * X4 * 170.46 + X10 * X4 *
133.49
'sum5 = X1 * X5 * 164.5 + X2 * X5 * 205.17 + X3 * X5 * 233.69 + X4 * X5 * 257.71 + X5 * X5 *
279.08 + X6 * X5 * 298.21 + X7 * X5 * 315.29 + X8 * X5 * 204.7 + X9 * X5 * 184.6 + X10 * X5 *
144.55

```



```
'sum6 = X1 * X6 * 175.78 + X2 * X6 * 219.24 + X3 * X6 * 249.71 + X4 * X6 * 275.38 + X5 * X6 *
298.21 + X6 * X6 * 318.66 + X7 * X6 * 336.91 + X8 * X6 * 218.74 + X9 * X6 * 197.25 + X10 * X6 *
154.46
```

```
'sum7 = X1 * X7 * 185.85 + X2 * X7 * 231.79 + X3 * X7 * 264.01 + X4 * X7 * 291.15 + X5 * X7 *
315.29 + X6 * X7 * 336.91 + X7 * X7 * 356.2 + X8 * X7 * 231.26 + X9 * X7 * 208.55 + X10 * X7 *
163.31
```

```
'sum8 = X1 * X8 * 120.66 + X2 * X8 * 150.49 + X3 * X8 * 171.41 + X4 * X8 * 189.03 + X5 * X8 *
204.7 + X6 * X8 * 218.74 + X7 * X8 * 231.26 + X8 * X8 * 150.15 + X9 * X8 * 135.4 + X10 * X8 *
106.03
```

```
'sum9 = X1 * X9 * 108.81 + X2 * X9 * 135.71 + X3 * X9 * 154.57 + X4 * X9 * 170.46 + X5 * X9 *
184.6 + X6 * X9 * 197.25 + X7 * X9 * 208.55 + X8 * X9 * 135.4 + X9 * X9 * 122.1 + X10 * X9 * 95.61
```

```
'sum10 = X1 * X10 * 85.21 + X2 * X10 * 106.27 + X3 * X10 * 121.04 + X4 * X10 * 133.49 + X5 * X10
* 144.55 + X6 * X10 * 154.46 + X7 * X10 * 163.31 + X8 * X10 * 106.03 + X9 * X10 * 95.61 + X10 *
X10 * 74.87
```

```
'at = sum1 + sum2 + sum3 + sum4 + sum5 + sum6 + sum7 + sum8 + sum9 + sum10
```

```
'bp = X1 * 0.4317 + X2 * 0.6523 + X3 * 0.9068 + X4 * 1.1668 + X5 * 1.4526 + X6 * 1.7536 + X7 *
2.0581 + X8 * 0.3051 + X9 * 0.4289 + X10 * 0.3884
```

```
ps = p1
```

```
cont = 0
```

```
tol = 10
```

```
Do While tol > 0.0000001
```

```
ca = (at * ps) / ((10.783 * (temp + 459.67)) ^ 2)
```

```
cb = bp * ps / (10.783 * (temp + 459.67))
```

```
A0 = (-1) * ((ca * cb) - (cb ^ 2) - (cb ^ 3))
```

```
A1 = ca - (3 * (cb ^ 2)) - (2 * cb)
```

```
A2 = (-1) * (1 - cb)
```

```
'cálculo de la ecuación
```

```
p = (3 * A1 - A0 ^ 2) / 3
```

```
qc = (27 * A2 - 9 * A0 * A1 + 2 * A0 ^ 3) / 27
```

```
r = (p / 3) ^ 3 + (qc / 2) ^ 2
```

```
  If r >= 0 Then
```

```
    a = Abs(-qc / 2 + (r) ^ 0.5) ^ 0.3333333 * ((-qc / 2 + (r) ^ 0.5) / Abs((-qc / 2 + (r) ^ 0.5)))
```

```
    b = Abs(-qc / 2 - (r) ^ 0.5) ^ 0.3333333 * ((-qc / 2 - (r) ^ 0.5) / Abs((-qc / 2 - (r) ^ 0.5)))
```

