

24/18



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"MEDICION CON PLACA DE ORIFICIO DE GAS
NATURAL Y OTROS FLUIDOS RELACIONADOS
A LOS HIDROCARBUROS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A :
GERARDO LOBATO BARRADAS





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 está 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.



FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-88

SR. GERARDO LOBATO BARRADAS.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. I. José A. Gómez Cabrera, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero petrolero:

"MEDICION CON PLACA DE ORIFICIO DE GAS NATURAL Y OTROS FLUIDOS
RELACIONADOS A LOS HIDROCARBUROS"

- I INTRODUCCION.
- I DEFINICIONES.
- II ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION E INSTALACION DE MEDIDORES.
- III DESARROLLO DE LAS ECUACIONES DE FLUJO.
- IV CALCULO DEL GASTO DE GAS NATURAL.
- V LIMITES DE INCERTIDUMBRE.
- VI PROPIEDADES FISICAS DE LOS FLUIDOS.
NOMENCLATURA.
APENDICES.

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente.
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 8 de junio de 1957.
EL DIRECTOR


DANIEL RESENDIZ NUÑEZ


DRN/RS/RS

I N D I C E

	Página
INTRODUCCION	1
Capítulo I. DEFINICIONES	5
1.1 Tipo de Medidores.	5
1.2 Elementos de Medición.	5
1.3 Medición de Presión.	5
1.4 Elemento Primario.	6
1.5 Gasto del Flujo del Orificio.	6
1.6 Densidad.	6
1.7 Factor de Expansión.	6
Capítulo II. ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACION DE MEDIDORES.	7
2.1 Diseño de una Estación General de Medición.	7
2.2 Especificaciones para la Placa de Orificio.	7
2.3 Especificaciones de los Tubos de Medición.	12
2.4 Longitud de la Tubería Anterior y Posterior al Orificio.	15
2.5 Ductos Directores.	25
2.6 Bridas Porta-orificio.	26
2.7 Porta Orificios (fitting).	27
2.8 Orificios de Toma de Presión.	27
2.9 Termómetros.	29
2.10 Flujo en Pulsos.	30
Capítulo III. DESARROLLO DE LAS ECUACIONES DE FLUJO.	32
3.1 Ecuaciones Generales de Flujo.	32
3.2 Coeficiente de Flujo (K).	35
3.3 Densidad del Fluido a las Condiciones de Flujo.	41
3.4 Medición del Gasto de Flujo.	44
Capítulo IV. CALCULO DEL GASTO DE GAS NATURAL.	48
4.1 Generalidades.	48
4.2 Ecuaciones.	48
4.3 Ecuaciones para Obtener el Gasto Volumétrico de Gas Utilizando los Factores de Cálculo.	53
4.4 Constante de Flujo del Orificio.	55
4.5 Factor Base del Orificio.	56
4.6 Factor del Número de Reynolds.	56
4.7 Factor de Expansión.	58
4.8 Condiciones Base de Flujo Incluidas en la Constante de Flujo del Orificio.	59
4.9 Factor de Presión Base.	60
4.10 Factor de Temperatura Base.	60

	Página
4.11 Factor de Temperatura de Flujo.	61
4.12 Factor de Densidad Relativa Real.	61
4.13 Factor de Supercompresibilidad.	63
4.14 Ajustes para los Instrumentos de Calibración y su Uso.	65
4.15 Ejemplo de Aplicación.	65
4.16 Ejemplo de Aplicación para un Gas Natural con Alto Contenido de CO ₂ .	75
Capítulo V. LÍMITES DE INCERTIDUMBRE.	84
5.1 Generalidades.	84
5.2 Ejemplo.	84
5.3 Repetibilidad de la Precisión.	85
5.4 Estimación de los Límites de Incertidumbre.	85
5.5 Tablas de Coeficientes.	85
5.6 Factores de Expansión.	87
5.7 Factores Base de Orificio por Medio de Pruebas de Flujo.	87
Capítulo VI. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS FLUIDOS.	88
6.1 Extensión.	88
6.2 Propiedades Físicas.	89
6.3 Valor Calorífico y Compresibilidad de Mezclas de Gases.	99
6.4 Compresibilidad del Gas Natural con Alto Contenido de Gases Asociados.	102
NOMENCLATURA.	
APENDICE A. CONSTANTES DE LAS ECUACIONES Y FACTORES DE CONVERSION.	
APENDICE B. CONSTANTES DE FLUJO DE ORIFICIO PARA INSTALACIONES CON TOMAS EN BRIDA.	
APENDICE C. CONSTANTES DE FLUJO DE ORIFICIO PARA INSTALACIONES CON TOMAS EN TUBERIA.	
APENDICE D. CONSTANTES DE FLUJO DE ORIFICIO PARA INSTALACIONES CON TOMAS EN BRIDA Y TOMAS EN TUBERIA.	
APENDICE E. AJUSTES PARA LA CALIBRACION Y USO DE INSTRUMENTOS.	
BIBLIOGRAFIA.	

INTRODUCCION.

Campo de Aplicación.

Este manual se aplica al gas natural, líquidos del gas natural y líquidos y gases asociados a los hidrocarburos, ambos como hidrocarburos puros, en mezclas de hidrocarburos puros, y en mezclas contaminadas con no hidrocarburos. Las propiedades físicas de los hidrocarburos puros y de los contaminantes puros asociados, no hidrocarburos, se presentan en la Tabla 5.

Cuando las propiedades físicas reales o las ecuaciones de estado apropiadas se utilizan para un hidrocarburo fluido dado, una mezcla de hidrocarburos fluidos, o una mezcla de fluido(s) de hidrocarburo y contaminantes, los métodos de cálculo proporcionarán resultados consistentes con los límites de incertidumbre establecidos para este manual. Debe hacerse notar que el uso de este manual para la medición de corrientes de líquidos y gases no hidrocarburos puede no proporcionar resultados consistentes con los límites de incertidumbre establecidos.

Antecedentes.

En mayo de 1924, la Junta de Directores de la Asociación de Gas Natural -- (que más tarde se convertiría en el Departamento de Gas Natural de la Asociación Americana de Gas) dirigió a su Comité Principal de Técnica e Investigación para establecer un nuevo subcomité conocido como Comité de Medición de Gas. Los objetivos de este nuevo comité, puntualizados por los directores, fueron los siguientes:

1. Determinar los métodos correctos de instalación de medidores con placa de orificio para la medición de gas natural.
2. Determinar los factores de corrección necesarios y requerimientos operativos en el uso de los medidores con placa de orificio, empleando gas natural en todos los trabajos de experimentación.
3. Obtener la cooperación y la asistencia del Consejo Nacional de Patrones y del Consejo de Minas de los Estados Unidos y obtener, si es posible, la asignación de miembros de su personal al Comité de Medición de Gas para asistencia en este trabajo.

Este Comité de Medición de Gas tuvo su primera reunión en noviembre de 1924 y discutió varios de los puntos del trabajo asignado. Comenzando en el verano de 1925 y extendiéndose por un periodo de 6 años, este comité condujo varios proyectos de investigación sobre medidores con placa de orificio.

El Comité de Medición de Gas publicó un reporte preliminar en 1927, el cual se revisó en 1929, y el Reporte No. 1 se editó en 1930. En la Introducción del Reporte No. 1 se hizo el comentario siguiente:

"Este no es un reporte final, pero está hecho con el entendimiento de que el comité continuará con sus estudios analíticos sobre los datos ya desarrollados. El comité espera que para esto será necesario conducir trabajos posteriores por sí mismo. Esto será necesario la publicación de reportes suplementarios, en los cuales se resumirán los datos y los principios matemáticos enunciados, los cuales son la base para el presente reporte, y tales modificaciones y extensiones se harán como datos adicionales y estudios posteriores que puedan requerirse."

En septiembre de 1931, este comité se unió con el Comité de Investigación Especial de Medidores de Fluido, de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, en la formación de un Comité Unido Sobre Medidores con Placa de Orificio, de tal forma que, cualquier publicación futura sobre medidores con placa de orificio hecha por estos dos comités concuerden. Este comité unido encontró que debían hacerse algunos proyectos adicionales de investigación sobre medidores con placa de orificio, especialmente para la determinación de los valores absolutos de los coeficientes de orificio. De allí en adelante, el comité hizo una formal petición de representantes del Consejo Nacional de Patrones para revisar los datos obtenidos de estos proyectos de investigación y reportar sus resultados al comité.

El Reporte No. 2 del Comité de Gas se publicó el 6 de mayo de 1935 con el objeto de suplir el Reporte No. 1. Dentro de ciertos límites explicados en este reporte, cualquier medidor con placa de orificio instalado de acuerdo con las bases y recomendaciones del Reporte No. 1 podrá llenar en todo tiempo los requerimientos establecidos en el Reporte No. 2. El uso de los factores dados en el Reporte No. 2 hizo posible la aplicación de medidores de orificio en un rango de condiciones mucho más amplio de los que anteriormente había sido posible.

La investigación del Reporte No. 2 se basó en un reporte especial de ingeniería hecho por la Junta de la Asociación Americana de Gas y la Sociedad Americana del Comité de Ingenieros Mecánicos en Coeficientes de Orificio para el Comité de Medición de Gas en octubre de 1934 y fue presentado y aceptado por el Comité principal de Técnica e Investigación en junio de 1935. El análisis de los datos presentador en el reporte de este comité unido fue hecho por el Dr. Edgar Buckingham y el Sr. Howard S. Bean del consejo Nacional de Patrones y fue verificado por el profesor Samuel R. Bettler para el comité. El reporte del comité unido, en su forma original, se pasó al comité editorial del consejo y fue aprobado para su publicación por el director del consejo.

Desde la publicación del Reporte No. 2, han surgido nuevos tipos de equipo para el uso en la construcción de estaciones medidoras con placa de orificio. Además, también ha surgido la necesidad de desarrollar tubos de medición de mayor diámetro y mayor peso para medir volúmenes más grandes de gas a presiones de medición más elevadas. La industria notó que el Reporte No. 2 debía ser actualizado. De esta forma, a principios de 1935, el Comité de Investiga--

ción de tubería del Plan PAR comisionó al Comité de Supervisión del proyecto -- PAR NX-7, con el propósito de desarrollar el Reporte No. 3 del Comité de Medición de Gas. Para mantener la cooperación entre la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos y la Asociación Americana de Gas en el desarrollo de las publicaciones sobre medidores con placa de orificio, los miembros del Comité de Supervisión tenían doble membresía, en la Sociedad Americana del Comité de Ingenieros Mecánicos de Investigación Sobre Medidores de Fluidos, Subcomité No. 5, así como en el Comité NX-7.

El Reporte No. 3 se editó para suplementar al Reporte No. 2. Generalmente todos los datos en este reporte fueron los mismos que los incluidos en el Reporte No. 2, excepto porque éste estaba extendido para cubrir un rango de condiciones más amplio. En muchas ocasiones se hicieron pequeños cambios y se agregaron comentarios para aclarar algunos de las condiciones presentadas en la aplicación práctica de los Reportes Nos. 1 y 2. En el Reporte No. 3, los factores de orificio se establecieron para una presión base de 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta, en lugar de la primera presión base de 14.4 libras por pulgada cuadrada absoluta. La tabla de factores de presión base contenida en el Reporte No. 3 hizo posible la determinación del gasto de gas en términos de cualquier presión base de contrato. Los resultados son consistentes con los obtenidos del Reporte No. 2.

Desde la publicación del Reporte No. 3, en 1955, han habido perfeccionamientos y nuevos desarrollos en la medición del gas natural. El propósito de la revisión de 1969 fue el de actualizar el reporte y hacer disponible información adicional, la cual se había desarrollado desde la publicación original. No se cambiaron los conceptos básicos del Reporte No. 3. El uso de tuberías de gran diámetro y nuevas técnicas de manufactura, así como el uso de las computadoras, requirió de material adicional para hacer el reporte más útil. Fundamentalmente, no obstante, estas revisiones no hicieron cambios apreciables en las cantidades computadas de gas para condiciones similares de flujo. Debe notarse que el material presentado sobre supercompresibilidad es un extracto del "Manual for Determining Supercompressibility Factors for Natural Gas Gas". Para obtener una máxima precisión se deberá emplear el material de este manual.

Durante 1975, el Comité Sobre Medición del Petróleo del Instituto Americano del Petróleo adoptó el Reporte No. 3 y lo aprobó como el Estándar API 2530, y para su publicación como el Capítulo 14.3 del "Manual of Petroleum Measurement Standards". Subsecuentemente, el Reporte No. 3 fue propuesto por el Instituto Americano del Petróleo como un Patrón Nacional Americano.

El Instituto Nacional Americano de Patrones aprobó el Reporte No. 3 como un Patrón Nacional Americano el 28 de junio de 1977, identificado como ANSI/API-2530. Durante 1982-83, el Comité Sobre Medición del Petróleo del API trabajó en cooperación con la Sociedad Americana de Gas para revisar el reporte. El API adoptó el reporte revisado por sufragio de su Comité Sobre Medición de Petróleo el 23 de noviembre de 1983.

Esta nueva revisión está hecha para actualizar el reporte, alterar el formato y mejorar su claridad y facilidad de aplicación. Se proporcionan varias formas de las ecuaciones de flujo. La elección de cualquier ecuación particular de --

flujo permanece bajo la elección del usuario y se espera que se haga sobre las bases de la forma preferida y de los datos de medición disponibles o requeridos para el cálculo. Los resultados del gasto calculado de flujo deben ser equivalentes en cualquiera de las siete formas de ecuación presentadas y también deben ser equivalentes a los obtenidos con la primera edición.

El coeficiente de flujo no ha sido actualizado en esta revisión. Se están llevando a cabo trabajos extensivos de prueba sobre medidores con placa de orificio (dos instalaciones de tubos de medición en 2, 3, 4, 6 y 10 pulgadas con dos arreglos de siete placas de orificio con cocientes beta de 0.1 a 0.75) empleando agua, gas natural, nitrógeno y líquidos de alta viscosidad como fluidos de prueba. Los trabajos sobre compresibilidad del gas también están desarrollándose sobre una lista ampliada de composiciones de gas y para presiones hasta 20,000 libras por pulgada cuadrada. Estos proyectos de prueba están apoyados con instalaciones, tecnología y experiencia y fondos provistos por el Consejo Nacional de Patrones, la Universidad de Oklahoma, la Universidad A&M de Texas, el Instituto Americano del Petróleo, la Asociación de Procesadores de Gas, la Asociación de Gas Comprimido, el Instituto de Investigación del Gas, la Asociación Americana de Gas y muchas otras.

Las recomendaciones sobre longitudes aproximadas, configuraciones de tubería y acondicionamiento de flujo, permanecen esencialmente sin cambio en esta revisión. El capítulo sobre límites de incertidumbre permanece sin cambio desde la edición de 1978. El trabajo en estas áreas y en el desarrollo de los datos básicos de descarga de orificio están actualmente en marcha. Nuevos rangos sobre la precisión surgirán naturalmente de la investigación actual y ofrecerá una base para cambios futuros en este manual.

CAPITULO I

DEFINICIONES

1.1 Tipos de Medidores

Este manual y sus especificaciones están limitados a los dos tipos de medidores de orificio siguientes:

1. Medidores de orificio con orificio circular localizado concéntricamente en el tubo de medición, con tomas de presión, corriente arriba y corriente abajo, - como las especificadas para tomas en brida en 1.3.
2. Medidores de orificio con orificio circular localizado concéntricamente en el tubo de medición, con tomas de presión, corriente arriba y corriente abajo, - como las especificadas para tomas en tubería en 1.3.

1.2 Elementos de medición

Este manual cubre la medición de gas natural y otros fluidos asociados con la producción, procesamiento, transportación y distribución de gas natural por medio del medidor de orificio, denominado elemento primario (esto es, la placa de orificio y el tubo de medición consistente de porta orificio (fitting) o bridas, porta-orificio, rectificadores de flujo y las secciones adyacentes de tubería) y los métodos de cálculo del gasto de flujo. Este manual no cubre el equipo empleado en la determinación de las presiones, temperaturas y otras variables, - las cuales deben conocerse para obtener una medición precisa del gasto de flujo de fluidos en tuberías.

1.3 Medición de presión

1.3.1 Orificio de Toma de Presión

Agujero perforado radialmente en la pared del tubo de medición, o conexión, - cuyo borde interior es liso y sin rebaba.

1.3.2 Tomas de Presión en Brida

La posición de los dos orificios de toma de presión: El centro de la toma de presión corriente arriba se localiza a una pulgada corriente arriba de la cara más cercana de la placa y el centro de la toma de presión corriente abajo se localiza a una pulgada corriente abajo de la cara más cercana de la placa.

1.3.3 Tomas de Presión en Tubería

La posición de los dos orificios de toma de presión: El centro de la toma de pre

sión corriente arriba se localiza a una distancia de dos y media veces el diámetro interior (de tablas) de la tubería, corriente arriba de la cara más cercana de la placa y el centro de la toma de presión corriente abajo se localiza a una distancia de ocho veces el diámetro interior (de tablas) de la tubería, corriente abajo de la cara más cercana de la placa.

1.3.4 Presión Diferencial

Es la diferencia entre la presión estática medida en la toma de presión corriente arriba y la medida en la toma de presión corriente abajo, para los orificios de toma de presión como los definidos en 1.3.2 ó 1.3.3.

1.3.5 Presión Estática

Es la presión del fluido medida en uno de los orificios de toma de presión como los definidos en 1.3.2 ó 1.3.3.

1.4 Elemento Primario

1.4.1 Diámetro del Orificio

El diámetro interior principal del orificio, como el especificado en 2.2.5.

1.4.2 Diámetro del Tubo de Medición

El diámetro interior principal del tubo de medición, como el especificado en 2.3.3.

1.5 Gasto del Flujo del Orificio

El gasto del flujo del orificio es la masa o el volumen que fluye a través de un orificio por unidad de tiempo.

1.6 Densidad

La densidad es la masa por unidad de volumen de fluido a las condiciones establecidas de presión y temperatura.

1.7 Factor de Expansión

El factor de expansión es un factor multiplicador empleado para corregir el gasto calculado del flujo debido a la reducción en la densidad que un fluido compresible experimenta cuando pasa a través de un orificio, como resultado del incremento de la velocidad del fluido y la disminución de la presión estática.

C A P I T U L O II

ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION E INSTALACION DE MEDIDORES

2.1 Diseño de una Estación General de Medición

La consideración principal en el diseño de una estación de medición es el -- mantener constante la precisión. Muchas particularidades deben ser considera-- das y reunidas dentro de las especificaciones para la manufactura del tubo de -- medición y su instalación en el sistema de tuberías para proporcionar precisión, -- la mejor accesibilidad, seguridad y espacio de trabajo para las operaciones. -- Estas características pueden combinarse dentro de una estructura de tuberías -- con acortamientos adecuados y construcciones de protección parciales o completas -- para acondicionar el lugar. La estación debe estar diseñada para requerir un m-- nimo de alteraciones en las tuberías para un cambio en los requerimientos de ca-- pacidad. Para obtener una guía sobre el diseño y la construcción de estaciones -- de medición, consultar las publicaciones de la Asociación Americana de Gas, el -- Instituto Americano del Petróleo y otras.

2.2 Especificaciones Para la Placa de Orificio

2.2.1 Dimensiones

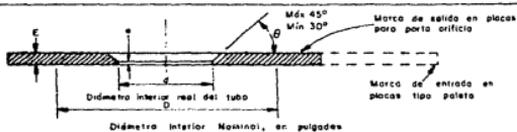
Las dimensiones de la placa de orificio deberán estar de acuerdo con la Figu-- ra 1. La rugosidad de la superficie de la placa de orificio no deberá exceder 50 -- micropulgadas.

2.2.2 Cara Corriente Arriba

La cara corriente arriba de la placa de orificio deberá ser tan plana como --- pueda obtenerse comercialmente y deberá ser perpendicular al eje del tubo de -- medición, cuando se coloque entre las bridas porta-orificio o en el porta orifi-- cio. Cualquiera placa que no se desvía del plano, a lo largo de cualquier diáme-- tro por un valor mayor que 0.005(D-d) pulgada, se considerará plana. Las des-- viaciones del plano deberán determinarse como se muestra en la Figura 2.

2.2.3 Borde Corriente Arriba del Orificio

El borde corriente arriba del orificio será en ángulo recto de tal forma que no -- muestre ningún rayo de luz cuando se revise con un medidor de borde o de orifi-- cio o, alternativamente, que no refleje ningún rayo de luz cuando sea visto sin -- aumento. El orificio no deberá tener un borde achaflanado o con rebaba. Deberá -- mantenerse en estas condiciones todo el tiempo. Más aún, la placa de orificio --

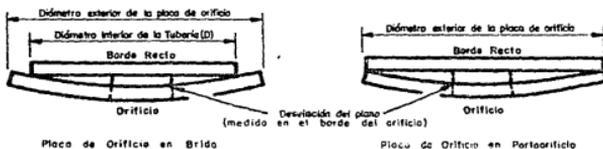


	Diámetro Interior Nominal, en pulgadas										
	2	3	4	6	8	10	12	16	20	24	30
Diámetro	1.627	2.628	3.132			9.52			19.412		
Interior	1.919	2.902	3.416	4.827	5.763	7.961	10.020	11.916	15.902	19.260	23.007
	2.097	2.300	3.068	3.728	4.028	5.187	4.067	4.071	10.136	11.374	12.766
									14.625	15.220	17.270
									22.672	23.126	26.790
									26.790	26.790	26.790
Espesor de la Placa de Orificio, E, en pulgadas											
Máximo	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115
Mínimo	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130
Recomendado	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
Espesor Máximo del Bordo del Orificio, e, en pulgadas											
Orificio	d										
	e ≤ d/8										
0.250	0.250										
0.375	0.375										
0.500	0.500										
0.625	0.625										
0.750	0.750										
0.875	0.875										
1.000	1.000										
1.125	1.125										
1.250	1.250										
1.375	1.375										
1.500	1.500										
1.625	1.625										
1.750	1.750										
1.875	1.875										
2.000	2.000										
2.125	2.125										
2.250	2.250										
2.375	2.375										
2.500	2.500										
2.625	2.625										
2.750	2.750										
2.875	2.875										
3.000	3.000										
3.125	3.125										
3.250	3.250										
3.375	3.375										
3.500	3.500										
3.625	3.625										
3.750	3.750										
3.875	3.875										
4.000	4.000										
4.125	4.125										
4.250	4.250										
4.375	4.375										
4.500	4.500										
4.625	4.625										
4.750	4.750										
4.875	4.875										
5.000	5.000										

Figura 1. Dimensiones de la Placa de Orificio

Notas sobre la Figura 1:

1. El espesor máximo del borde está definido por $e \leq D/50$ o $e \leq d/18$, el que sea menor.
2. El espesor del borde del orificio marcado en esta tabla con una x es el máximo para ese diámetro de tubo de medición en particular y es aplicable para todos los diámetros de orificio mayores para ese diámetro de tubería.
3. Los diámetros de orificio menores a los marcados con x están definidos por $e \leq d/8$.
4. Las placas de orificio cuyo espesor de borde alcance el valor $e \leq D/30$ no necesitarán biselarse de nuevo a menos que el acondicionamiento sea requerido por otras razones.
5. Todas las dimensiones están en pulgadas. Para facilidad en el maquinado, puede utilizarse el valor próximo de e en múltiplos pares de $1/16$ ó $1/32$ de pulgada, en donde e está dado en $1/64$ avos.
6. Las placas de orificio utilizadas para flujo en ambas direcciones no deberán biselarse. Cuando el valor e exceda los límites establecidos, la constante de flujo F_b podrá estar sujeta a una incertidumbre mayor.



Diámetro del Orificio, en pulgadas	Desviación Máxima del Plano en pulgadas											
	Diámetro Nominal del Tubo de Medición, en pulgadas											
	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24	30
0.125	0.009											
0.250	0.008											
0.375	0.008											
0.500	0.008	0.013										
0.625	0.007	0.012										
0.750	0.007	0.012	0.016	0.021								
0.875	0.006	0.011	0.016	0.025	0.036							
1.000	0.005	0.010	0.015	0.025	0.035	0.046						
1.250	0.004	0.009	0.014	0.024	0.034	0.044						
1.500	0.003	0.008	0.013	0.022	0.033	0.043	0.054					
1.750		0.007	0.011	0.022	0.032	0.042	0.052	0.066				
2.000		0.005	0.010	0.020	0.030	0.041	0.050	0.065	0.085			
2.250		0.004	0.009	0.019	0.029	0.039	0.049	0.063	0.083			
2.500			0.008	0.018	0.028	0.038	0.048	0.062	0.082	0.102		
2.750			0.006	0.017	0.027	0.037	0.047	0.061	0.081	0.101		
3.000			0.005	0.015	0.025	0.036	0.045	0.060	0.080	0.100	0.130	
3.250				0.014	0.024	0.034	0.044	0.058	0.078	0.098	0.128	
3.500				0.013	0.023	0.033	0.043	0.057	0.077	0.097	0.127	
3.750				0.012	0.022	0.032	0.042	0.056	0.076	0.096	0.126	
4.000					0.021	0.030	0.040	0.055	0.075	0.095	0.125	
4.500					0.018	0.028	0.038	0.051	0.071	0.091	0.121	
5.000					0.015	0.026	0.035	0.050	0.070	0.090	0.120	
5.500					0.013	0.023	0.033	0.047	0.067	0.087	0.117	
6.000					0.010	0.021	0.030	0.045	0.065	0.085	0.115	
6.500						0.018	0.028	0.042	0.062	0.082	0.112	
7.000						0.016	0.025	0.040	0.060	0.080	0.110	
7.500						0.013	0.023	0.037	0.057	0.077	0.107	
8.000							0.020	0.035	0.055	0.075	0.105	
8.500							0.018	0.032	0.052	0.072	0.102	
9.000							0.015	0.030	0.050	0.070	0.100	

(Véase nota)

NOTA: Para tamaños mayores calcular la dimensión desviación máxima del plano con $0.005(D-d)$.

Figura 2. Tolerancia de Curvatura de la Placa de Orificio

deberá mantenerse limpia y libre de acumulaciones de tierra, hielo o cualquier otro material extraño todo el tiempo. Las placas de orificio con una pequeña muesca o más en el bordo proporcionarán una medición menos precisa del flujo.

2.2.4 Colocación de la Placa

Al colocar placas de orificio, el orificio debe ser concéntrico al interior del tubo de medición o al porta orificio. La concentricidad debe mantenerse dentro del 3 por ciento del diámetro interior de las secciones corriente arriba y corriente abajo del tubo de medición o del porta orificio a lo largo de todos los diámetros. Las restricciones es más crítica en tubos de medición de diámetro pequeño, en tubos de medición con placas de orificio con grandes cocientes beta.

2.2.5 Diámetro del orificio

El diámetro del orificio principal está definido como el promedio aritmético de cuatro o más mediciones igualmente espaciadas de éste. El diámetro del orificio principal no deberá ser diferente del diámetro de orificio empleado en el cálculo del factor base de orificio, o de cualquier diámetro, por una cantidad mayor que las tolerancias mostradas en la Tabla 1 para poder aplicar los valores de incertidumbre proporcionados en este manual.

El diámetro del orificio principal debe usarse en las ecuaciones del coeficiente para obtener el coeficiente de flujo con el mínimo error. Deberá registrarse la temperatura de la placa de orificio en el momento de la medición del diámetro, para utilizarla en el cálculo del factor de expansión térmica F_a cuando sea apropiado hacerlo.

2.2.6 Uso de las Tablas

Cuando se utilicen las tablas de factores base de orificio, el diámetro del orificio principal deberá estar tan cerca como sea posible de los diámetros enlistados en ellas para tener el mínimo error.

2.2.7 Limitaciones del Cociente Beta

Este manual está basado en los cocientes beta, diámetro del orificio entre el diámetro del tubo de medición ($\beta = d/D$), considerando lo siguiente:

1. Medidores con tomas de presión en brida, beta deberá estar entre 0.15 y 0.70
2. Medidores con tomas de presión en tubería, beta deberá estar entre 0.20 y 0.67.

Estas limitaciones pueden ser excedidas cuando una menor precisión en la medición del flujo sea aceptable, como se describe en 3.2.3. El uso de cocientes beta menores a 0.15 puede ser necesario en ciertas aplicaciones de flujo y por esta razón la tabla de factores base de orificio F_b en Apéndice B incluye --

Tabla 1. Tolerancias Prácticas Para
Diámetros de Orificios.
(dimensiones en pulgadas)

Diámetro del orificio, d.	Tolerancia, Más o menos.
0.250	0.0003
0.375	0.0004
0.500	0.0005
0.625	0.0005
0.750	0.0005
0.875	0.0005
1.000	0.0005
Mayor que 1.000	0.0005 por pulgada del diámetro

coeficientes beta menores a 0.15.

2.3 Especificaciones de los Tubos de Medición

2.3.1 Definición

El término tubo de medición significará el tubo recto corriente arriba del -- mismo diámetro (de longitud A o A' de los diagramas de instalación, incluyendo ductos directores si es que se usan), las bridas porta-orificio o porta-orificio (fitting), y el tubo similar corriente abajo (longitud B en los diagramas de -- instalación) más allá del orificio. La longitud de los tubos corriente arriba y -- corriente abajo está establecida en 2.4.2. Las tolerancias del diámetro y las restricciones para la superficie interior del tubo de medición están establecidas en 2.3.4. No deberán existir conexiones de tubería dentro de estas dis-- tancias, excepto por las tomas de presión especificadas en 2.8 o para termómetros especificadas en 2.9.

2.3.2 Superficie Interior

Las secciones de tubería en las cuales están instaladas las bridas porta-orificio o los porta-orificio y las secciones que conforman las longitudes restantes del tubo de medición, como se define en 2.3.1, deberán cumplir con lo siguiente:

1. Las paredes del interior de la tubería deberán ser lisas (con una rugosidad menor a 300 micropulgadas). Puede emplearse tubería lisa comercial cuidadosa-

mente seleccionada. También puede usarse tubería sin costura o tubería a presión sin costura estirada en frío, asegurándose de que las paredes en su interior sean lisas. Puede emplearse tubería estirada sobre mandril (draw over mandrel), soldada con resistencia eléctrica (electric resistance welded), de costura recta manufacturada según los requerimientos del ASTM A 513, T-5. Para hacer más liso el interior del tubo de medición, las paredes del interior pueden maquinarse, pulirse o recubrirse.

2. Los canales, rayaduras, hendiduras y salientes que resulten de las costuras; distorsión causada por la soldadura y otras irregularidades (sin importar el tamaño de tales irregularidades) que afecten el diámetro interior en tales puntos por más de la tolerancia dada en la Figura 3 no deben permitirse. Cuando estas tolerancias se excedan, las irregularidades deberán corregirse.

3. El interior del tubo de medición estará limpio y libre de acumulación de contaminantes (suciedad, líquidos y otros).

2.3.3 Diámetro del Tubo de Medición

El diámetro interior principal del tubo de medición se determinará como sigue:

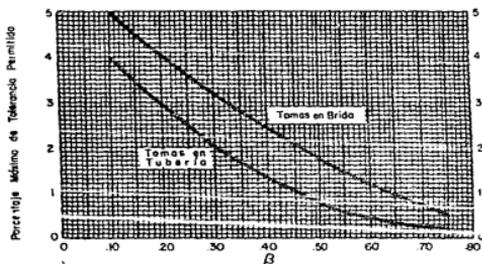
1. Se harán cuatro mediciones, por lo menos, igualmente espaciadas en un plano a una pulgada de distancia de la cara corriente arriba de la placa de orificio. La media (promedio aritmético) de estas cuatro o más mediciones se definirá como el diámetro principal del tubo de medición a emplearse en el cálculo del coeficiente de flujo, si se desea tener el error mínimo de esta variable.

2. Las mediciones de verificación del diámetro interior corriente arriba del tubo de medición deberán hacerse en dos o más secciones transversales adicionales. Los puntos reales de las mediciones de verificación del diámetro, circunferencial y axialmente a lo largo del tubo no se especifican. Estas verificaciones deberán tomarse en puntos que indicarán los diámetros máximo y mínimo que existen, cubriendo al menos dos mediciones de diámetro de tubería desde la cara de la placa de orificio, pasando la brida o la soldadura del porta orificio, la que se encuentre a mayor distancia. Estas mediciones se emplean para verificar la uniformidad corriente arriba del tubo de medición, pero no así para determinar el diámetro principal del tubo de medición.

3. La medición del diámetro interior de la sección corriente abajo del tubo de medición deberá hacerse en un plano a una pulgada de la cara correspondiente de la placa de orificio en esa dirección. Las mediciones de verificación del diámetro de la sección corriente abajo del tubo de medición se harán en otras dos secciones transversales similares a las establecidas en el punto anterior (Punto 2).

2.3.4 Tolerancias y Restricciones

Las tolerancias del diámetro y las restricciones para la superficie interior --



Nota: Se recomienda que para instalaciones nuevas en las cuales es factible el cambio del cociente beta, la tolerancia permitida para las variaciones en el tamaño de la tubería, como se muestra en la Figura 3, sea la misma que la tolerancia dada para el máximo cociente beta, $\beta = 0,75$.

Figura 3. Porcentaje Máximo de Tolerancia Permitida del Tubo de Medición.

del tubo de medición son:

1. La diferencia entre el máximo diámetro medido y el mínimo diámetro medido en la sección de entrada de flujo (sección corriente arriba) no excederá la tolerancia permitida por la Figura 3 como un porcentaje del diámetro principal definido en 2.3.3. La Ec. 1 puede utilizarse para calcular la variación de la sección corriente arriba del tubo de medición:

$$\frac{\text{Diámetro máximo} - \text{Diámetro mínimo}}{\text{Diámetro principal}} \times 100 \leq \text{Tolerancia en porcentaje en la Figura 3} \quad (1)$$

2. No existirán cambios bruscos en el diámetro (obstrucciones, ensanchamientos y demás) en los tubos de medición (Ver 2.3.3, punto 2).

3. El diámetro definido en 2.3.3 del tubo de medición debe coincidir con los diámetros proporcionados en la Tabla 2 dentro de la tolerancia permitida por la Figura 3, cuando se utilicen las tablas del Apéndice B para cálculos de medición de flujo (Ver 4.4.2).

4. Cualquier medición del diámetro en la sección corriente abajo no variará -- del diámetro principal definido en 2.3.3 del tubo de medición por una cantidad mayor que la tolerancia permitida por la Figura 3. La Ec. 2 puede emplearse para calcular la variación de la sección corriente abajo del tubo de medición:

$$\left| \frac{\text{Cualquier diámetro} - \text{Diámetro principal}}{\text{Diámetro principal}} \right| \times 100 \leq \text{Tolerancia en porcentaje en la Figura 3} \quad (2)$$

La aplicación de esta ecuación duplica la tolerancia de la sección corriente abajo del tubo de medición.

5. Deberá registrarse la temperatura a la cual se efectuaron las mediciones del tubo de medición para hacer posibles correcciones a condiciones de operación. Sin embargo, dentro de un rango de temperatura de 0°F a 120 °F, esta desviación ordinariamente no es mayor que las tolerancias permitidas por lo que no se requiere de tal corrección.

2.3.5 Uso de las Tablas

Con el objeto de utilizar las tablas de factores base de orificio, el diámetro interior principal de la sección corriente arriba del tubo de medición deberá estar tan cerca como sea posible del diámetro interior correspondiente proporcionado en la Tabla 2 para obtener una precisión máxima en la medición. Estos diámetros interiores se emplearon en el cálculo de las constantes en las tablas. Si el diámetro principal del tubo de medición difiere del diámetro interior en la Tabla 2 por una cantidad mayor que la tolerancia establecida anteriormente en la Figura 3, o si se desea tener una precisión máxima en la medición, deberá emplearse el diámetro principal del tubo de medición para calcular el cociente beta (diámetro del orificio entre el diámetro del tubo de medición) y también el coeficiente de flujo. Otros factores deberán calcularse con este valor exacto de beta, como se explica en los Capítulos III y IV. (Ver 4.4.2).

2.4 Longitud de la Tubería Anterior y Posterior al Orificio

2.4.1 Generalidades

Los factores de flujo de orificio proporcionados en este manual están basados en los resultados de muchos experimentos. En todos los casos, las condiciones normales de flujo se obtuvieron por medio del uso de secciones rectas --

Tabla 2. Dimensiones de la Tuberfa

Diámetro nominal (pg)	Diámetro interior Para la Cédula de la Tuberfa, en pulgadas									
	Doble Extra Fuerte	160	80	60	40	30	Extra Fuerte	20	Ver Nota 1	
2		1.627	1.932		2.067					
3	2.300	2.624	2.900		3.068					
4	3.152	3.438	3.826		4.026					
6	4.897	5.187	5.761		6.065					
8			7.625		7.981	8.071				
10			9.562		10.020	10.136				
12			11.374		11.938	12.090				
16				14.688	15.000	15.250				
20					18.812	19.000		19.250		
24					22.624		23.000	23.250		
30						28.750		29.000		
										29.250

Nota:

1. Este diámetro no tiene número de cédula.
2. Algunos de los diámetros interiores tabulados son distintos a los de publicaciones anteriores. Están basados en los datos dimensionales para el ANSI B3610. Los cambios resultan de un equivalente decimal modificado para el espesor fraccional de pared establecido en la edición de 1959 de ese patrón. Aunque el cambio en el diámetro interior es mínimo (0.002 pulgada) y sólo afecta a un número limitado de diámetros, la revisión se hizo para reflejar la práctica aceptada.

del tubo de medición, corriente arriba y corriente abajo de la placa de orificio, o por el uso de ductos directores. Para obtener resultados dentro de los valores de incertidumbre listados en este manual, se deberán alcanzar estas condiciones en la práctica.

2.4.2 Longitud del Tubo de Medición

Cualquier distorsión seria del perfil de flujo producirá errores en la medición de éste. Hay muchas configuraciones de tubería en las cuales el medidor de orificio no producirá resultados dentro de los valores de incertidumbre establecidos en este manual. Ciertos tipos comunes de instalaciones de tubería han sido estudiados, así como sus efectos sobre la precisión en la medición. En las Figuras 4 a la 8 se muestran las longitudes mínimas requeridas del tubo de medición. Para aquellas instalaciones que no estén explícitamente mostradas en los diagramas de instalación, deberá emplearse la Figura 4.

2.4.3 Diagramas de Instalación

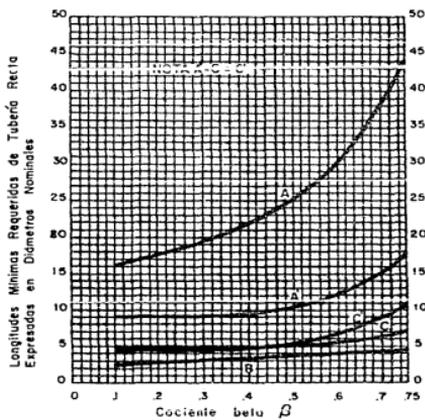
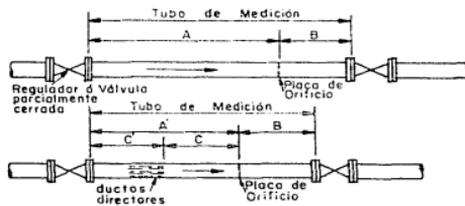
Las gráficas que acompañan los diagramas de instalación, Figuras 4 a la 8, indican que la longitud mínima requerida del tubo de medición varía con el cociente beta; se requiere de una mayor longitud del tubo de medición para valores más grandes del cociente beta. Cuando se requiera cambiar el diámetro de orificio para obtener condiciones distintas de flujo, la longitud del tubo de medición instalado deberá ser al menos la longitud dada para el máximo cociente beta que pueda emplearse. Es recomendable emplear tubos de medición de mayor longitud a las indicadas por las gráficas que acompañan los diagramas en las Figuras 4 a la 8. Cuando se utilicen ductos directores en tubos de medición de mayor longitud que la especificada para el valor beta dado, las dimensiones C y C' no deberán ser menores que las indicadas por las gráficas.

2.4.4 Requerimientos para el Uso de Ductos Directores

Al determinar si se requiere del uso de ductos directores o no, el factor gobernante puede no siempre ser la conexión más cercana en el extremo de admisión del tubo de medición. Cada diseño de una estación individual puede tener un conjunto distinto de condiciones. Por lo tanto sería impráctico establecer una serie de especificaciones que fueran apropiadas para todas las condiciones. La consideración principal deberá ser para minimizar la irregularidad del flujo en la placa de orificio, provocada por cualquier conexión situada corriente arriba.

2.4.5 Instalación con Válvula o Regulador Anterior al Tubo de Medición, Figura 4

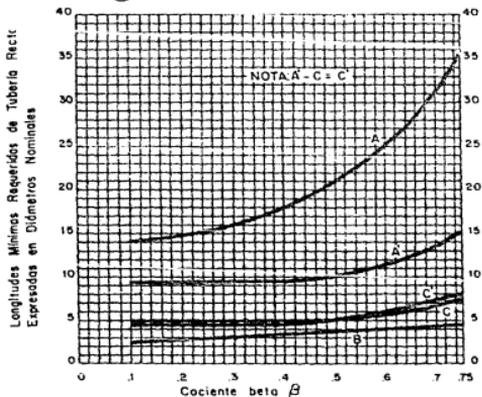
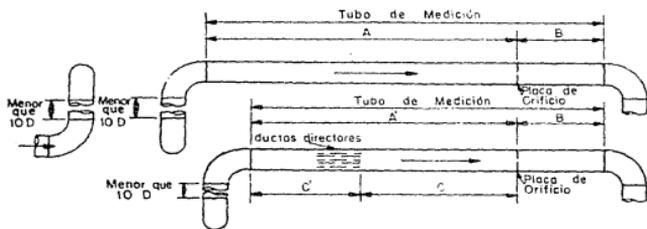
El diagrama de instalación en la Figura 4 muestra la longitud básica del tubo de medición. Este tubo de medición llevará acoplada una restricción en la sección de tubería corriente arriba del orificio. Las longitudes de los tubos de medición pueden reducirse bajo circunstancias específicas tal como se detalla —



Notas:

1. Cuando se utilicen tomas en tubería, las longitudes A, A' y C se incrementarán en dos diámetros de tubería y la longitud B en ocho diámetros de tubería.
2. Cuando se requiera cambiar el diámetro de orificio para obtener condiciones distintas, las longitudes de tubería recta deberán ser las requeridas para el máximo cociente beta que pueda usarse.

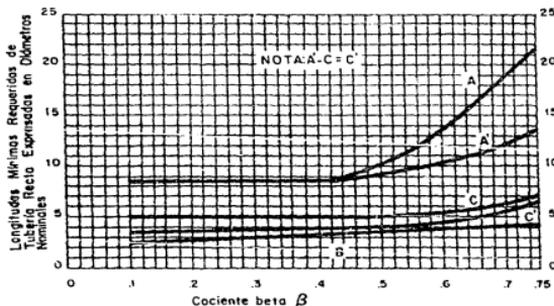
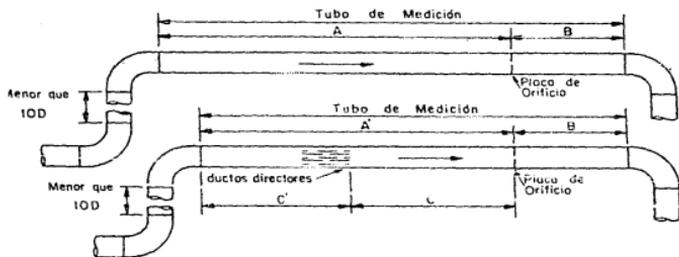
Figura 4. Válvula Parcialmente Cerrada Corriente Arriba del Tubo de Medición



Notas:

1. Cuando se utilicen tomas en tubería, las longitudes A, A' y C se incrementarán en dos diámetros de tubería y la longitud B en ocho diámetros de tubería.
2. Cuando se requiera cambiar el diámetro de orificio para obtener condiciones distintas las longitudes de tubería recta deberán ser las requeridas para el máximo cociente beta que pueda usarse.
3. Cuando los dos codos mostrados en el diagrama de arriba estén precedidos por un tercer codo, a una distancia menor que 3D, que no se encuentre en el mismo plano que aquellos, los requerimientos mostrados para A deberán duplicarse.

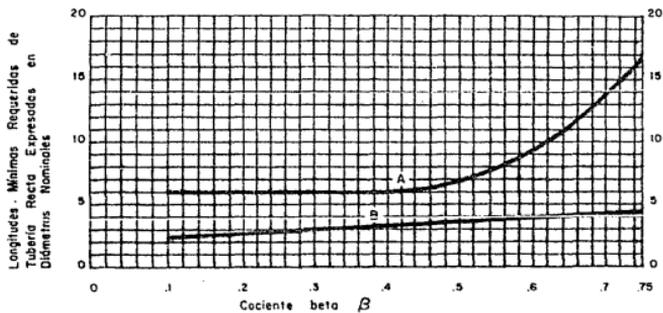
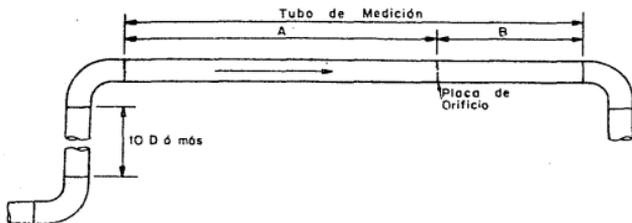
Figura 5. Dos Codos en Planos Distintos Corriente Arriba del Tubo de Medición



Notas:

1. Cuando se utilicen tomas en tubería, las longitudes A, A' y C se incrementarán en dos diámetros de tubería y la longitud B en ocho diámetros de tubería.
2. Cuando se requiera cambiar el diámetro del orificio para obtener condiciones distintas, las longitudes de tubería recta deberán ser las requeridas para el máximo cociente beta que pueda usarse.

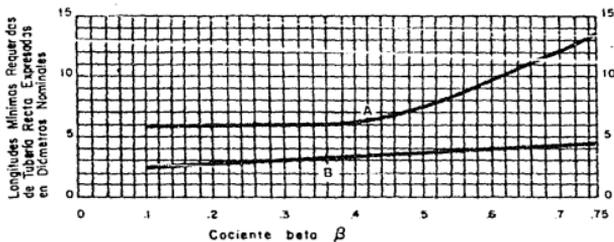
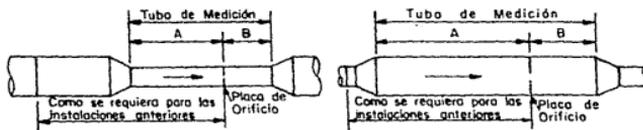
Figura 6. Codos a Menos de Diez Diámetros de Tubería (D) en el Mismo Plano Corriente Arriba del Tubo de Medición



Notas:

1. Cuando se utilicen tomas en tubería, la longitud A se incrementará en dos diámetros de tubería y la longitud B en ocho diámetros de tubería.
2. Cuando se requiera cambiar el diámetro del orificio para obtener condiciones distintas, las longitudes de la tubería recta deberán ser las requeridas para el máximo cociente beta que pueda usarse.
3. La tubería recta entre los codos debe ser al menos diez diámetros de longitud. Si esta longitud es menor, se aplicará la Figura 6.

Figura 7. Codos a Más de Diez Diámetros de Tubería (D) en el Mismo Plano Corriente Arriba del Tubo de Medición



Notas:

1. Cuando se utilicen tomas en tubería, la longitud A se incrementará en dos diámetros de tubería y la longitud B en ocho diámetros de tubería.
2. Cuando se requiera cambiar el diámetro del orificio para obtener condiciones distintas, las longitudes de la tubería recta deberán ser las requeridas para el máximo cociente beta que pueda usarse.
3. Los ductos directores no reducirán las longitudes A de tubería recta. No se requiere de ductos directores debido a los reductores. Podrán ser requeridos debido a otras conexiones que procedan al reductor. La longitud A será incrementada en una distancia igual a la longitud de los ductos directores cada vez que se utilicen.
4. Si el fluido en la tubería pudiera estar parcialmente condensado, se deberá evitar instalaciones en las que se presente una expansión, así como cualquier otra configuración que pueda crear un flujo en dos fases.

Figura 8. Reducción o Ensanchamiento Corriente Arriba del Tubo de Medición

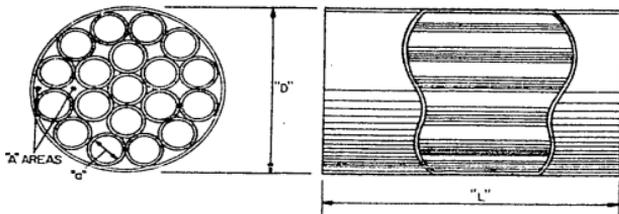
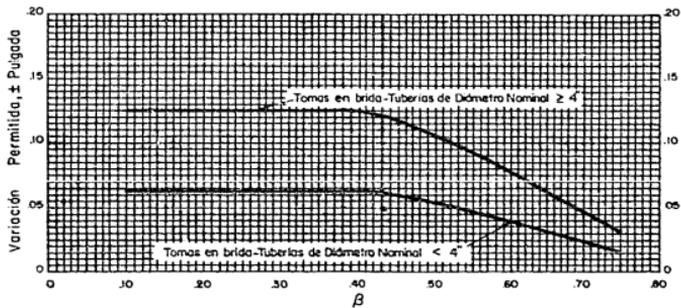


Figura 9. Ductos Directores



Notas:

1. Se recomienda el uso de un cociente beta máximo de $\beta = 0.75$ en el diseño de instalaciones nuevas.
2. Para tomas en tubería, utilice más o menos diez veces la tolerancia dada.

Figura 10. Variaciones Permitidas en la Localización de los Orificios de Toma de Presión

en párrafos subsecuentes. Para aquellas instalaciones que no estén explícitamente cubiertas en los diagramas de instalación 5 al 8, se recomienda emplear el diagrama de instalación de la Figura 4 para determinar la longitud del tubo de medición.

Las instalaciones hechas dentro de los límites dimensionales de la Figura 4 proporcionarán una longitud adecuada para colocar una válvula, la cual restringe el flujo de gas, en la parte inmediata corriente arriba del tubo de medición. Esta válvula puede ser un regulador o una válvula de compuerta, de globo, macho, etc., parcialmente cerrada. Sin embargo, si la abertura de la válvula es circular, o tiende a serlo, y si el área equivalente al área del tubo de medición y la válvula está completamente abierta durante la medición del flujo, puede considerarse que no crea ninguna irregularidad seria y puede tratarse como si se tuviera un codo en la parte inmediata anterior al tubo de medición. Bajo tales circunstancias, se deberán tener en consideración las otras conexiones inmediatamente anteriores a la válvula para procurar reducir las longitudes por debajo de las distancias básicas tabuladas para la Figura 4. En donde no haya otras conexiones y la válvula anterior al tubo de medición esté completamente abierta, se aplicará el diagrama de instalación de la Figura 6 para localizar las válvulas completamente abiertas.

2.4.6 Instalación de Dos Codos Anteriores al Tubo de Medición (Codos en Distintos Planos), Figura 5

El diagrama de instalación en la Figura 5 muestra dos codos, en ángulo recto entre sí (en distintos planos y separados por una distancia menor que diez diámetros de tubería recta) anteriores a la sección recta del tubo de medición. Con esta configuración de conexiones, las dimensiones básicas mostradas en la Figura 4 pueden reducirse a las indicadas en la Figura 5.

2.4.7 Instalación con Dos Codos Anteriores al Tubo de Medición (Codos en el Mismo Plano), Figuras 6 y 7

El diagrama de instalación en la Figura 6 muestra dos codos (en el mismo plano y separados por una distancia menor que diez diámetros de tubería recta) anteriores a la sección recta del tubo de medición. Con esta configuración de conexiones, las dimensiones básicas mostradas en la Figura 4 pueden reducirse a las indicadas en la Figura 6.

El diagrama de instalación de la Figura 7 muestra dos codos (en el mismo plano y separados por una distancia mayor o igual que diez diámetros de tubería recta) anteriores a la sección recta del tubo de medición. Con esta configuración de conexiones las dimensiones básicas mostradas en la Figura 4 pueden reducirse a las indicadas en la Figura 7.

2.4.8 Instalación de Reducciones y Ensanchamientos Anteriores al Tubo de Medición, Figura 8

El diagrama de instalación de la Figura 8 muestra el uso de una reducción anterior a la sección recta del tubo de medición, así como también el uso de un

ensanchamiento. Con esta configuración de conexiones las dimensiones básicas mostradas en la Figura 4 pueden reducirse a las indicadas en la Figura 8. Esta figura se aplica sólo cuando se emplean reducciones concéntricas. Cuando se empleen reducciones excéntricas la longitud de la sección recta del tubo de medición deberá determinarse utilizando la Figura 4.

2.5 Ductos Directores

2.5.1 Instalación

La instalación de los ductos directores tal como se indica en los diagramas de instalación, reducirá considerablemente la longitud requerida corriente arriba de la sección recta de tubería para una placa de orificio. El propósito de utilizar ductos es el de reducir o eliminar el efecto de remolinos y corrientes cruzadas originadas por conexiones en la tubería y por las válvulas anteriores al tubo de medición. Las especificaciones siguientes se aplican particularmente al tipo de ductos mostrados en la Figura 9. Al instalar ductos directores deben mantenerse limpios y libres de material que pueda acumularse contra el extremo corriente arriba.

2.5.2 Diseño

La máxima dimensión, a , Figura 9, de cualquier tubo a través de los ductos no excederá un cuarto ($1/4$) del diámetro interior, D , del tubo de medición. -- También, el área de la sección transversal, A , de cualquier canal dentro del arreglo de ductos no será mayor que un dieciséisavo ($1/16$) del área de la sección transversal del tubo de medición en el cual esté contenido. La longitud, L , será por lo menos diez veces la máxima dimensión interior, a . La longitud, L , que no exceda un medio de la dimensión C' en las Figuras 4, 5 y 6, o las dimensiones C' y A' en estas figuras deberá incrementarse. No es necesario que todos los tubos sean del mismo tamaño, pero su arreglo debe ser simétrico.

2.5.3 Tubos (ductos)

Los ductos (ver Figura 9) pueden construirse de tubería estándar; tubería de pared delgada; tubería de sección cuadrada, hexagonal u otra, soldados o montados con dos anillos en los extremos, lo suficientemente pequeños para deslizarse dentro del tubo de medición. El área de flujo bloqueada por los anillos deberá ser tan pequeña como pueda obtenerse prácticamente. Todos los tubos deberán ahusarse tan finamente como sea práctico en ambos extremos.

2.5.4 Fabricación

Los ductos directores deben fabricarse de material resistente. Después de instalarse en el tubo de medición, se deben fijar con seguridad en su lugar para prevenir que sean desalojados y empujados contra la placa de orificio.

2.6 Bridas Porta-orificio

2.6.1 Colocación en la Tubería

Las bridas porta-orificio para instalaciones nuevas o rediseñadas de tubos de medición con placa de orificio deberán construirse y colocarse en la tubería de tal forma que la superficie interna del tubo se extienda y sea continua a través de la brida porta-orificio sin que exista algún espacio en el sitio de la placa de orificio medido paralelo al eje del tubo de medición. Cuando se utilicen bridas porta-orificio tipo deslizable, el extremo de la tubería deberá soldarse de forma que la superficie interior de ésta sea continua con la superficie interior de la brida y después esta parte deberá alisarse. Tal maquinamiento para alisar no deberá cambiar la localización del orificio de toma de presión especificado en 2.8. Cualquier distorsión de la tubería que resulte de la soldadura de la brida porta-orificio a la tubería deberá removerse maquinándola o molliéndola.

Cuando se utilicen bridas porta-orificio tipo cuello soldable cualquier distorsión que resulte de la soldadura del tope deberá removerse maquinándola o molliéndola. El diámetro interior de la brida y de la sección de tubería en la cual se encuentre colocada deberá ser igual al diámetro interior principal de acuerdo con 2.3.3 y 2.3.4.

Cuando se utilicen empaques, deberán ser de tal diámetro que no resulten dentro del tubo de medición.

2.6.2 Huecos o Discontinuidad Junto a la Placa en Instalaciones Existentes

Si en instalaciones existentes hay una parte hueca o discontinuidad en la superficie interior del tubo de medición anterior a la placa de orificio, en la brida porta-orificio o entre el extremo de la tubería y la placa, cuya longitud medida paralela al eje del tubo de medición sea mayor que $1/4$ pg, las constantes de flujo de orificio dadas en este manual podrán utilizarse sólo si el cociente beta, diámetro del orificio entre el diámetro del tubo de medición, no es mayor que 0.3 en tuberías de 2 pg, que 0.4 para tuberías de 3 y 4 pg, y que 0.5 para tuberías mayores a 4 pg. Si este cociente es mayor entonces se reemplazará la brida porta-orificio corriente arriba o la parte hueca será rellena con plomo vaciado o con otro material que no sea atacado por el fluido en la tubería, y esta superficie se alisará y se hará continua hasta la placa de orificio. La brida porta-orificio corriente abajo se tratará de la misma forma.

2.6.3 Centrado de la Placa de Orificio

Con la disponibilidad de bridas porta-orificio de distintos tipos y capacidades de presión además de la variación en el diámetro del círculo que forman los pernos, el método de centrado de las placas de orificio en tubos de medición se deja al juicio del personal de diseño. Existen métodos comúnmente empleados para centrar placas de orificio como son el dimensionamiento del diámetro exterior de la placa de orificio al círculo de pernos de la brida, el uso de anillos espaciadores en los pernos de la brida, y la perforación de las bridas para

sujetarlas con pernos. Todos los métodos de centrado de placas deberán apegar se a la tolerancia especificada para la concentricidad en 2.2.4.

2.7 Porta Orificios (fitting)

2.7.1 Tolerancias

Las tolerancias que se aplicarán con respecto a la localización de los orificios de toma de presión, las dimensiones corriente arriba y corriente abajo de la placa de orificio y el centrado de la placa en el porta orificio deberán ser las mismas que las establecidas para las bridas porta-orificio. Estas tolerancias se apegarán a los porta orificio si se emplean las ecuaciones del coeficiente o las tablas de factores básicos de orificio dados en este manual para que -- los resultados se encuentren dentro de los valores de incertidumbre establecidos en 3.2.3 de este manual.

2.7.2 Colocación a la Tubería

Cuando se utiliza un porta orificio, el diámetro interior principal del tubo de medición conectado a la parte de admisión del porta orificio deberá coincidir -- con el diámetro interior principal de éste dentro de la tolerancia proporcionada por la Figura 3. Cuando se instale el porta orificio, primero deberá conectarse la parte de admisión a la sección corriente arriba del tubo de medición y centrarse cuidadosamente, después de lo cual se alzará cualquier irregularidad -- de esta unión. Para prevenir un desalineamiento en esta unión cuando no se ha hecho una conexión soldada, pueden maquinarse dos agujeros diametralmente -- opuestos para instalar pernos de ajuste apretado o de algún otro tipo. Pueden -- emplearse otros métodos de alineamiento, siempre que se obtenga el mismo resultado.

2.8 Orificios de Toma de Presión

2.8.1 Tomas para Bridas

Los tubos de medición que utilicen tomas en brida tendrán el centro del orificio de toma de presión corriente arriba localizado a 1 pg de la cara corriente arriba de la placa de orificio. El centro del orificio de toma de presión corriente abajo se localizará a 1 pg de la cara corriente abajo de la placa de orificio. Si las tomas de presión se localizan midiéndolas desde la cara de contacto de la brida, deberán tomarse en cuenta el empaque o el sostén de la placa. El orificio de toma se localizará a una distancia de 1 pg dentro de las tolerancias mostradas en la Figura 10.

2.8.2 Tomas en Tubería

Los tubos de medición que utilicen tomas en tubería tendrán el centro de la -- toma de presión corriente arriba localizado a una distancia de dos y media ve--

Use el diámetro interior (ver Tabla 2) de la cara corriente arriba de la placa de orificio. El centro del orificio de toma de presión corriente abajo se localizará a una distancia de ocho veces el diámetro interior (ver Tabla 2) de la cara corriente abajo de la placa de orificio. Refiérase a la Nota 2, Figura 10 para obtener las tolerancias permisibles.

2.8.3 Perforación

Los orificios de toma de presión se perforarán radialmente con respecto al tubo de medición; esto es, la línea a través del centro del orificio de toma deberá intersectar aproximadamente y formar un ángulo recto con el eje del tubo de medición.

2.8.4 Bordes

Los bordes de los orificios de toma de presión en la superficie interior del tubo de medición estarán libres de rebaba y pueden estar ligeramente redondeados.

2.8.5 Diámetro

El diámetro de los orificios de toma de presión en la superficie interior del tubo de medición estarán de acuerdo con la Tabla 3.

2.8.6 Fabricación

Cuando los tubos de medición utilicen tomas en brida, los orificios de toma de presión, en las bridas o en los port a orificio, pueden tener un diámetro mayor roscado en el extremo exterior para recibir el tamaño deseado de conexión - al registrador de presión diferencial.

Los tubos de medición que utilicen tomas en tubería tendrán un orificio del diámetro apropiado perforado a través de la pared del tubo según la Tabla 3. Este orificio no estará roscado. Deberá colocarse con gran cuidado una conexión a la tubería en este punto, para asegurarse de que el interior del tubo no se distorsione de ninguna forma.

El diámetro del orificio de toma (para ambos tipos de toma) no estará reducido dentro de una longitud igual a dos y media veces el diámetro del orificio de toma, medida desde la superficie interior del tubo de medición. Si el porta orificio se suelda a la tubería empleada para fabricar el tubo de medición, el orificio de toma no se perforará antes de hacer la soldadura.

2.9 Termómetros

Se deberán colocar termómetros para conocer la temperatura promedio del gas en la placa de orificio. Los termómetros pueden estar colocados corriente abajo del orificio desde una distancia igual a la dimensión b, medida desde la placa, hasta una distancia igual a cuatro veces la dimensión B, tal como se muestra en los diagramas de instalación en las Figuras 4 a la 8. Si se utilizan dug

Tabla 3. Orificios de Toma de Presión
(dimensiones en pulgadas)

Diámetro Interior Nominal del Tubo de Medición	Diámetro Nominal Recomendado del Orificio de Toma	Diámetro Nominal Máximo del Orificio de Toma	Diámetro Nominal Mínimo del Orificio de Toma
Menor que 2;	1/4	1/4	1/4
2, 3	3/8	3/8	1/4
Mayor o Igual que 4	1/2	1/2	1/4

Nota: El orificio de toma terminado tendrá una tolerancia de $\pm 1/64$ pulgada del diámetro nominal seleccionado de orificio de toma a lo largo de toda su longitud.

Los directores, el termómetro puede estar colocado a no menos de 12 pulgadas, ni más de 36 pulgadas, corriente arriba a partir del extremo de admisión del -- ducio.

2.10 Flujo en Pulsos

2.10.1 Origen

Las pulsaciones en una tubería, originadas por un dispositivo reciprocante, un dispositivo rotatorio, la apertura o cierre de válvulas o alguna otra fuente -- similar, consisten en cambios repentinos en la velocidad y en la presión del -- flujo del fluido. Los cambios en la presión son más aparentes y se asemejan a ondas sonoras de baja frecuencia, viajando a través del fluido, con una velo-- cidad independiente de la velocidad del flujo. Las fuentes más comunes de pul-- sación son:

1. Compresoras reciprocantes y motores.
2. Bombeo o reguladores de presión mal dimensionados y válvulas gastadas.
3. Movimiento irregular de volúmenes de agua o condensados de aceite en la tubería.

4. Pozos intermitentes y purgadores automáticos.

2.10.2 Efectos de la pulsación

No pueden obtenerse mediciones confiables de un flujo de gas con un medidor de orificio cuando, en el punto de medición, existen pulsaciones apreciables de cualquier fuente. No se ha encontrado un ajuste satisfactorio en la medición con placa de orificio cuando se presenta esta condición.

2.10.3 Reducción de la Pulsación

Para obtener mediciones confiables del gasto de flujo es necesario suprimir la pulsación. Las recomendaciones siguientes, en general, son valiosas en la disminución de la pulsación y/o de su efecto en la medición con placa de orificio.

1. Situar el tubo de medición en una localización más favorable tomando en cuenta la fuente de pulsación, tal como en la parte de admisión de los reguladores, o incrementando la distancia a la fuente de pulsación.
2. Insertar restricciones de capacidad (volumen) o de flujo, o filtros diseñados especialmente en la tubería entre la fuente de pulsación y el tubo de medición para reducir la amplitud de las pulsaciones.
3. Operar con caídas de presión en la placa tan altas como pueda conseguirse en la práctica, reemplazando la placa que esté en uso por una placa con orificio de menor diámetro, o concentrar el flujo en una instalación múltiple de tubos de medición, a través de un número limitado de tubos.
4. Utilizar tubos de medición de menor diámetro, manteniendo esencialmente el mismo diámetro de orificio, mientras se mantenga el límite práctico más alto en la caída de presión a través de la placa.

NOTA: Se han conducido muchos estudios y experimentos para evaluar los requerimientos y los métodos necesarios para lograr el objetivo del punto 2. Este material está más allá de la extensión de este manual y puede encontrarse en muchas publicaciones disponibles.

2.10.4 Detectores de pulsación

Se han desarrollado instrumentos mecánicos y eléctricos que indican la presencia de pulsaciones, las cuales pueden afectar la medición del medidor de orificio. No se ha desarrollado ningún instrumento que pueda proporcionar los efectos cuantitativos precisos de la pulsación en la medición de flujo.

CAPITULO III
DESARROLLO DE LAS ECUACIONES DE FLUJO

3.1 Ecuaciones Generales de Flujo

Este capítulo contiene las ecuaciones y los métodos empleados para calcular las constantes y los factores proporcionados en este manual. La palabra flujo se utiliza para describir el material que fluye a través del tubo de medición, en estado líquido o en estado gaseoso. El fluido que fluye por el tubo de medición y a través del orificio debe ser homogéneo, no una mezcla de gas y líquido, para poder aplicar los rangos de incertidumbre establecidos. La base para las ecuaciones de flujo para la medición con placa de orificio es la ecuación general de energía. Esta ecuación puede aplicarse entre dos puntos situados en la corriente de gas; el punto 1 corriente arriba de la placa; el punto 2 en el orificio de la placa;

$$144 \int V_e dp + \int \frac{v_f dv_f}{g_c} + \int g \frac{dh}{g_c} = -w - \text{pérdidas} \quad (3)$$

No debe confundirse el símbolo d de la diferencial con el símbolo d utilizado para denominar el diámetro del orificio (después de realizar la integración de la ecuación, el símbolo d sólo hará referencia al diámetro de orificio). Los puntos 1 y 2 se encuentran al mismo nivel, por lo que $dh = 0$. Debido a que el fluido no realiza trabajo, $w = 0$. El término "pérdidas" expresa las pérdidas por fricción debidas a la viscosidad y a la turbulencia del fluido. Estas pérdidas pueden manejarse de una forma más conveniente para realizar los cálculos sin hacer referencia al factor de fricción. Entonces la ecuación puede escribirse como:

$$144 C^2 \int V_e dp + \int \frac{v_f dv_f}{g_c} = 0 \quad (4)$$

Donde el término C^2 es una constante empírica que toma en cuenta la fricción y otras irreversibilidades.

El uso de la Ec. 4 requiere del conocimiento de la relación del volumen específico, V_e , y la presión, p , entre los puntos 1 y 2, pero para gases reales la in

tegración se vuelve muy complicada para una aplicación rutinaria. Debido a que la diferencial de presión, dp , es pequeña con respecto a la presión, puede utilizarse un valor promedio del volumen específico, V_e , (o de la densidad) para simplificar la integración de la Ec. 4. De esta forma:

$$C^2 V_e (1.44) (p_2 - p_1) + \frac{v_{f2}^2 - v_{f1}^2}{2g_c} = 0 \quad (5)$$

o

$$\frac{v_{f2}^2 - v_{f1}^2}{2g_c} = \frac{C^2 (1.44) (p_1 - p_2)}{\beta} \quad (6)$$

si q_m es el gasto másico, en lbm/s, entonces:

$$q_m = v_f A \quad (7)$$

o

$$v_f = \frac{q_m}{A} \quad (8)$$

sustituyendo la Ec.8 en la Ec. 6:

$$\frac{q_m^2}{2} \frac{1}{2g_c} \left[\left(\frac{1}{A_2} \right)^2 - \left(\frac{1}{A_1} \right)^2 \right] = \frac{1.44 C^2 (p_1 - p_2)}{\beta} \quad (9)$$

Nótese que v_{f1} está medida en el área A_1 , el tubo de medición y v_{f2} está medida en el área A_2 , el orificio. Introduciendo la relación $\beta = (d/D)$ y despejando q_m , se tiene que:

$$q_m = C A_2 Y \left[\frac{2g_c \beta (p_1 - p_2) (1.44)}{(1 - \beta^4)} \right]^{0.5} \quad (10)$$

Aquí se ha introducido un factor Y , denominado factor de expansión y se utiliza debido a que cuando un gas fluye a través de un orificio el cambio en la velocidad y en la presión, a diferencia de los líquidos, va acompañado por un cambio en la densidad. Este factor toma en cuenta este efecto. (Ver detalles en 3.2.6).

A_2 se define como:

$$A_2 = \frac{\pi d^2}{4(1.44)} \quad (11)$$

Y

$$P_1 - P_2 = \Delta P \quad (12)$$

Sustituyendo las Ecs. 11 y 12 en la Ec. 10 y ordenando los términos, se tiene:

$$q_m = \frac{C}{(1 - \beta^4)^{0.5}} \cdot Y \frac{\pi d^2}{4 \cdot 144} (2\sigma_c \rho_f \cdot 144 \Delta P)^{0.5} \quad (13)$$

que es la ecuación fundamental de flujo para la medición con placa de orificio - utilizada en este manual. También puede expresarse de la siguiente forma:

$$q_m = KY \frac{\pi d^2}{4 \cdot 144} (2\sigma_c \rho_f \cdot 144 \Delta P)^{0.5} \quad (14)$$

en donde:

$$K = \frac{C}{(1 - \beta^4)^{0.5}} = \frac{CD^2}{(D^4 - d^4)^{0.5}} \quad (15)$$

Pueden tomarse varios caminos para deducir las ecuaciones anteriores para flujo compresible a través de una placa de orificio instalada en un tubo de medición con tomas en brida o en tubería. No importa qué camino se tome, la ecuación resultante para flujo de masa es aceptada, como se estableció anteriormente. Cuando las ecuaciones anteriores se utilizan para describir el flujo de fluidos compresibles o incompresibles a través de medidores de orificio, el coeficiente empírico de descarga, C, es aproximadamente 0.6 y el coeficiente de flujo, K, varía aproximadamente de 0.6 a un poco más de 0.7.

El coeficiente de flujo, K, y el factor de expansión, Y, deben determinarse de datos de prueba. Estos factores no pueden deducirse matemáticamente.

Las ecuaciones de coeficiente de flujo y de expansión han sido desarrolladas a partir de datos de pruebas. Con estas ecuaciones se puede calcular el coeficiente de flujo y los factores de expansión para los distintos tamaños de tubos de medición y diámetros de orificio.

El gasto volumétrico de flujo a condiciones base puede calcularse empleando la ecuación:

$$q_v = \frac{q_m}{\rho_b} \quad (16)$$

De esta forma, el gasto másico del flujo puede convertirse a gasto volumétrico a condiciones base si la densidad del fluido puede determinarse a la condiciones base definidas.

El factor de expansión, Y, está incluido en las Ecs. 13 y 14 de flujo másico de manera que las ecuaciones puedan aplicarse para todos los fluidos en esta-

del líquido o en estado gaseoso. Se considera que el factor de expansión es igual a 1 (exactamente) para el agua (a 60 °F y a 1 atmósfera de presión) y para otros líquidos con una baja compresibilidad similar.

3.2 Coeficiente de Flujo

El coeficiente de flujo, K , debe determinarse experimentalmente. Las pruebas han mostrado que para cualquier tipo de toma de presión, K varía con respecto a D (el diámetro del tubo de medición), d (el diámetro del orificio), q_m (el gasto másico del flujo a través del orificio), ρ_f (la densidad del fluido) y μ (la viscosidad del fluido). Si el fluido es un gas, este coeficiente varía también con respecto a x (el cociente de la presión diferencial y la presión estática), y k (el cociente de los calores específicos del gas).

Con el objeto de predecir con precisión cuál será el coeficiente de flujo de cualquier medidor de orificio fabricado de acuerdo a las especificaciones de este manual, todos los hechos mencionados arriba concernientes al medidor de orificio y al fluido en medición deberán conocerse. Las relaciones entre estas funciones pueden simplificarse un poco para su aplicación al uso comercial. Puede mostrarse que el coeficiente de flujo depende del número de Reynolds, el cociente acústico (x/k), el diámetro del tubo de medición y el cociente beta.

El valor combinado de K (el coeficiente de flujo) y Y (el factor de expansión), correspondiente a la condición de medición se determina de los datos de prueba despejando de la Ec. 14 el producto KY :

$$KY = \frac{4q_m}{\sqrt{\frac{d^2}{144}} (2g_c \rho_f 144 \Delta p)^{0.5}} \quad (17)$$

Si el fluido utilizado para la prueba es incompresible, la solución de la Ec. 17 proporciona un valor de K (debido a que $Y=1$ (exactamente) para fluidos compresibles, por definición).

3.2.1 Ecuaciones Empíricas Para Calcular K .

Los valores de K utilizados en las ecuaciones de flujo pueden calcularse por medio de la solución de las ecuaciones empíricas para representar los datos del coeficiente de las pruebas realizadas. Las ecuaciones particular es utilizadas están tomadas de un reporte hecho para el comité por el Departamento Nacional de Patrones, fechado el 15 de mayo de 1934, el cual fue preparado por el Dr. E. Buckingham y el Sr. Howard S. Bean. Estas ecuaciones empíricas expresan originalmente el diámetro D del tubo de medición y el diámetro d del orificio en pulgadas. Pueden utilizarse diámetros en otras unidades convertidas a pulgadas en las Ecs. 18 a la 24 sin pérdida de precisión.

$$\begin{aligned}
 K_e = & 0.5993 + \frac{0.007}{D} + (0.364 + \frac{0.076}{D^{0.5}})\beta^4 + 0.4(1.6 - \frac{1}{D})^5 \\
 & ((0.07 + \frac{0.5}{D} - \beta)^{5/2} - (0.009 + \frac{0.034}{D})(0.5 - \beta)^{3/2} \\
 & + (\frac{65}{D^2} + 3)(\beta - 0.7)^{5/2}
 \end{aligned} \tag{18}$$

Donde:

K_e = coeficiente de flujo cuando el número de Reynolds en el orificio, R_d , es igual a $d(10^5)/15$.

Para tomas en tubería:

$$\begin{aligned}
 K_o = & 0.0323 + \frac{0.0182}{D} + (0.440 - \frac{0.06}{D})\beta^2 + (0.955 + \frac{0.225}{D})\beta^5 \\
 & + 1.35\beta^{14} + \frac{1.43}{D^{0.5}}(0.25 - \beta)^{5/2}
 \end{aligned} \tag{19}$$

NOTA: En las Ecs. 18 y 19, los signos de algunos de los términos con exponentes fraccionales se vuelven negativos para algunos valores de beta. En tales casos, estos términos se despreciarán o su valor será tratado como cero, y en donde estos términos son un factor de otro término, el producto entero será tratado como cero.

Para tomas en brida y en tubería:

$$K_o = \frac{K_o}{1 + \frac{15E}{d(10^5)}} \tag{20}$$

Donde:

K_o = El coeficiente de flujo cuando el número de Reynolds en el orificio es infinitamente grande.

El valor de E está dado por la siguiente ecuación:

$$E = d(830 - 5000\beta + 9000\beta^2 - 4200\beta^3 + B) \quad (21)$$

Donde:

$$B = \frac{530}{D^{0.5}} ; \quad \text{para tomas en brida} \quad (22)$$

$$B = \frac{875}{D} + 75 ; \quad \text{para tomas en tuberfa} \quad (23)$$

De esta forma, K, para cualquier valor de R_d , puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$K = K_c \left(1 + \frac{E}{R_d} \right) \quad (24)$$

3.2.2 Número de Reynolds

El número de Reynolds en el orificio se utiliza como el parámetro de correlación para representar el cambio en el coeficiente de flujo, K, con referencia al gasto del fluido (su velocidad a través del orificio), su densidad y su viscosidad. El cociente E/R_d en la Ec. 19 sirve para dividir el número de Reynolds entre el diámetro del orificio, de tal forma que los valores del coeficiente K de flujo, representando gastos distintos a través del medidor de orificio, se calculan como una función de la velocidad del fluido, la densidad y la viscosidad. El número de Reynolds se expresa como:

$$R_d = \frac{124.013 v_i d \rho_i}{\mu} \quad (25)$$

NOTA: Para instrucciones sobre el cálculo apropiado del número de Reynolds y el factor de expansión para líquidos, ver en "Liquefied Petroleum Gas Measurement, API MPMS", Capítulo 14.8, de edición más reciente.

3.2.3 Rangos de Incertidumbre (Precisión) del Coeficiente de Flujo

Los coeficientes de flujo calculados de estas ecuaciones se aplicarán a los medidores de orificio construidos e instalados de acuerdo con las instrucciones del Capítulo II con tubos de medición con diámetro interior no menor que 1.6 -- pulgadas y un cociente beta entre 0.10 y 0.75.

Los coeficientes calculados para tomas en brida por medio de las ecuaciones anteriores están sujetos a un rango de incertidumbre de +/- 0.5% cuando el co-

ciente beta se encuentre entre 0.15 y 0.70. Cuando el cociente beta sea menor que 0.15 o mayor que 0.70, el rango de incertidumbre puede ser mayor que +/- 1%.

Para tomas en tubería, el rango de incertidumbre es de +/-0.75% para cocientes beta entre 0.20 y 0.67 y puede ser tan grande como +/- 1.5% para cocientes beta menores que 0.20 o mayores que 0.67.

El coeficiente de flujo puede calcularse utilizando el diámetro principal del tubo de medición (definido en 2.3.3) para cualquier tubo de medición entre 2 y 30 pulgadas (diámetro nominal). Los coeficientes pueden calcularse para tubos de medición de mayor diámetro pero la precisión puede disminuir.

3.2.4 Ecuación de Flujo en el Orificio.

Las ecuaciones de flujo desarrolladas, 13 y 14, expresan las relaciones del flujo para los medidores de orificio con tomas en brida y en tubería. El coeficiente del flujo, K , está determinado de las pruebas llevadas a cabo con agua y otros fluidos de prueba utilizando la Eq. 17. Los datos de prueba junto con las características del equipo, patrones de calibración, fluido utilizado, calibración de flujo y la instrumentación se registraron con detalle. De esta forma K es un coeficiente empírico y puede representarse por medio de tablas numéricas, curvas o ecuaciones. Los procedimientos en este manual y las tablas relacionadas están basados en los valores de X calculados de las ecuaciones ajustadas a los datos experimentales realizados.

3.2.5 Ecuación del Coeficiente de Flujo Para la Medición con Placa de Orificio.

La ecuación desarrollada de flujo másico, ecuación 14 arreglada como ecuación 17, se convierte en la definición del producto de K y Y . Estas ecuaciones son aplicables a pruebas bien controladas sobre agua con el propósito de desarrollar valores de K . Pruebas similares realizadas con fluidos compresibles proporcionan datos con el propósito de desarrollar valores para Y . El amplio uso de los medidores con placa de orificio para medir el flujo de fluidos, como componentes puros o en mezclas, en fase líquida y gaseosa bajo un amplio rango de presiones estáticas y de temperaturas requiere de consideraciones adicionales. Por lo tanto, es común el calcular el valor de K y de Y de tablas o por medio de la solución de las ecuaciones 18, 20, 21, 22 y 24 para medidores con placa de orificio con tomas en brida, o las ecuaciones 19, 20, 21, 23 y 24 para medidores con placa de orificio con tomas en tubería, en lugar de realizar extensivas calibraciones de flujo sobre cada medidor de orificio manufacturado. Para obtener un cálculo preciso del valor de K , el tubo de medición debe estar dentro de las tolerancias de diseño proporcionadas en este manual.

3.2.6 Factor de Expansión.

Quando el gas fluye a través de un orificio, el cambio en la velocidad del fluido y en la presión estática está acompañado por un cambio en la densidad, por lo que debe aplicarse un factor al coeficiente para ajustarlo debido a este -

Cambio. Este factor se conoce como el factor de expansión Y y puede calcularse de las siguientes ecuaciones tomadas del reporte hecho al comité de la Asociación Americana de Gas por el Departamento Nacional de Patrones, preparado por el Sr. Howard S. Bean, con fecha del 26 de mayo de 1934.

NOTA: Para instrucciones sobre el cálculo apropiado del número de Reynolds y el factor de expansión para líquidos, ver en "API MPMS, Liquefied Petroleum - Gas Measurement" Capítulo 14.8, de edición más reciente.

3.2.6.1 Factor de Expansión Referido a la Presión Corriente Arriba

Si se utiliza la presión estática absoluta de la toma de presión corriente arriba, entonces el valor del factor de expansión Y_1 puede calcularse utilizando la ecuación:

Para tomas en brida:

$$Y_1 = 1 - (0.41 + 0.35\beta^4) \frac{x_1}{k} \quad (26)$$

Para tomas en tubería:

$$Y_1 = 1 - (0.333 + 1.145(\beta^2 + 0.7\beta^5 + 12\beta^{13})) \frac{x_1}{k} \quad (27)$$

Y

$$x_1 = \frac{P_{f1} - P_{f2}}{P_{f1}} = \frac{h_w}{N_1 P_{f1}} \quad (28)$$

Donde:

$$N_1 = 27.707$$

Y_1 = el factor de expansión basado en la presión estática absoluta medida en la toma corriente arriba. Los valores de Y_1 calculados por medio de estas ecuaciones están sujetos a una tolerancia que varía de cero, cuando $x = 0$, hasta $\pm 0.5\%$, cuando $x = 0.20$. Para valores mayores de x puede tenerse una precisión un poco menor. La ecuación para tomas en brida puede utilizarse para un rango de coeficientes beta de 0.10 a 0.80, mientras que para tomas en tubería puede utilizarse sobre un rango de 0.10 a 0.70.

x_1/k = el cociente acústico.

$k = c_p/c_v$, el cociente del calor específico del gas a presión constante y el calor específico del gas a volumen constante, a condiciones de flujo (una práctica aceptada es el uso del cociente a condiciones estándar para la mayoría de las mediciones en fase gaseosa). Se utilizó un valor de 1.3 para las tablas del factor de expansión presentadas en el Apéndice.

El uso de los subíndices 1 y 2 en este manual se discute en 3.4.9.

3.2.6.2 Factor de Expansión Referido a la Presión Corriente Abajo

Si se utiliza la presión estática absoluta de la toma de presión corriente abajo, entonces el valor del factor de expansión Y_2 puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

Para tomas en brida:

$$Y_2 = Y_1 \left(\frac{1}{1 - x_1} \right)^{0.5} \quad (29)$$

$$Y_2 = (1 + x_2)^{0.5} - (0.41 + 0.35\beta^4) \frac{x_2}{k(1 + x_2)^{0.5}} \quad (30)$$

Para tomas en tubería:

$$Y_2 = (1 + x_2)^{0.5} - (0.333 + 1.145(\beta^2 + 0.7\beta^5 + 12\beta^{13})) \left(\frac{x_2}{k(1 + x_2)^{0.5}} \right) \quad (31)$$

y

$$x_2 = \frac{P_{f1} - P_{f2}}{P_{f2}} = \frac{h_w}{N_2 P_{f2}} \quad (32)$$

Donde:

$$N_2 = 27.707$$

Y_2 = el factor de expansión basado en la presión estática absoluta medida en la toma corriente abajo.

NOTA: Para obtener una discusión técnica sobre el factor de expansión, ver en "Quantity-Rate Fluid Meters", por Edward S. Smith, Jr., Paper No. 719, World Engineering Congress, Tokio, 1929; También de la National Bureau of Standards, Journal of Research, Vol. VI, May 1931 (R.P.-303), "Note on Contraction Coefficients for Jets of Gas", y Vol. XI, July 1932 (R.P.-459), "The expansion Factor of Gases", ambos por el Dr. E. Buckingham.

3.3 Densidad del Fluido a las Condiciones de Flujo

Los valores apropiados de la densidad del fluido pueden obtenerse de varias fuentes distintas. Las ecuaciones de estado que representan al fluido (puro o en forma de mezcla) en fase líquida y en fase gaseosa son convenientes cuando se utilizan computadoras o microprocesadores con capacidad suficiente. También pueden elaborarse tablas utilizando las ecuaciones de estado. Las tablas pueden utilizarse en el cálculo del flujo o también se puede usar una tabla matricial con rutinas de interpolación en un microprocesador. Estas tablas de densidad deben tener un tamaño considerable si cubren un amplio rango de condiciones con pequeños incrementos. Las tablas de densidad y las tablas matriciales tienen la inconveniencia de que la extrapolación necesaria para incluir presiones y temperaturas inesperadas no puede hacerse con facilidad y precisión en el lugar de la medición.

La precisión de la medición del flujo puede tener grandes variaciones a ciertas condiciones de flujo. La imprecisión de todas las mediciones de flujo puede alcanzar hasta el 10% o más debido a errores en los valores de la densidad del fluido, las mediciones en la presión, temperatura y la composición del fluido cuando las condiciones de flujo se aproximan al punto crítico (presión y temperatura críticas) del fluido. También pequeños porcentajes de componentes de materiales con una presión de vapor menor que la del componente principal pueden provocar un flujo en dos fases y, con esto, errores impredecibles en la medición cuando las temperaturas de flujo están cerca de la temperatura de condensación del componente principal.

La densidad del fluido a las condiciones de flujo puede medirse utilizando medidores de densidad. La mayoría de los medidores de densidad, como resultado de su diseño físico, no pueden medir la densidad en la localización de las tomas de presión. Por lo tanto, la diferencia de la densidad del fluido entre la densidad medida y aquella que existe en la localización definida en la toma de presión puede disminuir significativamente la precisión de la medición del flujo a menos que se aplique una corrección por densidad del fluido.

3.3.1 Cálculo de la Densidad del Fluido Utilizando las Ecuaciones de la Ley de los Gases.

La densidad del fluido puede calcularse utilizando las ecuaciones de la ley de los gases ideales y correcciones apropiadas por compresibilidad del gas cuando se reordenan para obtener valores de ρ_f . Ver la Ec. 37.

3.3.2 Densidad Basada en la Densidad Relativa Ideal.

Las densidades ρ_f y ρ_b del gas requeridas en las Ecs. 13, 14 y 16 pueden calcularse con las ecuaciones de la ley de los gases. Cuando ρ_{f1} se sustituye en lugar de ρ_b en la Ec. 16, se calculará el volumen a condiciones de flujo (definido por medio de ρ_{f1}). Las ecuaciones de la ley de los gases y los arreglos para obtener los valores de densidad son:

$$N_3 P_f V = n Z_f R T_f \quad (33)$$

y

$$n = \frac{m}{M_r} \quad (34)$$

Donde:

$$N_3 = 144$$

Si se define a G_1 como la densidad relativa ideal del gas, entonces:

$$G_1 = \frac{M_r(\text{gas})}{M_r(\text{aire})} = \frac{M_r(\text{gas})}{28.9625} \quad (35)$$

$$N_3 P_f V = \frac{m}{G_1 M_r(\text{aire})} Z_f R T_f \quad (36)$$

$$\rho_f = \frac{m}{V} = \frac{N_4 G_1 M_r(\text{aire}) P_f}{Z_f R T_f} \quad (37)$$

$$\rho_{f1} = \frac{N_4 M_r(\text{aire}) G_1 P_f}{R Z_{f1} T_f} \quad (38)$$

$$\rho_b = \frac{N_4 M_r(\text{aire}) G_1 P_b}{R Z_b T_b} \quad (39)$$

Donde:

$$N_4 = 144$$

ρ_{f1} = densidad del fluido en la toma corriente arriba.

ρ_b = densidad del fluido a la presión P_b y a la temperatura T_b .

3.3.3 Densidad Basada en la Densidad Relativa Real.

Para obtener la densidad relativa real, la relación con la densidad relativa ideal está dada por la siguiente ecuación:

$$G_1 = G_r \frac{P_{(aire)} T_{(gas)} Z_{(gas)}}{P_{(gas)} T_{(aire)} Z_{(aire)}} \quad (40)$$

Cuando las densidades de las muestras de gas y de aire están dadas a la presión y a la temperatura base, la ecuación se reduce a:

$$G_1 = \frac{G_r Z_b(gas)}{Z_b(aire)} \quad (41)$$

Donde:

G_r = densidad relativa real del gas que fluye, a condiciones base (aire seco = 1 (exactamente)).

Para obtener la densidad a condiciones base de 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta y 60 grados Fahrenheit, puede sustituirse $Z_b(aire)$ por su valor, 0.99949, a estas condiciones, obteniendo:

$$G_1 = \frac{G_r Z_b(gas)}{0.99949} \quad (42)$$

Las densidades del fluido pueden calcularse a partir de las densidades reales utilizando las ecuaciones siguientes, obtenidas al sustituir la Ec. 41 en las Ecs. 38 y 39.

$$P_f = \frac{N_4 M_r(\text{aire}) Z_b G_r P_{f1}}{R Z_b(\text{aire}) Z_{f1} T_f} \quad (43)$$

$$P_b = \frac{N_4 M_r(\text{aire}) G_r P_b}{R Z_b(\text{aire}) T_b} \quad (44)$$

Para obtener la densidad a condiciones base de 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta y 60 grados Fahrenheit, puede sustituirse $Z_b(\text{aire})$ por su valor, 0.99949, a estas condiciones, obteniendo:

$$P_{f1} = \frac{N_4 M_r(\text{aire}) Z_b G_r P_{f1}}{0.99949 R Z_{f1} T_f} \quad (45)$$

$$P_b = \frac{N_4 M_r(\text{aire}) G_r P_b}{0.99949 R T_b} \quad (46)$$

3.4 Medición del Gasto de Flujo

3.4.1 Generalidades

Las ecuaciones y las constantes que se encuentran en esta sección se aplican estrictamente a los medidores con placa de orificio de los tipos especificados en 1.1 e instalados de acuerdo con el Capítulo II de este manual. El medidor con placa de orificio es esencialmente un medidor de masa a partir del cual se desarrolla una señal diferencial de presión que está en función de la aceleración del fluido conforme pasa a través del orificio. La manipulación de la variable densidad en la ecuación permite el cálculo del gasto de flujo en unidades de masa o de volumen.

3.4.2 Ecuaciones Para la Medición en Unidades Fundamentales

La comunidad industrial en el presente emplea distintas unidades de medición para el gasto y para las variables involucradas. Las Ecs. 14, 16, 38, 39, 43 y 44 de este capítulo han sido combinadas matemáticamente para producir seis ecuaciones genéricas para utilizarse en distintos tipos de necesidades. Los resultados de cada una de las seis ecuaciones son equivalentes a todas las demás cuando las ecuaciones se aplican rigurosamente.

Estas ecuaciones están basadas sobre la información proporcionada en el "Flow Measurement Engineering Handbook", por R. W. Milier, publicado en 1963 por McGraw-Hill Company.

3.4.3 Ecuación Para Obtener el Gásto Másico Cuando se Conoce la Densidad del Fluido

La Ec. 47 escrita a continuación, para obtener el gasto másico, es idéntica a la Ec. 14 con la excepción de que se reordenó para agrupar las constantes:

$$q_m = \frac{\pi}{4} (144) \left(\frac{2g_c}{144} \right)^{0.5} K Y_1 d^2 (\rho_{fl} \Delta P)^{0.5} \quad (47)$$

3.4.4 Ecuación Para Obtener el Gasto Volumétrico Cuando se Conocen las Densidades del Fluido

La Ec. 48 se deriva al sustituir la Ec. 47 en la Ec. 16. La Ec. 48 proporciona el gasto volumétrico a condiciones base cuando ρ_{fl} y ρ_b pueden obtenerse por medio de pruebas, medición o por medio del uso de ecuaciones de estado:

$$q_v = \frac{\frac{\pi}{4} (144) \left(\frac{2g_c}{144} \right)^{0.5} K Y_1 d^2 (\rho_{fl} \Delta P)^{0.5}}{\rho_b} \quad (48)$$

Cuando ρ_{fl} se sustituye en lugar de ρ_b , el gasto volumétrico se obtiene a condiciones de flujo.

3.4.5 Ecuación Para Obtener el Gasto Másico Cuando se Conoce la Densidad Relativa Ideal del Fluido

La Ec. 38 se sustituye en la Ec. 47 para obtener la Ec. 49:

$$q_m = \frac{\pi}{4} \left(2g_c \frac{M_r(\text{aire})}{R} \right)^{0.5} KY_1 d^2 \left(\frac{G_i P_{f1} \Delta P}{Z_{f1} T_f} \right)^{0.5} \quad (49)$$

3.4.6 Ecuación Para Obtener el Gasto Volumétrico Cuando se Conoce la Densidad Relativa Ideal del Fluido

Las Ecs. 38 y 39 se sustituyen en la Ec. 48 para obtener la Ec. 50, la cual proporciona el gasto volumétrico a condiciones base:

$$q_v = \frac{\pi}{4 (144)} \left(2g_c \frac{R}{M_r(\text{aire})} \right)^{0.5} KY_1 d^2 \frac{T_b Z_b}{P_b} \left(\frac{P_{f1} \Delta P}{G_i Z_{f1} T_f} \right)^{0.5} \quad (50)$$

3.4.7 Ecuación Para Calcular el Gasto Másico Cuando se Conoce la Densidad Relativa Real del Fluido

La Ec. 43 se sustituye en la Ec. 47 para obtener la Ec. 51:

$$q_m = \frac{\pi}{4} \left(2g_c \frac{M_r(\text{aire})}{R \frac{Z_b(\text{aire})}{Z_b(\text{aire})}} \right)^{0.5} KY_1 d^2 \left(\frac{Z_b G_r P_{f1} \Delta P}{Z_{f1} T_f} \right)^{0.5} \quad (51)$$

3.4.8 Ecuación Para Calcular el Gasto Volumétrico Cuando se Conoce la Densidad Relativa Real del Fluido

Las Ecs. 43 y 44 se sustituyen en la Ec. 48 para obtener la Ec. 52, la cual proporciona el gasto volumétrico a condiciones base:

$$q_v = \frac{\pi}{4 (144)} \left(2g_c \frac{R Z_b(\text{aire})}{M_r(\text{aire})} \right)^{0.5} KY_1 d^2 \frac{T_b}{P_b} \left(\frac{Z_b P_{f1} \Delta P}{Z_{f1} G_r T_f} \right)^{0.5} \quad (52)$$

3.4.9 Símbolos y Unidades de las Ecuaciones 47 a la 52

Una presión de una libra fuerza por pulgada cuadrada se define como la fuerza de 1 libra masa (lbm) ejercida sobre un área de 1 pulgada cuadrada cuando actúa por medio de la aceleración estándar de cada libra, 32.17405 pie por segundo cuadrado.

El subíndice 1 en el factor de expansión Y_1 , la densidad del flujo ρ_{f1} , la presión estática del fluido P_{f1} , y la compresibilidad del fluido Z_{f1} indican que estas variables se medirán, calcularán o se determinarán de otra forma para el fluido a las condiciones en la toma corriente arriba.

Estas variables pueden relacionarse a la toma de presión corriente abajo cuando se identifiquen por medio del subíndice 2, como Y_2 , ρ_{f2} , P_{f2} y Z_{f2} , y pueden utilizarse en las ecuaciones anteriores obteniendo la misma precisión para los gastos calculados. El subíndice 1 se utiliza en las ecuaciones anteriores para enfatizar la necesidad de tener consistencia en la relación de estas cuatro variables para la elección de la toma de presión estática de referencia.

La temperatura del fluido, T_f , no tiene un subíndice numérico debido a que la temperatura generalmente se mide corriente abajo de la placa de orificio para evitar y tener al mínimo la turbulencia del fluido. Se supone que no existe diferencia en la temperatura del fluido en las dos localizaciones de las tomas de presión.

A continuación se listan los factores constantes que pueden ser utilizados en las ecuaciones anteriores, en el Sistema Internacional y en el Sistema Libra-Pulgada (P). Se deberá vigilar que las unidades utilizadas en las variables y constantes de las ecuaciones sean consistentes (para factores de conversión consultar el Apéndice A):

	SI	IP
g_c = Constante de conversión dimensional.	1 (kg/m)/(N/m ²)	32.17405 (lbm pie)/(lbf-s ²)
M_r (aire)	28.9625 kg/kg mol	28.9625 lbm/lb mol
R = constante del gas.	8314.41 J/kg mol-K	1545.337 lbf-pie/lb mol - °R

CAPITULO IV

CALCULO DEL GASTO DE GAS NATURAL

4.1 Generalidades

El cálculo del gasto a través de medidores con placa de orificio y la obtención de las constantes necesarias utilizadas en estos cálculos está confinado estrictamente a los medidores de orificio de los tipos especificados en el Capítulo I de este manual e instalados de acuerdo a las estipulaciones del Capítulo II.

4.2 Ecuaciones

Un medidor con placa de orificio es esencialmente un medidor de flujo de masa, basado sobre los conceptos de conservación de la masa y de la energía. Las ecuaciones siguientes expresan el flujo en términos de masa o volumen por unidad de tiempo y producen resultados idénticos. Algunas veces es conveniente reducir las constantes numéricas a un solo valor.

Cualquier tabla aquí mostrada que represente la solución a estas ecuaciones incorpora las constantes siguientes:

$$\gamma = 3.141\ 592\ 653\ 5$$

$$T = ^\circ R = 459.67 + ^\circ F$$

$$M_p(\text{aire}) = \text{masa molar del aire} = 28.9625 \text{ libra masa/libra mol.}$$

$$Z_b(\text{aire}) = \text{compresibilidad del aire a } 14.73 \text{ libras por pulgada cuadrada absoluta y a } 60 ^\circ F = 0.99949.$$

$$\rho_{(H_2O)} = \text{densidad del agua a } 60 ^\circ F \text{ y } 14.73 \text{ libras por pulgada cuadrada absoluta} = 62.3663 \text{ libra masa/pie cúbico.}$$

Las constantes físicas se presentan en el Capítulo VI. La densidad del agua fue proporcionada por el Comité Nacional de Patrones del Departamento de Comercio de los E. U.