```
    Y1 = a + b
```

```
    Y2 = -(a + b) / 2
```

```
    Y3 = -(a + b) / 2
```

```
  Else
```

```
    X = (((qc ^ 2 / 4) / (-p ^ 3 / 27)) ^ 0.5)
```

```

teta = Atn(-X / Sqr(-X * X + 1)) + 2 * Atn(1)
Y1 = -2 * (-p / 3) ^ 0.5 * Cos((((teta * 180 / pi) / 3) * pi / 180))
Y2 = -2 * (-p / 3) ^ 0.5 * Cos((((teta * 180 / pi) / 3) + 120) * pi / 180)
Y3 = -2 * (-p / 3) ^ 0.5 * Cos((((teta * 180 / pi) / 3) + 240) * pi / 180)
End If
z1 = Abs(Y1 - A0 / 3)
z2 = Abs(Y2 - A0 / 3)
z3 = Abs(Y3 - A0 / 3)
  If (z1 < z2) Then
    If (z1 < z3) Then
      If (z2 < z3) Then
        z1 = z1
        zv = z3
      Else
        If (z2 = z3) Then
          z1 = z1
          zv = z3
        Else
          z1 = z1
          zv = z2
        End If
      End If
    Else
      If (z1 = z3) Then
        z1 = z1
        zv = z2
      Else
        z1 = z3
        zv = z2
      End If
    End If
  Else
    If (z1 = z2) Then
      If (z1 < z3) Then
        z1 = z1
        zv = z3
      Else
        z1 = z3
      End If
    End If
  End If

```

```

    zv = z1
  End If
Else
  If (z1 = z3) Then
    zl = z2
    zv = z1
  Else
    If (z1 < z3) Then
      zl = z2
      zv = z3
    Else
      If (z2 < z3) Then
        zl = z2
        zv = z1
      Else
        If (z2 = z3) Then
          zl = z2
          zv = z1
        Else
          zl = z3
          zv = z1
        End If
      End If
    End If
  End If
End If
End If
End If

fv1 = zv - 1 - Log(zv - cb)
fv2 = Log((zv + 2.414 * cb) / (zv - 0.414 * cb))
fv3 = Exp((fv1 - ca / (2 * 2 ^ 0.5 * cb)) * fv2)
fvv = fv3 * ps
fl1 = zl - 1 - Log(zl - cb)
fl2 = Log((zl + 2.414 * cb) / (zl - 0.414 * cb))
fl3 = Exp((fl1 - ca / (2 * 2 ^ 0.5 * cb)) * fl2)
fll = fl3 * ps
vl = (1 - zv) * 10.783 * (temp + 459.67) / p1
vv = zv * 10.783 * (temp + 459.67) / p1
tol = Abs(fvv - fll)

```

```

pascal = ps * (fvv / fill)
ps = pascal
cont = cont + 1
Loop
fgs = ((vv / (vl + vv)))
fva = vl / (vl + vv)
'cálculo de gas seco
gastototal = q * (1 - Round((1 - fgs) - 7.9 / 100, 4))
Text12.Text = gastototal 'gas seco
Text13 = Round((1 - fgs) * 100, 1) - 7.9
Datos.Visible = False
resultados.Show
End If
End If
End Sub

```

Private Sub Option1_Click()

```

Dim mensaje As String
If Option6 = True Then
Text6 = composicion.Text15
Text7 = composicion.Text16
Text8 = composicion.Text17
Else
mensaje = "Valor de CO2 en fracción mol"
co2 = InputBox(mensaje, "Datos")
Text6.Text = co2
mensaje = "Valor de H2S en fracción mol"
h2s = InputBox(mensaje, "Datos")
Text7.Text = h2s
mensaje = "Valor de N2 en fracción mol"
n2 = InputBox(mensaje, "Datos")
Text15.Text = n2
End If
End Sub

```

Private Sub Option2_Click()