4.2.1 Coeficiente de Flujo

El coeficiente, K, de flujo es una parte de todas las ecuaciones de gasto de flujo. Este coeficiente varía con respecto al número de Reynolds en el orificio y el número de Reynolds varía con respecto al gasto a través del orificio.

Para el cálculo del gasto de un fluido a través de un medidor con placa de orificio se utilizan varios procedimientos. Aquí se discuten tres de ellos:

1. Solución directa. El coeficiente de flujo puede calcularse al combinar la ecuación del número de Reynolds obteniendo una ecuación de segundo grado y resolviéndola para K utilizando la fórmula cuadrática.

La velocidad del fluido puede obtenerse en términos del gasto por medio de la relación:

$$v_f = \frac{183.346 q_m}{d^2 \rho_{fl}} = \frac{183.346 q_v \rho_b}{d^2 \rho_{fl}} \quad (53)$$

Sustituyendo estas ecuaciones en la Ec. 25 y haciendo ρ_f igual a ρ_{fl} , el número de Reynolds se expresa como:

$$R_d = \frac{N_5 q_m}{d \mu} \quad (54)$$

y

$$R_d = \frac{N_6 q_v \rho_b}{d \mu} \quad (55)$$

Donde:

$$N_5 = 22737.4$$

$$N_6 = 22737.4$$

Las ecuaciones anteriores son aplicables a cualquiera de las ecuaciones de flujo para obtener q_m y q_v . Para simplificar la expresión de las relaciones siguientes, se hace la igualdad:

$$q_m = KA \quad (56)$$

Donde:

A = los términos restantes de una ecuación de flujo (cualquiera de las ecuaciones 47, 49 ó 51).

y:

$$R_d = q_m B \quad (57)$$

Donde:

B = los términos restantes de la Ec. 54 del número de Reynolds.

Sustituyendo la Ec. 56 en la Ec. 57:

$$R_d = K A B \quad (58)$$

Sustituyendo la Ec. 58 en la Ec. 24:

$$K = K_0 \left(1 + \frac{E}{K A B} \right) \quad (59)$$

Multiplicando ambos miembros por K A B e igualando a cero:

$$ABK^2 - ABK_0K - K_0E = 0 \quad (60)$$

Aplicando la fórmula cuadrática para la raíz positiva, la ecuación queda como:

$$K = \frac{K_0 + (K_0^2 + 4K_0E/AB)^{0.5}}{2} \quad (61)$$

Sustituyendo la Ec. 61 o su solución en cualquiera de las ecuaciones de flujo - (para gasto másico y volumétrico debido a que $q_m = q_v \rho_b$) se obtiene una -

forma de hacer el cálculo directo del gasto cuando los términos A y B incluyen las constantes numéricas necesarias.

2. Iteración. Este procedimiento comienza con la primera estimación del valor de K seguido por el cálculo del gasto, el número de Reynolds a través del orificio y el valor de K para este número de Reynolds. El valor calculado de K se utiliza entonces como una segunda estimación y los procedimientos de cálculo se repiten hasta que el valor estimado de K y el valor calculado de K coincidan dentro de límites aceptables.

3. Tablas B2 y C2. En la Tabla D8 del Apéndice D se proporcionan valores de K para utilizarlos en el cálculo de los valores de h_w en las Tablas B2 y C2 (de los Apéndices B y C) los cuales se utilizan para calcular el valor del factor F_p para gas natural con densidad relativa de 0.6. Este procedimiento se utiliza frecuentemente para hacer mediciones de gas natural sin los pesos de iteración.

4.2.2 Ecuaciones para Obtener el Gasto Mésico o Volumétrico Cuando se Conoce la Densidad del Fluido

La Ec. 62 permite hacer el cálculo directo de la masa en libras por segundo cuando la densidad del fluido se conoce (por medio de su cálculo a partir de una ecuación de estado o por medición) y cuando se aplican las unidades y constantes apropiadas.

La presión ejercida por una pulgada de agua a 60 °F se define como 1/12 de la fuerza que 1 pie cúbico ejerce sobre un área de 1 pulgada cuadrada cuando actúa bajo y por medio de la aceleración estándar de caída libre, igual a 32.17405 pie por segundo cuadrado.

Sustituyendo las constantes numéricas por un solo valor en la Ec. 47 y utilizando h_w (en pulgadas de agua) en lugar de ΔP se obtiene lo siguiente:

$$q_m = N_7 K Y_1 d^2 (\rho_{fl} h_w)^{0.5} \quad (62)$$

Donde:

$$N_7 = 0.0997424$$

La Ec. 62 dividida entre la densidad base proporciona el gasto volumétrico en pies cúbicos por segundo. Esta se expresa como:

$$q_v = \frac{N_8 K Y_1 d^2 (\rho_{fl} h_w)^{0.5}}{\rho_b} \quad (63)$$

Donde:

$$N_8 = 0.0997424$$

El subíndice 1 del factor de expansión Y_1 y de la densidad ρ_{f1} indican condiciones de presión estática en la toma corriente arriba. Esta es una selección arbitraria utilizada para ilustrar la relación de Y con la densidad seleccionada. Las condiciones de presión estática en la toma corriente abajo, Y_2 y ρ_2 , pueden utilizarse con la misma precisión. Ver 3.4.9.

Las Ecs. 47, 48, 62 y 63 son aplicables a fluidos en fase líquida o en fase gaseosa.

4.2.3 Ecuaciones Para Obtener el Caudal Másico o Volumétrico de Gases Cuando se Conoce la Densidad Relativa Ideal

Las ecuaciones para obtener las relaciones de masa y volumen del gas pueden expresarse en términos de la densidad relativa ideal. Sustituyendo las constantes numéricas por un solo valor en la Ec. 49 y utilizando h_w (en pulgadas de agua) en lugar de ΔP , se obtiene lo siguiente:

$$q_m = N_9 KY_1 d^2 \left(\frac{G_1 P_{f1} h_w}{Z_{f1} T_f} \right)^{0.5} \quad (64)$$

Donde:

$$N_9 = 0.163858$$

Sustituyendo las constantes numéricas por un solo valor en la Ec. 50 y utilizando h_w (en pulgadas de agua) en lugar de ΔP , se obtiene lo siguiente:

$$q_v = N_{10} KY_1 d^2 \left(\frac{T_b Z_b}{P_b} \right) \left(\frac{P_{f1} h_w}{G_1 Z_{f1} T_f} \right)^{0.5} \quad (65)$$

Donde:

$$N_{10} = 0.0607144$$

4.2.4 Ecuaciones Para Obtener el Gasto Másico o Volumétrico de Gases Cuando se Conoce la Densidad Relativa Real

El flujo másico o volumétrico por segundo del gas puede calcularse utilizando la densidad relativa real. La densidad relativa real se define como el cociente de la densidad del gas y la densidad del aire seco cuando la presión y la temperatura del gas y del aire están a las condiciones base definidas para las unidades seleccionadas de volumen. Esto tiene una base histórica pero puede disminuir la precisión del cálculo debido a las limitaciones de medidores de densidad en el campo. Sustituyendo la Ec. 45 en la Ec. 47, las constantes numéricas por un solo valor y h_w en lugar de ΔP , se tiene:

$$q_m = N_{11} K V_1 d^2 \left(\frac{Z_b G_r P_{fl} h_w}{Z_{fl} T_f} \right)^{0.5} \quad (66)$$

Donde:

$$N_{11} = 0.1638997$$

Sustituyendo las Ecs. 45 y 46 en la Ec. 47, las constantes numéricas por un solo valor y h_w en lugar de ΔP , se tiene:

$$q_v = N_{12} K V_1 d^2 \left(\frac{T_b}{P_b} \right) \left(\frac{Z_b P_{fl} h_w}{Z_{fl} G_r T_f} \right)^{0.5} \quad (67)$$

Donde:

$$N_{12} = 0.0606990$$

4.3 Ecuaciones Para Obtener el Gasto Volumétrico de Gas Utilizando los Factores de Cálculo

La Ec. 67 puede expresarse en un formato más común a través de la inclusión de factores de cálculo. Estos factores (cocientes) simplemente calculan el valor de varios términos individualmente en cada ecuación. Debido a que los facto

res históricamente han sido desarrollados en unidades IP, (libra-pulgada), este enfoque es generalmente aplicable sólo a estas unidades. Los factores pueden convertirse a través de la aplicación de factores individuales de conversión (ver el Apéndice A para factores de conversión y coeficientes numéricos de las ecuaciones). Bajo tales circunstancias, los resultados serán consistentes con las otras ecuaciones en este manual.

En la medición de la mayoría de los gases, y especialmente del gas natural, la práctica general es expresar el gasto en pie cúbico por hora a alguna referencia específica a condiciones base de presión y temperatura. Una forma conveniente de hacer este cálculo es escribir otra ecuación de flujo utilizando la constante de flujo del orificio C' :

$$Q_v = C' (h_w P_f)^{0.5} \quad (68)$$

Donde:

Q_v = gasto volumétrico en pie cúbico por hora a condiciones base.

h_w = presión diferencial en pulgadas de agua a 60 °F.

P_f = presión estática absoluta en libras por pulgada cuadrada absoluta, utilizando el subíndice 1 cuando la presión estática absoluta se mide en el orificio de toma corriente arriba o el subíndice 2 cuando la presión estática absoluta se mide en el orificio de toma corriente abajo.

y

$$C' = F_b \ Y \ F_r \ F_{pb} \ F_{tb} \ F_{tf} \ F_{qr} \ F_{pv} \quad (69)$$

Donde:

C' = constante de flujo del orificio.

F_b = factor base de orificio.

Y = factor de expansión.

F_r = factor del número de Reynolds.

- F_{pb} = factor de presión base.
- F_{tb} = factor de temperatura base.
- F_{tf} = factor de temperatura de flujo.
- F_{gr} = factor de densidad relativa real.
- F_{pv} = factor de supercompresibilidad.

4.4 Constante de Flujo del Orificio

4.4.1 Generalidades

La constante de flujo del orificio, C' , puede definirse como el gasto del -- flujo de aire como un gas real en pie cúbico por hora, a condiciones base, -- cuando el valor $(h_w P)^{0.5}$ es igual a uno. Se conoce como la "constante de -- flujo del orificio" y no deberá confundirse con el coeficiente de flujo mencionado en el Capítulo III. La constante se calculará utilizando la Ec. 69.

NOTA: La secuencia de multiplicación mostrada en la Ec. 69 no está ligada; -- sin embargo, con el objeto de duplicar volúmenes determinados utilizando esta ecuación, la secuencia de multiplicación y la forma de redondeo o de truncamiento deberá ser consistente.

La constante de flujo de orificio, C' , tal y como se muestra es ligeramente -- diferente que la utilizada anteriormente. La constante supone que los valores -- medidos son absolutos. Los factores de corrección utilizados para compensar -- por el tipo de instrumentación utilizada, los métodos de calibración y los elementos locales del registrador de presión diferencial se tratan por separado en el Apéndice E. Cuando los instrumentos no están calibrados para proporcionar -- valores absolutos, los factores de corrección pueden aplicarse como multiplicadores en la ecuación para obtener la constante de flujo, C' .

4.4.2 Tablas

Los valores de todos los factores de C' definidos en 4.3 están obtenidos de las ecuaciones dadas en 4.5 a 4.13. Se incluyen datos tabulados en el Apéndice B como una alternativa para determinar los valores del factor. Las tablas -- pueden utilizarse también para verificar los valores calculados.

4.5 Factor Base del Orificio

4.5.1 Ecuación

El factor base de orificio, F_b , se calcula de la siguiente ecuación:

$$F_b = 338.178 d^2 K_o \quad (70)$$

La constante numérica combina varios valores de sustitución y factores multiplicadores de unidades. Para detalles ver la sección 4.8.

Las ecuaciones para determinar K_o se muestran en 3.2.1.

La deducción también se muestra en el Capítulo III. Debe notarse, sin embargo, que la K_o en esta ecuación no es la misma que la K que aparece en las Ecs. 47 a la 67. K_o es el valor específico de K cuando el número de Reynolds es infinitamente grande.

Los valores de K_o pueden calcularse con las Ecs. 18, 20, 21 y 22 para medidores de orificio con tomas en brida y con las Ecs. 19, 20, 21 y 23 para medidores de orificio con tomas en tubería y con las tablas preparadas con los valores de F_b (para brida) y F_b (para tubería) para distintos valores de D y d . Los incrementos en los valores de D y d pueden estar espaciados de forma que pueda hacerse una interpolación lineal para valores intermedios, aunque este no es el caso de las tablas del Apéndice B.

4.5.2 Tablas

En la Tabla B1 se muestran los valores de F_b para tomas en brida y en la Tabla C1 para tomas en tubería, en los Apéndices B y C respectivamente para algunos diámetros de orificio y tubo de medición. Si se va a hacer uso de las tablas, el diámetro del tubo de medición debe estar dentro de los límites especificados en la Figura 3.

4.6 Factor del Número de Reynolds

4.6.1 Ecuación

El factor del número de Reynolds, F_r , se introduce debido a que en cualquier caso de medición real, el número de Reynolds, R_d , tendrá un valor finito; el valor correspondiente de K será un poco mayor que el valor de K_o . El factor del número de Reynolds, F_r , se define como:

$$F_r = 1 + \frac{E}{R_d} \quad (71)$$

Por lo tanto, de la Ec. 24:

$$K = K_0 F_r \quad (72)$$

Donde:

R_d = el número de Reynolds en el orificio.

E = una función del diámetro del tubo de medición y del diámetro del orificio.

Las ecuaciones para la determinación de los valores de R_d y E se muestran en el Capítulo III.

Las Tablas B2 y C2 en los Apéndices B y C pueden utilizarse en la determinación del valor de F_r para mezclas normales de gas natural. La Tabla D8 puede utilizarse en la determinación de K en la Ec. 72. Cuando se utilicen tablas, deberá conocerse el valor promedio de $(h_w P_f)^{0.5}$ al cual operan los medidores, además del diámetro del orificio y del tubo de medición. El valor de $(h_w P_f)^{0.5}$ utilizado en el cálculo del factor F_r de la Tabla B2 o C2 puede estar basado en la gráfica del registrador de presión o estimarse del conocimiento de la presión estática promedio y de la presión diferencial promedio a las cuales puede operar el medidor. Este valor, deberá notarse, es un índice a partir del cual se selecciona un factor; este valor no entra directamente en el cálculo del volumen de gas. Uno de estos valores, seleccionados tal como se sugiere, normalmente estará suficientemente cerca de las condiciones promedio de operación del medidor para seleccionar el valor apropiado de F_r , especialmente debido a que las variaciones en F_r que corresponden a los valores de $(h_w P_f)^{0.5}$ arriba y abajo del promedio estarán compensados durante cualquier período de tiempo. Cuando el valor $(h_w P_f)^{0.5}$ sea menor que 5 (para las unidades definidas), la medición será menos precisa.

4.6.2 Tablas

Las Tablas B2 y C2 en los Apéndices B y C se han calculado utilizando los siguientes valores promedio: viscosidad, 0.0000069 libra masa por pie segundo; temperatura, 60 °F; densidad relativa real, 0.65, aplicándose particularmente al gas natural. Si el flujo a medir tiene una viscosidad, temperatura, o densidad relativa real muy distintas a estas, el valor de F_r en las Tablas B2 y C2 puede no ser aplicable. Sin embargo para una variación en la viscosidad de 0.0000059 a 0.0000079 libra masa por pie segundo, en un rango de temperatura de 30 °F a 90 °F, o un rango de densidad relativa real de 0.55 a 0.75, la variación en el factor F_r estará dentro de los límites de precisión establecidos en el Capítulo V.

4.7 Factor de Expansión

4.7.1 Ecuación

El factor de expansión, Y , es una función del cociente beta, el cociente del calor específico a presión constante y el calor específico a volumen constante (también conocido como el exponente isoentrópico o cociente de capacidad de calor específico). Las ecuaciones para la determinación de Y para tomas en — brida y en tubería basadas en las presiones estáticas corriente arriba y corriente abajo se encuentran en 3.2.6.

4.7.2 Tablas

En las Tablas B3, B4, C3, o C4 en los Apéndices B y C se muestran los datos tabulados para obtener el factor de expansión Y . La selección de la tabla — está en función de la localización de la toma de la cual se toma la presión estática. Las tablas están basadas en un cociente de calores específicos de 1.3. — En las tablas, el cociente h_w/P_f es un índice a partir del cual se selecciona el valor de Y , y puede estar basado en la gráfica del registrador de presión diferencial o puede estimarse del promedio de la presión estática absoluta y del — promedio de la presión diferencial a las cuales el medidor puede operar. Los efectos de las variaciones de operación del "promedio" h_w/P_f se compensarán.

4.7.3 Tomas en Tubería

Al utilizar medidores de orificio con tomas en tubería, la variación, del valor estimado de operación, de h_w/P_f utilizado en la determinación del factor — de expansión Y provocará la mayor variación en el valor de Y cuando se utilicen las presiones estáticas corriente arriba. El uso de la presión estática corriente abajo para este tipo de conexión provocará el menor cambio en el valor de Y debido a los cambios en los valores del cociente h_w/P_f del valor principal de operación.

NOTA: En la práctica puede encontrarse que un grupo de medidores en la misma localización estén operando bajo las mismas condiciones y que tendrán los mismos valores para F_r y Y . Si esto es cierto, las constantes de flujo en este grupo serán las mismas para todas las placas de orificio del mismo tamaño y de igual cociente beta. Asimismo, para estaciones individuales, los valores de F_r y Y pueden basarse en las presiones estáticas promedio y en las presiones diferenciales estimadas.

4.8 Condiciones Base de Flujo Incluidas en la Constante de Flujo del Orificio

La constante de flujo del orificio, C' , incluye las condiciones de flujo siguientes:

$$P_b = 14.73 \text{ libras por pulgada cuadrada absoluta,}$$

$$T_b = 519.67 \text{ }^\circ\text{R,}$$

$$T_f = 519.67 \text{ }^\circ\text{R,}$$

$$G_f = 1 \text{ (exactamente).}$$

Para simplificar el cambio de cualquiera de estas condiciones, se incluyen cuatro cocientes numéricos a la Ec. 67. Los cocientes que tienen un valor de 1 (exactamente), son: $14.73/14.73$, $519.67/519.67$, $(519.67/519.67)^{0.5}$, y $(1/1)^{0.5}$. La mitad de cada cociente está combinada respectivamente con P_b , T_b , T_f y G_f para formar los factores:

$$14.73/P_b$$

$$T_b/519.67$$

$$(519.67/T_f)^{0.5}$$

$$(1/G_f)^{0.5}$$

Estos factores se conocen como F_{pb} , F_{tb} , F_{tf} y F_{gf} , respectivamente. La parte restante de cada cociente se combina con la constante numérica dada con el factor base de orificio en la Ec. 70. Incluyendo la Ec. 24 con las anteriores, se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q_v = (3600) (46.0088) \left(\frac{1}{144}\right) \left(\frac{12}{144}\right) \left(\frac{519.67}{14.73}\right) \left(\frac{62.3663}{12 (519.67)}\right)^{0.5} \\ (K_D) (d^2) \left(1 + \frac{E}{R_d}\right) (Y_1) \left(\frac{14.73}{P_b}\right) \left(\frac{T_b}{519.67}\right) \\ \left(\frac{519.67}{T_f}\right)^{0.5} \frac{1}{G_f} \frac{Z_b}{Z_{fl}})^{0.5} \eta_w P_f^{0.5} \quad (73)$$

la cual se reduce a la equivalente de la Ec. 68:

$$Q_v = F_b F_r Y F_{pb} F_{tb} F_{tf} F_{gr} F_{pv} (h_w P_{fl})^{0.5} \quad (74)$$

4.9 Factor de Presión Base

El factor de presión base, F_{pb} , se aplica para cambiar la presión base de -- 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta por una presión base distinta y se -- calcula dividiendo 14.73 entre la presión base absoluta a manejar. El uso de -- este factor es equivalente a sustituir la presión base absoluta a manejar en la -- Ec. 67 en lugar de P_b .

$$F_{pb} = \frac{N_{13}}{P_b} \quad (75)$$

Donde:

$$N_{13} = 14.73$$

P_b = la presión base requerida, en libras por pulgada cuadrada absoluta (ver Apéndice A).

Los valores de F_{pb} también se muestran en la Tabla Di en el Apéndice D.

4.10 Factor de Temperatura Base

El factor de temperatura base, F_{tb} , se aplica cuando la temperatura base es distinta de 60 °F y se calcula dividiendo la temperatura base requerida en grados Rankine entre 519.67. El uso de este factor es equivalente a sustituir la -- temperatura base absoluta requerida en lugar de T_b en la Ec. 67:

$$F_{tb} = \frac{T_b}{N_{14}} \quad (76)$$

Donde:

$$N_{14} = 519.67$$

T_b = la temperatura base requerida en grados Rankine (ver Apéndice A).

Los valores de F_{tb} también se encuentran en la Tabla D2 del Apéndice D.

4.11 Factor de Temperatura de Flujo

El factor de temperatura de flujo, F_{tf} , se requiere para cambiar la temperatura supuesta de flujo de 50 °F a la temperatura real de flujo T_f . F_{tf} se determina dividiendo 519.67 °R entre la temperatura de flujo en grados Rankine, tomando la raíz cuadrada de este resultado. El uso de este factor es equivalente a sustituir la temperatura absoluta real del flujo en lugar de T_f en la Ec. 67:

$$F_{tf} = \left(\frac{N_{15}}{T_f} \right)^{0.5} \quad (77)$$

Donde:

$$N_{15} = 519.67$$

T_f = la temperatura real de flujo en grados Rankine (ver Apéndice A).

Los valores de F_{tf} también se encuentran en la Tabla D3 en el Apéndice D.

La temperatura utilizada deberá ser la temperatura real de flujo de gas.

4.12 Factor de Densidad Relativa Real

El factor de densidad relativa real, F_{gr} , se aplica para cambiar de una densidad relativa real de 1.0 a la densidad relativa real del gas del flujo y se obtiene tomando la raíz cuadrada del cociente resultante de dividir 1 entre la densidad relativa real. El uso de este factor es equivalente a sustituir la densidad relativa real en lugar de G_r en la Ec. 67:

$$F_{gr} = \left(\frac{1}{G_r} \right)^{0.5} \quad (78)$$

4.12.1 Densidad Relativa Real

La densidad relativa real se define como el cociente que resulta al dividir

la densidad real del gas entre la densidad real del aire seco cuando la presión y la temperatura del gas y del aire estén a las condiciones base definidas. Esto puede determinarse por medición en el campo o por medio de cálculos.

Casi universalmente, los valores de densidad relativa real utilizados por la industria se han determinado haciendo mediciones de densidad relativa con balanzas. Los procedimientos sólo han requerido que las observaciones se ajusten de tal forma que las mediciones del gas y del aire reflejen la misma presión y temperatura. El hecho de que la temperatura y las presiones no siempre están a las condiciones base ha provocado pequeñas variaciones en las determinaciones de la densidad relativa. Otra fuente de pequeña variación ha sido que el aire de la atmósfera que se ha utilizado y su composición (también su peso molecular y su densidad) varían de un lugar a otro y de un tiempo a otro en cualquier lugar dado.

En donde se utilicen medidores de densidad y la calibración se haga con gases de referencia, la densidad relativa "ideal" o "real" puede obtenerse como la densidad relativa registrada simplemente por medio de la corrección apropiada del gas de referencia.

4.12.2 Densidad Relativa Ideal.

La densidad relativa ideal es el cociente de la masa molar del gas y la masa molar del aire y se calcula por medio de la Ec. 35:

$$G_i = \frac{M_r(\text{gas})}{M_r(\text{aire})} = \frac{M_r(\text{gas})}{28.9625} \quad (35)$$

La relación entre la densidad relativa ideal y la densidad relativa real se expresa como:

$$G_r = G_i \frac{P(\text{gas}) T(\text{aire}) Z(\text{aire})}{P(\text{aire}) T(\text{gas}) Z(\text{gas})} \quad (79)$$

Cuando las densidades del gas y de la muestra de aire están a la misma presión y temperatura base, la ecuación se reduce a:

$$G_r = \frac{G_i Z_b(\text{aire})}{Z_b(\text{gas})} \quad (80)$$

La deducción de esta ecuación se muestra en 3.3.3.

4.12.3 Tablas

Los datos tabulados para obtener el factor de densidad real, F_{gr} , se muestran en la Tabla D4 en el Apéndice D. Esta tabla sólo es aplicable a la densidad relativa real. Cuando se utilice la densidad relativa ideal, debe convertirse por medio de la Ec. 80 con el objeto de poder utilizar las tablas.

4.13 Factor de Supercompresibilidad

4.13.1 Generalidades

El desarrollo de la ecuación general de flujo involucra la densidad real del fluido en el punto de medición. En la medición de gas, este valor generalmente se determina por medio de la presión estática y la temperatura de flujo. Para convertir el volumen o masa calculado a condiciones de presión y temperatura de flujo y tenerlo a condiciones de presión y temperatura base, se aplican las leyes del gas ideal en mayor o menor proporción. Esta desviación se conoce como "compresibilidad" y se denota por el símbolo Z .

4.13.2 Compresibilidad

En la medición de gases con medidores con placa de orificio, el efecto de compresibilidad es equivalente a la relación $(1/Z)^{0.5}$. Esto se ha denominado como la "supercompresibilidad" del gas. La utilización histórica de la densidad relativa real (a condiciones base) ha requerido que la compresibilidad en esta relación se exprese como el cociente: $Z = Z_f/Z_b$.

4.13.3 Factor de Supercompresibilidad

El factor de supercompresibilidad puede calcularse a partir de la siguiente ecuación:

$$F_{pv} = \left(\frac{Z_b}{Z_f} \right)^{0.5} \quad (81)$$

El "Manual for the Determination of Supercompressibility Factors for Natural Gas", Diciembre 1962 (catalog No. L00304) de la Asociación Americana de Gas se hizo parte de este manual. También se conoce como el PAR Research — Project NX-19, "Extension of Range of Supercompressibility Tables", de la Asociación Americana de Gas. Las ecuaciones en este manual son el método em

Pfórico de evaluación de los factores de supercompresibilidad para mezclas normales de gas natural. La precisión de la determinación de los factores a partir del método de densidad relativa real estará dentro de los límites de incertidumbre establecidos para este manual si no se excede de una densidad relativa de 0.75 y un contenido de 15 mole-porcentaje de nitrógeno o 15 mole-porcentaje de dióxido de carbono. Más adelante se presentan otros métodos aplicables a gases con una mayor densidad relativa real o mayor contenido de nitrógeno, de dióxido de carbono o de H₂S. Pueden utilizarse pruebas de compresibilidad para establecer qué tan adecuado es el uso del manual o de algún otro método para mezclas de gases más allá de lo que se ha descrito como "normal".

NOTA: Recientemente se han completado investigaciones que proporcionan una capacidad más amplia para calcular el factor de supercompresibilidad. Los resultados de este trabajo han sido evaluados, probados y aceptados por el Comité de medición de Transmisión de la AGA. Se está elaborando un manual bajo el título de "AGA. Transmission Measurement Committee Report No. 8 - Compressibility and Supercompressibility for Natural Gas and Other Hydrocarbon Gases". Antes de la publicación del Report No. 8, el manual AGA será extraído como una publicación y después se publicará el Report No. 8 de la AGA.

4.13.4 Tablas.

La Tabla D5 en el Apéndice D se ha incluido como una forma condensada de la Tabla F_{pv} del Manual NX-19. Esta tabla sólo es aplicable para gases hidrocarburos con una densidad relativa de 0.6. Sólo pueden utilizarse presiones y temperaturas ajustadas en la Tabla D5 para obtener valores precisos de F_{pv} cuando el gas contenga dióxido de carbono o nitrógeno, o tenga una densidad relativa mayor que 0.6.

La presión ajustada se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{adj} = \frac{156.47 (P_f - P_{atm}^*)}{160.8 - 7.22 G_r + (M_C - 0.392 M_N)} \quad (82)$$

La temperatura ajustada se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_{adj} = \left(\frac{226.29 T_f}{99.15 + 211.9 G_r - (M_C + 1.681 M_N)} \right) - 460 \quad (83)$$

* Ver la Ec. E5 del Apéndice E.

Donde:

P_{adj} = presión ajustada para la ecuación del factor de supercompresibilidad, en libras sobre pulgada cuadrada manométricas.

T_{adj} = temperatura ajustada para la ecuación del factor de supercompresibilidad, en grados Fahrenheit.

NOTA: Las unidades mostradas aquí para las Ecs. 82 y 83 son para utilizarse con la Tabla A13 y la Tabla F_{pv} en el manual NX-19 y no son consistentes con las unidades utilizadas para estos símbolos en otra parte.

4.13.5 Compresibilidad Base

En las Ecs. 50, 51, 52, 65 y 67 se requiere del valor de Z_b o de la compresibilidad a condiciones base. La sección 6.3 proporciona un medio para calcular Z_b .

4.14 Ajustes Para los Instrumentos de Calibración y su Uso

Deben aplicarse otros factores de multiplicación a la constante de flujo de orificio, C' , que son función del tipo de instrumentación aplicada, los métodos de calibración o el ambiente de medición de todos estos.

Tales ajustes de calibración están más allá del contenido de este manual, pero se discuten en el Apéndice E para utilizarse como guía.

4.15 Ejemplo de Aplicación

Dado un medidor con placa de orificio equipado con tomas en brida, utilizando la presión estática de la toma corriente abajo y:

H = 500 pie sobre el nivel del mar (localización del registrador).

D = 8.071 pulgada (diámetro interior medido).

d = 4.000 pulgada (placa de acero inoxidable tipo 316, medido a 70 °F).

T_a = 70 °F

T_f = 65 °F

P_b = 14.65 lb/pg² abs.

T_b = 50 °F

$$G_r = 0.570$$

$$M_n = 1.10\%$$

$$M_c = 0.00\%$$

$$h_w = 50 \text{ pg de agua.}$$

$$c_p/c_v = 1.3$$

$$\mu = 0.0102683155 \text{ cp}$$

$$\text{Porcentaje molar de metano} = 96.70\%$$

$$\text{Porcentaje molar de etano} = 2.20\%$$

$$\text{Presión estática promedio corriente abajo} = 370 \text{ lb/pg}^2$$

Calcular la constante de flujo del orificio y el gasto en pie³/hora a condiciones base.

4.15.1 Factor Base de Orificio.

a) Cálculo de β :

$$\beta = \frac{d}{D} = \frac{4.000}{8.071} = 0.495601536$$

b) Cálculo de K_e . Utilizando la Ec. 18:

$$\begin{aligned} K_e &= 0.5993 + \frac{0.007}{8.071} + \left(0.364 + \frac{0.076}{8.071 \cdot 0.3}\right) (0.495601536)^4 \\ &+ 0.4 \left(1.6 - \frac{1}{8.071}\right)^5 \left(\left(0.07 + \frac{0.5}{8.071}\right) - 0.495601536\right)^{5/2} \\ &- \left(0.009 + \frac{0.034}{8.071}\right) (0.5 - 0.495601536)^{3/2} \\ &+ \left(\frac{65}{8.071} + 3\right) (0.495601536 - 0.7)^{5/2} \end{aligned}$$

Como los términos elevados a exponentes fraccionales en la segunda y cuarta línea son negativos, para este ejemplo, se igualan a cero. Entonces:

$$K_e = 0.623737343$$

c) Cálculo de B. Utilizando la Ec. 22:

$$B = \frac{530}{(0.071)^{0.5}} = 186.5572778$$

d) Cálculo de E. Utilizando la Ec. 21:

$$E = 4(830 - 5000(0.495601536) + 9000(0.495601536)^2 - 4200(0.495601536)^3 + 186.5572778)$$

$$E = 951.484706$$

e) Cálculo de K_o . Utilizando la Ec. 20:

$$K_o = \frac{0.623737343}{1 + \frac{15(951.484706)}{4(10^6)}} = 0.621519719$$

f) Cálculo de F_b . Utilizando la Ec. 70:

$$F_b = 338.178(4)^2(0.621519719)$$

$$F_b = 3362.948731$$

4.15.2 Factor de Expansión

- a) Cálculo de la presión atmosférica y P_{f2} absoluta. Utilizando la Ec. E5:

$$P_{\text{atm}} = \frac{55096 - (500 - 361)}{55096 + (500 - 361)} (14.54) = 14.47 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

$$P_{f2} \text{ abs.} = 370 + 14.5 = 384.5 \text{ lb/pg}^2 \text{ abs.}$$

- b) Cálculo de x_2 . Utilizando la Ec. 32:

$$x_2 = \frac{50}{27.707 (384.5)} = 0.004693$$

- c) Cálculo de Y_2 . Utilizando la Ec. 30:

$$Y_2 = (1 + 0.004693)^{0.5} - (0.41 + 0.35 (0.4956)^4) \left(\frac{0.004693}{1.3 (1 + 0.004693)^{0.5}} \right)$$

$$Y_2 = 1.00079$$

4.15.3 Factor de Presión Base

Utilizando la Ec. 75:

$$F_{pb} = \frac{14.73}{14.65} = 1.00546$$

$$F_{pb} = 1.00546$$

4.15.4 Factor de Temperatura Base

Utilizando la Ec. 76:

$$F_{tb} = \frac{(50 + 459.67)}{519.67}$$

$$F_{tb} = 0.98076$$

4.15.5 Factor de Temperatura de Flujo

Utilizando la Ec. 77:

$$F_{tf} = \left(\frac{519.67}{65 + 459.67} \right)^{0.5}$$

$$F_{tf} = 0.99522$$

4.15.6 Factor de Densidad Relativa Real del Gas

Utilizando la Ec. 78:

$$F_{gr} = \left(\frac{1}{0.570} \right)^{0.5}$$

$$F_{gr} = 1.32453$$

4.15.7 Factor de Supercompresibilidad

a) Cálculo de P_{adj} . Utilizando la Ec. 82:

$$P_{adj} = \frac{156.47 (370)}{160.8 - 7.22 (0.570) + (0.00 - 0.392 (1.1))}$$

$$P_{adj} = 370.5 \text{ lb/pg}^2$$

b) Cálculo de T_{adj} , Utilizando la Ec. 83:

$$T_{adj} = \left(\frac{226.29 (65 + 459.67)}{99.15 + 211.9(0.570) - (0.00 + 1.681(1.1))} \right) - 460$$

$$T_{adj} = 84.8 \text{ } ^\circ\text{F}$$

c) Utilizando las ecuaciones del "Par Research Project NX-19 Manual" se calcula el factor de supercompresibilidad. Sustituyendo los valores en términos en las ecuaciones sucesivas:

$$\alpha = \frac{P_{adj} + 14.7}{1000} = \frac{370.5 + 14.7}{1000} = 0.3852$$

$$\gamma = \frac{T_{adj} + 460}{500} = \frac{84.8 + 460}{500} = 1.0896$$

$$m' = \frac{0.0330378}{\gamma^2} - \frac{0.0221323}{\gamma^3} + \frac{0.0161353}{\gamma^5}$$

$$m' = \frac{0.0330378}{1.0896^2} - \frac{0.0221323}{1.0896^3} + \frac{0.0161353}{1.0896^5} = 0.021224751$$

$$n' = \frac{\frac{0.265827}{\gamma^2} + \frac{0.0457697}{\gamma^4} - \frac{0.133185}{\gamma}}{m'}$$

$$n' = \frac{\frac{0.265827}{1.0896^2} + \frac{0.0457697}{1.0896^4} - \frac{0.133185}{1.0896^1}}{0.021224751} = 6.320200811$$

$$b' = \frac{3 - m'n'^2}{9m'\alpha^2}$$

$$b' = \frac{3 - 0.021224751 (6.320200811)^2}{9 (0.021224751) (0.3852)^4} = 75.9312648$$

$$E' = 1 - 0.00075(\alpha)^{2.3} (2 - e^{-20(1.09 - \gamma)}) - 1.317(1.09 - \gamma)^4 (\alpha) (1.69 - \alpha^2)$$

$$E' = 1 - 0.00075(0.3852)^{2.3} (2 - 2.718281828 e^{-20(1.09 - 1.0896)}) - 1.317(1.09 - 1.0896)^4 (0.3852) (1.69 - 0.3852^2)$$

$$E' = 0.9999$$

$$b' = \frac{9n' - 2m'n'^3}{54 m' \alpha^3} - \frac{E'}{2m' \alpha^2}$$

$$b' = \frac{9 (6.320200811) - 2 (0.021224751) (6.320200811)^3}{54 (0.021224751) (0.3852)^3}$$

$$- \frac{0.9999}{2 (0.021224751) (0.3852)^2}$$

$$b' = 545.9726016$$

$$D' = (b' + (b')^2 + B')^{0.5} \cdot 1/3$$

$$D' = (545.9726016 + (545.9726016)^2 + 75.9312648)^{0.5} \cdot 1/3$$

$$D' = 11.19700837$$

$$F_{pv} = \frac{\left(\frac{B'}{D'} - D' + \frac{n'}{3C} \right)^{0.5}}{1 + \frac{0.00132}{\gamma^{3.25}}}$$

$$F_{pv} = \frac{\left(\frac{75.9312648}{11.19700836} - 11.19700836 + \frac{6.320200811}{3(0.3852)} \right)^{0.5}}{1 + \frac{0.00132}{1.0896^{3.25}}}$$

$$F_{pv} = 1.025413605$$

Utilizando la Tabla D5 en el Apéndice D para la determinación del factor de su percompressibilidad, con interpolación:

$$F_{pv} = 1.0254$$

4.15.8 Factor de Número de Reynolds

a) Utilizando la Ec. 56:

$$q_m = KA$$

$$A = \frac{q_m}{K}$$

Sustituyendo q_m , utilizando la Ec. 66:

$$A = \frac{0.1638997 K Y_2 d^2 \left(\frac{z_b G_f P_{f2} h_w}{z_{f2} T_f} \right)^{0.5}}{K}$$

Sustituyendo valores:

$$A = \frac{0.1638997 K (1.00079) (4)^2 (1.025413605) \left(\frac{0.570 (384.5) (50)}{524.67} \right)^{0.5}}{K}$$

Como el coeficiente K está multiplicando y dividiendo, entonces:

$$A = 12.29893934$$

Nótese que el cociente de compresibilidades se sustituyó por el valor del factor de supercompresibilidad, fuera del radical.

b) Utilizando la Ec. 57:

$$R_d = q_m B$$

Utilizando la Ec. 54 para calcular el valor de B:

$$B = \frac{2272.4}{d} = \frac{22737.4}{(4) (0.0102683155)}$$

$$B = 553581.5489$$

c) Utilizando la Ec. 61 para los valores anteriores:

$$K = \frac{0.621519719 + (0.621519719)^2 + \frac{4 (0.621519719) (951.484706)^{0.5}}{12.29893934 (553581.5489)}}{2}$$

$$K = 0.6216594378$$

d) De la Ec. 72:

$$F_r = \frac{K}{K_o}$$

$$F_r = \frac{0.6216594378}{0.621519719}$$

$$F_r = 1.000224801$$

4.15.9 Constante de Flujo del Orificio.

La constante de flujo del orificio se calcula al sustituir los factores anteriores en la Ec. 69:

$$C' = 3362.9 (1.0002) (1.0008) (1.0055) (0.9808) (0.9952) \\ (1.3245) (1.0254)$$

$$\underline{C' = 4487.11}$$

4.15.10 Gasto volumétrico.

Utilizando la Ec. 68:

$$Q_v = 4487.11 (50 \cdot 384.5)^{0.5}$$

$$\underline{Q_v = 622157 \text{ pie}^3/\text{hora} \quad \text{a condiciones base.}}$$

4.16 Ejemplo de Cálculo Para un Gas Natural con Alto Contenido de CO₂

Este ejemplo puede servir como una guía para hacer cálculos para gases con un alto contenido de gases asociados y no sólo para CO₂. La dificultad del problema reside en el cálculo de la compresibilidad del gas a las condiciones de P_g y T_g. La precisión del cálculo del gasto para este tipo de mezclas se verá reducida debido a que la aplicación de un método más exacto resultaría menos práctico que el método descrito en el Capítulo VI. Pueden aplicarse otros métodos para el cálculo de Z_g siempre que se tenga la certeza de que la incertidumbre resultante será menor o, por el contrario, si el método es menos exacto, de que la imprécisión resultante podrá tolerarse.

Dado un medidor con placa de orificio con tomas en tubería, utilizando la presión estática corriente arriba y:

L = 19.26 °de latitud (localización del registrador)
H = 7349 pie sobre el nivel del mar (localización del registrador)
D = 5.761 pg (diámetro interior medido)
d = 2.500 pg (placa de acero monel, medida a 95 °F)
T_g = 15 °C
T_g = 68 °F
P_b = 1.033 kg/cm² abs.
Gr = 0.98887
M_n = 0.0 %
M_c = 30.0 %
Lectura estática = 7.5
Lectura diferencial = 5.2
c_p/c_v = 1.3
A₁ = 0.0000843 lbm/pie²s

Porcentaje molar de metano = 40.00 %
Porcentaje molar de etano = 30.00 %

Registrador de presión diferencial de 100 pg de agua X 500 lb/pg²

Calcule el gasto Q_v utilizando los factores de la Ec. 69, en pie³/hora.

4.16.1 Factor Base de Orificio

a) Cálculo de beta:

$$\beta = \frac{2.5}{5.761} = 0.433952439$$

b) Cálculo de K_e . Utilizando la Ec. 19:

$$K_e = 0.5925 + \frac{0.0182}{5.761} + \left(0.440 - \frac{0.06}{5.761}\right) (0.433952439)^2 \\ + \left(0.935 + \frac{0.225}{5.761}\right) (0.433952439)^5 + 1.35(0.433952439)^{14} \\ + \frac{1.43}{5.761^{0.5}} (0.25 - 0.433952439)^{5/2}$$

$$K_e = 0.6915574694$$

c) Cálculo de B. Utilizando la Ec. 23:

$$B = \frac{875^*}{5.761} + 75 = 226.8833535$$

d) Cálculo de E. Utilizando la Ec. 21:

$$E = 2.5(830 - 5000(0.433952439) + 9000(0.433952439)^2 \\ - 4200(0.433952439)^3 + 226.8833535)$$

$$E = 596.8279466$$

e) Cálculo de K_o . Utilizando la Ec. 20:

$$K_o = \frac{0.6915574694}{1 + \frac{15(596.8279466)}{2.5 (10^6)}}$$

$$K_o = 0.6890898609$$

f) Cálculo de F_b . Utilizando la Ec. 70:

$$F_b = 338.174(2.5)^2 (0.6890898609)$$

$$F_b = 1456.451716$$

4.16.2 Factor de Expansión.

a) Cálculo de P_{f1} absoluta y de h_w . Del Apéndice A:

$$P_{f1} = \frac{(500)(7.5)^2}{100} = 281.25 \text{ lb/ps}^2 \text{ abs.}$$

$$h_w = \frac{(100)(5.2)^2}{100} = 27.04 \text{ psj de agua}$$

b) Cálculo de x_1 . Utilizando la Ec. 28:

$$x_1 = \frac{27.04}{27.707(281.25)} = 0.0034699614$$

c) Cálculo de Y_1 . Utilizando la Ec. 27:

$$Y_1 = 1 - (0.333 + 1.145((0.433952439)^2 + 0.7(0.433952439)^5 + 12(0.433952439)^{13}) \frac{0.0034699614}{1.3}$$

$$Y_1 = 0.9985019895$$

4.16.3 Factor de Presión Base.

Utilizando la Ec. 75:

$$F_{pb} = \frac{1.035621}{1.033} = 1.00253727$$

4.16.4 Factor de Temperatura Base.

Utilizando la Ec. 76:

$$F_{tb} = \frac{(15 + 273.15)}{288.796} = 0.9980741654$$

4.16.5 Factor de Temperatura de Flujo.

Utilizando la Ec. 77:

$$F_{tf} = \left(\frac{519.67}{68 + 459.67} \right)^{0.5} = 0.9923905527$$

4.16.6 Factor de Supercompresibilidad.

Como se trata de un gas natural con alto contenido de CO_2 se utiliza la Ec. 81:

a) Cálculo de Z_b . Utilizando la Ec. 93:

$$\begin{aligned} B &= (0.4)^2 (-0.135) + (0.3)^2 (-0.569) \\ &+ (0.3)^2 (-0.388) + (2)(0.4)(0.3)(-0.281) \\ &+ (2)(0.4)(0.3)(-0.181) + (2)(0.3)(0.3)(-0.385) \\ &= -0.28791 \end{aligned}$$

Sustituyendo en la Ec.92:

$$Z_b = 1 + \left(\frac{-0.28791}{1000} \right) (1.033 \cdot 14.2233433)$$

$$Z_b = 0.9957698209$$

b) Cálculo de Z_{fl} .

Utilizando las Ecs. 108 y 109, con valores de T_{ci} y P_{ci} de la Tabla 5:

$$K^2 = 47.61504 \left(\frac{0.4(344.2)}{673.1^{0.5}} + \frac{0.3(550.3)}{709.8^{0.5}} + \frac{0.3(547.8)}{1071.3^{0.5}} \right)^2$$

$$K^2 = 13001.46985$$

$$\begin{aligned} J = & 3.3066 \left\{ (0.4)(0.4) \left(\frac{344.2}{673.1} \right)^{1/3} + \left(\frac{344.2}{673.1} \right)^{1/3} \right\}^3 \\ & + \left\{ (0.4)(0.3) \left(\frac{344.2}{673.1} \right)^{1/3} + \left(\frac{550.3}{709.8} \right)^{1/3} \right\}^3 \\ & + \left\{ (0.4)(0.3) \left(\frac{344.2}{673.1} \right)^{1/3} + \left(\frac{547.8}{1071.3} \right)^{1/3} \right\}^3 \\ & + \left\{ (0.3)(0.4) \left(\frac{550.3}{709.8} \right)^{1/3} + \left(\frac{344.2}{673.1} \right)^{1/3} \right\}^3 \\ & + \left\{ (0.3)(0.3) \left(\frac{550.3}{709.8} \right)^{1/3} + \left(\frac{550.3}{709.8} \right)^{1/3} \right\}^3 \\ & + \left\{ (0.3)(0.3) \left(\frac{550.3}{709.8} \right)^{1/3} + \left(\frac{547.8}{1071.3} \right)^{1/3} \right\}^3 \\ & + \left\{ (0.3)(0.4) \left(\frac{547.8}{1071.3} \right)^{1/3} + \left(\frac{344.2}{673.1} \right)^{1/3} \right\}^3 \\ & + \left\{ (0.3)(0.3) \left(\frac{547.8}{1071.3} \right)^{1/3} + \left(\frac{550.3}{709.8} \right)^{1/3} \right\}^3 \\ & + \left\{ (0.3)(0.3) \left(\frac{547.8}{1071.3} \right)^{1/3} + \left(\frac{547.8}{1071.3} \right)^{1/3} \right\}^3 \end{aligned}$$

$$J = 15.51993718$$

Utilizando las Ecs 106 y 107:

$$T_{cm} = 13001.46985/15.51993718 = 837.727$$

$$P_{cm} = 837.727/15.51993718 = 53.977$$

Calculando la corrección por CO_2 con las Ecs. 112 y 110:

$$w_h = (0.4)(0.008) + (0.3)(0.098) = 0.0326$$

$$e_1 = 950(0.0326)(0.3 - (0.3)^3) = 8.45481$$

Con las Ecs. 113 y 114:

$$T_{pc} = 837.727 - 8.45481 = 829.272$$

$$F_{pc} = 53.977 \left(\frac{829.272}{837.727} \right) = 53.43$$

Utilizando las Ecs. 104 y 105:

$$P_{pr} = 281.25/53.43 = 5.26$$

$$T_{pr} = (68 + 459.67)/829.272 = 0.636$$

De las Tablas 9 y 10 con interpolación:

$$z^{(0)} = 0.9076$$

$$z^{(1)} = -0.3684$$

De la Ec. 103:

$$w_m = (0.4)(0.008) + (0.3)(0.098) + (0.3)(0.225)$$

$$w_m = 0.1001$$

Con la Ec. 102:

$$z_{fl} = 0.9076 + (1001)(-0.3684)$$

$$z_{fl} = 0.8707$$

c) Cálculo de F_{pv} .