```

co2 = 0
h2s = 0

```

```

n2 = 0
Text6.Text = co2
Text7.Text = h2s
Text15.Text = n2
End Sub

```

Private Sub Option3_Click()

```

Dim mensaje As String
Text8.Visible = False
mensaje = "Introduzca el valor de la viscosidad [cp]"
viscosidad = InputBox(mensaje, "Datos")
Text8.Text = viscosidad
Label7.Visible = True
Text8.Visible = True
End Sub

```

Private Sub Option4_Click()

```

Text8.Visible = False
Dens_rel_g = Text9.Text
T = Text5.Text
dg = Text9.Text * 28.97
X = 3.5 + 986 / (T + 460) + 0.2897 * Dens_rel_g
Y = 2.4 - 0.2 * X
k = ((9.4 + 0.5794 * Dens_rel_g) * (T + 460) ^ 1.5) / (209 + 550.4 * Dens_rel_g + (T + 460))
visc = 0.0001 * k * Exp(X * (dg / 62.428) ^ Y)
visc = Round(visc, 4)
Text8.Text = visc
Label7.Visible = True
Text8.Visible = True
End Sub

```

Private Sub Option4_Db1Click()

```

Text8.Visible = False
Dens_rel_g = Text9.Text
T = Text5.Text
dg = Text9.Text * 28.97
X = 3.5 + 986 / (T + 460) + 0.2897 * Dens_rel_g
Y = 2.4 - 0.2 * X

```

```

    k = ((9.4 + 0.5794 * Dens_rel_g) * (T + 460) ^ 1.5) / (209 + 550.4 * Dens_rel_g + (T + 460))
    visc = 0.0001 * k * Exp(X * (dg / 62.428) ^ Y)
    visc = Round(visc, 4)
    Text8.Text = visc
    Label7.Visible = True
    Text8.Visible = True
End Sub

```

Private Sub Option5_Click()

```

mensaje = "Introduzca el valor de la densidad relativa"
densidad = InputBox(mensaje, "Datos")
Text9.Text = densidad
Frame3.Visible = True
Text9.Visible = True
End Sub

```

Private Sub Option5_DbClick()

```

mensaje = "Introduzca el valor de la densidad relativa"
densidad = InputBox(mensaje, "Datos")
Text9.Text = densidad
Frame3.Visible = True
Text9.Visible = True
End Sub

```

Private Sub Option6_Click()

```

composicion.Visible = True
Frame3.Visible = False
Text6 = composicion.Text15
Text7 = composicion.Text16
Text8 = composicion.Text17
End Sub

```

Private Sub Option6_DbClick()

```

composicion.Visible = True
Frame3.Visible = False
Text6 = composicion.Text15
Text7 = composicion.Text16
Text8 = composicion.Text17

```

End Sub

Private Sub Text3_KeyPress(KeyAscii As Integer)

'mueve el cursor al presionar enter

If KeyAscii = 13 Then

 If Text3.Text <> "" Then

 Text4.SetFocus

 End If

End If

End Sub

Private Sub Text4_KeyPress(KeyAscii As Integer)

If KeyAscii = 13 Then

 If Text4.Text <> "" Then

 Text5.SetFocus

 End If

End If

End Sub

Private Sub Text5_KeyPress(KeyAscii As Integer)

If KeyAscii = 13 Then

 If Text5.Text <> "" Then

 Text1.SetFocus

 End If

End If

End Sub

Private Sub Text1_KeyPress(KeyAscii As Integer)

If KeyAscii = 13 Then

 If Text1.Text <> "" Then

 Text2.SetFocus

 End If

End If

End Sub

FRMDOCUMENT.FRM

Private Sub Command1_Click()

```
Datos.Show
Unload Me
End Sub
```

Private Sub rtfText_SelChange()