Utilizando la Ec. 81:

$$F_{pv} = \left(\frac{0.9958}{0.8707} \right)^{0.5}$$

$$F_{pv} = 1.069428586$$

4.16.7 Factor del Número de Reynolds

a) Utilizando la Ec. 56:

$$q_m = K A$$

$$A = \frac{q_m}{K}$$

Sustituyendo q_m , utilizando la Ec. 64:

$$A = \frac{0.163858 K Y_1 d^2 \left(\frac{G_1 P_{f1} h_w}{Z_{f1} T_f} \right)^{0.5}}{K}$$

Sustituyendo valores:

$$A = \frac{0.163858 K (0.99850) (2.5)^2 \left(\frac{0.98887 (281.25) (27.04)}{0.8707 (527.67)} \right)^{0.5}}{K}$$

Como el coeficiente K multiplica y divide se elimina, con lo que:

$$A = 4.137132899$$

b) Utilizando la Ec. 57:

$$R_d = q_m B$$

Utilizando la Ec. 54 para calcular el valor de B:

$$B = \frac{2272.4}{d} = \frac{2272.4}{(2.5) \left(\frac{0.0000843}{6.7197 \times 10^{-4}} \right)}$$

$$B = 72454.79$$

c) Utilizando la Ec. 61 para los valores anteriores:

$$K = \frac{0.6890898609 + (0.6890898609)^2 + \frac{4(0.6890898609)(596.8279466)}{(4.137132899)(72454.79)} }{2}^{0.5}$$

$$K = 0.6910751928$$

d) De la Ec. 72:

$$F_r = \frac{0.6910751928}{0.6890898609} = 1.002881092$$

4.16.8 Factor de Densidad Relativa Real

Utilizando la Ec. 78,

$$F_{gr} = \left(\frac{1}{0.98887} \right)^{0.5} = 1.005611889$$

4.16.9 Constante de Flujo de Orificio

Utilizando la Ec. 69:

$$C' = (1456.5)(0.9985)(1.0029)(1.0025)(0.9981)(0.9924)(1.0056)(1.0694)$$

$$C' = 1557.5$$

4.16.10 Gasto Volumétrico

Utilizando la Ec. 68:

$$Q_v = 1557.5 (27.04 \cdot 281.25)^{0.5}$$

$$Q_v = 135824 \text{ pie}^3/\text{hr} \text{ a condiciones base.}$$

CAPITULO V
LIMITES DE INCERTIDUMBRE

5.1 Generalidades

No pueden construirse dos medidores con placa de orificio, excepto por accidente, que proporcionen la misma lectura cuando fluye la misma cantidad de gas por ellos. Por esta razón, es necesario utilizar límites de incertidumbre para obtener los valores de las constantes dadas en este manual. Para trabajos comerciales, los valores de incertidumbre deben incluir alguna tolerancia para los dispositivos de medición de presión y temperatura así como también las utilizadas para la placa de orificio. La precisión comercial será un poco menor que la precisión indicada por la tolerancia dada para las constantes de flujo de orificio.

Comercialmente no es posible hacer una duplicación muy exacta de las placas de orificio; de aquí que, dos placas duplicadas, hechas, instaladas y operadas tan cerca como sea práctico de acuerdo con las especificaciones dadas, no puede esperarse que tengan exactamente el mismo coeficiente de descarga — no importa cuántas veces o qué tan precisamente se prueben. Los límites de incertidumbre tienen que ver con estas diferencias individuales prácticamente inevitables entre placas que al parecer sean idénticas. No se refiere a errores accidentales de observación, para los cuales no es posible hacer predicciones generales. Las tablas de factores de coeficientes proporcionadas en este manual representa lo que el comité cree que son los valores promedio más satisfactorios disponibles ahora. Los valores de incertidumbre dados en 3.2.3 estiman el rango de desviación del promedio que puede ser anticipado en el caso de medidores individuales construidos, instalados y operados de acuerdo con las especificaciones en este manual.

5.2 Ejemplo

Al decir "con tomas en brida y con un cociente de diámetros entre 0.15 y 0.70, la incertidumbre es de 0.5%" significa que si un medidor con este cociente de diámetros se hace y se utiliza de acuerdo con las especificaciones, podrá suponerse que su coeficiente de flujo estará dentro del $\pm 0.5\%$ del valor encontrado en la tabla. Esta aseveración no significa que una sola prueba del medidor puede, con cualquier seguridad proporcionar un resultado dentro de este rango; se refiere al valor verdadero del coeficiente de flujo, el cual se obtendrá si todas las observaciones fueron perfectas, y al cual, el promedio de un gran número de pruebas es una aproximación más y más cercana conforme el número de pruebas se incrementa. Si el ejemplo ha sido basado para tomas en

tubería, la tolerancia será un poco mayor que el $\pm 0.5\%$, como se estableció en el Capítulo III, y bajo ciertas condiciones puede ser tan alto como $\pm 0.75\%$.

Deberá notarse que la aseveración se refiere al grado de desviación de algún valor absoluto (el valor verdadero) del coeficiente de flujo. Por ejemplo, el párrafo indica de esta forma que si la instalación se hace utilizando tomas en brida de acuerdo con las recomendaciones previamente señaladas, se obtendrá una desviación menor que $\pm 0.5\%$ del valor verdadero del coeficiente.

5.3 Repetibilidad de la Precisión

El grado de precisión a obtenerse en pruebas repetitivas, esto es la habilidad de reproducir el mismo resultado una y otra vez, está cercanamente ligado al control de calidad en la fabricación de las distintas partes de la instalación de medición. Para este fin, es deseable que se sigan todas las recomendaciones anteriores. Es más fácil hacer y duplicar orificios con un borde recto que con cualquier otro contorno; es más fácil alinear las bridas correctamente en un tubo de medición que hacerlo incorrectamente; es más fácil pulir la superficie de una placa de orificio a una rugosidad menor que 50 micropulgada (cerca de la perfección) que duplicar la superficie de los elementos primarios más rugosos.

5.4 Estimación de los Límites de Incertidumbre

En la Tabla 4 se proporciona un ejemplo de los límites de incertidumbre utilizando la ecuación de flujo:

$$Q_v = F_b F_r Y F_{tf} F_{gr} F_{pv} (h_w P_f)^{0.5} \quad (84)$$

Como la tabla lo ilustra, la incertidumbre total de medición de este gasto en el ejemplo es de $\pm 0.7541\%$.

5.5 Tablas de Coeficientes

Las ecuaciones del coeficiente de flujo en el Capítulo III representan los resultados promedio de pruebas de alrededor de 80 placas de orificio en 6 tamaños distintos de tubo de medición y los valores de prueba reales fueron algunas veces mayores y algunas veces menores que los determinados por medio de las ecuaciones. Las diferencias en los valores del coeficiente se debieron en parte a errores del experimento, pero principalmente a las particularidades individuales de las placas de orificio o de las instalaciones en los distintos tubos de medición. Si se hiciera un número mayor de pruebas en un número mayor de placas de orificio, el promedio de los resultados probablemente hubiera sido ligeramente distinto. Experimentos futuros podrán hacer aconsejable modificar las ecuaciones. Las pruebas ya hechas parecen ser suficientes para dar una medida satisfactoria de las desviaciones del promedio que pueden obtenerse en la práctica.

Tabla 4. Ejemplo del Efecto de los Límites de Incertidumbre Utilizando la Ecuación 84.			
Variable	Porcentaje de Incertidumbre de la variable (+/-)	Factor de Efecto	
		Exponente	Rafz Cuadrada
Γ_b Factor Básico del Orificio	0.5	1	0.25
F_f Factor del Nú- mero de Rey- nolds.	0.1	1	0.01
Y Factor de Ex- pansión.	0.25	1	0.0625
F_{tf} Factor de Tem- peratura de — Flujo.	0.25	1/2	0.0156
F_{gr} Factor de den- sidad Relativa.	0.6	1/2	0.09
F_{pv} Factor de Su- percompresibi- lidad.	0.25	1/2	0.0156
h_w Presión Dife- rencial.	0.5	1/2	0.0625
P_f Presión Estáti- ca absoluta.	0.5	1/2	<u>0.0625</u>
	Suma		0.5687
	Rafz Cuadrada de la suma		0.7541

tica y los límites de incertidumbre dados se establecieron por medio del examen de las desviaciones realmente observadas de los valores calculados.

Los límites de incertidumbre pueden ser mayores para valores de relación de diámetros muy grandes o muy pequeños.

5.6 Factores de Expansión

Este manual proporciona los factores de expansión a utilizar en conexión con la medición de los fluidos compresibles por medio de medidores con placa de orificio (para gases). Se asigna un rango de incertidumbre que varía de cero a $\pm 0.5\%$ a los valores calculados de este factor en donde el cociente h_w/P_{f1} varía de cero a aproximadamente 5.5. Cuando este cociente es mayor que 5.5, se obtendrán incertidumbres un poco mayores. En general, el producto de K y Y estará sujeto a un rango de incertidumbre un poco o no mayor que el valor de la incertidumbre de Y .

5.7 Factores Base de Orificio por Medio de Pruebas de Flujo

Los límites de incertidumbre proporcionados en este manual son necesarios debido a que es imposible duplicar exactamente las instalaciones del medidor con placa de orificio utilizadas comercialmente. En donde se desee obtener una mayor precisión a la indicada por los límites de incertidumbre proporcionados en este manual, los datos básicos del coeficiente de orificio deberán determinarse por medio de un laboratorio calificado de flujo. Particularmente se sugiere la calibración para medidores en tuberías de diámetro nominal menor que 2 pulgadas.

CAPITULO VI
PROPIEDADES FISICAS DE LOS FLUIDOS

6.1 Extensión

Esta sección presenta datos físicos y termodinámicos, cálculos y procedimientos con el objeto de proporcionar información esencial para la medición de flujo de gas y mezclas de hidrocarburos. Los datos, las ecuaciones y principios de cálculo empleados son específicos para la termodinámica y la termofísica. Por lo tanto, los símbolos utilizados son específicos para estas ramas y no deben confundirse con los símbolos y definiciones en la Nomenclatura. Los símbolos correspondientes se utilizan para representar algunos de los resultados finales e ilustrar la relación con la medición de flujo.

6.1.1 Símbolos Utilizados en las Ecuaciones en el Capítulo VI.

Símbolo	Cantidad Representada
B	Segundo coeficiente virial, (libras por pulgada cuadrada absoluta) ⁻¹ * 10 ³ .
$\sqrt{b_1}$	Factor de suma, (libras por pulgada cuadrada absoluta) ⁻² .
cf	Denota pie cúbico.
H _m	Valor calorífico por unidad de masa, Btu/lbm.
H _v	Valor calorífico por unidad de volumen, Btu/pie ³ .
id	Denota gas ideal.
l	Denota líquido.
lbm	Libra masa.
m	Gasto másico.
M _r	Masa molar.

Símbolo	Cantidad Representada
n_w	Moles de agua.
P	Presión absoluta, libras por pulgada cuadrada absoluta.
P_c	Presión crítica, libras por pulgada cuadrada absoluta.
P_m^σ	Presión de vapor del agua, libras por pulgada cuadrada.
Q^{id}	Energía ideal liberada en forma de calor por tiempo.
T	Temperatura, grados Rankine.
T_c	Temperatura crítica, grados Rankine.
\dot{V}	Gasto volumétrico real.
\dot{V}^{id}	Gasto volumétrico ideal.
x	Composición en fracción molar.
$x(\text{cor})$	Fracción molar convertida de base seca a base saturada.
x_w	Fracción molar de agua.
Z	Factor de compresibilidad.
ρ	Densidad real, igual a $M_f P / ZRT$, libras masa por pie cúbico.
ρ^{id}	Densidad ideal, igual a $M_f P / RT$, libras masa por pie cúbico.

6.1.2 Símbolos Correspondientes en Medición de Gas.

Símbolo	Cantidad Representada
HV	Valor calorífico ideal bruto por unidad de volumen real.
q_m	Gasto másico.
q_v	Gasto Volumétrico.

6.2 Propiedades Físicas

La Tabla 5 proporciona las propiedades físicas de muchos de los componentes presentes en el gas natural y en mezclas de hidrocarburos. Los datos de la Tabla 5 se han ajustado a las condiciones base de este manual, las cuales son exactamente 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta y 60 °F.

6.3 Valor Calorífico Y Compresibilidad de Mezclas de Gases.

El valor calorífico es una propiedad ideal evaluada por unidad de masa, H_m^{id} . Este valor se convierte a valor calorífico ideal por unidad de volumen al multiplicarlo por la densidad ideal, $H_m^{id} \cdot \rho^{id} = H_v^{id}$, o a valor calorífico real por unidad de volumen al multiplicarlo por la densidad real, $H_m^{id} \cdot \rho^{id}/Z = H_v$. El valor de HV se utiliza para:

1. Especificación de un producto.
 2. Como factor en el cálculo de flujo de energía o energía total que pasa a través de un medidor de flujo.
- ### 6.3.1 Definición del Valor Calorífico.

El valor calorífico es una propiedad ideal basada en la reacción ideal:



Donde:

id denota gas ideal y l denota líquido (cada combustible requiere distintos coeficientes estequiométricos). Este valor calorífico ideal bruto de combustión incluye la energía obtenida de la condensación del vapor de agua (formado por la reacción ideal expresada en la Ec. 85) a fase líquida.

6.3.2 Cálculo del Valor Calorífico con Base en Volumen.

Un cálculo riguroso para obtener el valor calorífico ideal bruto de una mezcla utilizando los valores $H_v(id)$ de la Tabla 5 involucra:

$$\begin{aligned} H_v^{id} &= x_1(H_v^{id})_1 + x_2(H_v^{id})_2 + \dots + x_n(H_v^{id})_n \\ &= \sum_{i=1}^n x_i(H_v^{id})_i \end{aligned} \quad (86)$$

Donde:

H_V^{id} = valor calorífico ideal por pie cúbico de la mezcla, considerándola como gas ideal, a 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta y 60°F, exactamente.

$(H_V^{id})_i$ = valor calorífico ideal del componente i.

x_i = fracción molar del componente i.

También es conveniente definir:

$$HV = \frac{H_V^{id}}{Z} \quad (87)$$

Donde:

HV = valor calorífico ideal por pie cúbico de la mezcla, considerándola como un gas real, a 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta y 60°F exactamente.

Z = compresibilidad de la mezcla de gas.

Para calcular el flujo ideal de energía liberada en forma de calor en la combustión de la mezcla de gases, se multiplica H_V^{id} por el gasto volumétrico ideal:

$$\dot{Q}^{id} = \dot{V}^{id} H_V^{id} \quad (88)$$

Donde:

\dot{Q}^{id} = cantidad ideal de energía equivalente al gasto.

\dot{V}^{id} = gasto volumétrico ideal.

En la medición de flujo se calcula el gasto volumétrico real, por lo tanto, debe utilizarse el valor calorífico ideal HV por pie cúbico real para calcular la cantidad equivalente de calor o flujo de éste. La siguiente ecuación se aplica para esta conversión:

Tabla 5. Propiedades Físicas de Gasolín a Exactamente 14.73 Libras por Pulgada Cuadrada Absoluta y 60 °F (Nota E)

Componente	Fórmula	Mr (Nota 2)	P _v Btu/lb _m (Nota 3)	T _c Rankin (Nota 3)	G _i (Nota 4)	Densidad Ideal lbm/ft ³ (Nota 5)	Viscosidad cp (Nota 6)	Energía Térmica H _m ^{id} Btu/lb _m (Nota 7)	H _v ^{id} Btu/lb _m (Nota 7)
Hidrógeno	H ₂	2.0159	187.5	59.36	0.07660	0.01532	0.00371	61928	324.9
Helio	He	4.0026	52.9	5.04	0.11229	0.01257	0.01927	0	0
Agua	H ₂ O	18.0153	3200.1	1144.85	0.62320	0.04758	0.00989	1059.8	50.4
Molécula de Carbono	CO	28.010	507.5	139.26	0.96711	0.07396	0.01725	4342.4	321.3
Nitrogeno	N ₂	28.0134	493.3	227.16	0.96723	0.07399	0.01725	0	0
Oxígeno	O ₂	31.9988	311.4	278.21	1.10464	0.08452	0.02055	0	0
Sulfuro de Hidrógeno	H ₂ S	34.08	1306	572.35	1.17869	0.09609	0.02246	1042.2	676.6
Argón	Ar	39.948	754.4	271.54	1.37308	0.10211	0.02711	0	0
Dióxido de Carbono	CO ₂	44.010	1071.0	547.58	1.19355	0.11524	0.03439	0	0
Aire (Nota 1)		28.9625	540.9	238.36	1.00000	0.07650	0.01790	0	0
Metano	CH ₄	16.043	666.4	343.00	0.51552	0.04217	0.01263	23463	1012.0
Eteno	C ₂ H ₄	30.070	756.5	549.57	1.00242	0.07942	0.00901	22333	1773.9
Propeno	C ₃ H ₆	44.097	618.0	665.73	1.22506	0.11647	0.00966	31648	2552.2
iso-Butano	C ₄ H ₁₀	58.123	527.9	734.13	1.09944	0.12222	0.00922	21238	3260.5
n-Butano	C ₄ H ₁₀	58.123	528.0	687.29	1.09868	0.12352	0.00724	21301	3250.1
iso-Pentano	C ₅ H ₁₂	72.150	490.4	826.77	1.49115	0.19057	0.00724	21048	4021.1
n-pentano	C ₅ H ₁₂	72.150	488.6	845.47	1.49155	0.19057	0.00724	21085	4015.2
n-hexano	C ₆ H ₁₄	86.172	436.9	913.27	1.92547	0.22762	0.00724	20943	4761.0
n-heptano	C ₇ H ₁₆	100.204	376.8	972.37	2.45928	0.26467	0.00724	20839	5514.4
n-octano	C ₈ H ₁₈	114.231	360.7	1023.89	3.04410	0.30172	0.00724	20759	6263.3
n-nonano	C ₉ H ₂₀	128.258	331.8	1070.15	4.62821	0.33877	0.00724	20760	7017.5
n-decano	C ₁₀ H ₂₂	142.285	305.2	1111.67	6.01273	0.37581	0.00724	20651	7760.9

Fuente: Thermodynamic Research Center, Texas A&M, septiembre 1983.

Notas:

1. Composición de: Jones, F. E., Journal of Research, Vol. 83, p. 491, National Bureau of Standards, Washington, D.C. 1978.

2. Peso molecular de: C=12.011; H=1.00794; O=15.9994; N=14.0067; y ---- S=32.06 (1979).

3. Fuente de información: Thermodynamics Research Center, (Texas A&M), IUPAC y selecciones de la National Bureau of Standards.

4. La densidad relativa ideal es el cociente del peso molecular del gas entre el peso molecular del aire (Mr/Mra).

5. Densidad ideal=0.0026413 Mr a 60 °F y 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta.

6. Fuente: Vargaftik, N.B., Tables on Thermodynamic Properties of Liquids and Gases, second edition, John Wiley & Sons, New York, 1975.

7. Bajo condiciones de reacción ideal: Combustible (id) + O₂(id) = C_xH_y(id) + SO₂(id) + H₂O(l) donde id denota gas ideal y l denota líquido; dependencia del combustible, la reacción tiene varios coeficientes estequiométricos. La columna $\frac{H_m^{id}}{M^{id}}$ proviene de datos, mientras que la columna $\frac{H_v^{id}}{M^{id}}$ proviene de multichair, $\frac{H_m^{id}}{M^{id}}$ por la densidad ideal del gas. La energía ideal liberada en forma de calor es: H_m^{id} multiplicado por el gasto real de gas (en cúbico por hora) dividido entre 2. El agua tiene valores brutos para H_m^{id} y H_v^{id} la entalpia ideal de condensación).

8. La precisión de los valores experimentales se estima en 1 parte en mil, las cifras adicionales son para la consistencia en el cálculo.

$$\dot{Q}^{id} = \dot{V} \frac{H_v^{id}}{Z} \quad (89)$$

Donde:

\dot{V} = gasto volumétrico real.

y:

$$\dot{V} = Z \dot{V}^{id} \quad (90)$$

Utilizando los símbolos comunes correspondientes en la medición de gas:

$$\dot{Q}^{id} = q_v HV \quad (91)$$

Donde:

q_v = gasto real a condiciones base de 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta y 60 °F.

Por lo tanto, es necesario obtener el factor de compresibilidad para calcular el valor calorífico equivalente para mezclas de gas real. Una ecuación de estado válida para obtener la compresibilidad del gas a 60 °F y a presiones cercanas a la atmosférica utilizando los valores de B_{ij} de la Tabla 6, es:

$$Z = 1 + BP \quad (92)$$

Donde:

$$B = x_1^2 B_{11} + x_2^2 B_{22} + \dots + x_n^2 B_{nn} + 2x_1 x_2 B_{12} + \dots \\ + 2x_{n-1} x_n B_{n-1,n} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j B_{ij} \quad (93)$$

Esta ecuación de compresibilidad, utilizando los valores de B_{ij} de la Tabla 6, es correcta para cualquier composición de la mezcla de gases a 60 °F y a presiones cercanas a 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta. Este procedimiento riguroso para la obtención de la compresibilidad a presiones bajas es más a-

Tabla 6. Segundo Coeficiente Virial para los Componentes del Gas Natural a 60°F (288.71 K) y 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta, (Unidades: 10^3 libras por pulgada cuadrada absoluta⁻¹).

	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	iC ₅ H ₁₂	nC ₅ H ₁₂	nC ₆ H ₁₄	nC ₇ H ₁₆	nC ₈ H ₁₈	nC ₉ H ₂₀	nC ₁₀ H ₂₂
CH ₄	-0.135	-0.381	-0.425	-0.457	-0.560	-0.632	-0.675	-0.793	-0.962	-1.114	-1.149	-1.149
C ₂ H ₆	-0.569	-0.833	-1.005	-1.106	-1.193	-1.293	-1.372	-1.652	-1.933*	-2.355	-2.614	-2.614
C ₃ H ₈	-1.183	-1.522	-1.666	-1.666	-1.693	-1.766	-1.843	-2.242	-2.872	-3.274	-4.093	-4.093
iC ₄ H ₁₀	-2.097	-1.982	-2.556	-2.556	-2.556	-2.614	-3.317	-4.007	-4.782	-5.500	-5.500	-5.500
nC ₄ H ₁₀	-2.289	-2.671	-2.671	-2.671	-2.671	-2.915	-3.404	-4.254	-5.113	-5.888	-5.888	-5.888
iC ₅ H ₁₂	-3.375	-3.375	-3.504	-3.504	-3.504	-3.504	-4.452	-5.391	-6.376	-7.454	-7.454	-7.454
nC ₅ H ₁₂	-3.978	-3.978	-3.978	-3.978	-3.978	-3.978	-4.739	-5.745	-6.850	-7.955	-7.955	-7.955
nC ₆ H ₁₄	-4.434	-4.434	-4.434	-4.434	-4.434	-4.434	-5.238	-6.074	-7.074	-8.074	-8.074	-8.074
nC ₇ H ₁₆	-4.904	-4.904	-4.904	-4.904	-4.904	-4.904	-5.804	-6.777	-7.777	-8.777	-8.777	-8.777
nC ₈ H ₁₈	-5.391	-5.391	-5.391	-5.391	-5.391	-5.391	-6.113	-7.113	-8.113	-9.113	-9.113	-9.113
nC ₉ H ₂₀	-5.888	-5.888	-5.888	-5.888	-5.888	-5.888	-6.434	-7.434	-8.434	-9.434	-9.434	-9.434
nC ₁₀ H ₂₂	-6.376	-6.376	-6.376	-6.376	-6.376	-6.376	-7.074	-8.074	-9.074	-10.074	-10.074	-10.074

	nC ₁₀ H ₂₂	H ₂	He	H ₂ O	CO	N ₂	O ₂	H ₂ S	Ar	CO ₂
CH ₄	-1.307	0.072	0.070	-0.324	-0.021	-0.060	-0.052	0.241	-0.076	-0.181
C ₂ H ₆	-2.901	0.012	0.057	-0.422	-0.106	-0.152	-0.124	-0.445	-0.164	-0.385
C ₃ H ₈	-4.639	0.016	0.095	-0.589	-0.178	-0.237	-0.201	-0.521	-0.244	-0.618
iC ₄ H ₁₀	-6.294	0.000	0.075	-0.764	-0.241	-0.313	-0.270	-1.112	-0.264	-0.819
nC ₄ H ₁₀	-6.578	0.076	0.118	-0.761	-0.253	-0.340	-0.293	-1.152	-0.345	-0.862
iC ₅ H ₁₂	-8.545	0.069	0.075	-0.862	-0.315	-0.326	-0.391	-1.456	-0.388	-1.063
nC ₅ H ₁₂	-8.904	0.012	0.075	-0.899	-0.319	-0.380	-0.474	-1.476	-0.391	-1.091
nC ₆ H ₁₄	-11.45	-0.010	0.060	-1.023	-0.408	-0.373	-0.508	-1.676	-0.416	-1.379
nC ₇ H ₁₆	-14.13	-0.121	0.086	-1.120	-0.483	-0.452	-0.572	-2.269	-0.511	-1.623
nC ₈ H ₁₈	-17.23	0.032	0.095	-1.235	-0.585	-0.474	-0.678	-2.709	-0.618	-1.910
nC ₉ H ₂₀	-20.39	-0.072	0.101	-1.321	-0.675	-0.618	-0.761	-3.131	-0.732	-2.183
nC ₁₀ H ₂₂	-23.64	-0.083	0.106	-1.407	-0.747	-0.638	-0.870	-3.605	-0.819	-2.485
H ₂	0.041	0.046	0.050	0.058	0.035	0.032	0.022	0.020	-0.066	-0.066
He	0.034	0.057	0.052	0.060	0.060	0.060	0.063	0.051	0.051	0.051
H ₂ O	-3.878	-0.172	-0.132	-0.124	-0.224	-0.224	-0.220	-0.121	-0.629	-0.629
CO	-0.028	0.003	0.011	-0.019	-0.019	-0.019	-0.019	-0.043	-0.124	-0.124
N ₂	-0.019	-0.037	-0.035	-0.037	-0.037	-0.037	-0.037	-0.037	-0.144	-0.144
O ₂	-0.053	-0.161	-0.161	-0.161	-0.161	-0.161	-0.161	-0.161	-0.118	-0.118
H ₂ S	-0.641	-0.135	-0.135	-0.135	-0.135	-0.135	-0.135	-0.135	-0.416	-0.416
Ar	-0.051	-0.134	-0.134	-0.134	-0.134	-0.134	-0.134	-0.134	-0.134	-0.134
CO ₂	-0.388	-0.388	-0.388	-0.388	-0.388	-0.388	-0.388	-0.388	-0.388	-0.388

Nota: Las unidades de medición son 1000 libras por pulgada cuadrada abs.⁻¹

Ejemplo: B(C₃, H₂S) vaya al renglón C₃ y lea el valor que cruza con la columna de H₂S. El valor de este ejemplo está encerrado en la tabla; valor de la tabla/1000 = -0.000842 libras por pulgada cuadrada absoluta⁻¹.

Tabla 7. Factores de Suma a 60°F (288.71 K) (Unidades: libras por pulgada cuadrada absoluta $^{-2}$)

Componente	(bi) ^{0.5}
CH_4	0.0116
C_2H_6	0.0239
C_3H_8	0.0344
$i\text{C}_4\text{H}_{10}$	0.0458
$n\text{C}_4\text{H}_{10}$	0.0478
$i\text{C}_5\text{H}_{12}$	0.0581
$n\text{C}_5\text{H}_{12}$	0.0631
$n\text{C}_6\text{H}_{14}$	0.0802
$n\text{C}_7\text{H}_{16}$	0.0944
$n\text{C}_8\text{H}_{18}$	0.1137
$n\text{C}_9\text{H}_{20}$	0.1331
$n\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	0.1538
H_2	—
He	—
H_2O	0.0623
CO	0.0053
N_2	0.0044
O_2	0.0073
H_2S	0.0253
Ar	0.0071
CO_2	0.0197

propio hacerlo por medio de una computadora que hacerlo a mano.

Un procedimiento aproximado del método anterior, más adecuado a un cálculo a mano, proporciona factores de compresibilidad aceptables para algunas aplicaciones. Para mezclas que no contengan hidrógeno o helio, la expresión apropiada para obtener B es:

$$B = -(x_1 \sqrt{b_1} + x_2 \sqrt{b_2} + \dots + x_n \sqrt{b_n})^2$$

$$= -\left(\sum_{i=1}^n x_i \sqrt{b_i}\right)^2 \quad (94)$$

Los valores de $\sqrt{b_i}$ a utilizar en la Ec. 85 están dados en la Tabla 7.

6.3.2.1 Ejemplo: Cálculo del valor calorífico para una mezcla de tres componentes. - ¿Cuál es el valor calorífico y los factores de compresibilidad a 60 °F y 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta para un gas cuya composición es: 40 por ciento mole de metano, 30 por ciento mole de etano y 30 por ciento mole de dióxido de carbono?

	x_i	$(H_v^{id})_i$	$B_{ij} \cdot 1000$		
			CH_4	C_2H_6	CO_2
CH_4	0.40	1012.0	-0.135	-0.281	-0.181
C_2H_6	0.30	1773.7		-0.569	-0.385
CO_2	0.30	0			-0.388

$$H_v^{id} = (0.4) (1012.0) + (0.3) (1773.7) + (0.3) (0) = 936.9 \text{ Btu/ple}^3$$

$$Z = 1 + \frac{14.73}{1000} [(0.4)^2 (-0.135) + (0.3)^2 (-0.569)$$

$$+ (0.3)^2 (-0.388) + (2) (0.4) (0.3) (-0.281)$$

$$+ (2) (0.4) (0.3) (-0.181) + (2) (0.3) (0.3) (-0.385)]$$

$$= 0.9958$$

$$\begin{aligned}
 Z \text{ (aproximada)} &= 1 - 14.73 ((0.4) (0.0116) + (0.3) (0.0239) \\
 &\quad + (0.3) (0.0197))^2 \\
 &= 0.9954
 \end{aligned}$$

El valor calorífico bruto ideal por pie cúbico de volumen real a 14.73 libras -- por pulgada cuadrada absoluta y 60 grados Fahrenheit es:

$$HV = H_v^{id}/Z = 936.9/0.9958 = 940.9 \text{ Btu/pie}^3$$

6.3.2.2 Cálculo del valor calorífico de una mezcla de gases saturada con agua. -- Si la mezcla de gas está saturada con agua, pero el análisis está hecho sin la presencia de ésta, es necesario ajustar las fracciones molares para reflejar la presencia de agua. Suponiendo que la ley de Raoult sea aplicable, la fracción molar x_w de agua en una mezcla de gases saturada con agua está dada por la Ec. 95 para una mole de gas deshidratado:

$$x_w = \frac{P_w^\sigma}{P} = \frac{n_w}{1 + n_w} \quad (95)$$

Donde:

x_w = fracción molar de agua.

P_w^σ = presión de vapor del agua.

P = presión (absoluta).

n_w = moles de agua.

$$n_w = \frac{x_w}{1 - x_w} \quad (96)$$

$$x_i(\text{cor}) = \frac{x_i}{1 + \frac{x_w}{1 - x_w}} = x_i(1 - x_w) = x_i \left(1 - \frac{P_w^\sigma}{P}\right) \quad (97)$$

Donde:

$$x_1(\text{cor}) = \text{fracción molar convertida de deshidratada a saturada.}$$

Por lo tanto, para calcular el valor calorífico y el factor de compresibilidad, se debe utilizar x_w y $x_1(\text{cor})$ y agregar el agua a la lista de componentes.

NOTA: El gas que está saturado con agua, a condiciones de flujo, puede no estar saturado a condiciones base. En tales casos, las fracciones molares deben corregirse a condiciones de flujo y después utilizarse en los cálculos. El gas que no está saturado a condiciones de flujo, pero que es analizado para conocer su contenido de energía utilizando un calorímetro saturante, debe tener las fracciones molares corregidas a condiciones base.

6.3.2.3 Cálculo del valor calorífico de mezclas hidratadas de gases pero no saturadas.- Para gases que contienen agua pero que no están saturados, el análisis del gas sin agua puede corregirse por la presencia de agua utilizando la Ec. 98 y agregando el agua a la lista de componentes.

$$x_1(\text{cor}) = x_1(1 - x_w) \quad (98)$$

Donde:

x_w = la fracción molar del vapor de agua presente en una mezcla de gases hidratada.

6.3.2.4 Ejemplo de cálculo del valor calorífico para una mezcla de tres componentes, saturada con agua.- Si la mezcla en 6.3.2.1 está saturada con agua, ¿cuál es el valor calorífico y el factor de compresibilidad?

	x_1	$x_1(\text{cor})$	$(H_v^{id})_1$	$B_{1j} \times 1000$			
				CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	H ₂ O
CH ₄	0.40	0.3930	1012.0	-0.135	-0.281	-0.181	-0.224
C ₂ H ₆	0.30	0.2948	1773.7		-0.569	-0.385	-0.422
CO ₂	0.30	0.2948	0			-0.388	-0.689
H ₂ O		0.0174	50.4*				-0.878

*Ver nota en la Tabla 5

La composición del gas deshidratado debe corregirse para incluir la presencia de agua en el gas. Utilizando la Ec. 95 para calcular la fracción molar de agua basada en su presión de vapor $P_w^v = 0.25636$ libras por pulgada cuadrada absoluta (el valor del Comité Nacional de Patrones (National Bureau of Standards) a 60 grados Fahrenheit y una presión total de 14.73 libras por pulgada cuadrada - absoluta).

$$x_w = \frac{0.25636}{14.73} = 0.0174$$

$$H_v^{id} = 0.3930 (1012.0) + (0.2948) (1773.7) \\ + (0.2948) (0) + (0.0174) (50.4) = 921.5 \text{ Btu/pie}^3$$

$$Z = 1 + \frac{14.73}{1000} \left\{ (0.3930)^2 (-0.135) + (0.2948)^2 (-0.569) \right. \\ + (0.2948)^2 (-0.388) + (0.0174)^2 (-3.878) \\ + (2) (0.3930) (0.2948) (-0.281) \\ + (2) (0.3930) (0.2948) (-0.181) \\ + (2) (0.3930) (0.0174) (-0.224) \\ + (2) (0.2948) (0.2948) (-0.385) \\ + (2) (0.2948) (0.0174) (-0.422) \\ \left. + (2) (0.2948) (0.0174) (-0.689) \right\} \\ = 0.9957$$

$$Z (\text{aproximada}) = 1 - 14.73 \left\{ (0.3930) (0.0116) + (0.2948) (0.0239) \right. \\ \left. + (0.2948) (0.0197) + (0.0174) (0.0623) \right\}^2 \\ = 0.9950$$

$$H_v^{id}/Z = HV = 921.5/0.9957 = 925.5 \text{ Btu/pie}^3$$

6.3.3 Cálculo del Valor Calorífico con Base en la Masa.

El problema del factor de compresibilidad desaparece al utilizar el valor calorífico ideal por libra masa y el gasto másico. La ecuación aplicable para utilizar los valores H_m^{id} y M_r de la Tabla 5 para calcular el valor calorífico ideal es:

$$H_m^{id} = \frac{x_1(M_r)_1(H_m^{id})_1 + x_2(M_r)_2(H_m^{id})_2 + \dots + x_n(M_r)_n(H_m^{id})_n}{x_1(M_r)_1 + x_2(M_r)_2 + \dots + x_n(M_r)_n} \quad (99)$$

$$H_m^{id} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i(M_r)_i(H_m^{id})_i}{\sum_{i=1}^n x_i(M_r)_i} \quad (100)$$

Donde:

H_m^{id} = valor calorífico ideal por libra masa.

$(H_m^{id})_i$ = valor calorífico ideal del componente i, por libra masa.

M_r = masa molar.

El gasto ideal de energía equivalente a un gasto en unidades de masa (para gas o para líquido) está representado por:

$$Q^{id} = m(H_m^{id}) \quad (101)$$

Donde:

m = gasto másico.

6.3.3.1 Ejemplo del cálculo del valor calorífico para una mezcla de tres componentes, con base en la masa.- ¿Cuál es el valor calorífico ideal -

de un gas con una composición de: 40 por ciento mole de metano, 30 por ciento mole de etano y 30 por ciento mole de dióxido de carbono?

	x_i	$(M_p)_i$	$(H_m^{id})_i$
CH ₄	0.40	16.043	23883
C ₂ H ₆	0.30	30.070	22333
CO ₂	0.30	44.010	0

El valor calorífico bruto ideal por libra masa de mezcla de gas es:

$$H_m^{id} = \frac{(0.4)(16.043)(23883) + (0.3)(30.070)(22333) + (0.3)(44.01)(0)}{0.4(16.043) + (0.3)(30.070) + (0.3)(44.010)}$$

$$= 12385 \text{ Btu/lbm}$$

6.3.3.2 Cálculo del valor calorífico de una mezcla de gases saturada con agua, con base en la masa.- Si esta mezcla está saturada con agua, pero el análisis está hecho para un gas deshidratado, es necesario ajustar las fracciones molares para reflejar la presencia del agua y agregarla a la lista de componentes. Las Ecs. 95 y 98 y los procedimientos discutidos en 6.3.2.2 son aplicables para la corrección de las fracciones molares de gas deshidratado a fracciones molares de gas hidratado.

6.3.3.3 Cálculo del valor calorífico de una mezcla de gases hidratada, pero no saturada, con agua, con base en la masa.- Para un gas que contiene agua pero no está saturado, el análisis hecho para un gas deshidratado puede corregirse para reflejar la presencia de agua utilizando la Ec. 98 y agregando el agua a la lista de componentes:

$$x_i(\text{cor}) = x_i(1 - x_w) \quad (98)$$

Donde:

x_w = la fracción molar del vapor de agua presente en la mezcla de gas hidratado.

6.3.3.4 Ejemplo del cálculo del valor calorífico de una mezcla de tres componentes, saturada con agua, con base en la masa. - Si la mezcla en 6.3.3.1 está saturada con agua, ¿cuál es el valor calorífico y el factor de corrección de la humedad?

	x_i	$x_{i(\text{cor})}$	(M_{r_i})	$(H_{m \text{ id}})_i$
CH_4	0.40	0.3930	16.043	23883
C_2H_6	0.30	0.2948	30.070	22333
CO_2	0.30	0.2948	44.010	0
H_2O		0.0174	18.0153	1059.8*

*Ver Nota 7 en la Tabla 5

La composición del gas deshidratado debe corregirse para incluir la presencia de agua en el gas. Utilizando la Ec. 95 para calcular la fracción molar de agua con base en su presión de vapor y la Ec. 98 para calcular las fracciones molares corregidas y agregando el agua a la lista de componentes;

$P_w^v = 0.2563$ libras por pulgada cuadrada absoluta (el valor del Comité Nacional de Patrones (national Bureau of Standards) a 60 grados Fahrenheit y - una presión total de 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta).

$$x_w = \frac{0.25636}{14.73} = 0.0174$$

El valor calorífico ideal bruto por libra masa de la mezcla de gas, saturada con agua, es:

$$H_{m \text{ id}} = \frac{0.393(16.043)(23883) + (0.2948)(30.07)(22333) + (0.2948)(44.01)(0) + (0.0174)(18.0153)(1059.8)}{0.393(16.043) + (0.2948)(30.07) + (0.2948)(44.01) + (0.0174)(18.0153)}$$

$$+ (18.0153)(1059.8)$$

$$= 12260 \text{ Btu/lbm}$$

6.4 Compresibilidad del Gas Natural con Alto Contenido de Gases Asociados

El factor de compresibilidad para mezclas de gas natural con un alto contenido de gases no hidrocarburos (CO, CO₂, N, H₂S, etc.), para presiones mayores que la atmosférica y temperaturas distintas de 60 °F, puede calcularse mediante el uso del factor acéntrico de Pitzer en la siguiente ecuación:

$$Z = Z^{(0)} + w_m Z^{(1)} \quad (102)$$

Donde:

w_m = factor acéntrico promedio de la mezcla.

$Z^{(0)}$ = factor ideal de compresibilidad.

$Z^{(1)}$ = factor de desviación.

Z = factor de compresibilidad de la mezcla.

Los valores del factor acéntrico para los componentes del gas natural y gases asociados no hidrocarburos se presentan en la Tabla 8. El factor acéntrico promedio de la mezcla puede calcularse con la ecuación:

$$w_m = \sum_{i=1}^n y_i w_i \quad (103)$$

Donde:

n = número de componentes de la mezcla.

y_i = fracción molar del componente i .

w_i = factor acéntrico del componente i .

El factor ideal de compresibilidad y el factor de desviación pueden obtenerse de las Tablas 9 y 10. Como puede observarse en las tablas, estos factores son función de la presión y de la temperatura pseudoreducidas de la mezcla, cuyos valores son necesarios para interpolar en las tablas. Estos valores pueden calcularse con las siguientes ecuaciones:

Tabla 8. Factores Acéntricos de los Componentes del Gas Natural y Gases Asociados no Hidrocarburos

Componente	Factor acéntrico
CH_4	0.008
C_2H_6	0.098
C_3H_8	0.152
nC_4H_{10}	0.193
nC_5H_{12}	0.251
iC_4H_{10}	0.176
iC_5H_{12}	0.227
nC_6H_{14}	0.296
nC_7H_{16}	0.351
nC_8H_{18}	0.394
nC_9H_{20}	0.444
$\text{nC}_{10}\text{H}_{22}$	0.490
H_2	-0.22
He (4)	-0.387
H_2O	0.344
CO	0.049
N_2	0.040
O_2	0.021
H_2S	0.100
Ar	-0.004
CO_2	0.225

Tabla 9. Compresibilidad Ideal $z^{(0)}$

R_r	P_r														
	0.010	0.050	0.100	0.200	0.400	0.600	0.800	1.000	1.200	1.500	2.000	3.000	5.000	7.000	10.000
0.30	0.0029	0.0145	0.0290	0.0579	0.1158	0.1737	0.2315	0.2892	0.3470	0.4335	0.5179	0.6098	1.1308	2.0008	2.8597
0.35	0.0026	0.0130	0.0261	0.0522	0.1043	0.1564	0.2084	0.2604	0.3123	0.3901	0.5194	0.7770	1.2952	1.7067	2.5539
0.40	0.0022	0.0119	0.0239	0.0477	0.0953	0.1429	0.1904	0.2379	0.2853	0.3563	0.4744	0.7095	1.1754	1.6373	2.3211
0.45	0.0022	0.0118	0.0237	0.0474	0.0942	0.1418	0.1892	0.2366	0.2840	0.3549	0.4730	0.7081	1.1745	1.6363	2.3201
0.50	0.0021	0.0103	0.0207	0.0413	0.0825	0.1229	0.1647	0.2200	0.2638	0.3294	0.4384	0.6551	1.0841	1.5077	2.1330
0.55	0.0021	0.0100	0.0205	0.0410	0.0820	0.1226	0.1644	0.2195	0.2633	0.3290	0.4380	0.6549	1.0839	1.5075	2.1328
0.60	0.0020	0.0098	0.0203	0.0408	0.0818	0.1224	0.1642	0.2193	0.2631	0.3288	0.4378	0.6547	1.0837	1.5073	2.1326
0.65	0.0020	0.0097	0.0202	0.0407	0.0817	0.1223	0.1641	0.2192	0.2630	0.3287	0.4377	0.6546	1.0836	1.5072	2.1325
0.70	0.0020	0.0096	0.0201	0.0406	0.0816	0.1222	0.1640	0.2191	0.2629	0.3286	0.4376	0.6545	1.0835	1.5071	2.1324
0.75	0.0020	0.0095	0.0200	0.0405	0.0815	0.1221	0.1639	0.2190	0.2628	0.3285	0.4375	0.6544	1.0834	1.5070	2.1323
0.80	0.0020	0.0094	0.0199	0.0404	0.0814	0.1220	0.1638	0.2189	0.2627	0.3284	0.4374	0.6543	1.0833	1.5069	2.1322
0.85	0.0020	0.0093	0.0198	0.0403	0.0813	0.1219	0.1637	0.2188	0.2626	0.3283	0.4373	0.6542	1.0832	1.5068	2.1321
0.90	0.0020	0.0092	0.0197	0.0402	0.0812	0.1218	0.1636	0.2187	0.2625	0.3282	0.4372	0.6541	1.0831	1.5067	2.1320
0.95	0.0020	0.0091	0.0196	0.0401	0.0811	0.1217	0.1635	0.2186	0.2624	0.3281	0.4371	0.6540	1.0830	1.5066	2.1319
1.00	0.0020	0.0090	0.0195	0.0400	0.0810	0.1216	0.1634	0.2185	0.2623	0.3280	0.4370	0.6539	1.0829	1.5065	2.1318
1.05	0.0020	0.0089	0.0194	0.0399	0.0809	0.1215	0.1633	0.2184	0.2622	0.3279	0.4369	0.6538	1.0828	1.5064	2.1317
1.10	0.0020	0.0088	0.0193	0.0398	0.0808	0.1214	0.1632	0.2183	0.2621	0.3278	0.4368	0.6537	1.0827	1.5063	2.1316
1.15	0.0020	0.0087	0.0192	0.0397	0.0807	0.1213	0.1631	0.2182	0.2620	0.3277	0.4367	0.6536	1.0826	1.5062	2.1315
1.20	0.0020	0.0086	0.0191	0.0396	0.0806	0.1212	0.1630	0.2181	0.2619	0.3276	0.4366	0.6535	1.0825	1.5061	2.1314
1.25	0.0020	0.0085	0.0190	0.0395	0.0805	0.1211	0.1629	0.2180	0.2618	0.3275	0.4365	0.6534	1.0824	1.5060	2.1313
1.30	0.0020	0.0084	0.0189	0.0394	0.0804	0.1210	0.1628	0.2179	0.2617	0.3274	0.4364	0.6533	1.0823	1.5059	2.1312
1.40	0.0020	0.0083	0.0188	0.0393	0.0803	0.1209	0.1627	0.2178	0.2616	0.3273	0.4363	0.6532	1.0822	1.5058	2.1311
1.50	0.0020	0.0082	0.0187	0.0392	0.0802	0.1208	0.1626	0.2177	0.2615	0.3272	0.4362	0.6531	1.0821	1.5057	2.1310
1.60	0.0020	0.0081	0.0186	0.0391	0.0801	0.1207	0.1625	0.2176	0.2614	0.3271	0.4361	0.6530	1.0820	1.5056	2.1309
1.70	0.0020	0.0080	0.0185	0.0390	0.0800	0.1206	0.1624	0.2175	0.2613	0.3270	0.4360	0.6529	1.0819	1.5055	2.1308
1.80	0.0020	0.0079	0.0184	0.0389	0.0799	0.1205	0.1623	0.2174	0.2612	0.3269	0.4359	0.6528	1.0818	1.5054	2.1307
1.90	0.0020	0.0078	0.0183	0.0388	0.0798	0.1204	0.1622	0.2173	0.2611	0.3268	0.4358	0.6527	1.0817	1.5053	2.1306
2.00	0.0020	0.0077	0.0182	0.0387	0.0797	0.1203	0.1621	0.2172	0.2610	0.3267	0.4357	0.6526	1.0816	1.5052	2.1305
2.20	0.0020	0.0076	0.0181	0.0386	0.0796	0.1202	0.1620	0.2171	0.2609	0.3266	0.4356	0.6525	1.0815	1.5051	2.1304
2.40	0.0020	0.0075	0.0180	0.0385	0.0795	0.1201	0.1619	0.2170	0.2608	0.3265	0.4355	0.6524	1.0814	1.5050	2.1303
2.60	0.0020	0.0074	0.0179	0.0384	0.0794	0.1200	0.1618	0.2169	0.2607	0.3264	0.4354	0.6523	1.0813	1.5049	2.1302
2.80	0.0020	0.0073	0.0178	0.0383	0.0793	0.1199	0.1617	0.2168	0.2606	0.3263	0.4353	0.6522	1.0812	1.5048	2.1301
3.00	0.0020	0.0072	0.0177	0.0382	0.0792	0.1198	0.1616	0.2167	0.2605	0.3262	0.4352	0.6521	1.0811	1.5047	2.1300
3.20	0.0020	0.0071	0.0176	0.0381	0.0791	0.1197	0.1615	0.2166	0.2604	0.3261	0.4351	0.6520	1.0810	1.5046	2.1299
3.40	0.0020	0.0070	0.0175	0.0380	0.0790	0.1196	0.1614	0.2165	0.2603	0.3260	0.4350	0.6519	1.0809	1.5045	2.1298
3.60	0.0020	0.0069	0.0174	0.0379	0.0789	0.1195	0.1613	0.2164	0.2602	0.3259	0.4349	0.6518	1.0808	1.5044	2.1297
3.80	0.0020	0.0068	0.0173	0.0378	0.0788	0.1194	0.1612	0.2163	0.2601	0.3258	0.4348	0.6517	1.0807	1.5043	2.1296
4.00	0.0020	0.0067	0.0172	0.0377	0.0787	0.1193	0.1611	0.2162	0.2600	0.3257	0.4347	0.6516	1.0806	1.5042	2.1295

101

Tabla 10. Factor de Desviación $Z^{(1)}$

T_r	F_r														
	0.0125	0.025	0.100	0.200	0.400	0.600	0.800	1.000	1.200	1.500	2.000	3.000	5.000	7.000	10.000
0.20	-0.0098	-0.0040	-0.0001	-0.0101	-0.0323	-0.0688	-0.1045	-0.1386	-0.1706	-0.2008	-0.2287	-0.2546	-0.2787	-0.2999	-0.3175
0.25	-0.0089	-0.0046	-0.0003	-0.0105	-0.0370	-0.0758	-0.1124	-0.1465	-0.1784	-0.2086	-0.2365	-0.2624	-0.2865	-0.3077	-0.3253
0.30	-0.0080	-0.0047	-0.0004	-0.0109	-0.0390	-0.0800	-0.1176	-0.1527	-0.1856	-0.2158	-0.2437	-0.2706	-0.2947	-0.3159	-0.3335
0.35	-0.0072	-0.0048	-0.0005	-0.0113	-0.0410	-0.0860	-0.1242	-0.1593	-0.1922	-0.2224	-0.2503	-0.2772	-0.3013	-0.3225	-0.3401
0.40	-0.0064	-0.0049	-0.0006	-0.0117	-0.0430	-0.0920	-0.1292	-0.1643	-0.1972	-0.2274	-0.2553	-0.2822	-0.3063	-0.3275	-0.3451
0.45	-0.0056	-0.0050	-0.0007	-0.0121	-0.0450	-0.0980	-0.1344	-0.1695	-0.2024	-0.2326	-0.2605	-0.2874	-0.3115	-0.3327	-0.3503
0.50	-0.0048	-0.0051	-0.0008	-0.0125	-0.0470	-0.1040	-0.1392	-0.1743	-0.2072	-0.2374	-0.2653	-0.2922	-0.3163	-0.3375	-0.3551
0.55	-0.0041	-0.0052	-0.0009	-0.0129	-0.0490	-0.1100	-0.1452	-0.1803	-0.2132	-0.2434	-0.2713	-0.2982	-0.3223	-0.3435	-0.3611
0.60	-0.0034	-0.0053	-0.0010	-0.0133	-0.0510	-0.1160	-0.1512	-0.1863	-0.2192	-0.2494	-0.2773	-0.3042	-0.3283	-0.3495	-0.3671
0.65	-0.0027	-0.0054	-0.0011	-0.0137	-0.0530	-0.1220	-0.1572	-0.1923	-0.2252	-0.2554	-0.2833	-0.3102	-0.3343	-0.3555	-0.3731
0.70	-0.0021	-0.0055	-0.0012	-0.0141	-0.0550	-0.1280	-0.1632	-0.1983	-0.2312	-0.2614	-0.2893	-0.3162	-0.3403	-0.3615	-0.3791
0.75	-0.0016	-0.0056	-0.0013	-0.0145	-0.0570	-0.1340	-0.1692	-0.2043	-0.2372	-0.2674	-0.2953	-0.3222	-0.3463	-0.3675	-0.3851
0.80	-0.0011	-0.0057	-0.0014	-0.0149	-0.0590	-0.1400	-0.1752	-0.2103	-0.2432	-0.2734	-0.3013	-0.3282	-0.3523	-0.3735	-0.3911
0.85	-0.0007	-0.0058	-0.0015	-0.0153	-0.0610	-0.1460	-0.1812	-0.2163	-0.2492	-0.2794	-0.3073	-0.3342	-0.3583	-0.3805	-0.3981
0.90	-0.0004	-0.0059	-0.0016	-0.0157	-0.0630	-0.1520	-0.1872	-0.2223	-0.2552	-0.2854	-0.3133	-0.3402	-0.3643	-0.3865	-0.4041
0.95	-0.0002	-0.0060	-0.0017	-0.0161	-0.0650	-0.1580	-0.1932	-0.2283	-0.2612	-0.2914	-0.3193	-0.3462	-0.3703	-0.3925	-0.4101
1.00	-0.0001	-0.0061	-0.0018	-0.0165	-0.0670	-0.1640	-0.1992	-0.2343	-0.2672	-0.2974	-0.3253	-0.3522	-0.3763	-0.3985	-0.4161
1.05	-0.0000	-0.0062	-0.0019	-0.0169	-0.0690	-0.1700	-0.2052	-0.2403	-0.2732	-0.3034	-0.3313	-0.3582	-0.3823	-0.4045	-0.4221
1.10	-0.0000	-0.0063	-0.0020	-0.0173	-0.0710	-0.1760	-0.2112	-0.2463	-0.2792	-0.3094	-0.3373	-0.3642	-0.3883	-0.4105	-0.4281
1.15	-0.0000	-0.0064	-0.0021	-0.0177	-0.0730	-0.1820	-0.2172	-0.2523	-0.2852	-0.3154	-0.3433	-0.3702	-0.3943	-0.4165	-0.4341
1.20	-0.0000	-0.0065	-0.0022	-0.0181	-0.0750	-0.1880	-0.2232	-0.2583	-0.2912	-0.3214	-0.3493	-0.3762	-0.4003	-0.4265	-0.4441
1.25	-0.0000	-0.0066	-0.0023	-0.0185	-0.0770	-0.1940	-0.2292	-0.2643	-0.2972	-0.3274	-0.3553	-0.3822	-0.4063	-0.4325	-0.4501
1.30	-0.0000	-0.0067	-0.0024	-0.0189	-0.0790	-0.2000	-0.2352	-0.2703	-0.3032	-0.3334	-0.3613	-0.3882	-0.4143	-0.4405	-0.4581
1.40	-0.0000	-0.0068	-0.0025	-0.0193	-0.0810	-0.2060	-0.2412	-0.2763	-0.3092	-0.3394	-0.3673	-0.3942	-0.4203	-0.4465	-0.4641
1.50	-0.0000	-0.0069	-0.0026	-0.0197	-0.0830	-0.2120	-0.2472	-0.2823	-0.3152	-0.3454	-0.3733	-0.4002	-0.4263	-0.4525	-0.4701
1.60	-0.0000	-0.0070	-0.0027	-0.0201	-0.0850	-0.2180	-0.2532	-0.2883	-0.3212	-0.3514	-0.3793	-0.4062	-0.4323	-0.4585	-0.4761
1.70	-0.0000	-0.0071	-0.0028	-0.0205	-0.0870	-0.2240	-0.2592	-0.2943	-0.3272	-0.3574	-0.3853	-0.4122	-0.4383	-0.4645	-0.4821
1.80	-0.0000	-0.0072	-0.0029	-0.0209	-0.0890	-0.2300	-0.2652	-0.3003	-0.3332	-0.3634	-0.3913	-0.4182	-0.4443	-0.4705	-0.4881
1.90	-0.0000	-0.0073	-0.0030	-0.0213	-0.0910	-0.2360	-0.2712	-0.3063	-0.3392	-0.3694	-0.3973	-0.4242	-0.4503	-0.4765	-0.4941
2.00	-0.0000	-0.0074	-0.0031	-0.0217	-0.0930	-0.2420	-0.2772	-0.3123	-0.3452	-0.3754	-0.4033	-0.4302	-0.4563	-0.4825	-0.5001
2.20	-0.0000	-0.0075	-0.0032	-0.0221	-0.0950	-0.2480	-0.2832	-0.3183	-0.3512	-0.3814	-0.4093	-0.4362	-0.4623	-0.4885	-0.5061
2.40	-0.0000	-0.0076	-0.0033	-0.0225	-0.0970	-0.2540	-0.2892	-0.3243	-0.3572	-0.3874	-0.4153	-0.4422	-0.4683	-0.4945	-0.5121
2.60	-0.0000	-0.0077	-0.0034	-0.0229	-0.0990	-0.2600	-0.2952	-0.3303	-0.3632	-0.3934	-0.4213	-0.4482	-0.4743	-0.5005	-0.5181
2.80	-0.0000	-0.0078	-0.0035	-0.0233	-0.1010	-0.2660	-0.3012	-0.3363	-0.3692	-0.3994	-0.4273	-0.4542	-0.4803	-0.5065	-0.5241
3.00	-0.0000	-0.0079	-0.0036	-0.0237	-0.1030	-0.2720	-0.3072	-0.3423	-0.3752	-0.4054	-0.4333	-0.4602	-0.4863	-0.5125	-0.5301
3.50	-0.0000	-0.0080	-0.0037	-0.0241	-0.1050	-0.2780	-0.3132	-0.3483	-0.3812	-0.4114	-0.4393	-0.4662	-0.4923	-0.5185	-0.5361
4.00	-0.0000	-0.0081	-0.0038	-0.0245	-0.1070	-0.2840	-0.3192	-0.3543	-0.3872	-0.4174	-0.4453	-0.4722	-0.4983	-0.5245	-0.5421

103

$$P_{pr} = \frac{P_f}{P_{pc}} \quad (104)$$

$$T_{pr} = \frac{T_f}{T_{pc}} \quad (105)$$

Donde:

P_{pc} = presión pseudocrítica

T_{pc} = temperatura pseudocrítica

Las ecuaciones de Joffe-Stewart, Burkhardt y Voo se utilizan para calcular la presión y la temperatura pseudocríticas:

$$T_{cm} = K^2/J \quad (106)$$

$$P_{cm} = T_{cm}/J \quad (107)$$

Donde:

$$K^2 = N_{16} \left(\sum_{i=1}^n v_i T_{ci}/P_{ci}^{0.5} \right)^2 \quad (108)$$

$$J = N_{17} \sum_{i=1}^n v_i \sum_{j=1}^n v_j \left((T_{ci}/P_{ci})^{1/3} + (T_{cj}/P_{cj})^{1/3} \right)^3 \quad (109)$$

Donde:

$$N_{16} = 47.61504$$

$$N_{17} = 3.3066$$

La corrección por contenido de CO_2 y H_2S se define como:

$$e_1 = 950 w_h (A - A^3) + 9(y_{H_2S}^{0.5} - y_{H_2S}^2) \quad (110)$$

Donde:

$$A = y_{CO_2} + y_{H_2S} \quad (111)$$

$$w_h = \sum y_i w_i \quad (\text{excepto el } CO_2 \text{ y el } H_2S) \quad (112)$$

Entonces:

$$T_{pc} = T_{cm} - e_1 \quad (113)$$

$$P_{pc} = P_{cm} * T_{pc} / T_{cm} \quad (114)$$

Esta corrección puede omitirse si la mezcla no contiene CO_2 ni H_2S , pero el método para calcular Z debe aplicarse si se tiene una fracción molar de nitrógeno mayor o igual que 0.15 o una fracción molar apreciable de algún otro gas asociado no hidrocarburo.

N O M E N C L A T U R A

A_1	área de flujo en el tubo de medición, pie ² .
A_2	área de flujo del orificio de la placa, pie ² .
b	constante para la determinación del factor del número de Reynolds.
C	coeficiente de descarga.
C'	constante de flujo del orificio.
C_p	calor específico del gas a presión constante, Btu/lbm °F.
C_v	calor específico del gas a volumen constante, Btu/lbm °F.
D	diámetro interior medido del tubo de medición, pulgada.
d	diámetro medido del orificio, pulgada.
F_a	factor de expansión térmica de la placa de orificio, adimensional.
F_{am}	corrección debida a la columna de aire sobre el agua en manómetros de agua durante la calibración del registrador de presión diferencial, adimensional.
F_b	factor base de orificio.
F_{gi}	factor de densidad relativa ideal, adimensional.
F_{gr}	factor de densidad relativa real, adimensional.
F_{hgm}	factor del manómetro de mercurio, corrección -- por columna de gas, adimensional.
F_{hgt}	factor de temperatura del manómetro de mercurio, adimensional.

F_{pb}	factor de presión base, adimensional.
F_{pv}	factor de supercompresibilidad, adimensional.
F_{pwl}	corrección gravitacional local para ajustar al estándar de presión estática del probador de peso muerto, adimensional.
F_r	factor del número de Reynolds, adimensional.
F_{tb}	factor de temperatura base, adimensional.
F_{tf}	factor de temperatura de flujo, adimensional.
F_{wl}	corrección gravitacional local para ajustar al estándar de calibración de la columna de agua.
G_1	densidad relativa ideal del gas, adimensional.
G_r	densidad relativa real del gas (aire seco = 1 (exactamente)), adimensional.
g	aceleración local debida a la gravedad ----- (lbm pie)/(lbf s ²).
g_n	aceleración estándar debida a la gravedad, ---- pie/s ² .
g_o	aceleración utilizada para calibrar los pesos o el probador de peso muerto, pie/s ² .
H	altura sobre el nivel del mar del registrador de presión diferencial, pie.
h	altura de los puntos utilizados en la ecuación - de energía, pie.
h_w	presión diferencial a través del orificio, pulgadas de agua a 60 grados Fahrenheit.
K	coeficiente de flujo.
K_o	coeficiente de flujo cuando $R_d = d(10^6)/15$.
K_∞	coeficiente de flujo cuando R_d es infinito.

k	c_p/c_v , cociente del calor específico a presión constante y el calor específico a volumen constante, adimensional.
L	latitud de la localización del registrador de -- presión diferencial, grados.
M_c	porcentaje molar del contenido de dióxido de carbono.
M_n	porcentaje molar del contenido de nitrógeno.
M_r	masa molar, lbm/lbmol.
m	masa, lbm.
n	número de moles, lbmol.
ΔP	presión diferencial a través del orificio (igual a h_w), lbf/pg ² abs.
P_{adj}	presión ajustada para la ecuación del factor de supercompresibilidad, lbf/pg ² manométricas.
P_{atm}	presión atmosférica local, lbf/pg ² abs.
P_b	presión absoluta a la referencia o condición base, lbf/pg ² abs.
P_f	presión estática absoluta (tiuyendo), lbf/pg ² abs.
P_{f1}	presión estática absoluta en la toma de presión corriente arriba, lbf/pg ² abs.
P_{f2}	presión estática absoluta en la toma de presión corriente abajo, lbf/pg ² abs.
Q_v	gasto volumétrico a condiciones base, pie ³ /hora.
q_m	gasto másico de flujo, lbm/s.
q_v	gasto volumétrico del flujo a condiciones base (cuando se conoce la densidad del fluido en una de las tomas de presión).
R	constante universal de los gases, ----- (lbf pie)/(lbmol °R)

R_d	número de Reynolds a través del orificio, adimensional.
T	temperatura absoluta, grados Rankine.
T_a	temperatura ambiente absoluta, °R.
T_{adj}	temperatura ajustada para la ecuación del factor de supercompresibilidad, °F.
T_b	temperatura absoluta de referencia o condición base, grados Rankine.
T_{med}	temperatura de la placa de orificio al momento de medir el orificio, grados Rankine.
T_f	temperatura de flujo del fluido, grados Rankine.
V	volumen de gas, pie ³ .
V_e	volumen específico de gas, pie ³ /lbm.
v_f	velocidad del fluido en el orificio, pie/s.
v_{fl}	velocidad del fluido en el tubo de medición, pie/s.
v_{f2}	velocidad del fluido en el orificio (en la deducción de la ecuación general de flujo) pie/s.
w	trabajo que realiza el fluido, lbf pie/lbm.
x_1	cociente de la presión diferencial y la presión estática absolutas en la toma de presión corriente arriba, adimensional
x_2	cociente de la presión diferencial y la presión estática absolutas en la toma de presión corriente abajo, adimensional.
Y	factor de expansión.
Y_1	factor de expansión, basado en la presión estática absoluta corriente arriba.
Y_2	factor de expansión, basado en la presión estática absoluta corriente abajo.

Z	factor de compresibilidad, adimensional.
Z_b	compresibilidad del gas a condiciones base, a_1 dimensional.
Z_b (aire)	compresibilidad del aire a condiciones base, adimensional.
Z_{f1}	compresibilidad del gas a condiciones de flujo en la toma de presión corriente arriba, adimensional.
Z_{f2}	compresibilidad del gas a condiciones de flujo en la toma de presión corriente abajo, adimensional.
β	d/D , cociente del diámetro del orificio y el diámetro interior medido del tubo de medición, adimensional.
μ	viscosidad del fluido, cp.
ρ	densidad del fluido, lbm/pie^3 .
ρ_{atm}	densidad real del aire de la atmósfera, lbm/pie^3 .
ρ_a	densidad real del aire, lbm/pie^3 .
ρ_b	densidad del fluido fluyente a presión P_b y temperatura T_b , lbm/pie^3 .
ρ_f	densidad del fluido fluyente, lbm/pie^3 .
ρ_{f1}	densidad del fluido fluyente en la toma de presión corriente arriba, lbm/pie^3 .
ρ_{f2}	densidad del fluido fluyente en la toma de presión corriente abajo, lbm/pie^3 .
ρ_g	densidad real del gas o vapor en el registrador de presión diferencial, lbm/pie^3 .
ρ_{hgo}	densidad del mercurio en el registrador de presión diferencial en el momento de operación, lbm/pie^3 .
ρ_{hgc}	densidad del mercurio en el registrador de presión diferencial en el momento de la calibración, lbm/pie^3 .

APENDICE A

CONSTANTES DE LAS ECUACIONES Y FACTORES DE CONVERSION

A.1 Constantes de las Ecuaciones

A veces los instrumentos de medición en campo no registran las variables - en las unidades proporcionadas para este manual. Además puede requerirse que los resultados de las ecuaciones de flujo se expresen en otras unidades.

Si en las ecuaciones se utilizan las siguientes unidades:

$$P_f \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$P_b \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$T_b \text{ (K)}$$

$$T_f \text{ (K)}$$

$$m \text{ (kgmol)}$$

$$M_f \left(\frac{\text{kg}}{\text{kgmol}} \right)$$

$$R = 8314.41 \left(\frac{\text{J}}{\text{kgmol K}} \right)$$

puede sustituirse los valores numéricos (N_i) de las ecuaciones por las constantes siguientes para tener el gasto volumétrico en m^3/s o el gasto másico en kg/s , o para que la determinación de los factores sea consistente con estas unidades:

$$N_1 = 394.077$$

$$N_2 = 394.077$$

$$N_3 = 1267.93$$

$$N_4 = 2776.93$$

$$N_5 = 0.898138$$

$$N_6 = 0.0560689$$

$$N_7 = 0.0452424$$

$$N_{16} = 10.84645$$

$$N_8 = 0.0028244$$

$$N_{17} = 0.418459$$

$$N_9 = 0.376071$$

$$N_{10} = 3.3978 \times 10^{-4}$$

$$N_{11} = 0.376167$$

$$N_{12} = 3.5869 \times 10^{-4}$$

$$N_{13} = 1.035621$$

$$N_{14} = 288.706$$

$$N_{15} = 288.706$$

A.2 Factores de Conversión

Longitud

$$1 \text{ pg} = 25.4 \text{ mm}$$

$$1 \text{ pie} = 0.3048 \text{ m}$$

Presión

$$1 \text{ lb/pg}^2 = 0.070306958 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 14.2233433 \text{ lb/pg}^2$$

$$\text{presión absoluta (lb/pg}^2 \text{ abs)} = \text{presión manométrica (lb/pg}^2) + P_{\text{atm}} \text{ (lb/pg}^2)^*$$

$$\text{presión absoluta (kg/cm}^2 \text{ abs)} = \text{presión manométrica (kg/cm}^2) + P_{\text{atm}} \text{ (kg/cm}^2)^*$$

Para gráficas de raíz cuadrada:

$$h_w = (\text{rango del registrador en pg de agua})^2 / 100$$

$$P_f = (\text{rango del registrador en lb/pg}^2) (lectura estática)^2 / 100$$

* La P_{atm} puede calcularse con la Ec. E5 en el Apéndice E

Temperatura

$$^{\circ}\text{F} = 1.8 \text{ } ^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.67$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$

$$^{\circ}\text{R} = 1.8 \cdot \text{K}$$

Volumen

$$1 \text{ m}^3 = 35.3146667 \text{ pie}^3$$

$$1 \text{ pie}^3 = 0.028316885 \text{ m}^3$$

Masa

$$1 \text{ lb} = 0.45359237 \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg} = 2.2046226 \text{ lb}$$

Viscosidad

$$1 \text{ cp} = 6.7197 \times 10^{-4} \text{ lbm/pie-seg.}$$

Densidad

$$1 \text{ g/cm}^3 = 62.42796 \text{ lb/pie}^3$$

APENDICE B

CONSTANTES DE FLUJO DE ORIFICIO PARA INSTALACIONES CON TOMAS EN BRIDA

NOTA: Las Tablas B1 a la B4 son aplicables a las constantes de flujo de orificio para instalaciones con tomas en brida que utilicen placas de orificio en tubos de medición con diámetros listados en la Tabla 2.

Tablas:

- B1. Valores del Factor Base de Orificio, F_b . Se aplican las siguientes condiciones:
- Temperatura base = 60 °F;
 - Temperatura de flujo = 60 °F;
 - Densidad Real = 1;
 - Presión Base = 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta;
 - $(h_w/P_f)^{0.5} = \infty$ ($R_d = \infty$);
 - $h_w/P_f = 0$.
- B2. Valores de \underline{h} utilizados para la determinación del número de Reynolds.
- B3. Factores de Expansión Y_1 , Presión Estática Corriente Arriba (presión -- estática correspondiente a las tomas corriente arriba).
- B4. Factores de Expansión Y_2 , Presión Estática Corriente Abajo (presión -- estática correspondiente a las tomas corriente abajo).

NOTA: Todos los factores en estas tablas se calcularon y redondearon por el método de cinco dígitos. En todos los casos se proporcionan cuatro o cinco cifras solamente para que los cálculos hechos coincidan dentro de 1 ó 2 en la cuarta cifra significativa sin importar si es a la derecha o a la izquierda del punto decimal.

Tabla B1. Factores Base de Orificio Para Tomas en Brida, F_b

Diámetro del orificio, pulgada	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, en pulgada							
	2		3				4	
	2.625	2.667	2.750	2.875	2.938	3.000	3.150	3.250
0.250	12.596	12.798	12.711	12.754	12.712	12.712	12.712	12.712
0.275	14.258	14.459	14.426	14.411	14.358	14.342	14.356	14.343
0.299	16.011	16.212	16.179	16.155	16.118	16.102	16.115	16.102
0.325	18.866	19.067	19.033	19.008	18.971	18.955	18.967	18.954
0.350	217.11	219.52	219.14	218.92	218.59	218.50	218.51	218.53
0.400	272.52	274.71	274.28	274.08	273.70	273.61	273.62	273.63
0.450	327.92	330.11	329.68	329.48	329.10	329.01	329.02	329.03
0.500	383.32	385.51	385.08	384.88	384.50	384.41	384.42	384.43
0.550	438.72	440.91	440.48	440.28	439.90	439.81	439.82	439.83
0.600	494.12	496.31	495.88	495.68	495.30	495.21	495.22	495.23
0.650	549.52	551.71	551.28	551.08	550.70	550.61	550.62	550.63
0.700	604.92	607.11	606.68	606.48	606.10	606.01	606.02	606.03
0.750	660.32	662.51	662.08	661.88	661.50	661.41	661.42	661.43
0.800	715.72	717.91	717.48	717.28	716.90	716.81	716.82	716.83
0.850	771.12	773.31	772.88	772.68	772.30	772.21	772.22	772.23
0.900	826.52	828.71	828.28	828.08	827.70	827.61	827.62	827.63
1.000	937.32	939.51	939.08	938.88	938.50	938.41	938.42	938.43
1.125	1048.12	1050.31	1049.88	1049.68	1049.30	1049.21	1049.22	1049.23
1.250	1158.92	1161.11	1160.68	1160.48	1160.10	1160.01	1160.02	1160.03
1.375	1269.72	1271.91	1271.48	1271.28	1270.90	1270.81	1270.82	1270.83
1.500	1380.52	1382.71	1382.28	1382.08	1381.70	1381.61	1381.62	1381.63
1.625	1491.32	1493.51	1493.08	1492.88	1492.50	1492.41	1492.42	1492.43
1.750	1602.12	1604.31	1603.88	1603.68	1603.30	1603.21	1603.22	1603.23
1.875	1712.92	1715.11	1714.68	1714.48	1714.10	1714.01	1714.02	1714.03
2.000	1823.72	1825.91	1825.48	1825.28	1824.90	1824.81	1824.82	1824.83
2.125	1934.52	1936.71	1936.28	1936.08	1935.70	1935.61	1935.62	1935.63
2.250	2045.32	2047.51	2047.08	2046.88	2046.50	2046.41	2046.42	2046.43
2.375	2156.12	2158.31	2157.88	2157.68	2157.30	2157.21	2157.22	2157.23
2.500	2266.92	2269.11	2268.68	2268.48	2268.10	2268.01	2268.02	2268.03

Tabla B1. Factores Base de Orificio F_b Para Tomas en Brida (continúa)

Diámetro del orificio pulgada	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, en pulgadas							
	a	b	c	d	e	f	g	h
0.250	12.656	12.683						
0.375	20.354	20.319						
0.500	40.235	39.226						
0.625	78.432	77.423						
0.750	113.15	113.04	112.87	112.72	112.75	112.72		
0.875	151.43	151.29	151.58	151.78	152.60	153.87		
1.000	202.21	201.99	201.35	201.79	204.59	211.36	193.38	193.52
1.125	256.70	256.31	255.81	255.64	254.82	254.83	253.51	253.64
1.250	318.04	317.85	318.53	318.49	314.95	314.53	312.92	312.54
1.375	384.2	383.22	382.08	381.98	374.71	374.38	371.55	371.07
1.500	462.78	461.69	460.94	460.19	453.04	452.64	450.58	450.29
1.625	545.90	543.82	542.78	541.66	535.04	534.59	532.28	531.96
1.750	637.85	634.41	632.34	624.11	621.80	621.52	618.10	617.91
1.875	734.77	733.30	731.65	718.72	715.45	714.24	710.18	709.74
2.000	839.43	842.14	841.01	829.72	816.15	814.23	809.24	808.32
2.125	950.67	950.29	950.00	939.40	924.09	921.75	914.09	913.47
2.250	1068.2	1079.7	1084.4	1067.1	1051.8	1049.7	1037.1	1036.9
2.375	1192.1	1231.7	1187.9	1176.7	1162.6	1158.4	1146.2	1145.7
2.500	1415.1	1372.2	1320.9	1359.4	1293.0	1288.2	1272.3	1271.7
2.625	1652.6	1556.2	1499.3	1454.0	1433.8	1426.1	1408.4	1407.8
2.750	1927.2	1759.7	1689.0	1649.6	1582.1	1579.4	1545.7	1545.1
2.875	2285	1955.8	1801.0	1774.7	1740.0	1727.5	1693.4	1692.8
3.000	2690	2195.0	1968.7	1927.7	1907.9	1892.9	1854.6	1854.2
3.125		2422.2	2145.7	2066.4	2066.4	2066.1	2011.6	2010.5
3.250		2404.3	2349.1	2276.6	2269.9	2269.9	2192.8	2192.7
3.375		2519.5	2573.2	2479.1	2428.9	2428.9	2350.7	2350.9
3.500		2633.6	2698.6	2495.1	2455.0	2455.0	2349.8	2349.8
3.625		3180.9	3066.0	2925.7	2876.1	2876.1	2739.0	2739.0
3.750			3345.4	3172.2	3111.2	3095.7	2944.4	2944.0
3.875			3658.9	3438.8	3361.6	3361.6	3147.0	3147.0
4.000					3716.3	3628.3	3594.4	3368.6
4.340					4354.9	4216.7	4042.4	3894.2
4.500						4664.0	4412.2	4217.1
4.750							5007.4	4721.1
5.000							5682.2	5384.1
5.250							6389.4	6048.8
5.500							7171.1	6787.2
5.750								7617.2
6.000								8067.2

Tabla B1. Factores Base de Orificio, F_b , Para Tomas en Breda (continúa)

Diámetro del orificio pulgada	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, en pulgadas									
	10		12		16		20		24	
	10.562	10.629	10.136	11.254	11.938	12.779	13.762	14.769	15.800	16.856
1.000	276.20									
1.125	253.20	253.47								
1.250	313.32	313.21	313.15	312.55	312.56	312.54				
1.375	379.45	379.30	379.27	378.25	378.13	377.79				
1.500	451.95	451.77	451.73	451.31	451.15	451.11	450.54	450.49		
1.625	530.30	530.04	530.05	529.75	529.45	529.30	528.07	527.90		528.80
1.750	616.22	615.92	615.91	615.18	614.92	614.83	612.95	612.97		613.30
1.875	709.00	708.62	708.53	706.70	706.33	706.20	703.19	703.09		703.00
2.000	808.25	807.78	807.66	804.63	804.25	804.13	800.90	800.87		800.50
2.125	913.02	912.45	912.29	908.93	908.53	908.41	905.09	905.03		904.51
2.250	1023.30	1022.55	1022.24	1018.59	1018.17	1018.11	1014.72	1014.62		1014.55
2.375	1139.10	1138.19	1137.78	1133.95	1133.51	1133.42	1129.97	1129.84		1129.60
2.500	1260.45	1259.34	1258.73	1254.60	1254.15	1254.04	1250.57	1250.42		1250.17
2.625	1387.30	1385.99	1385.28	1380.85	1380.39	1380.27	1376.78	1376.61		1376.26
2.750	1520.60	1519.09	1518.18	1513.45	1512.98	1512.85	1509.34	1509.16		1508.81
2.875	1660.30	1658.59	1657.48	1652.45	1651.98	1651.85	1648.31	1648.12		1647.77
3.000	1806.45	1804.54	1803.23	1797.90	1797.43	1797.30	1793.74	1793.54		1793.19
3.125	1959.00	1956.89	1955.28	1950.65	1950.18	1950.05	1946.47	1946.26		1945.91
3.250	2118.00	2115.69	2114.08	2109.15	2108.68	2108.55	2104.95	2104.74		2104.39
3.375	2283.45	2280.94	2279.13	2273.90	2273.43	2273.30	2269.68	2269.47		2269.12
3.500	2455.30	2452.59	2450.48	2445.05	2444.58	2444.45	2440.81	2440.60		2440.25
3.625	2633.55	2630.54	2628.13	2622.50	2622.03	2621.90	2618.24	2618.03		2617.68
3.750	2818.10	2814.89	2812.18	2806.35	2805.88	2805.75	2802.07	2801.86		2801.51
3.875	2999.00	2995.49	2992.38	2986.35	2985.88	2985.75	2982.05	2981.84		2981.49
4.000	3186.25	3182.44	3179.13	3173.00	3172.53	3172.40	3168.68	3168.47		3168.12
4.125	3380.80	3376.69	3373.18	3366.85	3366.38	3366.25	3362.51	3362.30		3361.95
4.250	3582.65	3578.24	3574.43	3568.00	3567.53	3567.40	3563.64	3563.43		3563.08
4.375	3791.80	3787.19	3783.18	3776.55	3776.08	3775.95	3772.17	3771.96		3771.61
4.500	3998.25	3993.34	3989.13	3982.40	3981.93	3981.80	3978.00	3977.79		3977.44
4.625	4212.00	4206.79	4202.38	4195.55	4195.08	4194.95	4191.13	4190.92		4190.57
4.750	4433.15	4427.64	4423.03	4416.00	4415.53	4415.40	4411.56	4411.35		4411.00
4.875	4661.60	4655.79	4651.18	4644.00	4643.53	4643.40	4639.54	4639.33		4638.98
5.000	4897.45	4891.24	4886.43	4879.10	4878.63	4878.50	4874.62	4874.41		4874.06
5.125	5140.70	5134.19	5129.18	5121.75	5121.28	5121.15	5117.24	5117.03		5116.68
5.250	5391.45	5384.64	5379.43	5371.80	5371.33	5371.20	5367.26	5367.05		5366.70
5.375	5649.70	5642.59	5637.18	5629.40	5628.93	5628.80	5624.83	5624.62		5624.27
5.500	5915.55	5908.14	5902.53	5894.50	5894.03	5893.90	5889.90	5889.69		5889.34
5.625	6188.90	6181.19	6175.38	6167.10	6166.63	6166.50	6162.56	6162.35		6162.00
5.750	6469.85	6461.84	6455.83	6447.30	6446.83	6446.70	6442.74	6442.53		6442.18
5.875	6758.40	6750.09	6743.88	6735.10	6734.63	6734.50	6730.51	6730.30		6729.95
6.000	7054.65	7046.04	7039.43	7030.40	7029.93	7029.80	7025.78	7025.57		7025.22
6.125	7358.50	7349.59	7342.78	7333.50	7333.03	7332.90	7328.86	7328.65		7328.30
6.250	7669.85	7660.54	7653.33	7643.70	7643.23	7643.10	7639.03	7638.82		7638.47
6.375	7988.70	7979.09	7971.68	7961.70	7961.23	7961.10	7957.00	7956.79		7956.44
6.500	8315.05	8305.14	8297.33	8286.90	8286.43	8286.30	8282.16	8281.95		8281.60
6.625	8648.90	8638.69	8630.48	8619.70	8619.23	8619.10	8614.92	8614.71		8614.36
6.750	8990.25	8979.64	8970.93	8959.70	8959.23	8959.10	8954.88	8954.67		8954.32
6.875	9339.10	9328.19	9319.18	9307.50	9307.03	9306.90	9302.64	9302.43		9302.08
7.000	9695.45	9684.14	9674.53	9661.90	9661.43	9661.30	9657.00	9656.79		9656.44
7.125	10058.30	10046.59	10036.48	10023.50	10023.03	10022.90	10018.56	10018.35		10018.00
7.250	10427.65	10415.54	10405.03	10391.70	10391.23	10391.10	10386.72	10386.51		10386.16
7.375	10803.50	10790.99	10779.98	10765.30	10764.83	10764.70	10760.28	10760.07		10759.72
7.500	11185.85	11172.84	11161.83	11146.90	11146.43	11146.30	11141.84	11141.63		11141.28
7.625	11574.70	11561.29	11549.88	11534.50	11534.03	11533.90	11529.36	11529.15		11528.80
7.750	11969.05	11955.14	11943.23	11927.40	11926.93	11926.80	11922.16	11921.95		11921.60
7.875	12368.90	12354.59	12342.28	12326.10	12325.63	12325.50	12320.84	12320.63		12320.28
8.000	12774.25	12759.54	12746.63	12730.10	12729.63	12729.50	12724.80	12724.59		12724.24
8.125	13185.10	13170.09	13156.68	13140.10	13139.63	13139.50	13134.84	13134.63		13134.28
8.250	13601.45	13586.04	13572.23	13555.30	13554.83	13554.70	13549.96	13549.75		13549.40
8.375	14023.30	14007.49	13993.28	13976.10	13975.63	13975.50	13970.72	13970.51		13970.16
8.500	14450.65	14434.34	14419.63	14402.10	14401.63	14401.50	14396.72	14396.51		14396.16
8.625	14883.50	14866.79	14851.68	14833.90	14833.43	14833.30	14828.48	14828.27		14827.92
8.750	15321.85	15304.74	15289.23	15270.10	15269.63	15269.50	15264.64	15264.43		15264.08
8.875	15765.70	15748.19	15732.28	15712.90	15712.43	15712.30	15707.36	15707.15		15706.80
9.000	16215.05	16197.04	16180.63	16160.30	16159.83	16159.70	16154.72	16154.51		16154.16
9.125	16669.90	16651.49	16634.68	16613.90	16613.43	16613.30	16608.28	16608.07		16607.72
9.250	17130.25	17111.34	17094.03	17072.90	17072.43	17072.30	17067.24	17067.03		17066.68
9.375	17596.10	17576.79	17559.08	17537.50	17536.93	17536.80	17531.72	17531.51		17531.16
9.500	18067.45	18047.64	18029.43	18007.90	18007.43	18007.30	18002.16	18001.95		18001.60
9.625	18544.30	18523.99	18505.28	18483.30	18482.83	18482.70	18477.48	18477.27		18476.92
9.750	19026.65	19005.84	18986.63	18963.90	18963.43	18963.30	18958.00	18957.79		18957.44
9.875	19514.50	19493.29	19473.68	19450.10	19449.63	19449.50	19444.16	19443.95		19443.60
10.000	20007.85	19986.14	19965.93	19941.90	19941.43	19941.30	19935.84	19935.63		19935.28
10.125	20506.20	20483.99	20462.68	20438.70	20438.23	20438.10	20432.64	20432.43		20432.08
10.250	21009.55	20986.74	20964.83	20939.50	20939.03	20938.90	20933.36	20933.15		20932.80
10.375	21517.90	21493.59	21470.68	21443.90	21443.43	21443.30	21437.72	21437.51		21437.16
10.500	22031.25	22005.84	21982.23	21953.10	21952.63	21952.50	21946.88	21946.67		21946.32
10.625	22549.60	22522.79	22498.68	22468.10	22467.63	22467.50	22461.84	22461.63		22461.28
10.750	23072.95	23045.14	23019.63	22988.10	22987.63	22987.50	22981.76	22981.55		22981.20
10.875	23601.30	23572.09	23545.28	23512.90	23512.43	23512.30	23506.48	23506.27		23505.92
11.000	24134.65	24103.84	24075.63	24042.90	24042.43	24042.30	24036.36	24036.15		24035.80
11.125	24673.00	24641.59	24611.68	24578.10	24577.63	24577.50	24571.48	24571.27		24570.92

Tabla B1. Factores Base de Orificio, F_p , Para Tomas en Brido (continúa)

Diámetro del orificio	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, en pulgadas									
	20	24	24	24	24	24	30	30	30	30
14.142	19.049	19.250	22.621	23.117	23.250	24.750	29.144	29.250	29.250	34.217
2.67	461.42	474.37	487.31							
2.125	651.13	92.64	769.59							
2.250	855.2	1015.1	1015.0							
2.375	1111.6	1111.5	1121.4	1175.2	1185.1	1195.0				
2.500	1254.4	1254.3	1254.7	1253.4	1252.7	1252.6				
2.625	1383.6	1383.5	1383.3	1382.7	1381.6	1381.5				
2.750	1519.7	1489.9	1488.9	1487.9	1486.8	1486.7				
2.875	1661.1	1629.7	1629.5	1628.5	1627.4	1627.3				
3.000	1809.4	1822.5	1822.1	1820.6	1819.4	1819.3	1858.0		1873.6	1865.5
3.125	1965.2	1954.0	1960.7	1960.0	1960.4	1960.6	1977.2		1973.6	1973.5
3.250	2128.3	2125.1	2124.8	2124.0	2121.7	2121.3	2118.0		2117.9	2117.8
3.375	2298.6	2292.7	2292.4	2290.9	2288.6	2288.6	2284.9		2284.6	2284.4
3.500	2476.9	2466.6	2466.5	2464.5	2462.2	2462.2	2457.7		2457.5	2457.5
3.625	2664.4	2657.1	2657.7	2654.7	2652.4	2652.4	2647.8		2647.2	2647.9
3.750	2861.8	2854.8	2854.4	2851.4	2849.1	2849.1	2844.5		2844.3	2844.3
3.875	3069.3	3027.3	3027.8	3023.8	3021.5	3021.5	3016.9		3016.7	3016.7
4.000	3287.6	3227.2	3227.6	3222.7	3220.7	3220.7	3216.1		3215.9	3215.9
4.125	3516.8	3515.3	3514.6	3508.4	3507.1	3507.1	3502.5		3502.8	3502.4
4.250	3757.2	3762.6	3762.7	3754.9	3753.1	3753.1	3748.5		3748.5	3748.2
4.375	4009.8	4014.0	4013.9	4004.6	4002.1	4002.1	3997.5		3997.5	3997.5
4.500	4274.6	4281.0	4280.9	4269.9	4266.7	4266.7	4262.1		4262.1	4262.1
4.625	4551.6	4560.0	4559.9	4547.6	4543.8	4543.8	4539.2		4539.2	4539.2
4.750	4840.8	4850.0	4849.9	4836.4	4832.1	4832.1	4827.5		4827.5	4827.5
4.875	5142.2	5152.0	5151.9	5137.4	5132.6	5132.6	5128.0		5128.0	5128.0
5.000	5455.8	5466.0	5465.9	5450.4	5445.3	5445.3	5440.7		5440.7	5440.7
5.125	5781.6	5792.0	5791.9	5775.4	5769.9	5769.9	5765.3		5765.3	5765.3
5.250	6119.6	6130.0	6129.9	6112.4	6106.5	6106.5	6101.9		6101.9	6101.9
5.375	6469.8	6480.0	6479.9	6461.4	6455.1	6455.1	6450.5		6450.5	6450.5
5.500	6832.2	6842.0	6841.9	6822.4	6815.7	6815.7	6811.1		6811.1	6811.1
5.625	7207.8	7217.0	7216.9	7196.4	7189.3	7189.3	7184.7		7184.7	7184.7
5.750	7595.6	7604.0	7603.9	7582.4	7574.9	7574.9	7570.3		7570.3	7570.3
5.875	8005.8	8014.0	8013.9	7991.4	7983.5	7983.5	7978.9		7978.9	7978.9
6.000	8428.4	8436.0	8435.9	8412.4	8404.1	8404.1	8399.5		8399.5	8399.5
6.125	8863.6	8871.0	8870.9	8846.4	8837.7	8837.7	8833.1		8833.1	8833.1
6.250	9311.4	9318.0	9317.9	9291.4	9282.3	9282.3	9277.7		9277.7	9277.7
6.375	9771.8	9778.0	9777.9	9750.4	9740.9	9740.9	9736.3		9736.3	9736.3
6.500	10244.8	10250.0	10249.9	10220.4	10210.3	10210.3	10205.7		10205.7	10205.7
6.625	10730.4	10735.0	10734.9	10703.4	10692.7	10692.7	10688.1		10688.1	10688.1
6.750	11228.6	11233.0	11232.9	11199.4	11188.3	11188.3	11183.7		11183.7	11183.7
6.875	11739.4	11743.0	11742.9	11707.4	11695.9	11695.9	11691.3		11691.3	11691.3
7.000	12262.8	12266.0	12265.9	12228.4	12216.5	12216.5	12211.9		12211.9	12211.9
7.125	12798.8	12799.0	12798.9	12759.4	12746.9	12746.9	12742.3		12742.3	12742.3
7.250	13347.4	13346.0	13345.9	13305.4	13292.5	13292.5	13287.9		13287.9	13287.9
7.375	13908.6	13907.0	13906.9	13866.4	13852.9	13852.9	13848.3		13848.3	13848.3
7.500	14482.4	14480.0	14479.9	14438.4	14424.5	14424.5	14419.9		14419.9	14419.9
7.625	15068.8	15066.0	15065.9	15025.4	15010.9	15010.9	15006.3		15006.3	15006.3
7.750	15667.8	15664.0	15663.9	15623.4	15608.5	15608.5	15603.9		15603.9	15603.9
7.875	16279.4	16275.0	16274.9	16233.4	16218.1	16218.1	16213.5		16213.5	16213.5
8.000	16902.6	16898.0	16897.9	16856.4	16840.5	16840.5	16835.9		16835.9	16835.9
8.125	17537.4	17532.0	17531.9	17490.4	17473.5	17473.5	17468.9		17468.9	17468.9
8.250	18183.8	18178.0	18177.9	18136.4	18119.1	18119.1	18114.5		18114.5	18114.5
8.375	18841.8	18835.0	18834.9	18793.4	18775.7	18775.7	18771.1		18771.1	18771.1
8.500	19511.4	19504.0	19503.9	19462.4	19444.1	19444.1	19439.5		19439.5	19439.5
8.625	20192.6	20184.0	20183.9	20142.4	20123.5	20123.5	20118.9		20118.9	20118.9
8.750	20885.4	20876.0	20875.9	20834.4	20814.9	20814.9	20810.3		20810.3	20810.3
8.875	21589.8	21579.0	21578.9	21538.4	21517.9	21517.9	21513.3		21513.3	21513.3
9.000	22305.8	22294.0	22293.9	22254.4	22233.5	22233.5	22228.9		22228.9	22228.9
9.125	23033.4	23021.0	23020.9	22981.4	22960.1	22960.1	22955.5		22955.5	22955.5
9.250	23772.6	23759.0	23758.9	23719.4	23697.5	23697.5	23692.9		23692.9	23692.9
9.375	24523.4	24509.0	24508.9	24469.4	24446.9	24446.9	24442.3		24442.3	24442.3
9.500	25285.8	25270.0	25269.9	25230.4	25207.5	25207.5	25202.9		25202.9	25202.9
9.625	26059.8	26043.0	26042.9	26003.4	25979.5	25979.5	25974.9		25974.9	25974.9
9.750	26845.4	26828.0	26827.9	26788.4	26763.5	26763.5	26758.9		26758.9	26758.9
9.875	27642.6	27624.0	27623.9	27584.4	27559.1	27559.1	27554.5		27554.5	27554.5
10.000	28451.4	28432.0	28431.9	28392.4	28366.5	28366.5	28361.9		28361.9	28361.9
10.125	29271.8	29251.0	29250.9	29211.4	29184.9	29184.9	29180.3		29180.3	29180.3
10.250	30103.8	30082.0	30081.9	30042.4	30015.5	30015.5	30010.9		30010.9	30010.9
10.375	30947.4	30924.0	30923.9	30884.4	30856.9	30856.9	30852.3		30852.3	30852.3
10.500	31802.6	31778.0	31777.9	31738.4	31710.5	31710.5	31705.9		31705.9	31705.9
10.625	32669.4	32643.0	32642.9	32603.4	32574.9	32574.9	32570.3		32570.3	32570.3
10.750	33547.8	33520.0	33519.9	33479.4	33450.5	33450.5	33445.9		33445.9	33445.9
10.875	34437.8	34409.0	34408.9	34368.4	34338.5	34338.5	34333.9		34333.9	34333.9
11.000	35339.4	35309.0	35308.9	35269.4	35238.5	35238.5	35233.9		35233.9	35233.9
11.125	36252.6	36221.0	36220.9	36181.4	36150.1	36150.1	36145.5		36145.5	36145.5
11.250	37177.4	37144.0	37143.9	37103.4	37071.5	37071.5	37066.9		37066.9	37066.9
11.375	38113.8	38079.0	38078.9	38038.4	38005.9	38005.9	38001.3		38001.3	38001.3
11.500	39061.8	39025.0	39024.9	38984.4	38951.5	38951.5	38946.9		38946.9	38946.9
11.625	40021.4	39983.0	39982.9	39942.4	39908.5	39908.5	39903.9		39903.9	39903.9
11.750	41092.6	41052.0	41051.9	41011.4	40976.5	40976.5	40971.9		40971.9	40971.9
11.875	42175.4	42133.0	42132.9	42092.4	42056.9	42056.9	42052.3		42052.3	42052.3
12.000	43269.8	43225.0	43224.9	43184.4	43147.5	43147.5	43142.9		43142.9	43142.9
12.125	44375.8	44329.0	44328.9	44288.4	44250.5	44250.5	44245.9		44245.9	44245.9
12.250	45493.4	45445.0	45444.9	45404.4	45365.5	45365.5	45360.9		45360.9	45360.9
12.375	46622.6	46573.0	46572.9	46532.4	46492.5	46492.5	46487.9		46487.9	46487.9
12.500	47763.4	47712.0	47711.9	47671.4	47630.5	47630.5	47625.9		47625.9	47625.9
12.625	48915.8	48863.0	48862.9	48822.4	48780.5	48780.5	48775.9		48775.9	48775.9
12.750	50079.8	50025.0	50024.9	49984.4	49941.5	49941.5	49936.9		49936.9	49936.9
12.875	51255.4	51199.0	51198.9	51158.4	51114.5	51114.5	51109.9		51109.9	51109.9
13.000	52442.6	52384.0	52383.9	52343.4	52298.5	52298.5	52293.9		52293.9	52293.9
13.125	53641.4	53581.0	53580.9	53540.4	53494.5	53494.5	53489.9		53489.9	53489.9
13.250	54851.8	54789.0	54788.9	54748.4	54701.5	54701.5	54696.9		54696.9	54696.9
13.375	56073.8	56009.0	56008.9	55968.4	55920.5	55920.5	55915.9		55915.9	55915.9
13.500	57307.4	57241.0	57240.9	57199.4	57150.5	57150.5	57145.9		57145.9	57145.9
13.625	58552.6	58484.0	58483.9	58442.4	58392.5	58392.5	58387.9		58387.9	58387.9
13.750	59809.4	59739.0	59738.9	59697.4	59646.5	59646.5	59641.9		59641.9	59641.9
13.875	61077.8	61005.0	61004.9	60964.4	60912.5	60912.5	60907.9		60907.9	60907.9
14.000	62357.8	62283.0	62282.9	62242.4	62189.5	62189.5	62184.9		62184.9	62184.9
14.125	63649.4	63572.0	63571.9	63531.4	63477.5	63477.5	63472.9		63472.9	63472.9
14.250	64952.6	64873.0	64872.9	64832.4	64777.5	64777.5				

Tabla 91. Factores Base de Orificio, F_D , Para Tomas en Brida (continua)

Diámetro del orificio pulgada	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, en pulgadas								
	20		24			30			
	18.812	19.000	19.250	22.624	23.866	25.250	28.310	29.000	29.260
15.500				25175	27227	29315	31941	34026	36263
16.000				29763	32252	34936	37853	39970	42275
16.200			64236	69362	75072	81374	88251	95733	103833
17.000				69290	75071	81374	88251	95729	103826
17.500							87195	93719	100300
18.000							9344	10022	10712
18.500							10450	11154	11885
19.000							11444	12171	12925
19.500							12019	12770	13548
20.000							12817	13592	14393
20.500							13473	14287	15116
21.000							14048	14925	15789
21.500								15696	16593

Tabla 92. Valores b Para la Determinación del Factor del Número de Reynolds Para Tomas en Orifa

$$F_r = 1 + b / (h_w P \rho)^{0.5}$$

Diámetro del orificio, pulgada	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, en Pulgadas									
	1.447	1.875	2.387	2.909	3.434	3.960	4.486	5.012	5.538	6.064
0.150	0.0376	0.0511	0.1126	0.0791	0.0773	0.1399	0.1210	0.2124	0.1871	0.2777
0.375	0.0677	0.0709	0.0723	0.0755	0.0792	0.1021	0.1056	0.1424	0.1457	0.1827
0.500	0.0682	0.0578	0.0586	0.0612	0.0647	0.0873	0.0904	0.1275	0.1305	0.1676
0.625	0.0521	0.0405	0.0506	0.0516	0.0541	0.0766	0.0793	0.1164	0.1191	0.1562
0.750	0.0337	0.0464	0.0471	0.0512	0.0529	0.0756	0.0782	0.1153	0.1179	0.1550
0.875	0.0556	0.0507	0.0477	0.0485	0.0499	0.0722	0.0732	0.1103	0.1113	0.1484
1.000	0.0577	0.0478	0.0415	0.0438	0.0447	0.0673	0.0683	0.1054	0.1064	0.1435
1.125	0.0563	0.0520	0.0576	0.0495	0.0477	0.0706	0.0716	0.1087	0.1097	0.1468
1.250	0.0564	0.0707	0.0645	0.0559	0.0537	0.0762	0.0772	0.1143	0.1153	0.1524
1.375		0.0773	0.0716	0.0634	0.0601	0.0827	0.0837	0.1214	0.1224	0.1595
1.500			0.0773	0.0679	0.0753	0.0874	0.0884	0.1265	0.1275	0.1646
1.625				0.0736	0.0813	0.0922	0.0932	0.1316	0.1326	0.1697
1.750				0.0520	0.0573	0.0682	0.0692	0.1367	0.1377	0.1748
1.875				0.0515	0.0478	0.0587	0.0597	0.1418	0.1428	0.1799
2.000					0.0476	0.0585	0.0595	0.1469	0.1479	0.1850
2.125						0.0715	0.0725	0.1520	0.1530	0.1901
2.250							0.0556	0.1571	0.1581	0.1952
2.375								0.1622	0.1632	0.2003
2.500									0.1683	0.2054

Nota: Los valores de b están calculados con la ecuación:

$$b = \frac{E}{17835 d k}$$

Donde:
 d es el diámetro del orificio, pulgada;
 E se calcula con la Ec. 211
 k se aproxima de la Tabla D8.