```
fMainForm.tbToolBar.Buttons("Negrita").Value = IIf(rtfText.SelBold, tbrPressed, tbrUnpressed)
fMainForm.tbToolBar.Buttons("Cursiva").Value = IIf(rtfText.SelItalic, tbrPressed, tbrUnpressed)
fMainForm.tbToolBar.Buttons("Subrayado").Value = IIf(rtfText.SelUnderline, tbrPressed,
tbrUnpressed)
fMainForm.tbToolBar.Buttons("Alinear a la izquierda").Value = IIf(rtfText.SelAlignment = rtfLeft,
tbrPressed, tbrUnpressed)
fMainForm.tbToolBar.Buttons("Centrar").Value = IIf(rtfText.SelAlignment = rtfCenter, tbrPressed,
tbrUnpressed)
fMainForm.tbToolBar.Buttons("Alinear a la derecha").Value = IIf(rtfText.SelAlignment = rtfRight,
tbrPressed, tbrUnpressed)
End Sub
```

Private Sub Form_Load()

```
Form_Resize
End Sub
```

Private Sub Form_Resize()

```
On Error Resume Next
'rtfText.Move 100, 100, Me.ScaleWidth - 200, Me.ScaleHeight - 200
'rtfText.RightMargin = rtfText.Width - 400
End Sub
```

FRMMAIN.FRM

```
Private Declare Function SendMessage Lib "user32" Alias "SendMessageA" (ByVal hwnd As Long,
ByVal wParam As Long, ByVal lParam As Any) As Long
Const EM_UNDO = &HC7
Private Declare Function OSWinHelp% Lib "user32" Alias "WinHelpA" (ByVal hwnd&, ByVal
HelpFile$, ByVal wCommand%, dwData As Any)
```

Private Sub MDIForm_Load()

```
Me.Left = GetSetting(App.Title, "Settings", "MainLeft", 1000)
Me.Top = GetSetting(App.Title, "Settings", "MainTop", 1000)
```



```
Me.Width = GetSetting(App.Title, "Settings", "MainWidth", 6500)
Me.Height = GetSetting(App.Title, "Settings", "MainHeight", 6500)
LoadNewDoc
End Sub
```

Private Sub LoadNewDoc()

```
Static IDocumentCount As Long
Dim frmD As frmDocument
IDocumentCount = IDocumentCount + 1
Set frmD = New frmDocument
frmD.Caption = "Document " & IDocumentCount
frmD.Show
End Sub
```

Private Sub MDIForm_Unload(Cancel As Integer)

```
If Me.WindowState <> vbMinimized Then
    SaveSetting App.Title, "Settings", "MainLeft", Me.Left
    SaveSetting App.Title, "Settings", "MainTop", Me.Top
    SaveSetting App.Title, "Settings", "MainWidth", Me.Width
    SaveSetting App.Title, "Settings", "MainHeight", Me.Height
End If
End Sub
```

Private Sub tbToolBar_ButtonClick(ByVal Button As MSComCtlLib.Button)

```
On Error Resume Next
Select Case Button.Key
    Case "Nuevo"
        LoadNewDoc
    Case "Abrir"
        mnuFileOpen_Click
    Case "Guardar"
        mnuFileSave_Click
    Case "Imprimir"
        mnuFilePrint_Click
    Case "Cortar"
        mnuEditCut_Click
    Case "Copiar"
        mnuEditCopy_Click
```

```

Case "Pegar"
    mnuEditPaste_Click
Case "Negrita"
    ActiveForm.rtfText.SelBold = Not ActiveForm.rtfText.SelBold
    Button.Value = If(ActiveForm.rtfText.SelBold, tbrPressed, tbrUnpressed)
Case "Cursiva"
    ActiveForm.rtfText.SelItalic = Not ActiveForm.rtfText.SelItalic
    Button.Value = If(ActiveForm.rtfText.SelItalic, tbrPressed, tbrUnpressed)
Case "Subrayado"
    ActiveForm.rtfText.SelUnderline = Not ActiveForm.rtfText.SelUnderline
    Button.Value = If(ActiveForm.rtfText.SelUnderline, tbrPressed, tbrUnpressed)
Case "Alinear a la izquierda"
    ActiveForm.rtfText.SelAlignment = rtfLeft
Case "Centrar"
    ActiveForm.rtfText.SelAlignment = rtfCenter
Case "Alinear a la derecha"
    ActiveForm.rtfText.SelAlignment = rtfRight
End Select
End Sub

```

Private Sub mnuHelpAbout_Click()