Tabla B2. Valores b Para la Determinación del Factor del Número de Reynolds
Para Tomas en Brida

$$Fr = 1 + b / (h_w \rho)^{0.5}$$

Diámetro del orificio, pulgadas.	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, en pulgadas							
	4	6	8	10	12	14	16	18
0.250	0.1047	0.1054						
0.375	0.0824	0.0907						
0.500	0.0763	0.0779	0.0836	0.0852	0.0860	0.0902		
0.625	0.0653	0.0652	0.0734	0.0725	0.0743	0.0801		
0.750	0.0561	0.0577	0.0644	0.0664	0.0701	0.0718		
0.875	0.0487	0.0502	0.0567	0.0587	0.0604	0.0617		
1.000	0.0427	0.0442	0.0506	0.0520	0.0537	0.0576	0.0600	0.0619
1.125	0.0368	0.0396	0.0444	0.0462	0.0478	0.0515	0.0502	0.0519
1.250	0.0361	0.0364	0.0399	0.0414	0.0447	0.0454	0.0499	0.0506
1.375	0.0347	0.0345	0.0363	0.0375	0.0403	0.0419	0.0461	0.0464
1.500	0.0345	0.0336	0.0338	0.0344	0.0367	0.0381	0.0417	0.0414
1.625	0.0354	0.0339	0.0318	0.0322	0.0337	0.0348	0.0385	0.0385
1.750	0.0372	0.0320	0.0305	0.0306	0.0314	0.0323	0.0353	0.0359
1.875	0.0398	0.0360	0.0365	0.0378	0.0378	0.0382	0.0423	0.0423
2.000	0.0430	0.0396	0.0395	0.0396	0.0427	0.0428	0.0437	0.0430
2.125	0.0467	0.0437	0.0318	0.0309	0.0321	0.0328	0.0364	0.0315
2.250	0.0507	0.0463	0.0334	0.0310	0.0321	0.0324	0.0326	0.0327
2.375	0.0542	0.0501	0.0334	0.0324	0.0326	0.0324	0.0321	0.0320
2.500	0.0579	0.0519	0.0334	0.0343	0.0325	0.0329	0.0329	0.0325
2.625	0.0617	0.0579	0.0406	0.0365	0.0328	0.0327	0.0321	0.0323
2.750	0.0660	0.0615	0.0435	0.0391	0.0324	0.0329	0.0325	0.0326
2.875	0.0648	0.0601	0.0419	0.0364	0.0324	0.0324	0.0320	0.0320
3.000	0.0674	0.0590	0.0418	0.0366	0.0312	0.0325	0.0325	0.0327
3.125		0.0533	0.0479	0.0390	0.0353	0.0325	0.0329	0.0327
3.250		0.0545	0.0510	0.0416	0.0376	0.0324	0.0322	0.0320
3.375		0.0594	0.0541	0.0443	0.0400	0.0324	0.0324	0.0324
3.500		0.0621	0.0570	0.0471	0.0426	0.0324	0.0325	0.0321
3.625		0.0643	0.0597	0.0499	0.0452	0.0326	0.0345	0.0320
3.750			0.0621	0.0527	0.0449	0.0301	0.0326	0.0321
3.875			0.0641	0.0554	0.0375	0.0317	0.0329	0.0325
4.000			0.0641	0.0579	0.0331	0.0316	0.0311	0.0320
4.250				0.0621	0.0579	0.0372	0.0338	0.0330
4.500					0.0619	0.0444	0.0375	0.0346
4.750						0.0457	0.0415	0.0346
5.000						0.0490	0.0457	0.0324
5.250							0.0439	0.0349
5.500							0.0435	0.0345
5.750							0.0469	0.0349
6.000								0.0349

Tabla 92. Valores de b Para la Determinación del Factor del Número de Reynolds Para Tomas en Brida (continua)

$$Fr = 1 + b / (h_w P_p)^{0.5}$$

Diámetro del Orificio, pulgadas	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, pulgadas									
	10	12	14	16	18	20	24	30	36	48
1.000	0.0738									
1.125	0.0665	0.071	0.0735							
1.250	0.0603	0.0642	0.0656	0.0694	0.0714	0.0718				
1.375	0.0557	0.0594	0.0610	0.0631	0.0651	0.0656				
1.500	0.0515	0.0543	0.0567	0.0582	0.0601	0.0607	0.0626	0.0712		
1.625	0.0480	0.0503	0.0527	0.0537	0.0552	0.0557	0.0570	0.0670	0.0664	
1.750	0.0447	0.0466	0.0486	0.0492	0.0504	0.0507	0.0516	0.0616	0.0612	0.0608
1.875	0.0417	0.0433	0.0453	0.0455	0.0464	0.0466	0.0472	0.0572	0.0568	0.0564
2.000	0.0391	0.0404	0.0421	0.0421	0.0428	0.0428	0.0432	0.0532	0.0528	0.0524
2.125	0.0367	0.0378	0.0393	0.0391	0.0396	0.0396	0.0398	0.0498	0.0494	0.0490
2.250	0.0346	0.0354	0.0366	0.0362	0.0366	0.0366	0.0367	0.0466	0.0462	0.0458
2.375	0.0327	0.0333	0.0341	0.0334	0.0337	0.0337	0.0337	0.0436	0.0432	0.0428
2.500	0.0310	0.0314	0.0319	0.0311	0.0313	0.0313	0.0313	0.0412	0.0408	0.0404
2.625	0.0293	0.0295	0.0299	0.0290	0.0291	0.0291	0.0291	0.0388	0.0384	0.0380
2.750	0.0278	0.0279	0.0281	0.0271	0.0272	0.0272	0.0272	0.0368	0.0364	0.0360
2.875	0.0264	0.0264	0.0266	0.0255	0.0255	0.0255	0.0255	0.0348	0.0344	0.0340
3.000	0.0252	0.0251	0.0252	0.0239	0.0239	0.0239	0.0239	0.0328	0.0324	0.0320
3.125	0.0241	0.0239	0.0241	0.0226	0.0226	0.0226	0.0226	0.0308	0.0304	0.0300
3.250	0.0230	0.0228	0.0229	0.0213	0.0213	0.0213	0.0213	0.0288	0.0284	0.0280
3.375	0.0220	0.0218	0.0218	0.0201	0.0201	0.0201	0.0201	0.0268	0.0264	0.0260
3.500	0.0210	0.0208	0.0208	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	0.0248	0.0244	0.0240
3.625	0.0201	0.0199	0.0199	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179	0.0228	0.0224	0.0220
3.750	0.0192	0.0190	0.0190	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0208	0.0204	0.0200
3.875	0.0184	0.0182	0.0182	0.0159	0.0159	0.0159	0.0159	0.0188	0.0184	0.0180
4.000	0.0176	0.0174	0.0174	0.0149	0.0149	0.0149	0.0149	0.0168	0.0164	0.0160
4.125	0.0168	0.0166	0.0166	0.0139	0.0139	0.0139	0.0139	0.0148	0.0144	0.0140
4.250	0.0160	0.0158	0.0158	0.0129	0.0129	0.0129	0.0129	0.0128	0.0124	0.0120
4.375	0.0152	0.0150	0.0150	0.0119	0.0119	0.0119	0.0119	0.0108	0.0104	0.0100
4.500	0.0144	0.0142	0.0142	0.0109	0.0109	0.0109	0.0109	0.0088	0.0084	0.0080
4.625	0.0136	0.0134	0.0134	0.0099	0.0099	0.0099	0.0099	0.0068	0.0064	0.0060
4.750	0.0128	0.0126	0.0126	0.0089	0.0089	0.0089	0.0089	0.0048	0.0044	0.0040
4.875	0.0120	0.0118	0.0118	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079	0.0028	0.0024	0.0020
5.000	0.0112	0.0110	0.0110	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0008	0.0004	0.0000
5.125	0.0104	0.0102	0.0102	0.0059	0.0059	0.0059	0.0059			
5.250	0.0096	0.0094	0.0094	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049			
5.375	0.0088	0.0086	0.0086	0.0039	0.0039	0.0039	0.0039			
5.500	0.0080	0.0078	0.0078	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029			
5.625	0.0072	0.0070	0.0070	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019			
5.750	0.0064	0.0062	0.0062	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009			
5.875	0.0056	0.0054	0.0054	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
6.000	0.0048	0.0046	0.0046	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
6.125	0.0040	0.0038	0.0038	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
6.250	0.0032	0.0030	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
6.375	0.0024	0.0022	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
6.500	0.0016	0.0014	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
6.625	0.0008	0.0006	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
6.750	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
6.875	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
7.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
7.125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
7.250	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
7.375	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
7.500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
7.625	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
7.750	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
7.875	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
8.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
8.125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
8.250	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
8.375	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
8.500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
8.625	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
8.750	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
8.875	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
9.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
9.125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
9.250	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
9.375	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
9.500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
9.625	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
9.750	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
9.875	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
10.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
10.125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
10.250	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
10.375	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
10.500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
10.625	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
10.750	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
10.875	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
11.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
11.125	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
11.250	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
11.375	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
11.500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
11.625	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
11.750	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
11.875	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
12.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			

Tabla B2. Valores de b Para la Determinación del Factor del Número de Reynolds Para Tomas en Tercia (continua)

$$Fr = 1 + b / (h_p P_g)^{0.5}$$

Diámetro del Orificio, pulgadas	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, pulgada									
	20		24		30		36		48	
	18.812	19.099	19.250	22.624	23.000	23.253	24.750	29.000	29.250	
2.000	0.0607	0.0731	0.0676							
2.125	0.0600	0.0534	0.0569							
2.250	0.0514	0.0517	0.0623							
2.375	0.0544	0.0704	0.0791	0.0659	0.0464	0.0559				
2.500	0.0563	0.0567	0.0773	0.0636	0.0442	0.0516				
2.625	0.0540	0.0544	0.0547	0.0614	0.0620	0.0621				
2.750	0.0516			0.0599		0.0263				
2.875	0.0494	0.0535	0.0504	0.0571	0.0578	0.0582	0.0464			
3.000	0.0473	0.0477	0.0481	0.0551	0.0557	0.0562	0.0562	0.0669	0.0652	
3.125	0.0452	0.0456	0.0462	0.0531	0.0534	0.0542	0.0527	0.0631	0.0604	
3.250	0.0432	0.0437	0.0442	0.0511	0.0518	0.0523	0.0460	0.0483	0.0464	
3.375	0.0413	0.0418	0.0423	0.0492	0.0490	0.0498	0.0452	0.0466	0.0459	
3.500	0.0395	0.0399	0.0405	0.0474	0.0481	0.0488	0.0453	0.0459	0.0452	
3.625	0.0377	0.0382	0.0387	0.0457	0.0464	0.0466	0.0459	0.0462	0.0466	
3.750	0.0361	0.0365	0.0370	0.0439	0.0447	0.0451	0.0452	0.0458	0.0460	
3.875	0.0345	0.0349	0.0354	0.0423	0.0430	0.0435	0.0435	0.0439	0.0434	
4.000	0.0329	0.0333	0.0337	0.0407	0.0414	0.0419	0.0411	0.0415	0.0419	
4.125	0.0311	0.0315	0.0319	0.0392	0.0398	0.0404	0.0401	0.0405	0.0408	
4.250	0.0295	0.0299	0.0303	0.0378	0.0385	0.0392	0.0392	0.0396	0.0398	
4.375	0.0279	0.0283	0.0287	0.0363	0.0370	0.0377	0.0377	0.0381	0.0383	
4.500	0.0263	0.0267	0.0271	0.0349	0.0356	0.0363	0.0363	0.0367	0.0369	
4.625	0.0247	0.0251	0.0255	0.0335	0.0342	0.0349	0.0349	0.0353	0.0355	
4.750	0.0232	0.0236	0.0240	0.0322	0.0329	0.0336	0.0336	0.0340	0.0342	
4.875	0.0216	0.0220	0.0224	0.0308	0.0315	0.0322	0.0322	0.0326	0.0328	
5.000	0.0202	0.0206	0.0210	0.0294	0.0301	0.0308	0.0308	0.0312	0.0314	
5.125	0.0186	0.0190	0.0194	0.0280	0.0287	0.0294	0.0294	0.0298	0.0300	
5.250	0.0171	0.0175	0.0179	0.0267	0.0274	0.0281	0.0281	0.0285	0.0287	
5.375	0.0156	0.0160	0.0164	0.0253	0.0260	0.0267	0.0267	0.0271	0.0273	
5.500	0.0141	0.0145	0.0149	0.0240	0.0247	0.0254	0.0254	0.0258	0.0260	
5.625	0.0126	0.0130	0.0134	0.0226	0.0233	0.0240	0.0240	0.0244	0.0246	
5.750	0.0111	0.0115	0.0119	0.0213	0.0220	0.0227	0.0227	0.0231	0.0233	
5.875	0.0096	0.0100	0.0104	0.0200	0.0207	0.0214	0.0214	0.0218	0.0220	
6.000	0.0081	0.0085	0.0089	0.0187	0.0194	0.0201	0.0201	0.0205	0.0207	
6.125	0.0066	0.0070	0.0074	0.0174	0.0181	0.0188	0.0188	0.0192	0.0194	
6.250	0.0051	0.0055	0.0059	0.0161	0.0168	0.0175	0.0175	0.0179	0.0181	
6.375	0.0036	0.0040	0.0044	0.0148	0.0155	0.0162	0.0162	0.0166	0.0168	
6.500	0.0021	0.0025	0.0029	0.0135	0.0142	0.0149	0.0149	0.0153	0.0155	
6.625	0.0006	0.0010	0.0014	0.0122	0.0129	0.0136	0.0136	0.0140	0.0142	
6.750				0.0109	0.0116	0.0123	0.0123	0.0127	0.0129	
6.875				0.0094	0.0101	0.0108	0.0108	0.0112	0.0114	
7.000				0.0079	0.0086	0.0093	0.0093	0.0097	0.0099	
7.125				0.0064	0.0071	0.0078	0.0078	0.0082	0.0084	
7.250				0.0049	0.0056	0.0063	0.0063	0.0067	0.0069	
7.375				0.0034	0.0041	0.0048	0.0048	0.0052	0.0054	
7.500				0.0019	0.0026	0.0033	0.0033	0.0037	0.0039	
7.625				0.0004	0.0011	0.0018	0.0018	0.0022	0.0024	
7.750								0.0007	0.0014	
7.875								0.0002	0.0009	
8.000								0.0000	0.0007	
8.125									0.0004	
8.250									0.0001	
8.375									0.0000	
8.500									0.0000	
8.625									0.0000	
8.750									0.0000	
8.875									0.0000	
9.000									0.0000	
9.125									0.0000	
9.250									0.0000	
9.375									0.0000	
9.500									0.0000	
9.625									0.0000	
9.750									0.0000	
9.875									0.0000	
10.000									0.0000	
10.125									0.0000	
10.250									0.0000	
10.375									0.0000	
10.500									0.0000	
10.625									0.0000	
10.750									0.0000	
10.875									0.0000	
11.000									0.0000	
11.125									0.0000	
11.250									0.0000	
11.375									0.0000	
11.500									0.0000	
11.625									0.0000	
11.750									0.0000	
11.875									0.0000	
12.000									0.0000	
12.125									0.0000	
12.250									0.0000	
12.375									0.0000	
12.500									0.0000	
12.625									0.0000	
12.750									0.0000	
12.875									0.0000	
13.000									0.0000	
13.125									0.0000	
13.250									0.0000	
13.375									0.0000	
13.500									0.0000	
13.625									0.0000	
13.750									0.0000	
13.875									0.0000	
14.000									0.0000	
14.125									0.0000	
14.250									0.0000	
14.375									0.0000	
14.500									0.0000	
14.625									0.0000	
14.750									0.0000	
14.875									0.0000	
15.000									0.0000	
15.125									0.0000	
15.250									0.0000	
15.375									0.0000	
15.500									0.0000	
15.625									0.0000	
15.750									0.0000	
15.875									0.0000	
16.000									0.0000	

Tabla B2. Valores de b Para la Determinación del Factor del Número de Reynolds Para Tomas en Arida (continua)

$$Fr = 1 + b / (h_w P_f)^{0.5}$$

Diámetro del Orificio, pulgada	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, pulgada							
	20		24		36			
	20.000	19.850	22.624	23.000	25.250	26.750	29.000	29.250
16.500			0.0094	0.0181	0.0422	0.0700	0.1213	0.0256
17.000				0.0503	0.0495	0.0513	0.0255	0.0258
17.500						0.0327	0.0119	0.0312
18.000						0.0751	0.0343	0.0335
18.500						0.0375	0.0358	0.0358
19.000						0.0304	0.0300	0.0352
19.500						0.0421	0.0415	0.0395
20.000						0.0443	0.0435	0.0427
20.500						0.0503	0.0455	0.0448
21.000						0.0482	0.0435	0.0429
21.500							0.0492	0.0494

Tabla B3. Factores de Expansión V_1 Para Tomas en Brida
Presión Estática de la Toma Corriente Arriba

Cociente h_w/P_1	$\beta = d/D$												
	.1	.2	.3	.4	.5	.5	.7	.8	.9	1.0	1.1	1.2	
0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.1	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
0.2	0.997	0.997	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996
0.3	0.994	0.994	0.994	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993
0.4	0.990	0.990	0.990	0.989	0.989	0.989	0.989	0.989	0.989	0.989	0.989	0.989	0.989
0.5	0.985	0.985	0.985	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984
0.6	0.979	0.979	0.979	0.978	0.978	0.978	0.978	0.978	0.978	0.978	0.978	0.978	0.978
0.7	0.973	0.973	0.973	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972
0.8	0.967	0.967	0.967	0.966	0.966	0.966	0.966	0.966	0.966	0.966	0.966	0.966	0.966
0.9	0.961	0.961	0.961	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960	0.960
1.0	0.955	0.955	0.955	0.954	0.954	0.954	0.954	0.954	0.954	0.954	0.954	0.954	0.954
1.1	0.949	0.949	0.949	0.948	0.948	0.948	0.948	0.948	0.948	0.948	0.948	0.948	0.948
1.2	0.943	0.943	0.943	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942
1.3	0.937	0.937	0.937	0.936	0.936	0.936	0.936	0.936	0.936	0.936	0.936	0.936	0.936
1.4	0.931	0.931	0.931	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930	0.930
1.5	0.925	0.925	0.925	0.924	0.924	0.924	0.924	0.924	0.924	0.924	0.924	0.924	0.924
1.6	0.919	0.919	0.919	0.918	0.918	0.918	0.918	0.918	0.918	0.918	0.918	0.918	0.918
1.7	0.913	0.913	0.913	0.912	0.912	0.912	0.912	0.912	0.912	0.912	0.912	0.912	0.912
1.8	0.907	0.907	0.907	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906
1.9	0.901	0.901	0.901	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
2.0	0.895	0.895	0.895	0.894	0.894	0.894	0.894	0.894	0.894	0.894	0.894	0.894	0.894
2.1	0.889	0.889	0.889	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888
2.2	0.883	0.883	0.883	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882
2.3	0.877	0.877	0.877	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876	0.876
2.4	0.871	0.871	0.871	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870
2.5	0.865	0.865	0.865	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864
2.6	0.859	0.859	0.859	0.858	0.858	0.858	0.858	0.858	0.858	0.858	0.858	0.858	0.858
2.7	0.853	0.853	0.853	0.852	0.852	0.852	0.852	0.852	0.852	0.852	0.852	0.852	0.852
2.8	0.847	0.847	0.847	0.846	0.846	0.846	0.846	0.846	0.846	0.846	0.846	0.846	0.846
2.9	0.841	0.841	0.841	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840
3.0	0.835	0.835	0.835	0.834	0.834	0.834	0.834	0.834	0.834	0.834	0.834	0.834	0.834
3.1	0.829	0.829	0.829	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828	0.828
3.2	0.823	0.823	0.823	0.822	0.822	0.822	0.822	0.822	0.822	0.822	0.822	0.822	0.822
3.3	0.817	0.817	0.817	0.816	0.816	0.816	0.816	0.816	0.816	0.816	0.816	0.816	0.816
3.4	0.811	0.811	0.811	0.810	0.810	0.810	0.810	0.810	0.810	0.810	0.810	0.810	0.810
3.5	0.805	0.805	0.805	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804	0.804
3.6	0.799	0.799	0.799	0.798	0.798	0.798	0.798	0.798	0.798	0.798	0.798	0.798	0.798
3.7	0.793	0.793	0.793	0.792	0.792	0.792	0.792	0.792	0.792	0.792	0.792	0.792	0.792
3.8	0.787	0.787	0.787	0.786	0.786	0.786	0.786	0.786	0.786	0.786	0.786	0.786	0.786
3.9	0.781	0.781	0.781	0.780	0.780	0.780	0.780	0.780	0.780	0.780	0.780	0.780	0.780
4.0	0.775	0.775	0.775	0.774	0.774	0.774	0.774	0.774	0.774	0.774	0.774	0.774	0.774

Tabla B3. Factores de Expansión Y_1 Para Tomas en Brida
Presión Estática de la Toma Corriente Arriba

Cociente $\frac{h_w}{P_1}$	$\beta = 41\beta$													
	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	
0.0	1.600	1.000	1.040	1.600	1.000	1.040	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.1	0.9487	0.9647	0.9967	0.9747	0.9967	0.9967	0.9967	0.9967	0.9967	0.9967	0.9967	0.9967	0.9967	0.9967
0.2	0.9274	0.9574	0.9674	0.9974	0.9473	0.9473	0.9473	0.9473	0.9473	0.9473	0.9473	0.9473	0.9473	0.9473
0.3	0.9061	0.9461	0.9561	0.9960	0.9460	0.9460	0.9460	0.9460	0.9460	0.9460	0.9460	0.9460	0.9460	0.9460
0.4	0.9148	0.9348	0.9548	0.9747	0.9447	0.9446	0.9446	0.9446	0.9446	0.9446	0.9446	0.9446	0.9446	0.9446
0.5	0.9235	0.9235	0.9234	0.9234	0.9233	0.9233	0.9232	0.9231	0.9231	0.9230	0.9229	0.9229	0.9229	0.9228
0.6	0.9323	0.9322	0.9321	0.9321	0.9320	0.9319	0.9318	0.9318	0.9318	0.9317	0.9316	0.9315	0.9314	0.9313
0.7	0.9412	0.9411	0.9410	0.9410	0.9409	0.9408	0.9407	0.9407	0.9406	0.9405	0.9404	0.9403	0.9402	0.9401
0.8	0.9502	0.9501	0.9500	0.9500	0.9499	0.9498	0.9497	0.9496	0.9495	0.9494	0.9493	0.9492	0.9491	0.9490
0.9	0.9594	0.9593	0.9592	0.9591	0.9590	0.9589	0.9588	0.9587	0.9586	0.9585	0.9584	0.9583	0.9582	0.9581
1.0	0.9571	0.9570	0.9569	0.9568	0.9567	0.9566	0.9565	0.9564	0.9563	0.9562	0.9561	0.9560	0.9559	0.9558
1.1	0.9558	0.9557	0.9556	0.9555	0.9554	0.9553	0.9552	0.9551	0.9550	0.9549	0.9548	0.9547	0.9546	0.9545
1.2	0.9645	0.9644	0.9643	0.9642	0.9641	0.9640	0.9639	0.9638	0.9637	0.9636	0.9635	0.9634	0.9633	0.9632
1.3	0.9632	0.9631	0.9630	0.9629	0.9628	0.9627	0.9626	0.9625	0.9624	0.9623	0.9622	0.9621	0.9620	0.9619
1.4	0.9619	0.9618	0.9617	0.9616	0.9615	0.9614	0.9613	0.9612	0.9611	0.9610	0.9609	0.9608	0.9607	0.9606
1.5	0.9606	0.9605	0.9604	0.9603	0.9602	0.9601	0.9600	0.9599	0.9598	0.9597	0.9596	0.9595	0.9594	0.9593
1.6	0.9793	0.9792	0.9790	0.9788	0.9787	0.9785	0.9783	0.9781	0.9779	0.9777	0.9775	0.9773	0.9771	0.9769
1.7	0.9770	0.9769	0.9767	0.9765	0.9763	0.9761	0.9759	0.9757	0.9755	0.9753	0.9751	0.9749	0.9747	0.9745
1.8	0.9756	0.9754	0.9752	0.9750	0.9748	0.9746	0.9744	0.9742	0.9740	0.9738	0.9736	0.9734	0.9732	0.9730
1.9	0.9733	0.9731	0.9729	0.9727	0.9725	0.9723	0.9721	0.9719	0.9717	0.9715	0.9713	0.9711	0.9709	0.9707
2.0	0.9712	0.9710	0.9708	0.9706	0.9703	0.9701	0.9699	0.9697	0.9695	0.9693	0.9691	0.9689	0.9687	0.9685
2.1	0.9709	0.9707	0.9705	0.9703	0.9701	0.9699	0.9697	0.9695	0.9693	0.9691	0.9689	0.9687	0.9685	0.9683
2.2	0.9716	0.9714	0.9711	0.9709	0.9706	0.9704	0.9701	0.9699	0.9696	0.9694	0.9692	0.9690	0.9688	0.9686
2.3	0.9703	0.9701	0.9698	0.9696	0.9693	0.9691	0.9689	0.9687	0.9685	0.9683	0.9681	0.9679	0.9677	0.9675
2.4	0.9690	0.9688	0.9685	0.9683	0.9680	0.9678	0.9676	0.9674	0.9672	0.9670	0.9668	0.9666	0.9664	0.9662
2.5	0.9677	0.9675	0.9672	0.9670	0.9666	0.9664	0.9662	0.9660	0.9658	0.9656	0.9654	0.9652	0.9650	0.9648
2.6	0.9664	0.9662	0.9659	0.9656	0.9654	0.9652	0.9650	0.9648	0.9646	0.9644	0.9642	0.9640	0.9638	0.9636
2.7	0.9651	0.9649	0.9646	0.9643	0.9640	0.9638	0.9636	0.9634	0.9632	0.9630	0.9628	0.9626	0.9624	0.9622
2.8	0.9638	0.9636	0.9633	0.9630	0.9628	0.9626	0.9624	0.9622	0.9620	0.9618	0.9616	0.9614	0.9612	0.9610
2.9	0.9625	0.9623	0.9620	0.9618	0.9615	0.9613	0.9611	0.9609	0.9607	0.9605	0.9603	0.9601	0.9599	0.9597
3.0	0.9613	0.9610	0.9606	0.9603	0.9600	0.9598	0.9596	0.9594	0.9592	0.9590	0.9588	0.9586	0.9584	0.9582
3.1	0.9600	0.9597	0.9593	0.9590	0.9586	0.9583	0.9580	0.9578	0.9576	0.9574	0.9572	0.9570	0.9568	0.9566
3.2	0.9587	0.9584	0.9580	0.9577	0.9573	0.9570	0.9567	0.9565	0.9563	0.9561	0.9559	0.9557	0.9555	0.9553
3.3	0.9574	0.9571	0.9567	0.9564	0.9560	0.9556	0.9553	0.9551	0.9549	0.9547	0.9545	0.9543	0.9541	0.9539
3.4	0.9561	0.9558	0.9554	0.9550	0.9546	0.9542	0.9539	0.9537	0.9535	0.9533	0.9531	0.9529	0.9527	0.9525
3.5	0.9548	0.9545	0.9541	0.9537	0.9533	0.9529	0.9526	0.9524	0.9522	0.9520	0.9518	0.9516	0.9514	0.9512
3.6	0.9535	0.9532	0.9528	0.9524	0.9520	0.9516	0.9513	0.9511	0.9509	0.9507	0.9505	0.9503	0.9501	0.9499
3.7	0.9522	0.9518	0.9514	0.9511	0.9506	0.9502	0.9499	0.9497	0.9495	0.9493	0.9491	0.9489	0.9487	0.9485
3.8	0.9509	0.9505	0.9502	0.9497	0.9493	0.9489	0.9486	0.9484	0.9482	0.9480	0.9478	0.9476	0.9474	0.9472
3.9	0.9496	0.9492	0.9488	0.9484	0.9480	0.9476	0.9473	0.9471	0.9469	0.9467	0.9465	0.9463	0.9461	0.9459
4.0	0.9483	0.9479	0.9475	0.9471	0.9467	0.9463	0.9460	0.9457	0.9455	0.9453	0.9451	0.9449	0.9447	0.9445

Tabla B4. Factores de Expansión Y_2 Para Tomas en Brida
Presión Estática de la Toma Corriente Abajo

Cociente h_w/P_{12}	n = d/D												
	1	2	3	4	4.5	50	52	54	56	58	60	61	62
0.0	1.000	1.043	1.099	1.000	1.070	1.050	1.160	1.040	1.009	1.040	1.000	1.000	1.000
0.1	1.2027	1.0997	1.0797	1.0706	1.0906	1.0806	1.1906	1.0706	1.0406	1.0706	1.0306	1.0005	1.0005
0.2	1.0013	1.0413	1.0913	1.0013	1.0713	1.0613	1.1713	1.0513	1.0213	1.0513	1.0113	1.0011	1.0010
0.3	1.0420	1.0820	1.0920	1.0819	1.0919	1.0819	1.1919	1.0719	1.0419	1.0719	1.0319	1.0018	1.0016
0.4	1.0827	1.0927	1.0927	1.0927	1.0927	1.0927	1.1927	1.0727	1.0427	1.0727	1.0327	1.0026	1.0024
0.5	1.0933	1.0933	1.0933	1.0933	1.0933	1.0933	1.1933	1.0733	1.0433	1.0733	1.0333	1.0032	1.0031
0.6	1.0939	1.0939	1.0939	1.0939	1.0939	1.0939	1.1939	1.0739	1.0439	1.0739	1.0339	1.0038	1.0037
0.7	1.1047	1.0947	1.0947	1.0947	1.0947	1.0947	1.1947	1.0747	1.0447	1.0747	1.0347	1.0046	1.0045
0.8	1.1053	1.0953	1.0953	1.0953	1.0953	1.0953	1.1953	1.0753	1.0453	1.0753	1.0353	1.0052	1.0051
0.9	1.1059	1.0959	1.0959	1.0959	1.0959	1.0959	1.1959	1.0759	1.0459	1.0759	1.0359	1.0058	1.0057
1.0	1.1067	1.0967	1.0967	1.0967	1.0967	1.0967	1.1967	1.0767	1.0467	1.0767	1.0367	1.0064	1.0063
1.1	1.1074	1.0974	1.0974	1.0974	1.0974	1.0974	1.1974	1.0774	1.0474	1.0774	1.0374	1.0070	1.0069
1.2	1.1080	1.0980	1.0980	1.0980	1.0980	1.0980	1.1980	1.0780	1.0480	1.0780	1.0380	1.0076	1.0075
1.3	1.1087	1.0987	1.0987	1.0987	1.0987	1.0987	1.1987	1.0787	1.0487	1.0787	1.0387	1.0082	1.0081
1.4	1.1094	1.0994	1.0994	1.0994	1.0994	1.0994	1.1994	1.0794	1.0494	1.0794	1.0394	1.0088	1.0087
1.5	1.1101	1.0999	1.0999	1.0999	1.0999	1.0999	1.2000	1.0799	1.0499	1.0799	1.0399	1.0094	1.0093
1.6	1.1108	1.1007	1.1006	1.1006	1.1006	1.1006	1.2006	1.0805	1.0505	1.0805	1.0405	1.0099	1.0098
1.7	1.1114	1.1014	1.1013	1.1013	1.1013	1.1013	1.2013	1.0811	1.0511	1.0811	1.0411	1.0105	1.0104
1.8	1.1121	1.1021	1.1020	1.1020	1.1020	1.1020	1.2020	1.0817	1.0517	1.0817	1.0417	1.0111	1.0110
1.9	1.1128	1.1028	1.1028	1.1028	1.1028	1.1028	1.2028	1.0823	1.0523	1.0823	1.0423	1.0117	1.0116
2.0	1.1135	1.1034	1.1033	1.1033	1.1033	1.1033	1.2033	1.0829	1.0529	1.0829	1.0429	1.0123	1.0122
2.1	1.1142	1.1041	1.1040	1.1040	1.1040	1.1040	1.2040	1.0835	1.0535	1.0835	1.0435	1.0129	1.0128
2.2	1.1149	1.1048	1.1047	1.1047	1.1047	1.1047	1.2047	1.0841	1.0541	1.0841	1.0441	1.0135	1.0134
2.3	1.1155	1.1055	1.1054	1.1054	1.1054	1.1054	1.2054	1.0847	1.0547	1.0847	1.0447	1.0141	1.0140
2.4	1.1162	1.1062	1.1061	1.1061	1.1061	1.1061	1.2061	1.0853	1.0553	1.0853	1.0453	1.0147	1.0146
2.5	1.1169	1.1069	1.1067	1.1067	1.1067	1.1067	1.2067	1.0859	1.0559	1.0859	1.0459	1.0153	1.0152
2.6	1.1176	1.1076	1.1074	1.1074	1.1074	1.1074	1.2074	1.0865	1.0565	1.0865	1.0465	1.0159	1.0158
2.7	1.1182	1.1082	1.1080	1.1080	1.1080	1.1080	1.2080	1.0871	1.0571	1.0871	1.0471	1.0165	1.0164
2.8	1.1189	1.1089	1.1087	1.1087	1.1087	1.1087	1.2087	1.0877	1.0577	1.0877	1.0477	1.0171	1.0170
2.9	1.1196	1.1096	1.1094	1.1094	1.1094	1.1094	1.2094	1.0883	1.0583	1.0883	1.0483	1.0177	1.0176
3.0	1.1203	1.1103	1.1101	1.1101	1.1101	1.1101	1.2101	1.0889	1.0589	1.0889	1.0489	1.0183	1.0182
3.1	1.1210	1.1110	1.1108	1.1108	1.1108	1.1108	1.2108	1.0895	1.0595	1.0895	1.0495	1.0189	1.0188
3.2	1.1217	1.1117	1.1115	1.1115	1.1115	1.1115	1.2115	1.0901	1.0601	1.0901	1.0501	1.0195	1.0194
3.3	1.1224	1.1124	1.1122	1.1122	1.1122	1.1122	1.2122	1.0907	1.0607	1.0907	1.0507	1.0201	1.0200
3.4	1.1230	1.1130	1.1128	1.1128	1.1128	1.1128	1.2128	1.0913	1.0613	1.0913	1.0513	1.0207	1.0206
3.5	1.1237	1.1137	1.1135	1.1135	1.1135	1.1135	1.2135	1.0919	1.0619	1.0919	1.0519	1.0213	1.0212
3.6	1.1244	1.1144	1.1142	1.1142	1.1142	1.1142	1.2142	1.0925	1.0625	1.0925	1.0525	1.0219	1.0218
3.7	1.1251	1.1151	1.1149	1.1149	1.1149	1.1149	1.2149	1.0931	1.0631	1.0931	1.0531	1.0225	1.0224
3.8	1.1258	1.1158	1.1156	1.1156	1.1156	1.1156	1.2156	1.0937	1.0637	1.0937	1.0537	1.0231	1.0230
3.9	1.1265	1.1165	1.1163	1.1163	1.1163	1.1163	1.2163	1.0943	1.0643	1.0943	1.0543	1.0237	1.0236
4.0	1.1272	1.1172	1.1170	1.1170	1.1170	1.1170	1.2170	1.0949	1.0649	1.0949	1.0549	1.0243	1.0242

Tabla B4. Factores de Expansión Para Tomas en Brida
Presión Estática de la Toma Corriente Abajo

Coeficiente	$\beta = d/D$													
	.62	.64	.66	.68	.70	.72	.74	.76	.78	.80	.82	.84	.86	
0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.1	1.005	1.005	1.006	1.006	1.007	1.007	1.008	1.008	1.009	1.009	1.010	1.010	1.011	1.011
0.2	1.010	1.011	1.012	1.012	1.013	1.013	1.014	1.014	1.015	1.015	1.016	1.016	1.017	1.017
0.3	1.015	1.015	1.016	1.016	1.017	1.017	1.018	1.018	1.019	1.019	1.020	1.020	1.021	1.021
0.4	1.021	1.021	1.022	1.022	1.023	1.023	1.024	1.024	1.025	1.025	1.026	1.026	1.027	1.027
0.5	1.026	1.026	1.027	1.027	1.028	1.028	1.029	1.029	1.030	1.030	1.031	1.031	1.032	1.032
0.6	1.031	1.031	1.032	1.032	1.033	1.033	1.034	1.034	1.035	1.035	1.036	1.036	1.037	1.037
0.7	1.036	1.036	1.037	1.037	1.038	1.038	1.039	1.039	1.040	1.040	1.041	1.041	1.042	1.042
0.8	1.042	1.042	1.043	1.043	1.044	1.044	1.045	1.045	1.046	1.046	1.047	1.047	1.048	1.048
0.9	1.047	1.047	1.048	1.048	1.049	1.049	1.050	1.050	1.051	1.051	1.052	1.052	1.053	1.053
1.0	1.052	1.052	1.053	1.053	1.054	1.054	1.055	1.055	1.056	1.056	1.057	1.057	1.058	1.058
1.1	1.057	1.057	1.058	1.058	1.059	1.059	1.060	1.060	1.061	1.061	1.062	1.062	1.063	1.063
1.2	1.062	1.062	1.063	1.063	1.064	1.064	1.065	1.065	1.066	1.066	1.067	1.067	1.068	1.068
1.3	1.067	1.067	1.068	1.068	1.069	1.069	1.070	1.070	1.071	1.071	1.072	1.072	1.073	1.073
1.4	1.072	1.072	1.073	1.073	1.074	1.074	1.075	1.075	1.076	1.076	1.077	1.077	1.078	1.078
1.5	1.077	1.077	1.078	1.078	1.079	1.079	1.080	1.080	1.081	1.081	1.082	1.082	1.083	1.083
1.6	1.083	1.083	1.084	1.084	1.085	1.085	1.086	1.086	1.087	1.087	1.088	1.088	1.089	1.089
1.7	1.089	1.089	1.090	1.090	1.091	1.091	1.092	1.092	1.093	1.093	1.094	1.094	1.095	1.095
1.8	1.094	1.094	1.095	1.095	1.096	1.096	1.097	1.097	1.098	1.098	1.099	1.099	1.100	1.100
1.9	1.100	1.100	1.101	1.101	1.102	1.102	1.103	1.103	1.104	1.104	1.105	1.105	1.106	1.106
2.0	1.105	1.105	1.106	1.106	1.107	1.107	1.108	1.108	1.109	1.109	1.110	1.110	1.111	1.111
2.1	1.111	1.111	1.112	1.112	1.113	1.113	1.114	1.114	1.115	1.115	1.116	1.116	1.117	1.117
2.2	1.116	1.116	1.117	1.117	1.118	1.118	1.119	1.119	1.120	1.120	1.121	1.121	1.122	1.122
2.3	1.121	1.121	1.122	1.122	1.123	1.123	1.124	1.124	1.125	1.125	1.126	1.126	1.127	1.127
2.4	1.126	1.126	1.127	1.127	1.128	1.128	1.129	1.129	1.130	1.130	1.131	1.131	1.132	1.132
2.5	1.131	1.131	1.132	1.132	1.133	1.133	1.134	1.134	1.135	1.135	1.136	1.136	1.137	1.137
2.6	1.135	1.135	1.136	1.136	1.137	1.137	1.138	1.138	1.139	1.139	1.140	1.140	1.141	1.141
2.7	1.140	1.140	1.141	1.141	1.142	1.142	1.143	1.143	1.144	1.144	1.145	1.145	1.146	1.146
2.8	1.145	1.145	1.146	1.146	1.147	1.147	1.148	1.148	1.149	1.149	1.150	1.150	1.151	1.151
2.9	1.150	1.150	1.151	1.151	1.152	1.152	1.153	1.153	1.154	1.154	1.155	1.155	1.156	1.156
3.0	1.155	1.155	1.156	1.156	1.157	1.157	1.158	1.158	1.159	1.159	1.160	1.160	1.161	1.161
3.1	1.160	1.160	1.161	1.161	1.162	1.162	1.163	1.163	1.164	1.164	1.165	1.165	1.166	1.166
3.2	1.165	1.165	1.166	1.166	1.167	1.167	1.168	1.168	1.169	1.169	1.170	1.170	1.171	1.171
3.3	1.170	1.170	1.171	1.171	1.172	1.172	1.173	1.173	1.174	1.174	1.175	1.175	1.176	1.176
3.4	1.175	1.175	1.176	1.176	1.177	1.177	1.178	1.178	1.179	1.179	1.180	1.180	1.181	1.181
3.5	1.180	1.180	1.181	1.181	1.182	1.182	1.183	1.183	1.184	1.184	1.185	1.185	1.186	1.186
3.6	1.185	1.185	1.186	1.186	1.187	1.187	1.188	1.188	1.189	1.189	1.190	1.190	1.191	1.191
3.7	1.189	1.189	1.190	1.190	1.191	1.191	1.192	1.192	1.193	1.193	1.194	1.194	1.195	1.195
3.8	1.193	1.193	1.194	1.194	1.195	1.195	1.196	1.196	1.197	1.197	1.198	1.198	1.199	1.199
3.9	1.198	1.198	1.199	1.199	1.200	1.200	1.201	1.201	1.202	1.202	1.203	1.203	1.204	1.204
4.0	1.203	1.203	1.204	1.204	1.205	1.205	1.206	1.206	1.207	1.207	1.208	1.208	1.209	1.209

A P E N D I C E C

CONSTANTES DE FLUJO DE ORIFICIO PARA INSTALACIONES CON TOMAS EN TUBERIA

NOTA: Las Tablas C1 a la C4 son aplicables a las constantes de flujo de orificio para instalaciones con tomas en tubería que utilizan placas de orificio en tubos de medición con diámetros listados en la Tabla 2.

Tablas:

- C1.** Valores del Factor Base de Orificio, F_b . Se aplican las siguientes condiciones:

Temperatura base = 60 °F;
 Temperatura de flujo = 60 °F;
 Densidad Real = 1;
 Presión Base = 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta.
 $(h_w/P_f)^{0.5} = \infty$ ($R_d = \infty$);
 $h_w/P_f = 0$

- C2** Valores de b utilizados para la determinación del número de Reynolds.

- C3.** Factores de Expansión Y_1 , Presión Estática Corriente Arriba (presión - estática correspondiente a las tomas corriente arriba).

- C4.** Factores de Expansión Y_2 , Presión Estática Corriente Abajo (presión - estática correspondiente a las tomas corriente abajo).

NOTA: Todos los factores en estas tablas se calcularon y redondearon por el método de cinco dígitos. En todos los casos se proporcionan cuatro o cinco cifras solamente para que los cálculos hechos coincidan dentro de 1 ó 2 en la cuarta cifra significativa sin importar si es a la derecha o a la izquierda del punto decimal.

Tabla C1. Factores Base de Orificio, F_b , Para Tomas en Tubería

Diámetro del orificio pulgada	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, en pulgadas								
	2		3			4			
	1.687	1.979	2.067	2.500	2.624	2.900	3.068	3.152	3.438
0.750	13.850	12.313	12.820	12.782	22.725	17.754	12.748	14.745	12.737
0.375	39.302	49.949	27.777	74.993	28.772	28.711	28.622	28.670	28.635
0.360	53.713	52.817	52.462	52.020	51.594	51.222	51.774	51.197	51.085
0.625	87.237	84.920	84.625	82.924	81.862	81.143	80.837	80.704	80.244
0.750	132.79	126.87	124.69	121.45	120.66	118.60	118.50	117.50	117.27
0.875	192.87	181.02	177.09	171.93	167.26	164.58	163.31	162.76	161.17
1.000	275.73	251.11	243.28	233.24	224.01	219.77	217.52	216.55	213.79
1.125	362.53	342.99	327.99	320.44	293.57	285.49	251.67	250.03	225.43
1.250		466.03	438.00	404.53	377.50	363.41	357.13	354.45	347.04
1.375			583.91	524.69	478.09	455.83	448.78	441.09	427.84
1.500				679.11	603.00	565.90	549.53	543.32	528.41
1.625					725.87	697.45	672.96	662.33	635.77
1.750					947.87	856.39	819.07	803.79	783.53
1.875						1050.4	984.01	971.22	912.00
2.000							1205.6	1171.9	1065.5
2.125								1465.1	1269.7
2.250									1532.0
2.375									1622.9

Tabla C1. Factores Base de Orificio, F_b , Para Tomas en Tubería (continúa)

Diámetro del orificio pulgada	Diámetro Nominal o Interior de Tubería, en pulgada								
	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0.250	12.727	12.727							
0.375	20.037	20.037							
0.425	79.916	79.917	50.707	50.707	20.803	20.803	20.803	20.803	20.803
0.750	116.05	116.05	114.62	114.62	114.62	114.62	114.62	114.62	114.62
0.875	127.56	127.56	127.11	127.11	127.11	127.11	127.11	127.11	127.11
1.000	211.63	209.92	206.63	206.63	206.63	206.63	206.63	206.63	206.63
1.125	270.91	269.05	265.91	265.91	265.91	265.91	265.91	265.91	265.91
1.250	319.88	317.06	314.73	314.73	314.73	314.73	314.73	314.73	314.73
1.375	416.80	414.51	412.07	412.07	412.07	412.07	412.07	412.07	412.07
1.500	563.77	561.39	558.21	558.21	558.21	558.21	558.21	558.21	558.21
1.625	611.12	609.81	607.75	607.75	607.75	607.75	607.75	607.75	607.75
1.750	725.55	724.37	722.39	722.39	722.39	722.39	722.39	722.39	722.39
1.875	820.10	819.21	817.00	817.00	817.00	817.00	817.00	817.00	817.00
2.000	1011.7	1010.07	1007.99	1007.99	1007.99	1007.99	1007.99	1007.99	1007.99
2.125	1215.4	1214.4	1212.3	1212.3	1212.3	1212.3	1212.3	1212.3	1212.3
2.250	1355.4	1354.5	1352.3	1352.3	1352.3	1352.3	1352.3	1352.3	1352.3
2.375	1617.2	1616.1	1614.5	1614.5	1614.5	1614.5	1614.5	1614.5	1614.5
2.500	1867.7	1867.3	1865.5	1865.5	1865.5	1865.5	1865.5	1865.5	1865.5
2.625	2206.1	2205.0	2203.5	2203.5	2203.5	2203.5	2203.5	2203.5	2203.5
2.750		2497.0	2495.9	2495.1	2495.1	2495.1	2495.1	2495.1	2495.1
2.875			2555.6	2554.5	2554.0	2554.0	2554.0	2554.0	2554.0
3.000			2548.6	2547.0	2547.2	2547.2	2547.2	2547.2	2547.2
3.125			2815.3	2813.2	2813.4	2813.4	2813.4	2813.4	2813.4
3.250			3244.9	3242.9	3242.9	3242.9	3242.9	3242.9	3242.9
3.375			3622.7	3620.4	3620.4	3620.4	3620.4	3620.4	3620.4
3.500				3443.1	3442.1	3442.1	3442.1	3442.1	3442.1
3.625				4068.1	4064.5	4064.5	4064.5	4064.5	4064.5
3.750					4228.6	4228.6	4228.6	4228.6	4228.6
3.875					4635.0	4632.5	4632.5	4632.5	4632.5
4.000					5197.9	5197.5	5197.5	5197.5	5197.5
4.250						4781.6	4781.6	4781.6	4781.6
4.500						5554.8	5554.8	5554.8	5554.8
4.750						6262.5	6262.5	6262.5	6262.5
5.000						7571.6	7571.6	7571.6	7571.6
5.250						6650.5	6650.5	6650.5	6650.5
5.500							9724.0	9724.0	9724.0

Tabla C1. Factores Base de Orificio, F_D , Para Tomas en Tubería (continúa)

Diámetro del orificio pulgadas	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, en pulgadas									
	10	12	14	16	18	20	24	30	36	42
1.000	202.18									
1.125	236.23	246.61	255.96							
1.250	276.50	287.27	296.47	315.82	315.57	315.51				
1.375	324.11	335.13	343.65	362.67	362.31	362.22				
1.500	381.53	392.80	401.64	420.17	419.65	419.53	431.93	431.79		452.04
1.625	449.73	461.30	469.47	487.40	486.67	486.50	501.28	501.09		523.09
1.750	528.05	540.03	547.30	565.44	564.46	564.22	581.20	581.04		603.74
1.875	616.63	629.02	635.52	653.95	652.71	652.42	671.18	671.01		693.14
2.000	716.66	729.44	735.36	754.15	752.75	752.35	772.30	772.11		792.21
2.125	829.31	842.64	848.09	867.34	865.78	865.30	886.40	886.15		907.01
2.250	956.88	970.71	975.67	995.37	993.66	993.16	1015.50	1015.15		1037.00
2.375	1100.00	1114.33	1118.80	1138.90	1137.05	1136.55	1160.00	1159.55		1182.00
2.500	1259.49	1274.33	1278.90	1299.40	1297.40	1296.85	1321.50	1321.00		1346.50
2.625	1436.00	1451.33	1455.60	1476.50	1474.35	1473.70	1500.00	1499.50		1526.00
2.750	1631.33	1647.00	1651.00	1672.40	1670.00	1669.35	1700.00	1699.50		1730.00
2.875	1847.33	1863.33	1867.00	1889.00	1886.25	1885.50	1920.00	1919.25		1954.00
3.000	2085.00	2101.33	2104.60	2127.00	2123.90	2123.15	2160.00	2159.25		2200.00
3.125	2346.33	2363.00	2365.60	2388.00	2384.50	2383.65	2420.00	2419.25		2456.00
3.250	2633.00	2650.33	2652.60	2675.00	2671.25	2670.35	2710.00	2709.25		2756.00
3.375	2946.33	2964.00	2966.00	2989.00	2984.90	2984.75	3020.00	3019.25		3066.00
3.500	3287.00	3305.33	3307.00	3330.00	3325.50	3325.25	3360.00	3359.25		3410.00
3.625	3656.33	3675.00	3676.40	3700.00	3695.25	3694.90	3730.00	3729.25		3766.00
3.750	4055.00	4074.33	4075.40	4100.00	4094.90	4094.55	4130.00	4129.25		4176.00
3.875	4484.33	4504.00	4504.80	4530.00	4524.50	4524.15	4560.00	4559.25		4606.00
4.000	4945.00	4965.33	4966.00	4990.00	4984.25	4983.80	5020.00	5019.25		5066.00
4.125	5438.33	5459.00	5459.40	5485.00	5478.75	5478.30	5510.00	5509.25		5556.00
4.250	5965.00	5986.33	5986.40	6010.00	6003.50	6003.05	6040.00	6039.25		6086.00
4.375	6526.33	6548.00	6548.00	6570.00	6563.25	6562.75	6600.00	6599.25		6646.00
4.500	7123.00	7145.33	7145.20	7170.00	7162.90	7162.35	7200.00	7199.25		7246.00
4.625	7746.33	7769.00	7768.60	7790.00	7782.75	7782.25	7820.00	7819.25		7866.00
4.750	8396.33	8419.33	8418.60	8440.00	8432.50	8431.95	8470.00	8469.25		8516.00
4.875	9073.00	9096.33	9095.40	9115.00	9106.75	9106.25	9140.00	9139.25		9186.00
5.000	9776.33	9799.66	9798.40	9815.00	9806.25	9805.65	9840.00	9839.25		9886.00
5.125	10506.33	10529.66	10528.00	10540.00	10530.75	10530.15	10560.00	10559.25		10606.00
5.250	11263.00	11286.33	11284.40	11295.00	11285.25	11284.55	11310.00	11309.25		11356.00
5.375	12046.33	12069.66	12067.40	12075.00	12064.75	12064.05	12090.00	12089.25		12136.00
5.500	12856.33	12879.66	12877.00	12885.00	12873.75	12872.95	12900.00	12899.25		12946.00
5.625	13693.00	13716.33	13713.20	13720.00	13708.25	13707.35	13730.00	13729.25		13776.00
5.750	14556.33	14579.66	14576.00	14580.00	14567.75	14566.75	14590.00	14589.25		14636.00
5.875	15446.33	15469.66	15465.60	15470.00	15457.25	15456.15	15480.00	15479.25		15526.00
6.000	16363.00	16386.33	16381.60	16385.00	16371.25	16370.05	16390.00	16389.25		16436.00
6.125	17306.33	17329.66	17324.40	17325.00	17310.75	17309.45	17330.00	17329.25		17376.00
6.250	18276.33	18299.66	18293.60	18290.00	18274.75	18273.35	18290.00	18289.25		18336.00
6.375	19273.00	19296.33	19289.60	19285.00	19268.25	19266.75	19280.00	19279.25		19336.00
6.500	20296.33	20319.66	20311.60	20305.00	20287.25	20285.65	20290.00	20289.25		20336.00
6.625	21346.33	21369.66	21360.40	21355.00	21336.25	21334.55	21340.00	21339.25		21386.00
6.750	22423.00	22446.33	22436.00	22430.00	22410.25	22408.45	22410.00	22409.25		22436.00
6.875	23526.33	23549.66	23538.40	23535.00	23514.25	23512.35	23510.00	23509.25		23536.00
7.000	24656.33	24679.66	24667.20	24665.00	24643.25	24641.25	24640.00	24639.25		24636.00
7.125	25813.00	25836.33	25823.20	25820.00	25797.25	25795.15	25790.00	25789.25		25786.00
7.250	27006.33	27029.66	27015.60	27015.00	26991.25	26988.95	26980.00	26979.25		26976.00
7.375	28236.33	28259.66	28244.40	28245.00	28219.25	28216.75	28210.00	28209.25		28206.00
7.500	29503.00	29526.33	29510.00	29510.00	29483.25	29480.55	29470.00	29469.25		29466.00
7.625	30806.33	30829.66	30812.40	30815.00	30787.25	30784.35	30770.00	30769.25		30766.00
7.750	32146.33	32169.66	32151.20	32155.00	32125.25	32121.55	32100.00	32099.25		32096.00
7.875	33523.00	33546.33	33526.80	33530.00	33498.25	33494.35	33470.00	33469.25		33466.00
8.000	34936.33	34959.66	34939.20	34945.00	34911.25	34906.25	34880.00	34879.25		34876.00
8.125	36386.33	36409.66	36388.00	36395.00	36359.25	36353.15	36320.00	36319.25		36316.00
8.250	37873.00	37896.33	37874.40	37880.00	37842.25	37835.95	37800.00	37799.25		37796.00
8.375	39396.33	39419.66	39395.60	39405.00	39365.25	39358.75	39320.00	39319.25		39316.00
8.500	40956.33	40979.66	40953.20	40965.00	40923.25	40916.55	40870.00	40869.25		40866.00
8.625	42553.00	42576.33	42548.80	42560.00	42516.25	42509.35	42460.00	42459.25		42456.00
8.750	44186.33	44209.66	44180.00	44195.00	44149.25	44141.55	44090.00	44089.25		44086.00
8.875	45856.33	45879.66	45849.60	45865.00	45817.25	45809.25	45750.00	45749.25		45746.00
9.000	47563.00	47586.33	47554.40	47570.00	47520.25	47511.55	47450.00	47449.25		47446.00
9.125	49306.33	49329.66	49296.00	49315.00	49263.25	49254.35	49190.00	49189.25		49186.00
9.250	51086.33	51109.66	51074.40	51095.00	51041.25	51031.15	50960.00	50959.25		50956.00
9.375	52903.00	52926.33	52889.60	52915.00	52859.25	52848.55	52770.00	52769.25		52766.00
9.500	54756.33	54779.66	54741.20	54770.00	54711.25	54700.25	54610.00	54609.25		54606.00
9.625	56646.33	56669.66	56629.60	56660.00	56599.25	56587.15	56490.00	56489.25		56486.00
9.750	58573.00	58596.33	58554.40	58590.00	58527.25	58514.95	58410.00	58409.25		58406.00
9.875	60536.33	60559.66	60515.60	60555.00	60491.25	60478.15	60370.00	60369.25		60366.00
10.000	62636.33	62659.66	62613.20	62655.00	62589.25	62575.55	62460.00	62459.25		62456.00
10.125	64773.00	64796.33	64747.60	64795.00	64727.25	64712.95	64590.00	64589.25		64586.00
10.250	66946.33	66969.66	66918.80	66970.00	66899.25	66884.35	66760.00	66759.25		66756.00
10.375	69156.33	69179.66	69126.40	69180.00	69107.25	69091.75	68960.00	68959.25		68956.00
10.500	71403.00	71426.33	71370.00	71425.00	71350.25	71333.55	71200.00	71199.25		71196.00

Tabla C1. Factores Base de Orificio, F_D , Para Tomas en Tubería (continúa)

Diámetro del orificio, pulgada	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, pulgada									
	20		22		24		26		28	
	18.12	19.00	19.250	20.42	21.621	23.000	23.250	24.750	26.100	26.500
2.000	8.633	806.59	8.642							
2.125	911.54	911.37	911.15							
2.250	1022.9	1022.7	1022.5							
2.375	1141.0	1129.7	1140.4	1176.5	1136.5	1136.5				
2.500	1255.7	1254.4	1255.0	1290.6	1261.2	1260.0				
2.625	1372.2	1396.4	1396.3	1360.9	1312.5	1310.2				
2.750	1485.5	1513.0	1534.6	1523.9	1527.4	1527.0				
2.875	1604.7	1603.1	1609.4	1611.6	1670.9	1670.5				
3.000	1722.8	1722.1	1731.2	1823.9	1721.1	1820.6	1687.7			
3.125	1921.9	1991.1	1990.0	1712.0	1978.1	1977.5	1988.0	1812.3		1812.1
3.250	2156.1	2157.1	2155.8	2142.9	2181.5	2181.1	2130.0	2129.7		2127.3
3.375	2311.4	2310.3	2328.4	2315.6	2312.3	2311.5	2246.6	2298.2		2297.8
3.500	2472.0	2410.6	2408.9	2491.2	2497.8	2498.8	2478.9	2473.4		2472.9
3.625	2609.8	2608.3	2604.3	2628.8	2674.1	2675.0	2658.5	2653.2		2654.7
3.750	2995.1	2913.3	2911.0	2967.4	2983.5	2984.2	2944.4	2943.7		2943.1
3.875	3097.8	3095.7	3093.1	3066.1	3084.8	3085.4	3039.7	3039.0		3038.5
4.000	3388.1	3383.7	3382.7	3371.9	3370.3	3367.7	3241.8	3241.0		3238.2
4.250	3751.8	3748.8	3744.9	3705.1	3701.5	3697.7	3666.5	3665.4		3664.4
4.500	4226.0	4223.3	4218.2	4167.7	4162.7	4160.8	4118.7	4117.4		4116.1
4.750	4714.7	4718.5	4723.4	4662.7	4658.9	4658.5	4598.9	4597.2		4595.5
5.000	5215.9	5216.8	5214.2	5142.1	5177.5	5177.4	5107.3	5105.2		5103.1
5.250	5740.2	5742.0	5737.8	5727.2	5721.2	5721.1	5644.3	5641.6		5639.3
5.500	6287.8	6286.1	6284.5	6273.7	6267.4	6267.2	6219.4	6217.3		6216.3
5.750	7104.7	7093.2	7083.6	6941.3	6929.8	6922.4	6869.0	6862.3		6861.7
6.000	7758.2	7753.5	7739.3	7593.1	7579.2	7578.3	7435.5	7427.1		7422.8
6.250	8510.8	8495.6	8476.2	8276.6	8262.2	8251.7	8087.5	8082.2		8077.1
6.500	9273.8	9255.8	9232.7	8999.1	8979.7	8971.3	8771.3	8768.1		8762.1
6.750	10111.9	10258	10311	9755.4	9732.6	9718.1	9492.6	9482.4		9476.4
7.000	10927	10903	10871	10588	10552	10505	10243	10234		10226
7.250	11824	11785	11757	11389	11329	11329	11026	11016		11017
7.500	12780	12723	12679	12240	12214	12191	11841	11830		11819
7.750	13793	13712	13671	13161	13119	13093	12691	12680		12666
8.000	14861	14764	14704	14113	14065	14036	13575	13560		13546
8.250	15915	15861	15791	15109	15065	15020	14494	14477		14461
8.500	17079	17016	16975	16288	16248	16204	15448	15429		15411
8.750	18306	18233	18140	17338	17166	17121	16439	16418		16398
9.000	19600	19515	19408	18374	18293	18241	17468	17444		17421
9.250	20964	20887	20784	19561	19468	19413	18413	18385		18362
9.500	22404	22293	22151	20801	20695	20642	19642	19612		19582
9.750	23925	23797	23635	22096	21976	21901	20797	20755		20722
10.000	25531	25384	25199	23448	23313	23224	21977	21939		21902
10.250	27220	27062	26850	24861	24708	24612	23308	23266		23234
10.500	29020	28824	28593	26337	26165	26077	24482	24435		24399
10.750	30948	30710	30435	27878	27686	27584	25802	25750		25696
11.000	33044	32805	32482	29492	29274	29157	27168	27100		27053
11.250	35282	34999	34644	31177	30933	30780	28582	28510		28454
11.500	37673	37231	36827	32941	32667	32495	30045	29973		29904
11.750	40216	39601	39192	34786	34499	34296	31509	31400		31345
12.000	42918	42121	41600	36712	36371	36158	33126	33008		32953
12.250	45788	44765	44201	38739	38320	38102	34426	34319		34216
12.500	48822	47573	47000	40879	40328	40105	35960	35850		35745
12.750	52025	50559	50000	43140	42469	42238	37740	37629		37524
13.000	55400	53729	53179	45525	44788	44548	39760	39649		39544
13.250	58950	57089	56549	48036	47188	46939	41980	41869		41764
13.500	62680	60529	60000	50675	49668	49409	44260	44149		44044
13.750	66590	64139	63620	53444	52288	52019	46820	46709		46604
14.000	70680	67829	67320	56345	55038	54759	49580	49469		49364

Tabla C1. Factores Básicos de Orificio, F_B , Para Tomas en Tubería (continua)

Diámetro del orificio, pulgada	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, pulgada								
	20		24				30		
	18.812	19.000	19.250	22.624	23.000	23.250	28.350	29.000	29.250
14.500				62106	61096	60329	52159	51923	51725
15.000				66938	67009	66919	57513	57500	56303
15.500				76572	75027	74075	61854	61835	61225
16.000					83233	82057	67261	66379	66311
16.500							78057	77632	77105
17.000							93312	92833	92312
17.500							86055	85727	85416
18.000							93822	92707	92344
18.500							101506	100612	99761
19.000							110192	109137	108123
19.500							116667	115420	114231
20.000							128056	126219	124515

Tabla C2. Valores b Para la Determinación del Factor del Número de Reynolds Para Tomas en Tubería

$$F_r = 1 + b/(h_v P_f)^{0.5}$$

Diámetro del orificio, pulgada	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, pulgada									
	1.687	1.939	2.067	2.350	2.624	2.900	3.068	3.352	3.636	3.920
0.150	0.1106	0.1091	0.1087	0.1061	0.1074	0.1074	0.1074	0.1074	0.1074	0.1074
1.375	0.0290	0.0276	0.0277	0.0269	0.0269	0.0269	0.0269	0.0269	0.0269	0.0269
0.500	0.0278	0.0274	0.0272	0.0274	0.0272	0.0272	0.0272	0.0272	0.0272	0.0272
0.225	0.0244	0.0247	0.0245	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244
0.750	0.0254	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
0.875	0.0254	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
1.000	0.0252	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244	0.0244
1.125	0.0252	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
1.250	0.0252	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
1.375	0.0252	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
1.500	0.0252	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
1.625	0.0252	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
1.750	0.0252	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
1.875	0.0252	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
2.000	0.0252	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
2.125	0.0252	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
2.250	0.0252	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
2.375	0.0252	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250

Nota: Los valores de b están calculados con la ecuación:

$$b = \frac{E}{12835dk}$$

Donde:

d es el diámetro del orificio, pulgada;

E se calcula con la Ec. 21

K se aproxima de la Tabla D8

Tabla C2. Valores b Para la Determinación del Factor del Número de Reynolds Para Tomas en Tubería (cont inuo)

$$F_r = 1 + b / (h_w P)^{0.5}$$

Diámetro del orificio. pulgada	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, pulgada								
	3.875	4.076	4.877	5.187	5.761	6.665	7.625	7.941	8.071
0.250	0.1664	0.1655							
0.375	0.0932	0.0939							
0.500	0.0909	0.0910	0.0550	0.0602	0.0583	0.0571			
0.625	0.0945	0.0947	0.0147	0.0762	0.0778	0.0782			
0.750	0.0799	0.0792	0.0655	0.0672	0.0703	0.0719			
0.875	0.0819	0.0824	0.0376	0.0792	0.0825	0.0842	0.0716	0.0730	0.0734
1.000	0.0851	0.0854	0.0556	0.0533	0.0555	0.0573	0.0652	0.0648	0.0648
1.125	0.0828	0.0812	0.0513	0.0594	0.0585	0.0612	0.0593	0.0609	0.0613
1.250	0.0876	0.0877	0.0481	0.0814	0.0844	0.0838	0.0838	0.0835	0.0850
1.375	0.0855	0.0853	0.0613	0.0823	0.0837	0.0812	0.0847	0.0806	0.0801
1.500	0.0950	0.0941	0.0834	0.0841	0.0849	0.0872	0.0815	0.0813	0.0826
1.625	0.0881	0.0886	0.0813	0.0815	0.0827	0.0839	0.0865	0.0821	0.0828
1.750	0.0872	0.0869	0.0830	0.0828	0.0834	0.0811	0.0804	0.0804	0.0818
1.875	0.0872	0.0879	0.0821	0.0827	0.0825	0.0829	0.0816	0.0825	0.0819
2.000	0.0885	0.0883	0.0822	0.0831	0.0829	0.0811	0.0811	0.0823	0.0827
2.125	0.0897	0.0890	0.0827	0.0831	0.0828	0.0832	0.0828	0.0829	0.0831
2.250	0.0827	0.0828	0.0825	0.0828	0.0821	0.0826	0.0824	0.0827	0.0820
2.375	0.0846	0.0847	0.0816	0.0813	0.0822	0.0823	0.0821	0.0829	0.0831
2.500	0.0861	0.0855	0.0839	0.0834	0.0827	0.0834	0.0839	0.0818	0.0824
2.625	0.0872	0.0862	0.0815	0.0817	0.0824	0.0828	0.0829	0.0822	0.0823
2.750		0.0842	0.0822	0.0822	0.0824	0.0828	0.0824	0.0824	0.0821
2.875			0.0829	0.0838	0.0825	0.0824	0.0820	0.0824	0.0828
3.000			0.0824	0.0824	0.0824	0.0824	0.0819	0.0813	0.0814
3.125			0.0810	0.0820	0.0823	0.0827	0.0823	0.0813	0.0811
3.250			0.0822	0.0821	0.0838	0.0811	0.0813	0.0814	0.0812
3.375			0.0833	0.0828	0.0853	0.0825	0.0828	0.0827	0.0824
3.500			0.0819	0.0828	0.0867	0.0839	0.0825	0.0821	0.0825
3.625				0.0821	0.0881	0.0814	0.0813	0.0827	0.0814
3.750					0.0893	0.0867	0.0812	0.0824	0.0820
3.875					0.0891	0.0867	0.0820	0.0813	0.0823
4.000					0.0843	0.0871	0.0822	0.0822	0.0823
4.200							0.0827	0.0827	0.0828
4.400							0.0821	0.0826	0.0820
4.750							0.0844	0.0829	0.0814
5.000							0.0848	0.0828	0.0816
5.250							0.0831	0.0831	0.0825
5.500								0.0827	0.0823

Tabla C2. Valores b Para la Determinación del Factor del Número de Reynolds Para Tomas en Tubería (cont inua)

$$F_r = 1 + b/(hwP)^{0.5}$$

Diámetro del orificio, pulgada	Diámetro Nominal e interior de Tubería, pulgada									
	10		12				16			
	9.562	10.070	10.136	11.374	11.624	12.066	14.608	15.401	15.750	
1.000	0.0728									
1.125	0.0678	0.0691	0.0695							
1.250	0.0634	0.0641	0.0646	0.0647	0.0704	0.0708				
1.375	0.0576	0.0584	0.0589	0.0643	0.0642	0.0645				
1.500	0.0532	0.0550	0.0555	0.0641	0.0620	0.0623	0.0707	0.0705		
1.625	0.0477									
1.750	0.0442	0.0471	0.0476	0.0523	0.0543	0.0545	0.0628	0.0626	0.0706	
1.875	0.0417	0.0475	0.0480	0.0485	0.0524	0.0525	0.0615	0.0614	0.0707	0.0706
2.000	0.0385	0.0407	0.0407	0.0454	0.0475	0.0475	0.0561	0.0561	0.0707	0.0706
2.125	0.0355	0.0373	0.0377	0.0423	0.0443	0.0443	0.0532	0.0532	0.0707	0.0706
2.250	0.0329	0.0345	0.0349	0.0394	0.0414	0.0414	0.0503	0.0503	0.0707	0.0706
2.375	0.0305	0.0320	0.0324	0.0367	0.0387	0.0387	0.0477	0.0477	0.0707	0.0706
2.500	0.0283	0.0298	0.0301	0.0342	0.0361	0.0361	0.0452	0.0452	0.0707	0.0706
2.625	0.0265	0.0277	0.0281	0.0319	0.0337	0.0337	0.0428	0.0428	0.0707	0.0706
2.750	0.0246	0.0260	0.0263	0.0295	0.0316	0.0316	0.0408	0.0408	0.0707	0.0706
2.875	0.0234	0.0244	0.0246	0.0279	0.0295	0.0295	0.0378	0.0378	0.0707	0.0706
3.000	0.0222	0.0230	0.0231	0.0262	0.0277	0.0277	0.0364	0.0364	0.0707	0.0706
3.125	0.0212	0.0214	0.0216	0.0246	0.0262	0.0262	0.0346	0.0346	0.0707	0.0706
3.250	0.0205	0.0207	0.0210	0.0232	0.0245	0.0245	0.0328	0.0328	0.0707	0.0706
3.375	0.0199	0.0201	0.0202	0.0228	0.0232	0.0232	0.0311	0.0311	0.0707	0.0706
3.500	0.0193	0.0195	0.0195	0.0218	0.0223	0.0223	0.0295	0.0295	0.0707	0.0706
3.625	0.0193	0.0195	0.0195	0.0209	0.0209	0.0209	0.0281	0.0281	0.0707	0.0706
3.750	0.0192	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0195	0.0271	0.0271	0.0707	0.0706
3.875	0.0193	0.0197	0.0195	0.0187	0.0187	0.0187	0.0264	0.0264	0.0707	0.0706
4.000	0.0195	0.0187	0.0186	0.0182	0.0185	0.0185	0.0258	0.0258	0.0707	0.0706
4.250	0.0203	0.0192	0.0189	0.0176	0.0176	0.0176	0.0250	0.0250	0.0707	0.0706
4.500	0.0215	0.0200	0.0197	0.0175	0.0172	0.0172	0.0241	0.0241	0.0707	0.0706
4.750	0.0230	0.0212	0.0208	0.0178	0.0171	0.0171	0.0236	0.0236	0.0707	0.0706
5.000	0.0248	0.0228	0.0223	0.0185	0.0172	0.0172	0.0227	0.0227	0.0707	0.0706
5.250	0.0267	0.0245	0.0239	0.0195	0.0181	0.0181	0.0219	0.0219	0.0707	0.0706
5.500	0.0287	0.0263	0.0257	0.0207	0.0193	0.0193	0.0216	0.0216	0.0707	0.0706
5.750	0.0307	0.0282	0.0276	0.0221	0.0207	0.0207	0.0207	0.0207	0.0707	0.0706
6.000	0.0336	0.0302	0.0295	0.0236	0.0215	0.0215	0.0210	0.0210	0.0707	0.0706
6.250	0.0343	0.0320	0.0314	0.0253	0.0230	0.0230	0.0224	0.0224	0.0707	0.0706
6.500	0.0358	0.0336	0.0331	0.0270	0.0246	0.0246	0.0237	0.0237	0.0707	0.0706
6.750		0.0351	0.0346	0.0288	0.0262	0.0262	0.0256	0.0256	0.0707	0.0706
7.000		0.0363	0.0359	0.0304	0.0279	0.0279	0.0272	0.0272	0.0707	0.0706
7.250			0.0330	0.0293	0.0274	0.0274	0.0268	0.0268	0.0707	0.0706
7.500			0.0334	0.0310	0.0294	0.0294	0.0288	0.0288	0.0707	0.0706
7.750			0.0347	0.0325	0.0316	0.0319	0.0319	0.0319	0.0707	0.0706
8.000				0.0338	0.0332	0.0332	0.0326	0.0326	0.0707	0.0706
8.250				0.0349	0.0344	0.0344	0.0338	0.0338	0.0707	0.0706
8.500					0.0349	0.0349	0.0343	0.0343	0.0707	0.0706
8.750						0.0359	0.0354	0.0354	0.0707	0.0706
9.000							0.0359	0.0359	0.0707	0.0706
9.250							0.0369	0.0364	0.0707	0.0706
9.500							0.0371	0.0366	0.0707	0.0706
9.750							0.0372	0.0367	0.0707	0.0706
10.000							0.0372	0.0367	0.0707	0.0706
10.250							0.0382	0.0377	0.0707	0.0706
10.500							0.0381	0.0376	0.0707	0.0706

Tabla C2. Valores b Para la Determinación del factor del Número de Reynolds Para Tomas en Tubería (continua)

$$F_r = 1 + b/(D_w p)^{0.5}$$

Diámetro del orificio, pulgada	Diámetro Nominal c Interior de Tubería, pulgada									
	20		24		30		36		42	
	18.812	19.000	19.250	22.624	23.000	23.250	24.750	29.000	29.500	
2.000	0.1643	0.1667	0.1672							
2.125	0.1635	0.1647	0.1645							
2.250	0.1627	0.1643	0.1638							
2.375	0.1619	0.1638	0.1630	0.0676	0.0672	0.0672				
2.500	0.1611	0.1632	0.1622	0.0670	0.0667	0.0667				
2.625	0.1603	0.1625	0.1614	0.0664	0.0661	0.0661				
2.750	0.1595	0.1618	0.1606	0.0658	0.0655	0.0655				
2.875	0.1587	0.1610	0.1598	0.0652	0.0649	0.0649				
3.000	0.1579	0.1602	0.1590	0.0646	0.0643	0.0643	0.0669	0.0654	0.0659	
3.125	0.1571	0.1594	0.1582	0.0640	0.0637	0.0637	0.0663	0.0648	0.0653	
3.250	0.1563	0.1586	0.1574	0.0634	0.0631	0.0631	0.0659	0.0644	0.0649	
3.375	0.1555	0.1578	0.1566	0.0628	0.0625	0.0625	0.0655	0.0640	0.0645	
3.500	0.1547	0.1570	0.1558	0.0622	0.0619	0.0619	0.0651	0.0636	0.0641	
3.625	0.1539	0.1562	0.1550	0.0616	0.0613	0.0613	0.0647	0.0632	0.0637	
3.750	0.1531	0.1554	0.1542	0.0610	0.0607	0.0607	0.0643	0.0628	0.0633	
3.875	0.1523	0.1546	0.1534	0.0604	0.0601	0.0601	0.0639	0.0624	0.0629	
4.000	0.1515	0.1538	0.1526	0.0598	0.0595	0.0595	0.0635	0.0620	0.0625	
4.250	0.1507	0.1530	0.1518	0.0592	0.0589	0.0589	0.0631	0.0616	0.0621	
4.500	0.1500	0.1522	0.1510	0.0586	0.0583	0.0583	0.0627	0.0612	0.0617	
4.750	0.1492	0.1514	0.1502	0.0580	0.0577	0.0577	0.0623	0.0608	0.0613	
5.000	0.1484	0.1506	0.1494	0.0574	0.0571	0.0571	0.0619	0.0604	0.0609	
5.250	0.1476	0.1498	0.1486	0.0568	0.0565	0.0565	0.0615	0.0600	0.0605	
5.500	0.1468	0.1490	0.1478	0.0562	0.0559	0.0559	0.0611	0.0596	0.0601	
5.750	0.1460	0.1482	0.1470	0.0556	0.0553	0.0553	0.0607	0.0592	0.0597	
6.000	0.1452	0.1474	0.1462	0.0550	0.0547	0.0547	0.0603	0.0588	0.0593	
6.250	0.1444	0.1466	0.1454	0.0544	0.0541	0.0541	0.0600	0.0585	0.0590	
6.500	0.1436	0.1458	0.1446	0.0538	0.0535	0.0535	0.0596	0.0581	0.0586	
6.750	0.1428	0.1450	0.1438	0.0532	0.0529	0.0529	0.0592	0.0577	0.0582	
7.000	0.1420	0.1442	0.1430	0.0526	0.0523	0.0523	0.0588	0.0573	0.0578	
7.250	0.1412	0.1434	0.1422	0.0520	0.0517	0.0517	0.0584	0.0569	0.0574	
7.500	0.1404	0.1426	0.1414	0.0514	0.0511	0.0511	0.0580	0.0565	0.0570	
7.750	0.1396	0.1418	0.1406	0.0508	0.0505	0.0505	0.0576	0.0561	0.0566	
8.000	0.1388	0.1410	0.1398	0.0502	0.0499	0.0499	0.0572	0.0557	0.0562	
8.250	0.1380	0.1402	0.1390	0.0496	0.0493	0.0493	0.0568	0.0553	0.0558	
8.500	0.1372	0.1394	0.1382	0.0490	0.0487	0.0487	0.0564	0.0549	0.0554	
8.750	0.1364	0.1386	0.1374	0.0484	0.0481	0.0481	0.0560	0.0545	0.0550	
9.000	0.1356	0.1378	0.1366	0.0478	0.0475	0.0475	0.0556	0.0541	0.0546	
9.250	0.1348	0.1370	0.1358	0.0472	0.0469	0.0469	0.0552	0.0537	0.0542	
9.500	0.1340	0.1362	0.1350	0.0466	0.0463	0.0463	0.0548	0.0533	0.0538	
9.750	0.1332	0.1354	0.1342	0.0460	0.0457	0.0457	0.0544	0.0529	0.0534	
10.000	0.1324	0.1346	0.1334	0.0454	0.0451	0.0451	0.0540	0.0525	0.0530	
10.250	0.1316	0.1338	0.1326	0.0448	0.0445	0.0445	0.0536	0.0521	0.0526	
10.500	0.1308	0.1330	0.1318	0.0442	0.0439	0.0439	0.0532	0.0517	0.0522	
10.750	0.1300	0.1322	0.1310	0.0436	0.0433	0.0433	0.0528	0.0513	0.0518	
11.000	0.1292	0.1314	0.1302	0.0430	0.0427	0.0427	0.0524	0.0509	0.0514	
11.250	0.1284	0.1306	0.1294	0.0424	0.0421	0.0421	0.0520	0.0505	0.0510	
11.500	0.1276	0.1298	0.1286	0.0418	0.0415	0.0415	0.0516	0.0501	0.0506	
11.750	0.1268	0.1290	0.1278	0.0412	0.0409	0.0409	0.0512	0.0497	0.0502	
12.000	0.1260	0.1282	0.1270	0.0406	0.0403	0.0403	0.0508	0.0493	0.0498	
12.250	0.1252	0.1274	0.1262	0.0400	0.0397	0.0397	0.0504	0.0489	0.0494	
12.500	0.1244	0.1266	0.1254	0.0394	0.0391	0.0391	0.0500	0.0485	0.0490	
12.750	0.1236	0.1258	0.1246	0.0388	0.0385	0.0385	0.0496	0.0481	0.0486	
13.000	0.1228	0.1250	0.1238	0.0382	0.0379	0.0379	0.0492	0.0477	0.0482	
13.250	0.1220	0.1242	0.1230	0.0376	0.0373	0.0373	0.0488	0.0473	0.0478	
13.500	0.1212	0.1234	0.1222	0.0370	0.0367	0.0367	0.0484	0.0469	0.0474	
13.750	0.1204	0.1226	0.1214	0.0364	0.0361	0.0361	0.0480	0.0465	0.0470	
14.000	0.1196	0.1218	0.1206	0.0358	0.0355	0.0355	0.0476	0.0461	0.0466	
14.250	0.1188	0.1210	0.1198	0.0352	0.0349	0.0349	0.0472	0.0457	0.0462	
14.500	0.1180	0.1202	0.1190	0.0346	0.0343	0.0343	0.0468	0.0453	0.0458	
14.750	0.1172	0.1194	0.1182	0.0340	0.0337	0.0337	0.0464	0.0449	0.0454	
15.000	0.1164	0.1186	0.1174	0.0334	0.0331	0.0331	0.0460	0.0445	0.0450	

Tabla C2. Valores b Para la Determinación del Factor del Número de Reynolds Para Tomas en Tubería (cont inua)

$$F_r = 1 + b/(h_w P_f)^{0.5}$$

Diámetro del orificio, pulgada	Diámetro Nominal e Interior de Tubería, pulgada							
	20		24		30		36	
	18.812	19.000	19.250	22.625	23.750	28.750	29.125	29.250
15.500				0.0318				
16.000				0.0311	0.0306	0.0313	0.0313	0.0313
16.500				0.0323	0.0312	0.0313	0.0309	0.0313
17.000						0.0228	0.0225	0.0217
17.500						0.0242	0.0235	0.0233
18.000						0.0227	0.0232	0.0243
18.500						0.0270	0.0266	0.0269
19.000						0.0253	0.0255	0.0255
19.500						0.0296	0.0294	0.0294
20.000						0.0307	0.0303	0.0302
						0.0317	0.0313	0.0310

Table C3. Factores de Expansión Para Tomas en Tubería
Presión Estática de la Toma Corriente Arriba

Cociente hw/P_1	B = 10'									
	1	2	3	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.1	0.990	0.989	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988	0.987
0.2	0.978	0.977	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.975
0.3	0.971	0.969	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	0.967
0.4	0.972	0.969	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	0.967
0.5	0.973	0.971	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.969
0.6	0.974	0.972	0.971	0.971	0.971	0.971	0.971	0.971	0.971	0.970
0.7	0.975	0.973	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972	0.972	0.971
0.8	0.976	0.974	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973	0.972
0.9	0.977	0.975	0.974	0.974	0.974	0.974	0.974	0.974	0.974	0.973
1.0	0.978	0.976	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.974
1.1	0.979	0.977	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.976	0.975
1.2	0.980	0.978	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977	0.976
1.3	0.981	0.979	0.978	0.978	0.978	0.978	0.978	0.978	0.978	0.977
1.4	0.982	0.980	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.978
1.5	0.983	0.981	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.980	0.979
1.6	0.984	0.982	0.981	0.981	0.981	0.981	0.981	0.981	0.981	0.980
1.7	0.985	0.983	0.982	0.982	0.982	0.982	0.982	0.982	0.982	0.981
1.8	0.986	0.984	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.983	0.982
1.9	0.987	0.985	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.984	0.983
2.0	0.988	0.986	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	0.985	0.984
2.1	0.989	0.987	0.986	0.986	0.986	0.986	0.986	0.986	0.986	0.985
2.2	0.990	0.988	0.987	0.987	0.987	0.987	0.987	0.987	0.987	0.986
2.3	0.991	0.989	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988	0.988	0.987
2.4	0.992	0.990	0.989	0.989	0.989	0.989	0.989	0.989	0.989	0.988
2.5	0.993	0.991	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.989
2.6	0.994	0.992	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.990
2.7	0.995	0.993	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992	0.991
2.8	0.996	0.994	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993	0.992
2.9	0.997	0.995	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994	0.993
3.0	0.998	0.996	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995	0.994
3.1	0.999	0.997	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996	0.995
3.2	1.000	0.998	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.996
3.3	1.001	0.999	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.997
3.4	1.002	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998
3.5	1.003	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999
3.6	1.004	1.002	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.000
3.7	1.005	1.003	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.001
3.8	1.006	1.004	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.003	1.002
3.9	1.007	1.005	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.004	1.003
4.0	1.008	1.006	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.005	1.004

Table C3. Factores de Expansión Y_p Para Tomas en Tuberfa (continua)
Presión Estática de la Toma Corriente Arriba

h/P_g	$\beta = d/D$									
	.61	.62	.63	.64	.65	.66	.67	.68	.69	.70
0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.1	0.9776	0.9976	0.9975	0.9974	0.9973	0.9972	0.9971	0.9970	0.9969	0.9968
0.2	0.9513	0.9751	0.9749	0.9748	0.9747	0.9746	0.9745	0.9744	0.9743	0.9742
0.3	0.9229	0.9527	0.9525	0.9524	0.9523	0.9522	0.9521	0.9520	0.9519	0.9518
0.4	0.8926	0.9283	0.9281	0.9280	0.9279	0.9278	0.9277	0.9276	0.9275	0.9274
0.5	0.8604	0.9027	0.9025	0.9024	0.9023	0.9022	0.9021	0.9020	0.9019	0.9018
0.6	0.8259	0.8854	0.8852	0.8851	0.8850	0.8849	0.8848	0.8847	0.8846	0.8845
0.7	0.7895	0.8650	0.8648	0.8647	0.8646	0.8645	0.8644	0.8643	0.8642	0.8641
0.8	0.7511	0.8426	0.8424	0.8423	0.8422	0.8421	0.8420	0.8419	0.8418	0.8417
0.9	0.7108	0.8182	0.8180	0.8179	0.8178	0.8177	0.8176	0.8175	0.8174	0.8173
1.0	0.6784	0.7977	0.7975	0.7974	0.7973	0.7972	0.7971	0.7970	0.7969	0.7968
1.1	0.6431	0.7733	0.7731	0.7730	0.7729	0.7728	0.7727	0.7726	0.7725	0.7724
1.2	0.6151	0.7527	0.7525	0.7524	0.7523	0.7522	0.7521	0.7520	0.7519	0.7518
1.3	0.5854	0.7305	0.7303	0.7302	0.7301	0.7300	0.7299	0.7298	0.7297	0.7296
1.4	0.5630	0.7069	0.7067	0.7066	0.7065	0.7064	0.7063	0.7062	0.7061	0.7060
1.5	0.5465	0.6936	0.6934	0.6933	0.6932	0.6931	0.6930	0.6929	0.6928	0.6927
1.6	0.5323	0.6811	0.6809	0.6808	0.6807	0.6806	0.6805	0.6804	0.6803	0.6802
1.7	0.5199	0.6701	0.6700	0.6699	0.6698	0.6697	0.6696	0.6695	0.6694	0.6693
1.8	0.5086	0.6603	0.6602	0.6601	0.6600	0.6599	0.6598	0.6597	0.6596	0.6595
1.9	0.4982	0.6515	0.6514	0.6513	0.6512	0.6511	0.6510	0.6509	0.6508	0.6507
2.0	0.4887	0.6435	0.6434	0.6433	0.6432	0.6431	0.6430	0.6429	0.6428	0.6427
2.1	0.4800	0.6362	0.6361	0.6360	0.6359	0.6358	0.6357	0.6356	0.6355	0.6354
2.2	0.4721	0.6295	0.6294	0.6293	0.6292	0.6291	0.6290	0.6289	0.6288	0.6287
2.3	0.4649	0.6234	0.6233	0.6232	0.6231	0.6230	0.6229	0.6228	0.6227	0.6226
2.4	0.4583	0.6178	0.6177	0.6176	0.6175	0.6174	0.6173	0.6172	0.6171	0.6170
2.5	0.4522	0.6126	0.6125	0.6124	0.6123	0.6122	0.6121	0.6120	0.6119	0.6118
2.6	0.4465	0.6078	0.6077	0.6076	0.6075	0.6074	0.6073	0.6072	0.6071	0.6070
2.7	0.4412	0.6033	0.6032	0.6031	0.6030	0.6029	0.6028	0.6027	0.6026	0.6025
2.8	0.4362	0.5991	0.5990	0.5989	0.5988	0.5987	0.5986	0.5985	0.5984	0.5983
2.9	0.4314	0.5951	0.5950	0.5949	0.5948	0.5947	0.5946	0.5945	0.5944	0.5943
3.0	0.4269	0.5913	0.5912	0.5911	0.5910	0.5909	0.5908	0.5907	0.5906	0.5905
3.1	0.4226	0.5877	0.5876	0.5875	0.5874	0.5873	0.5872	0.5871	0.5870	0.5869
3.2	0.4184	0.5843	0.5842	0.5841	0.5840	0.5839	0.5838	0.5837	0.5836	0.5835
3.3	0.4144	0.5811	0.5810	0.5809	0.5808	0.5807	0.5806	0.5805	0.5804	0.5803
3.4	0.4105	0.5781	0.5780	0.5779	0.5778	0.5777	0.5776	0.5775	0.5774	0.5773
3.5	0.4067	0.5752	0.5751	0.5750	0.5749	0.5748	0.5747	0.5746	0.5745	0.5744
3.6	0.4031	0.5724	0.5723	0.5722	0.5721	0.5720	0.5719	0.5718	0.5717	0.5716
3.7	0.4000	0.5698	0.5697	0.5696	0.5695	0.5694	0.5693	0.5692	0.5691	0.5690
3.8	0.3970	0.5673	0.5672	0.5671	0.5670	0.5669	0.5668	0.5667	0.5666	0.5665
3.9	0.3941	0.5649	0.5648	0.5647	0.5646	0.5645	0.5644	0.5643	0.5642	0.5641
4.0	0.3913	0.5626	0.5625	0.5624	0.5623	0.5622	0.5621	0.5620	0.5619	0.5618

Tabla C4. Factores de Expansión Y_2 Para Tomas en Tubería
Presión Estática de la Toma Corriente e Abajo

Cociente h_w/P_2	B/D									
	1	2	3	4	4.5	5	5.5	6	8	10
0.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.1	1.008	1.006	1.004	1.003	1.002	1.000	0.999	0.998	0.997	0.996
0.2	1.017	1.015	1.012	1.010	1.008	1.006	0.999	0.997	0.995	0.993
0.3	1.025	1.023	1.020	1.018	1.016	1.014	1.012	1.010	1.008	1.006
0.4	1.034	1.030	1.028	1.024	1.022	1.020	1.018	1.016	1.014	1.012
0.5	1.042	1.038	1.036	1.032	1.030	1.028	1.026	1.024	1.022	1.020
0.6	1.051	1.045	1.044	1.041	1.039	1.037	1.035	1.033	1.031	1.029
0.7	1.059	1.053	1.051	1.048	1.046	1.044	1.042	1.040	1.038	1.036
0.8	1.068	1.060	1.059	1.056	1.054	1.052	1.050	1.048	1.046	1.044
0.9	1.076	1.068	1.067	1.064	1.062	1.060	1.058	1.056	1.054	1.052
1.0	1.085	1.075	1.075	1.072	1.070	1.068	1.066	1.064	1.062	1.060
1.1	1.093	1.083	1.083	1.079	1.077	1.075	1.073	1.071	1.069	1.067
1.2	1.102	1.091	1.091	1.087	1.085	1.083	1.081	1.079	1.077	1.075
1.3	1.110	1.098	1.097	1.094	1.092	1.090	1.088	1.086	1.084	1.082
1.4	1.119	1.106	1.105	1.102	1.100	1.098	1.096	1.094	1.092	1.090
1.5	1.127	1.113	1.112	1.109	1.107	1.105	1.103	1.101	1.099	1.097
1.6	1.136	1.122	1.120	1.117	1.115	1.113	1.111	1.109	1.107	1.105
1.7	1.144	1.128	1.127	1.124	1.122	1.120	1.118	1.116	1.114	1.112
1.8	1.153	1.136	1.135	1.132	1.130	1.128	1.126	1.124	1.122	1.120
1.9	1.161	1.144	1.143	1.140	1.138	1.136	1.134	1.132	1.130	1.128
2.0	1.170	1.151	1.150	1.147	1.145	1.143	1.141	1.139	1.137	1.135
2.1	1.178	1.159	1.158	1.155	1.153	1.151	1.149	1.147	1.145	1.143
2.2	1.187	1.167	1.166	1.163	1.161	1.159	1.157	1.155	1.153	1.151
2.3	1.195	1.174	1.174	1.171	1.169	1.167	1.165	1.163	1.161	1.159
2.4	1.204	1.182	1.181	1.178	1.176	1.174	1.172	1.170	1.168	1.166
2.5	1.212	1.189	1.188	1.185	1.183	1.181	1.179	1.177	1.175	1.173
2.6	1.221	1.197	1.196	1.193	1.191	1.189	1.187	1.185	1.183	1.181
2.7	1.229	1.205	1.204	1.201	1.200	1.198	1.196	1.194	1.192	1.190
2.8	1.238	1.213	1.212	1.209	1.207	1.205	1.203	1.201	1.199	1.197
2.9	1.246	1.220	1.219	1.216	1.214	1.212	1.210	1.208	1.206	1.204
3.0	1.255	1.228	1.227	1.224	1.222	1.220	1.218	1.216	1.214	1.212
3.1	1.264	1.235	1.234	1.231	1.229	1.227	1.225	1.223	1.221	1.219
3.2	1.272	1.243	1.242	1.239	1.237	1.235	1.233	1.231	1.229	1.227
3.3	1.280	1.250	1.249	1.246	1.244	1.242	1.240	1.238	1.236	1.234
3.4	1.289	1.258	1.257	1.254	1.252	1.250	1.248	1.246	1.244	1.242
3.5	1.297	1.266	1.265	1.262	1.260	1.258	1.256	1.254	1.252	1.250
3.6	1.306	1.273	1.272	1.269	1.267	1.265	1.263	1.261	1.259	1.257
3.7	1.314	1.281	1.280	1.277	1.275	1.273	1.271	1.269	1.267	1.265
3.8	1.322	1.289	1.288	1.285	1.283	1.281	1.279	1.277	1.275	1.273
3.9	1.331	1.296	1.295	1.292	1.290	1.288	1.286	1.284	1.282	1.280
4.0	1.340	1.304	1.303	1.300	1.298	1.296	1.294	1.292	1.290	1.288

Tabla C4. Factores de Expansión V_2 Para Tomas en Tubería (continua)
Presión Estática de la Toma Corriente Abajo

Cociente h_w/P_e	$B = d/D$									
	.21	.22	.23	.24	.25	.26	.27	.28	.29	.30
0.0	1.600	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.1	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994
0.2	0.9989	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988	0.9988
0.3	0.9984	0.9982	0.9982	0.9982	0.9982	0.9982	0.9982	0.9982	0.9982	0.9982
0.4	0.9978	0.9976	0.9976	0.9976	0.9976	0.9976	0.9976	0.9976	0.9976	0.9976
0.5	0.9973	0.9970	0.9969	0.9969	0.9969	0.9969	0.9969	0.9969	0.9969	0.9969
0.6	0.9968	0.9964	0.9963	0.9963	0.9963	0.9963	0.9963	0.9963	0.9963	0.9963
0.7	0.9962	0.9958	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957	0.9957
0.8	0.9957	0.9952	0.9951	0.9951	0.9951	0.9951	0.9951	0.9951	0.9951	0.9951
0.9	0.9952	0.9946	0.9945	0.9945	0.9945	0.9945	0.9945	0.9945	0.9945	0.9945
1.0	0.9947	0.9940	0.9939	0.9939	0.9939	0.9939	0.9939	0.9939	0.9939	0.9939
1.1	0.9942	0.9935	0.9934	0.9934	0.9934	0.9934	0.9934	0.9934	0.9934	0.9934
1.2	0.9937	0.9929	0.9928	0.9928	0.9928	0.9928	0.9928	0.9928	0.9928	0.9928
1.3	0.9932	0.9924	0.9923	0.9923	0.9923	0.9923	0.9923	0.9923	0.9923	0.9923
1.4	0.9928	0.9918	0.9918	0.9918	0.9918	0.9918	0.9918	0.9918	0.9918	0.9918
1.5	0.9923	0.9912	0.9912	0.9912	0.9912	0.9912	0.9912	0.9912	0.9912	0.9912
1.6	0.9918	0.9907	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906
1.7	0.9913	0.9902	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901
1.8	0.9908	0.9896	0.9895	0.9895	0.9895	0.9895	0.9895	0.9895	0.9895	0.9895
1.9	0.9904	0.9891	0.9890	0.9890	0.9890	0.9890	0.9890	0.9890	0.9890	0.9890
2.0	0.9899	0.9886	0.9885	0.9885	0.9885	0.9885	0.9885	0.9885	0.9885	0.9885
2.1	0.9895	0.9881	0.9880	0.9880	0.9880	0.9880	0.9880	0.9880	0.9880	0.9880
2.2	0.9890	0.9876	0.9875	0.9875	0.9875	0.9875	0.9875	0.9875	0.9875	0.9875
2.3	0.9886	0.9870	0.9870	0.9870	0.9870	0.9870	0.9870	0.9870	0.9870	0.9870
2.4	0.9881	0.9865	0.9865	0.9865	0.9865	0.9865	0.9865	0.9865	0.9865	0.9865
2.5	0.9877	0.9860	0.9860	0.9860	0.9860	0.9860	0.9860	0.9860	0.9860	0.9860
2.6	0.9873	0.9855	0.9855	0.9855	0.9855	0.9855	0.9855	0.9855	0.9855	0.9855
2.7	0.9868	0.9850	0.9850	0.9850	0.9850	0.9850	0.9850	0.9850	0.9850	0.9850
2.8	0.9864	0.9846	0.9846	0.9846	0.9846	0.9846	0.9846	0.9846	0.9846	0.9846
2.9	0.9860	0.9841	0.9841	0.9841	0.9841	0.9841	0.9841	0.9841	0.9841	0.9841
3.0	0.9856	0.9836	0.9836	0.9836	0.9836	0.9836	0.9836	0.9836	0.9836	0.9836
3.1	0.9852	0.9831	0.9831	0.9831	0.9831	0.9831	0.9831	0.9831	0.9831	0.9831
3.2	0.9848	0.9826	0.9826	0.9826	0.9826	0.9826	0.9826	0.9826	0.9826	0.9826
3.3	0.9843	0.9822	0.9822	0.9822	0.9822	0.9822	0.9822	0.9822	0.9822	0.9822
3.4	0.9839	0.9817	0.9817	0.9817	0.9817	0.9817	0.9817	0.9817	0.9817	0.9817
3.5	0.9835	0.9813	0.9813	0.9813	0.9813	0.9813	0.9813	0.9813	0.9813	0.9813
3.6	0.9832	0.9808	0.9808	0.9808	0.9808	0.9808	0.9808	0.9808	0.9808	0.9808
3.7	0.9828	0.9799	0.9799	0.9799	0.9799	0.9799	0.9799	0.9799	0.9799	0.9799
3.8	0.9825	0.9793	0.9793	0.9793	0.9793	0.9793	0.9793	0.9793	0.9793	0.9793
3.9	0.9821	0.9790	0.9790	0.9790	0.9790	0.9790	0.9790	0.9790	0.9790	0.9790
4.0	0.9818	0.9786	0.9786	0.9786	0.9786	0.9786	0.9786	0.9786	0.9786	0.9786

A P E N D I C E D

CONSTANTES DE FLUJO DE ORIFICIO PARA INTALACIONES
CON TOMAS EN BRIDA Y TOMAS EN TUBERIA

NOTA: Las Tablas D1 a la D8 son aplicables a las constantes de flujo de orificio para instalaciones con tomas en brida y con tomas en tubería .