```

MsgBox "Versión " & App.Major & "." & App.Minor & "." & App.Revision
End Sub

```

Private Sub mnuHelpSearchForHelpOn_Click()

```

Dim nRet As Integer
'Si no hay archivo de ayuda para este proyecto, mostrar un mensaje al usuario
'puede establecer el archivo de Ayuda para su aplicación en el cuadro
'de diálogo Propiedades del proyecto
If Len(App.HelpFile) = 0 Then
    MsgBox "No se puede mostrar el contenido de la Ayuda. No hay Ayuda asociada a este
proyecto.", vbInformation, Me.Caption
Else
    On Error Resume Next
    nRet = OSWinHelp(Me.hwnd, App.HelpFile, 261, 0)
    If Err Then
        MsgBox Err.Description
    End If

```

```
End If  
End Sub
```

Private Sub mnuHelpContents_Click()

```
Dim nRet As Integer  
'Si no hay archivo de ayuda para este proyecto, mostrar un mensaje al usuario  
'puede establecer el archivo de Ayuda para la aplicación en el cuadro  
'de diálogo propiedades del proyecto  
If Len(App.HelpFile) = 0 Then  
    MsgBox "No se puede mostrar el contenido de la Ayuda. No hay Ayuda asociada a este  
    proyecto.", vbInformation, Me.Caption  
Else  
    On Error Resume Next  
    nRet = OSWinHelp(Me.hwnd, App.HelpFile, 3, 0)  
    If Err Then  
        MsgBox Err.Description  
    End If  
End If  
End Sub
```

Private Sub mnuWindowArrangelcons_Click()

```
Me.Arrange vbArrangelcons  
End Sub
```

Private Sub mnuWindowTileVertical_Click()

```
Me.Arrange vbTileVertical  
End Sub
```

Private Sub mnuWindowTileHorizontal_Click()

```
Me.Arrange vbTileHorizontal  
End Sub
```

Private Sub mnuWindowCascade_Click()

```
Me.Arrange vbCascade  
End Sub
```

Private Sub mnuWindowNewWindow_Click()

```
LoadNewDoc
```

End Sub

Private Sub mnuViewWebBrowser_Click()

'TareasPendientes: Agregar código 'mnuViewWebBrowser_Click'.

MsgBox "Agregar código 'mnuViewWebBrowser_Click'."

End Sub

Private Sub mnuViewOptions_Click()

'TareasPendientes: Agregar código 'mnuViewOptions_Click'.

MsgBox "Agregar código 'mnuViewOptions_Click'."

End Sub

Private Sub mnuViewRefresh_Click()

'TareasPendientes: Agregar código 'mnuViewRefresh_Click'.

MsgBox "Agregar código 'mnuViewRefresh_Click'."

End Sub

Private Sub mnuViewStatusBar_Click()

mnuViewStatusBar.Checked = Not mnuViewStatusBar.Checked

sbStatusBar.Visible = mnuViewStatusBar.Checked

End Sub

Private Sub mnuViewToolbar_Click()

mnuViewToolbar.Checked = Not mnuViewToolbar.Checked

tbToolBar.Visible = mnuViewToolbar.Checked

End Sub

Private Sub mnuEditPasteSpecial_Click()

'TareasPendientes: Agregar código 'mnuEditPasteSpecial_Click'.

MsgBox "Agregar código 'mnuEditPasteSpecial_Click'."

End Sub

Private Sub mnuEditPaste_Click()

On Error Resume Next

ActiveForm.rtfText.SelRTF = Clipboard.GetText

End Sub

Private Sub mnuEditCopy_Click()

```

On Error Resume Next
Clipboard.SetText ActiveForm.rtfText.SelRTF
End Sub

```

Private Sub mnuEditCut_Click()

```

On Error Resume Next
Clipboard.SetText ActiveForm.rtfText.SelRTF
ActiveForm.rtfText.SelText = vbNullString
End Sub

```

Private Sub mnuEditUndo_Click()

```

'TareasPendientes: Agregar código 'mnuEditUndo_Click'.
MsgBox "Agregar código 'mnuEditUndo_Click'."
End Sub

```

Private Sub mnuFileExit_Click()

```

'Descargar el formulario
Unload Me
End Sub

```

Private Sub mnuFileSend_Click()

```

'TareasPendientes: Agregar código 'mnuFileSend_Click'.
MsgBox "Agregar código 'mnuFileSend_Click'."
End Sub

```

Private Sub mnuFilePrint_Click()

```

On Error Resume Next
If ActiveForm Is Nothing Then Exit Sub
With dlgCommonDialog
    .DialogTitle = "Imprimir"
    .CancelError = True
    .Flags = cdIPDReturnDC + cdIPDNoPageNums
    If ActiveForm.rtfText.SelLength = 0 Then
        .Flags = .Flags + cdIPDAllPages
    Else
        .Flags = .Flags + cdIPDSelection
    End If
    .ShowPrinter

```

```
    If Err <> MSComDlg.cdlCancel Then
        ActiveForm.rtfText.SelPrint .hDC
    End If
End With
End Sub
```

Private Sub mnuFilePrintPreview_Click()

```
'TareasPendientes: Agregar código 'mnuFilePrintPreview_Click'.
MsgBox "Agregar código 'mnuFilePrintPreview_Click'."
End Sub
```

Private Sub mnuFilePageSetup_Click()

```
On Error Resume Next
With dlgCommonDialog
    .DialogTitle = "Configurar página"
    .CancelError = True
    .ShowPrinter
End With
End Sub
```

Private Sub mnuFileProperties_Click()

```
'TareasPendientes: Agregar código 'mnuFileProperties_Click'.
MsgBox "Agregar código 'mnuFileProperties_Click'."
End Sub
```

Private Sub mnuFileSaveAll_Click()

```
'TareasPendientes: Agregar código 'mnuFileSaveAll_Click'.
MsgBox "Agregar código 'mnuFileSaveAll_Click'."
End Sub
```

Private Sub mnuFileSaveAs_Click()

```
Dim sFile As String
If ActiveForm Is Nothing Then Exit Sub
With dlgCommonDialog
    .DialogTitle = "Guardar como"
    .CancelError = False
'Pendiente: establecer los indicadores y atributos del control common dialog
    .Filter = "Todos los archivos (*.*)|*.*"
```

```

.ShowSave
If Len(.FileName) = 0 Then
    Exit Sub
End If
sFile = .FileName
End With
ActiveForm.Caption = sFile
ActiveForm.rtfText.SaveFile sFile
End Sub

```

Private Sub mnuFileSave_Click()

```

Dim sFile As String
If Left$(ActiveForm.Caption, 8) = "Document" Then
    With dlgCommonDialog
        .DialogTitle = "Guardar"
        .CancelError = False
        'Pendiente: establecer los indicadores y atributos del control common dialog
        .Filter = "Todos los archivos (*.*)|*.*"
        .ShowSave
        If Len(.FileName) = 0 Then
            Exit Sub
        End If
        sFile = .FileName
    End With
    ActiveForm.rtfText.SaveFile sFile
Else
    sFile = ActiveForm.Caption
    ActiveForm.rtfText.SaveFile sFile
End If
End Sub

```

Private Sub mnuFileClose_Click()

```

'TareasPendientes: Agregar código 'mnuFileClose_Click'.
MsgBox "Agregar código 'mnuFileClose_Click'."
End Sub

```

Private Sub mnuFileOpen_Click()

```

Dim sFile As String

```

```

If ActiveForm Is Nothing Then LoadNewDoc
With dlgCommonDialog
    .DialogTitle = "Abrir"
    .CancelError = False
    'Pendiente: establecer los indicadores y los atributos del control common dialog
    .Filter = "Todos los archivos (*.*)|*.*"
    .ShowOpen
    If Len(.FileName) = 0 Then
        Exit Sub
    End If
    sFile = .FileName
End With
ActiveForm.rtfText.LoadFile sFile
ActiveForm.Caption = sFile
End Sub

```

```

Private Sub mnuFileNew_Click()
    LoadNewDoc
End Sub

```

GASTOS.FRM

```

Private Sub Command1_Click()
    Unload Me
    Datos.Visible = True
End Sub

```

```

Private Sub Command2_Click()
    On Error Resume Next
    With dlgCommonDialog
        .DialogTitle = "Imprimir"
        .CancelError = True
        .Flags = cdIPDReturnDC + cdIPDNoPageNums
        If ActiveForm.rtfText.SelLength = 0 Then
            .Flags = .Flags + cdIPDAllPages
        Else
            .Flags = .Flags + cdIPDSelection
        End If
    End With

```



```

        .ShowPrinter
        gastos.PrintForm
        Printer.EndDoc
    End With
End Sub

```

Private Sub Command3_Click()

```

If MsgBox("¿Está seguro de querer salir del programa de cálculo flujo V-Cone?", vbInformation +
vbYesNo, "Atención") = vbNo Then
    Cancel = True
Else
    End
End If
End Sub

```

Private Sub Form_Load()

```

Label2.Caption = Datos.Text11.Text
Label3.Caption = Datos.Text3.Text
Label4.Caption = Datos.Text4.Text
Label5.Caption = Datos.Text2.Text
Label6.Caption = Datos.Text1.Text
End Sub

```

RESULTADOS.FRM

Private Sub Command1_Click()

```

Unload Me
Datos.Visible = True
End Sub

```

Private Sub Command2_Click()

```

On Error Resume Next
    With dlgCommonDialog
        .DialogTitle = "Imprimir"
        .CancelError = True
        .Flags = cdIPDReturnDC + cdIPDNoPageNums
        If ActiveForm.rtfText.SelLength = 0 Then
            .Flags = .Flags + cdIPDAllPages
        End If
    End With

```

```
Else
    .Flags = .Flags + cdIPDSelection
End If
.ShowPrinter
resultados.PrintForm
Printer.EndDoc
End With
End Sub
```

Private Sub Command3_Click()

```
If MsgBox("¿Está seguro de querer salir del programa de cálculo flujo V-Cone?", vbInformation +
vbYesNo, "Atención") = vbNo Then
Cancel = True
Else
End
End If
End Sub
```

Private Sub Form_Load()

```
'datos de entrada
Text1 = Datos.Text3
Text2 = Datos.Text4
Text3 = Datos.Text8
Text4 = Datos.Text9
Text5 = Datos.Text5
Text6 = Datos.Text6
Text7 = Datos.Text7
Text8 = Datos.Text1
Text9 = Datos.Text2
Text10 = Datos.Text15
'datos de salida
Text18 = Datos.Text3 - Datos.Text4
Text17 = Round(Datos.Text14, 4)
Text16 = Round(Datos.Text13, 4)
Text15 = Datos.Text11
Text14 = Round(Datos.Text12, 2)
If Datos.Option5 = True Then
resultados.Text16.Visible = False
```

```
resultados.Label13.Visible = False
resultados.Label25.Visible = False
resultados.Text14.Visible = False
resultados.Label15.Visible = False
resultados.Label24.Visible = False
End If
If Datos.Option6 = True Then
resultados.Text16.Visible = True
resultados.Label13.Visible = True
resultados.Label25.Visible = True
resultados.Text14.Visible = True
resultados.Label15.Visible = True
resultados.Label24.Visible = True
End If
End Sub
```

MODULE1.BAS

```
Public fMainForm As frmMain
Sub Main()
    Set fMainForm = New frmMain
    fMainForm.Show
End Sub
```