Tablas:

- D1. Factores F_{pb} para cambiar de una presión base de 14.73 libras por pulgada cuadrada a otras presiones base.
- D2. Factores F_{tb} para cambiar de una temperatura base de 60 °F a otra temperatura base.
- D3. Factores F_{lf} para cambiar de una temperatura de flujo de 60 °F a la temperatura real de flujo.
- D4. Factores F_{gf} para ajustar por densidad relativa real (condiciones base 60 °F y 14.73 libras por pulgada cuadrada absoluta).
- D5. Factores F_{pv} de supercompresibilidad (datos base: gas hidrocarburo - de densidad relativa = 0.6).
- D6. Factores F_{hm} del manómetro. (Esta tabla se utiliza para registradores de presión diferencial con mercurio en los cuales el gas está en contacto con la superficie de éste. Ver la Tabla D7 para obtener los factores de corrección por elevación y latitud).
- D7. Factores F_{wl} y F_{pwl} de localización del manómetro.
- D8. Valores de K a utilizarse en la determinación de R_d para el cálculo del factor F_r . (Los valores de K a utilizarse en el cálculo de los valores de b).

Tabla D1. Factores F_{pb} Utilizados Para Cambiar de una Presión Base de 14.73 Libras Por Pulgada Cuadrada a Otra Presión Base

$$F_{pb} = \frac{14.73}{\text{Presión Base de Contrato, lb/pg}^2}$$

Presión base (lb/pg ² abs)	F_{pb}
14.4	1.0239
14.525	1.0141
14.65	1.0055
14.696	1.0023
14.70	1.0020
14.725	1.0003
14.73	1.0000
14.735	0.9997
14.775	0.9970
14.90	0.9856
15.025	0.9804
15.15	0.9723
15.225	0.9675
15.275	0.9643
15.375	0.9615
15.40	0.9565
15.525	0.9488
15.65	0.9412
15.775	0.9338
15.90	0.9264
16.025	0.9192
16.15	0.9121
16.275	0.9051
16.40	0.8982
16.70	0.8850

Tabla D2. Factores F_{tb} Utilizados Para Cambiar de una Temperatura Base de 60 °F a otra Temperatura Base

$$F_{tb} = \frac{\text{Temperatura Base (°F)} + 459.67}{60 + 459.67}$$

Temperatura °F	F_{tb}	Temperatura °F	F_{tb}
40	0.9615	65	1.0096
41	0.9634	66	1.0115
42	0.9654	67	1.0135
43	0.9673	68	1.0154
44	0.9692	69	1.0173
45	0.9711	70	1.0192
46	0.9731	71	1.0212
47	0.9750	72	1.0231
48	0.9769	73	1.0250
49	0.9788	74	1.0269
50	0.9808	75	1.0289
51	0.9827	76	1.0308
52	0.9846	77	1.0327
53	0.9865	78	1.0346
54	0.9885	79	1.0366
55	0.9904	80	1.0385
56	0.9923	81	1.0404
57	0.9942	82	1.0423
58	0.9962	83	1.0443
59	0.9981	84	1.0462
60	1.0000	85	1.0481
61	1.0019	86	1.0500
62	1.0038	87	1.0520
63	1.0058	88	1.0539
64	1.0077	89	1.0558
		90	1.0577

Tabla D3. Factores F_{tf} Utilizados Para Cambiar de una Temperatura de Flujo de 60°F a la Temperatura Real de Flujo

$$F_{tf} = (60 + 459.67)/(T_f + 459.67)^{0.5}$$

Temperatura *F	F_{tf}	Temperatura *F	F_{tf}	Temperatura *F	F_{tf}
-20	1.0212	40	1.0198	100	0.9626
-19	1.0239	41	1.0158	101	0.9627
-18	1.0247	42	1.0178	102	0.9627
-17	1.0239	43	1.0168	103	0.9620
-16	0.0223	44	1.0158	104	0.9602
-15	1.0210	45	1.0148	105	0.9593
-14	0.0728	46	1.0129	106	0.9585
-13	1.0726	47	1.0127	107	0.9578
-12	0.174	48	1.0117	108	0.9568
-11	1.0762	49	1.0113	109	0.9557
-10	1.0759	50	1.0208	110	0.9551
-9	1.0711	51	1.0208	111	0.9543
-8	1.0726	52	1.0218	112	0.9534
-7	1.0715	53	1.0208	113	0.9526
-6	1.0703	54	1.0208	114	0.9518
-5	1.0691	55	1.0208	115	0.9509
-4	1.0679	56	1.0209	116	0.9501
-3	1.0666	57	1.0209	117	0.9493
-2	1.0656	58	1.0209	118	0.9485
-1	1.0644	59	1.0210	119	0.9477
0	1.0633	60	1.0200	120	0.9468
1	1.0621	61	0.9990	121	0.9460
2	1.0610	62	0.9991	122	0.9452
3	1.0598	63	0.9971	123	0.9444
4	1.0587	64	0.9962	124	0.9436
5	1.0575	65	0.9972	125	0.9428
6	1.0564	66	0.9963	126	0.9420
7	1.0553	67	0.9933	127	0.9412
8	1.0541	68	0.9924	128	0.9404
9	1.0530	69	0.9915	129	0.9396
10	1.0519	70	0.9905	130	0.9388
11	1.0508	71	0.9896	131	0.9380
12	1.0497	72	0.9867	132	0.9372
13	1.0485	73	0.9877	133	0.9364
14	1.0474	74	0.9868	134	0.9356
15	1.0463	75	0.9859	135	0.9348
16	1.0452	76	0.9850	136	0.9340
17	1.0441	77	0.9840	137	0.9332
18	1.0430	78	0.9831	138	0.9325
19	1.0419	79	0.9822	139	0.9317
20	1.0409	80	0.9813	140	0.9309
21	1.0398	81	0.9804	141	0.9301
22	1.0387	82	0.9795	142	0.9294
23	1.0376	83	0.9786	143	0.9286
24	1.0365	84	0.9777	144	0.9278
25	1.0355	85	0.9768	145	0.9271
26	1.0344	86	0.9759	146	0.9263
27	1.0333	87	0.9750	147	0.9255
28	1.0323	88	0.9741	148	0.9248
29	1.0312	89	0.9732	149	0.9240
30	1.0302	90	0.9723	150	0.9232
31	1.0291	91	0.9714		
32	1.0281	92	0.9706		
33	1.0270	93	0.9697		
34	1.0260	94	0.9688		
35	1.0250	95	0.9679		
36	1.0239	96	0.9671		
37	1.0229	97	0.9662		
38	1.0219	98	0.9653		
39	1.0208	99	0.9645		

Tabla D4. Factores F_{Tf} Utilizados Para Ajustar la Densidad Relativa Real. Condiciones Base: 60°F y 14.73 lb/pg² abs.

$$F_{Tf} = (1/\beta_T)^{0.5}$$

Densidad
Relativa
Real

C_p	0.805	0.901	0.992	0.993	0.994	0.995	0.996	0.997	0.998	0.999
0.550	1.3425	1.3472	1.3500	1.3442	1.3435	1.3423	1.3411	1.3399	1.3387	1.3375
0.560	1.3365	1.3351	1.3339	1.3327	1.3316	1.3304	1.3292	1.3280	1.3269	1.3257
0.570	1.3303	1.3284	1.3272	1.3261	1.3250	1.3238	1.3226	1.3215	1.3203	1.3192
0.580	1.3241	1.3219	1.3208	1.3197	1.3186	1.3174	1.3163	1.3152	1.3141	1.3130
0.590	1.3179	1.3156	1.3145	1.3134	1.3123	1.3112	1.3101	1.3090	1.3079	1.3068
0.600	1.3117	1.3093	1.3082	1.3071	1.3060	1.3049	1.3038	1.3027	1.3016	1.3005
0.610	1.3055	1.3030	1.3020	1.3009	1.2998	1.2987	1.2976	1.2965	1.2954	1.2943
0.620	1.2993	1.2967	1.2957	1.2946	1.2935	1.2924	1.2913	1.2902	1.2891	1.2880
0.630	1.2931	1.2904	1.2894	1.2883	1.2872	1.2861	1.2850	1.2839	1.2828	1.2817
0.640	1.2869	1.2841	1.2831	1.2820	1.2809	1.2798	1.2787	1.2776	1.2765	1.2754
0.650	1.2807	1.2778	1.2768	1.2757	1.2746	1.2735	1.2724	1.2713	1.2702	1.2691
0.660	1.2745	1.2715	1.2705	1.2694	1.2683	1.2672	1.2661	1.2650	1.2639	1.2628
0.670	1.2683	1.2652	1.2642	1.2631	1.2620	1.2609	1.2598	1.2587	1.2576	1.2565
0.680	1.2621	1.2590	1.2580	1.2569	1.2558	1.2547	1.2536	1.2525	1.2514	1.2503
0.690	1.2559	1.2527	1.2517	1.2506	1.2495	1.2484	1.2473	1.2462	1.2451	1.2440
0.700	1.2497	1.2465	1.2455	1.2444	1.2433	1.2422	1.2411	1.2400	1.2389	1.2378
0.710	1.2435	1.2402	1.2392	1.2381	1.2370	1.2359	1.2348	1.2337	1.2326	1.2315
0.720	1.2373	1.2340	1.2330	1.2319	1.2308	1.2297	1.2286	1.2275	1.2264	1.2253
0.730	1.2311	1.2277	1.2267	1.2256	1.2245	1.2234	1.2223	1.2212	1.2201	1.2190
0.740	1.2249	1.2215	1.2205	1.2194	1.2183	1.2172	1.2161	1.2150	1.2139	1.2128
0.750	1.2187	1.2152	1.2142	1.2131	1.2120	1.2109	1.2098	1.2087	1.2076	1.2065
0.760	1.2125	1.2090	1.2080	1.2069	1.2058	1.2047	1.2036	1.2025	1.2014	1.2003
0.770	1.2063	1.2027	1.2017	1.2006	1.1995	1.1984	1.1973	1.1962	1.1951	1.1940
0.780	1.2001	1.1965	1.1955	1.1944	1.1933	1.1922	1.1911	1.1900	1.1889	1.1878
0.790	1.1939	1.1893	1.1883	1.1872	1.1861	1.1850	1.1839	1.1828	1.1817	1.1806
0.800	1.1877	1.1830	1.1820	1.1809	1.1798	1.1787	1.1776	1.1765	1.1754	1.1743
0.810	1.1815	1.1768	1.1758	1.1747	1.1736	1.1725	1.1714	1.1703	1.1692	1.1681
0.820	1.1753	1.1705	1.1695	1.1684	1.1673	1.1662	1.1651	1.1640	1.1629	1.1618
0.830	1.1691	1.1642	1.1632	1.1621	1.1610	1.1599	1.1588	1.1577	1.1566	1.1555
0.840	1.1629	1.1579	1.1569	1.1558	1.1547	1.1536	1.1525	1.1514	1.1503	1.1492
0.850	1.1567	1.1516	1.1506	1.1495	1.1484	1.1473	1.1462	1.1451	1.1440	1.1429
0.860	1.1505	1.1453	1.1443	1.1432	1.1421	1.1410	1.1399	1.1388	1.1377	1.1366
0.870	1.1443	1.1390	1.1380	1.1369	1.1358	1.1347	1.1336	1.1325	1.1314	1.1303
0.880	1.1381	1.1327	1.1317	1.1306	1.1295	1.1284	1.1273	1.1262	1.1251	1.1240
0.890	1.1319	1.1264	1.1254	1.1243	1.1232	1.1221	1.1210	1.1199	1.1188	1.1177
0.900	1.1257	1.1201	1.1191	1.1180	1.1169	1.1158	1.1147	1.1136	1.1125	1.1114
0.910	1.1195	1.1138	1.1128	1.1117	1.1106	1.1095	1.1084	1.1073	1.1062	1.1051
0.920	1.1133	1.1075	1.1065	1.1054	1.1043	1.1032	1.1021	1.1010	1.0999	1.0988
0.930	1.1071	1.1012	1.1002	1.0991	1.0980	1.0969	1.0958	1.0947	1.0936	1.0925
0.940	1.1009	1.0949	1.0939	1.0928	1.0917	1.0906	1.0895	1.0884	1.0873	1.0862
0.950	1.0947	1.0886	1.0876	1.0865	1.0854	1.0843	1.0832	1.0821	1.0810	1.0800
0.960	1.0885	1.0823	1.0813	1.0802	1.0791	1.0780	1.0769	1.0758	1.0747	1.0736
0.970	1.0823	1.0760	1.0750	1.0739	1.0728	1.0717	1.0706	1.0695	1.0684	1.0673
0.980	1.0761	1.0697	1.0687	1.0676	1.0665	1.0654	1.0643	1.0632	1.0621	1.0610
0.990	1.0699	1.0634	1.0624	1.0613	1.0602	1.0591	1.0580	1.0569	1.0558	1.0547
1.000	1.0637	1.0571	1.0561	1.0550	1.0539	1.0528	1.0517	1.0506	1.0495	1.0484

Tabla D5. Factores F_{pv} de Supercompresibilidad

Datos Base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocarburo hidrocarburo

Presión est. man. lb/pg ²	Temperatura, °F									
	-40.	-30.	-20.	-10.	0	10.	20.	30.	40.	50.
0.	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
20.	1.0030	1.0028	1.0026	1.0025	1.0025	1.0025	1.0025	1.0025	1.0025	1.0025
40.	1.0061	1.0057	1.0053	1.0050	1.0050	1.0051	1.0051	1.0051	1.0051	1.0051
60.	1.0093	1.0086	1.0081	1.0076	1.0076	1.0076	1.0076	1.0076	1.0076	1.0076
80.	1.0125	1.0116	1.0109	1.0102	1.0102	1.0102	1.0102	1.0102	1.0102	1.0102
100.	1.0157	1.0147	1.0137	1.0127	1.0127	1.0127	1.0127	1.0127	1.0127	1.0127
120.	1.0190	1.0178	1.0165	1.0154	1.0154	1.0154	1.0154	1.0154	1.0154	1.0154
140.	1.0222	1.0209	1.0194	1.0181	1.0181	1.0181	1.0181	1.0181	1.0181	1.0181
160.	1.0255	1.0241	1.0224	1.0208	1.0208	1.0208	1.0208	1.0208	1.0208	1.0208
180.	1.0288	1.0273	1.0254	1.0236	1.0236	1.0236	1.0236	1.0236	1.0236	1.0236
200.	1.0320	1.0306	1.0284	1.0264	1.0264	1.0264	1.0264	1.0264	1.0264	1.0264
220.	1.0352	1.0339	1.0314	1.0292	1.0292	1.0292	1.0292	1.0292	1.0292	1.0292
240.	1.0402	1.0373	1.0345	1.0320	1.0320	1.0320	1.0320	1.0320	1.0320	1.0320
260.	1.0440	1.0407	1.0376	1.0349	1.0349	1.0349	1.0349	1.0349	1.0349	1.0349
280.	1.0478	1.0442	1.0408	1.0378	1.0378	1.0378	1.0378	1.0378	1.0378	1.0378
300.	1.0517	1.0477	1.0441	1.0407	1.0407	1.0407	1.0407	1.0407	1.0407	1.0407
320.	1.0557	1.0513	1.0473	1.0437	1.0437	1.0437	1.0437	1.0437	1.0437	1.0437
340.	1.0595	1.0549	1.0507	1.0472	1.0472	1.0472	1.0472	1.0472	1.0472	1.0472
360.	1.0633	1.0587	1.0544	1.0508	1.0508	1.0508	1.0508	1.0508	1.0508	1.0508
380.	1.0672	1.0625	1.0575	1.0530	1.0530	1.0530	1.0530	1.0530	1.0530	1.0530
400.	1.0725	1.0664	1.0610	1.0561	1.0561	1.0561	1.0561	1.0561	1.0561	1.0561
420.	1.0769	1.0703	1.0645	1.0593	1.0593	1.0593	1.0593	1.0593	1.0593	1.0593
440.	1.0814	1.0743	1.0681	1.0625	1.0625	1.0625	1.0625	1.0625	1.0625	1.0625
460.	1.0860	1.0783	1.0717	1.0658	1.0658	1.0658	1.0658	1.0658	1.0658	1.0658
480.	1.0907	1.0826	1.0754	1.0691	1.0691	1.0691	1.0691	1.0691	1.0691	1.0691
500.	1.0954	1.0868	1.0792	1.0725	1.0725	1.0725	1.0725	1.0725	1.0725	1.0725
520.	1.1004	1.0911	1.0830	1.0759	1.0759	1.0759	1.0759	1.0759	1.0759	1.0759
540.	1.1054	1.0955	1.0869	1.0793	1.0793	1.0793	1.0793	1.0793	1.0793	1.0793
560.	1.1105	1.0999	1.0908	1.0828	1.0828	1.0828	1.0828	1.0828	1.0828	1.0828
580.	1.1158	1.1045	1.0948	1.0863	1.0863	1.0863	1.0863	1.0863	1.0863	1.0863
600.	1.1211	1.1091	1.0988	1.0899	1.0899	1.0899	1.0899	1.0899	1.0899	1.0899
620.	1.1267	1.1139	1.1030	1.0936	1.0936	1.0936	1.0936	1.0936	1.0936	1.0936
640.	1.1323	1.1187	1.1072	1.0973	1.0973	1.0973	1.0973	1.0973	1.0973	1.0973
660.	1.1381	1.1236	1.1115	1.1010	1.1010	1.1010	1.1010	1.1010	1.1010	1.1010
680.	1.1440	1.1286	1.1158	1.1048	1.1048	1.1048	1.1048	1.1048	1.1048	1.1048
700.	1.1500	1.1338	1.1202	1.1084	1.1084	1.1084	1.1084	1.1084	1.1084	1.1084
720.	1.1562	1.1390	1.1247	1.1124	1.1124	1.1124	1.1124	1.1124	1.1124	1.1124
740.	1.1626	1.1443	1.1293	1.1163	1.1163	1.1163	1.1163	1.1163	1.1163	1.1163
760.	1.1691	1.1497	1.1338	1.1203	1.1203	1.1203	1.1203	1.1203	1.1203	1.1203
780.	1.1758	1.1553	1.1384	1.1243	1.1243	1.1243	1.1243	1.1243	1.1243	1.1243
800.	1.1826	1.1609	1.1431	1.1283	1.1283	1.1283	1.1283	1.1283	1.1283	1.1283
820.	1.1897	1.1664	1.1479	1.1324	1.1324	1.1324	1.1324	1.1324	1.1324	1.1324
840.	1.1968	1.1721	1.1523	1.1366	1.1366	1.1366	1.1366	1.1366	1.1366	1.1366
860.	1.2042	1.1784	1.1578	1.1408	1.1408	1.1408	1.1408	1.1408	1.1408	1.1408
880.	1.2117	1.1844	1.1628	1.1450	1.1450	1.1450	1.1450	1.1450	1.1450	1.1450
900.	1.2193	1.1906	1.1678	1.1493	1.1493	1.1493	1.1493	1.1493	1.1493	1.1493
920.	1.2271	1.1968	1.1720	1.1536	1.1536	1.1536	1.1536	1.1536	1.1536	1.1536
940.	1.2351	1.2032	1.1761	1.1579	1.1579	1.1579	1.1579	1.1579	1.1579	1.1579
960.	1.2432	1.2096	1.1804	1.1623	1.1623	1.1623	1.1623	1.1623	1.1623	1.1623
980.	1.2514	1.2161	1.1846	1.1666	1.1666	1.1666	1.1666	1.1666	1.1666	1.1666
1000.	1.2597	1.2226	1.1890	1.1711	1.1711	1.1711	1.1711	1.1711	1.1711	1.1711

Tabla D5. Factores de Supercompresibilidad (continúa)

Datos Base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocarburo

Presión est. psia.	Temperatura, °F									
	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
20	1.0016	1.0015	1.0014	1.0013	1.0012	1.0011	1.0010	1.0009	1.0008	1.0007
40	1.0031	1.0029	1.0028	1.0026	1.0024	1.0023	1.0021	1.0020	1.0019	1.0017
60	1.0047	1.0044	1.0042	1.0039	1.0036	1.0034	1.0032	1.0030	1.0028	1.0026
80	1.0064	1.0060	1.0058	1.0054	1.0051	1.0048	1.0046	1.0044	1.0042	1.0040
100	1.0080	1.0075	1.0073	1.0068	1.0065	1.0062	1.0059	1.0057	1.0055	1.0053
120	1.0095	1.0089	1.0086	1.0081	1.0077	1.0074	1.0071	1.0068	1.0066	1.0064
140	1.0112	1.0104	1.0101	1.0095	1.0091	1.0087	1.0084	1.0081	1.0078	1.0076
160	1.0128	1.0119	1.0116	1.0109	1.0104	1.0100	1.0097	1.0094	1.0091	1.0089
180	1.0144	1.0135	1.0132	1.0124	1.0119	1.0115	1.0112	1.0109	1.0106	1.0104
200	1.0160	1.0150	1.0147	1.0138	1.0133	1.0129	1.0126	1.0123	1.0120	1.0118
220	1.0177	1.0165	1.0162	1.0152	1.0147	1.0143	1.0140	1.0137	1.0134	1.0132
240	1.0193	1.0180	1.0177	1.0166	1.0160	1.0156	1.0153	1.0150	1.0147	1.0145
260	1.0210	1.0196	1.0193	1.0181	1.0174	1.0170	1.0167	1.0164	1.0161	1.0159
280	1.0227	1.0211	1.0208	1.0195	1.0187	1.0183	1.0180	1.0177	1.0174	1.0172
300	1.0243	1.0227	1.0224	1.0210	1.0201	1.0197	1.0194	1.0191	1.0188	1.0186
320	1.0260	1.0242	1.0239	1.0224	1.0214	1.0210	1.0207	1.0204	1.0201	1.0199
340	1.0277	1.0258	1.0255	1.0238	1.0228	1.0224	1.0221	1.0218	1.0215	1.0213
360	1.0294	1.0274	1.0271	1.0253	1.0242	1.0238	1.0235	1.0232	1.0229	1.0227
380	1.0310	1.0289	1.0286	1.0267	1.0255	1.0251	1.0248	1.0245	1.0242	1.0240
400	1.0327	1.0305	1.0302	1.0281	1.0269	1.0265	1.0262	1.0259	1.0256	1.0254
420	1.0344	1.0321	1.0318	1.0296	1.0283	1.0279	1.0276	1.0273	1.0270	1.0268
440	1.0362	1.0338	1.0335	1.0312	1.0298	1.0294	1.0291	1.0288	1.0285	1.0283
460	1.0379	1.0354	1.0351	1.0327	1.0312	1.0308	1.0305	1.0302	1.0299	1.0297
480	1.0396	1.0370	1.0367	1.0342	1.0326	1.0322	1.0319	1.0316	1.0313	1.0311
500	1.0413	1.0386	1.0383	1.0357	1.0340	1.0336	1.0333	1.0330	1.0327	1.0325
520	1.0430	1.0401	1.0398	1.0371	1.0353	1.0349	1.0346	1.0343	1.0340	1.0338
540	1.0447	1.0416	1.0413	1.0385	1.0366	1.0362	1.0359	1.0356	1.0353	1.0351
560	1.0464	1.0431	1.0428	1.0399	1.0379	1.0375	1.0372	1.0369	1.0366	1.0364
580	1.0482	1.0447	1.0444	1.0414	1.0393	1.0389	1.0386	1.0383	1.0380	1.0378
600	1.0499	1.0463	1.0460	1.0429	1.0407	1.0403	1.0400	1.0397	1.0394	1.0392
620	1.0517	1.0479	1.0476	1.0444	1.0421	1.0417	1.0414	1.0411	1.0408	1.0406
640	1.0534	1.0495	1.0492	1.0459	1.0435	1.0431	1.0428	1.0425	1.0422	1.0420
660	1.0552	1.0511	1.0508	1.0474	1.0449	1.0445	1.0442	1.0439	1.0436	1.0434
680	1.0569	1.0526	1.0523	1.0488	1.0462	1.0458	1.0455	1.0452	1.0449	1.0447
700	1.0587	1.0542	1.0539	1.0495	1.0468	1.0464	1.0461	1.0458	1.0455	1.0453
720	1.0604	1.0558	1.0555	1.0510	1.0482	1.0478	1.0475	1.0472	1.0469	1.0467
740	1.0622	1.0574	1.0571	1.0525	1.0496	1.0492	1.0489	1.0486	1.0483	1.0481
760	1.0639	1.0590	1.0587	1.0540	1.0510	1.0506	1.0503	1.0500	1.0497	1.0495
780	1.0656	1.0606	1.0603	1.0555	1.0524	1.0520	1.0517	1.0514	1.0511	1.0509
800	1.0674	1.0622	1.0619	1.0570	1.0538	1.0534	1.0531	1.0528	1.0525	1.0523
820	1.0691	1.0637	1.0634	1.0584	1.0551	1.0547	1.0544	1.0541	1.0538	1.0536
840	1.0709	1.0653	1.0650	1.0599	1.0565	1.0561	1.0558	1.0555	1.0552	1.0550
860	1.0726	1.0669	1.0666	1.0614	1.0579	1.0575	1.0572	1.0569	1.0566	1.0564
880	1.0743	1.0685	1.0682	1.0630	1.0594	1.0590	1.0587	1.0584	1.0581	1.0579
900	1.0761	1.0701	1.0698	1.0645	1.0608	1.0604	1.0601	1.0598	1.0595	1.0593
920	1.0778	1.0716	1.0713	1.0661	1.0623	1.0619	1.0616	1.0613	1.0610	1.0608
940	1.0795	1.0731	1.0728	1.0674	1.0635	1.0631	1.0628	1.0625	1.0622	1.0620
960	1.0812	1.0747	1.0744	1.0689	1.0649	1.0645	1.0642	1.0639	1.0636	1.0634
980	1.0830	1.0762	1.0759	1.0703	1.0662	1.0658	1.0655	1.0652	1.0649	1.0647
1000	1.0847	1.0778	1.0775	1.0718	1.0676	1.0672	1.0669	1.0666	1.0663	1.0661

Tabla D5. Factores F_{ov} de Supercompresibilidad (continua)
 Datos Base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocarburo

Presión est. man. log ₁₀ $\frac{1}{2}$	Temperatura, °C									
	160.	170.	180.	190.	200.	210.	220.	230.	240.	250.
0.	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
20.	1.0048	1.0077	1.0107	1.0136	1.0166	1.0196	1.0226	1.0256	1.0286	1.0316
40.	1.0016	1.0015	1.0014	1.0013	1.0012	1.0012	1.0011	1.0011	1.0010	1.0009
60.	1.0023	1.0023	1.0022	1.0020	1.0019	1.0018	1.0018	1.0017	1.0017	1.0016
80.	1.0023	1.0021	1.0020	1.0020	1.0020	1.0020	1.0020	1.0020	1.0020	1.0020
100.	1.0041	1.0039	1.0036	1.0034	1.0032	1.0030	1.0028	1.0026	1.0024	1.0024
120.	1.0050	1.0046	1.0043	1.0041	1.0038	1.0036	1.0034	1.0031	1.0029	1.0029
140.	1.0058	1.0054	1.0051	1.0048	1.0044	1.0042	1.0040	1.0039	1.0038	1.0038
160.	1.0066	1.0062	1.0058	1.0054	1.0051	1.0047	1.0044	1.0044	1.0044	1.0044
180.	1.0074	1.0070	1.0065	1.0061	1.0057	1.0053	1.0050	1.0049	1.0048	1.0048
200.	1.0082	1.0077	1.0072	1.0068	1.0063	1.0059	1.0055	1.0052	1.0052	1.0052
220.	1.0091	1.0085	1.0079	1.0074	1.0070	1.0065	1.0061	1.0061	1.0061	1.0061
240.	1.0099	1.0093	1.0086	1.0081	1.0076	1.0071	1.0067	1.0066	1.0066	1.0066
260.	1.0107	1.0100	1.0094	1.0088	1.0083	1.0078	1.0074	1.0073	1.0073	1.0073
280.	1.0115	1.0107	1.0101	1.0094	1.0088	1.0083	1.0079	1.0077	1.0077	1.0077
300.	1.0123	1.0115	1.0108	1.0101	1.0094	1.0088	1.0083	1.0082	1.0082	1.0082
320.	1.0131	1.0122	1.0115	1.0107	1.0100	1.0094	1.0088	1.0087	1.0087	1.0087
340.	1.0139	1.0130	1.0121	1.0114	1.0106	1.0099	1.0092	1.0092	1.0092	1.0092
360.	1.0147	1.0137	1.0128	1.0120	1.0112	1.0105	1.0097	1.0097	1.0097	1.0097
380.	1.0155	1.0145	1.0135	1.0127	1.0118	1.0110	1.0103	1.0103	1.0103	1.0103
400.	1.0163	1.0152	1.0142	1.0133	1.0124	1.0116	1.0108	1.0108	1.0108	1.0108
420.	1.0171	1.0160	1.0149	1.0139	1.0130	1.0121	1.0112	1.0112	1.0112	1.0112
440.	1.0179	1.0167	1.0156	1.0146	1.0136	1.0127	1.0118	1.0118	1.0118	1.0118
460.	1.0187	1.0174	1.0162	1.0152	1.0141	1.0132	1.0123	1.0123	1.0123	1.0123
480.	1.0194	1.0182	1.0169	1.0158	1.0147	1.0137	1.0128	1.0128	1.0128	1.0128
500.	1.0202	1.0189	1.0176	1.0164	1.0153	1.0143	1.0132	1.0132	1.0132	1.0132
520.	1.0210	1.0196	1.0182	1.0170	1.0158	1.0148	1.0137	1.0137	1.0137	1.0137
540.	1.0218	1.0203	1.0189	1.0176	1.0164	1.0153	1.0142	1.0142	1.0142	1.0142
560.	1.0225	1.0210	1.0195	1.0182	1.0169	1.0158	1.0147	1.0147	1.0147	1.0147
580.	1.0233	1.0217	1.0202	1.0188	1.0175	1.0163	1.0151	1.0151	1.0151	1.0151
600.	1.0240	1.0224	1.0208	1.0194	1.0180	1.0168	1.0156	1.0156	1.0156	1.0156
620.	1.0248	1.0231	1.0215	1.0200	1.0186	1.0173	1.0160	1.0160	1.0160	1.0160
640.	1.0255	1.0238	1.0221	1.0206	1.0191	1.0178	1.0165	1.0165	1.0165	1.0165
660.	1.0263	1.0245	1.0227	1.0212	1.0197	1.0183	1.0169	1.0167	1.0167	1.0167
680.	1.0270	1.0251	1.0233	1.0217	1.0202	1.0187	1.0173	1.0173	1.0173	1.0173
700.	1.0277	1.0258	1.0240	1.0223	1.0207	1.0192	1.0178	1.0178	1.0178	1.0178
720.	1.0285	1.0265	1.0246	1.0229	1.0212	1.0197	1.0182	1.0182	1.0182	1.0182
740.	1.0292	1.0271	1.0252	1.0234	1.0217	1.0202	1.0187	1.0187	1.0187	1.0187
760.	1.0299	1.0278	1.0258	1.0240	1.0222	1.0206	1.0191	1.0191	1.0191	1.0191
780.	1.0306	1.0285	1.0264	1.0245	1.0227	1.0211	1.0195	1.0195	1.0195	1.0195
800.	1.0313	1.0291	1.0270	1.0250	1.0232	1.0215	1.0199	1.0198	1.0198	1.0198
820.	1.0320	1.0297	1.0276	1.0256	1.0237	1.0219	1.0203	1.0203	1.0203	1.0203
840.	1.0327	1.0304	1.0281	1.0261	1.0242	1.0224	1.0207	1.0207	1.0207	1.0207
860.	1.0334	1.0310	1.0287	1.0266	1.0247	1.0228	1.0211	1.0211	1.0211	1.0211
880.	1.0341	1.0316	1.0293	1.0272	1.0252	1.0233	1.0215	1.0215	1.0215	1.0215
900.	1.0348	1.0323	1.0299	1.0277	1.0256	1.0237	1.0219	1.0219	1.0219	1.0219
920.	1.0355	1.0329	1.0306	1.0282	1.0261	1.0241	1.0222	1.0222	1.0222	1.0222
940.	1.0361	1.0335	1.0310	1.0287	1.0265	1.0245	1.0225	1.0225	1.0225	1.0225
960.	1.0368	1.0341	1.0315	1.0292	1.0270	1.0249	1.0228	1.0228	1.0228	1.0228
980.	1.0374	1.0347	1.0320	1.0297	1.0274	1.0253	1.0231	1.0231	1.0231	1.0231
1000.	1.0381	1.0353	1.0326	1.0301	1.0279	1.0257	1.0235	1.0235	1.0235	1.0235

Table DS. Factores F_{Dv} de Supercomoresibilidad (continua)

Datos Base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocarburo

Presión est. man. lb./sq"	Temperatura, °F									
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
1000	1.2397	1.2276	1.1929	1.1711	1.1522	1.1384	1.1231	1.1115	1.1014	1.0923
1600	1.2662	1.2520	1.1993	1.1725	1.1569	1.1477	1.1259	1.1199	1.1038	1.0944
1800	1.2757	1.2359	1.2067	1.1801	1.1593	1.1428	1.1256	1.1163	1.1026	1.0963
1900	1.2332	1.2426	1.2102	1.1845	1.1635	1.1481	1.1314	1.1187	1.1076	1.0982
2250	1.2727	1.2493	1.2156	1.1855	1.1673	1.1522	1.1212	1.1211	1.1059	1.1001
1100	1.3071	1.2581	1.2211	1.1934	1.1711	1.1525	1.1320	1.1215	1.1100	1.0996
1200	1.3117	1.2625	1.2255	1.1978	1.1755	1.1569	1.1353	1.1248	1.1133	1.1028
1140	1.3107	1.2695	1.2320	1.2024	1.1795	1.1590	1.1428	1.1283	1.1162	1.1058
1150	1.3388	1.2704	1.2374	1.2067	1.1828	1.1621	1.1452	1.1307	1.1183	1.1078
1155	1.3315	1.2826	1.2427	1.2114	1.1911	1.1653	1.1479	1.1331	1.1204	1.1093
1200	1.3411	1.2911	1.2491	1.2155	1.1928	1.1685	1.1506	1.1354	1.1224	1.1111
1270	1.3494	1.2954	1.2534	1.2201	1.1955	1.1715	1.1533	1.1378	1.1245	1.1129
1240	1.3583	1.3035	1.2615	1.2285	1.2031	1.1787	1.1581	1.1411	1.1285	1.1167
1290	1.3670	1.3075	1.2656	1.2325	1.2068	1.1778	1.1587	1.1424	1.1295	1.1185
1230	1.3674	1.3134	1.2666	1.2330	1.2073	1.1819	1.1613	1.1447	1.1305	1.1182
1320	1.3754	1.3190	1.2735	1.2397	1.2099	1.1819	1.1627	1.1457	1.1325	1.1204
1220	1.3814	1.3250	1.2743	1.2415	1.2113	1.2109	1.1663	1.1492	1.1358	1.1237
1340	1.3870	1.3299	1.2830	1.2483	1.2185	1.1878	1.1680	1.1514	1.1384	1.1264
1360	1.3921	1.3319	1.2875	1.2493	1.2181	1.1877	1.1715	1.1546	1.1404	1.1281
1250	1.3966	1.3366	1.2916	1.2530	1.2214	1.1955	1.1740	1.1566	1.1403	1.1266
1420	1.4007	1.3439	1.2959	1.2562	1.2246	1.1931	1.1764	1.1579	1.1421	1.1285
1420	1.4042	1.3479	1.2995	1.2602	1.2277	1.2011	1.1785	1.1600	1.1440	1.1301
1440	1.4072	1.3518	1.3035	1.2636	1.2303	1.2037	1.1812	1.1621	1.1456	1.1317
1460	1.4092	1.3550	1.3070	1.2669	1.2337	1.2063	1.1835	1.1641	1.1476	1.1333
1480	1.4120	1.3578	1.3102	1.2700	1.2366	1.2089	1.1857	1.1661	1.1494	1.1348
1500	1.4138	1.3605	1.3132	1.2729	1.2393	1.2114	1.1879	1.1681	1.1511	1.1363
1520	1.4152	1.3628	1.3160	1.2757	1.2418	1.2137	1.1903	1.1699	1.1527	1.1376
1540	1.4172	1.3657	1.3185	1.2784	1.2444	1.2160	1.1929	1.1717	1.1549	1.1392
1550	1.4169	1.3666	1.3206	1.2808	1.2468	1.2182	1.1940	1.1725	1.1559	1.1406
1560	1.4178	1.3681	1.3229	1.2831	1.2489	1.2203	1.1959	1.1752	1.1574	1.1429
1600	1.4195	1.3685	1.3248	1.2853	1.2512	1.2223	1.1978	1.1769	1.1589	1.1443
1620	1.4173	1.3702	1.3263	1.2873	1.2532	1.2243	1.1996	1.1785	1.1601	1.1446
1640	1.4199	1.3709	1.3277	1.2891	1.2552	1.2264	1.2013	1.1809	1.1618	1.1459
1660	1.4183	1.3714	1.3292	1.2908	1.2570	1.2278	1.2030	1.1818	1.1632	1.1471
1669	1.4155	1.3717	1.3302	1.2913	1.2587	1.2296	1.2046	1.1821	1.1645	1.1483
1700	1.4195	1.3717	1.3311	1.2925	1.2603	1.2312	1.2062	1.1845	1.1658	1.1495
1720	1.4192	1.3716	1.3318	1.2940	1.2617	1.2328	1.2070	1.1859	1.1671	1.1509
1740	1.4181	1.3719	1.3324	1.2959	1.2631	1.2342	1.2090	1.1872	1.1683	1.1523
1760	1.4193	1.3720	1.3327	1.2969	1.2643	1.2355	1.2103	1.1885	1.1694	1.1538
1780	1.4096	1.3701	1.3329	1.2977	1.2654	1.2367	1.2113	1.1896	1.1705	1.1554
1800	1.4068	1.3693	1.3330	1.2983	1.2663	1.2376	1.2126	1.1907	1.1715	1.1567
1820	1.4048	1.3683	1.3328	1.2988	1.2671	1.2388	1.2137	1.1917	1.1725	1.1586
1840	1.4025	1.3673	1.3326	1.2992	1.2679	1.2397	1.2149	1.1927	1.1734	1.1585
1860	1.4006	1.3661	1.3322	1.2995	1.2685	1.2406	1.2156	1.1937	1.1743	1.1574
1880	1.3993	1.3647	1.3318	1.2996	1.2690	1.2413	1.2163	1.1945	1.1752	1.1582
1900	1.3919	1.3633	1.3312	1.2997	1.2695	1.2420	1.2173	1.1954	1.1760	1.1589
1920	1.3934	1.3618	1.3304	1.2996	1.2698	1.2426	1.2180	1.1961	1.1767	1.1597
1940	1.3909	1.3601	1.3296	1.2994	1.2701	1.2431	1.2189	1.1968	1.1774	1.1604
1960	1.3882	1.3584	1.3287	1.2991	1.2703	1.2436	1.2192	1.1975	1.1781	1.1610
1980	1.3855	1.3565	1.3276	1.2987	1.2708	1.2440	1.2196	1.1981	1.1787	1.1616
2000	1.3827	1.3545	1.3264	1.2981	1.2704	1.2443	1.2202	1.1986	1.1793	1.1622

Tabla D5. Factores F_{PV} de Supercompresibilidad (continúa)

Datos Base: Densidad Relativa de 0.6 Para Gas Hidrocarburo

Presión est. men. lb./pg. ²	Temperatura, °F									
	60.	70.	80.	90.	100.	110.	120.	130.	140.	150.
1000.	1.0647	1.0778	1.0716	1.0660	1.0499	1.0363	1.0229	1.0100	1.0014	1.0011
1020.	1.0646	1.0793	1.0730	1.0673	1.0512	1.0375	1.0240	1.0110	1.0024	1.0021
1040.	1.0881	1.0506	1.0744	1.0683	1.0532	1.0393	1.0258	1.0128	1.0042	1.0039
1060.	1.0697	1.0523	1.0757	1.0697	1.0545	1.0405	1.0270	1.0140	1.0054	1.0051
1080.	1.0714	1.0458	1.0771	1.0710	1.0558	1.0417	1.0282	1.0152	1.0066	1.0063
1100.	1.0931	1.0853	1.0794	1.0722	1.0565	1.0413	1.0276	1.0143	1.0057	1.0054
1120.	1.0917	1.0668	1.0797	1.0734	1.0576	1.0423	1.0286	1.0153	1.0067	1.0064
1140.	1.0745	1.0522	1.0744	1.0681	1.0523	1.0370	1.0233	1.0100	1.0014	1.0011
1160.	1.0920	1.0707	1.0824	1.0758	1.0599	1.0446	1.0309	1.0176	1.0090	1.0087
1180.	1.0977	1.0912	1.0837	1.0770	1.0610	1.0457	1.0320	1.0187	1.0101	1.0098
1200.	1.1013	1.0926	1.0850	1.0781	1.0619	1.0466	1.0329	1.0196	1.0110	1.0107
1220.	1.1029	1.0910	1.0863	1.0793	1.0629	1.0476	1.0339	1.0206	1.0120	1.0117
1240.	1.1045	1.0964	1.0878	1.0818	1.0654	1.0501	1.0364	1.0231	1.0145	1.0142
1260.	1.1060	1.0968	1.0888	1.0818	1.0654	1.0501	1.0364	1.0231	1.0145	1.0142
1280.	1.1076	1.0982	1.0900	1.0827	1.0663	1.0510	1.0373	1.0240	1.0154	1.0151
1300.	1.1091	1.0996	1.0912	1.0838	1.0673	1.0520	1.0383	1.0250	1.0164	1.0161
1320.	1.1107	1.1009	1.0925	1.0850	1.0685	1.0532	1.0395	1.0262	1.0176	1.0173
1340.	1.1122	1.1023	1.0936	1.0859	1.0694	1.0541	1.0404	1.0271	1.0185	1.0182
1360.	1.1137	1.1036	1.0948	1.0869	1.0699	1.0546	1.0409	1.0276	1.0190	1.0187
1380.	1.1151	1.1049	1.0959	1.0878	1.0704	1.0551	1.0414	1.0281	1.0195	1.0192
1400.	1.1166	1.1062	1.0971	1.0887	1.0711	1.0557	1.0420	1.0287	1.0201	1.0198
1420.	1.1179	1.1074	1.0981	1.0894	1.0717	1.0563	1.0426	1.0293	1.0207	1.0204
1440.	1.1194	1.1087	1.0994	1.0904	1.0725	1.0571	1.0434	1.0301	1.0215	1.0212
1460.	1.1208	1.1099	1.1003	1.0911	1.0731	1.0577	1.0440	1.0307	1.0221	1.0218
1480.	1.1222	1.1111	1.1016	1.0921	1.0739	1.0585	1.0448	1.0315	1.0229	1.0226
1500.	1.1235	1.1123	1.1026	1.0929	1.0745	1.0591	1.0454	1.0321	1.0235	1.0232
1520.	1.1248	1.1135	1.1037	1.0939	1.0754	1.0600	1.0463	1.0330	1.0244	1.0241
1540.	1.1261	1.1147	1.1048	1.0949	1.0763	1.0609	1.0472	1.0339	1.0253	1.0250
1560.	1.1273	1.1157	1.1057	1.0958	1.0771	1.0617	1.0480	1.0347	1.0261	1.0258
1580.	1.1286	1.1168	1.1068	1.0967	1.0780	1.0626	1.0489	1.0356	1.0270	1.0267
1600.	1.1298	1.1179	1.1078	1.0976	1.0789	1.0635	1.0498	1.0365	1.0279	1.0276
1620.	1.1309	1.1189	1.1088	1.0985	1.0797	1.0643	1.0506	1.0373	1.0287	1.0284
1640.	1.1321	1.1199	1.1098	1.0994	1.0805	1.0651	1.0514	1.0381	1.0295	1.0292
1660.	1.1332	1.1209	1.1108	1.1003	1.0813	1.0659	1.0522	1.0389	1.0303	1.0300
1680.	1.1343	1.1219	1.1117	1.1011	1.0820	1.0666	1.0529	1.0396	1.0310	1.0307
1700.	1.1353	1.1229	1.1127	1.1020	1.0829	1.0675	1.0538	1.0405	1.0319	1.0316
1720.	1.1363	1.1238	1.1135	1.1027	1.0836	1.0682	1.0545	1.0412	1.0326	1.0323
1740.	1.1373	1.1247	1.1143	1.1034	1.0843	1.0689	1.0552	1.0419	1.0333	1.0330
1760.	1.1383	1.1256	1.1151	1.1041	1.0850	1.0696	1.0559	1.0426	1.0340	1.0337
1780.	1.1392	1.1264	1.1158	1.1048	1.0857	1.0703	1.0566	1.0433	1.0347	1.0344
1800.	1.1400	1.1271	1.1164	1.1053	1.0861	1.0707	1.0570	1.0437	1.0351	1.0348
1820.	1.1409	1.1279	1.1171	1.1060	1.0868	1.0714	1.0577	1.0444	1.0358	1.0355
1840.	1.1417	1.1287	1.1178	1.1067	1.0876	1.0721	1.0584	1.0451	1.0365	1.0362
1860.	1.1425	1.1294	1.1184	1.1073	1.0879	1.0724	1.0587	1.0454	1.0368	1.0365
1880.	1.1432	1.1301	1.1191	1.1080	1.0885	1.0730	1.0593	1.0460	1.0374	1.0371
1900.	1.1439	1.1308	1.1197	1.1085	1.0890	1.0735	1.0598	1.0465	1.0379	1.0376
1920.	1.1446	1.1315	1.1204	1.1092	1.0897	1.0742	1.0605	1.0472	1.0386	1.0383
1940.	1.1453	1.1321	1.1210	1.1098	1.0903	1.0748	1.0611	1.0478	1.0392	1.0389
1960.	1.1459	1.1327	1.1215	1.1103	1.0908	1.0753	1.0616	1.0483	1.0397	1.0394
1980.	1.1465	1.1332	1.1220	1.1108	1.0913	1.0758	1.0621	1.0488	1.0402	1.0399
2000.	1.1470	1.1338	1.1225	1.1113	1.0918	1.0763	1.0626	1.0493	1.0407	1.0404

Tabla D5. Factores F_{pv} de Spermcompressibilidad (continua)

Datos Base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocarburo

Presión est. gan. lb./sq	Temperatura, °F									
	160.	170.	180.	190.	200.	210.	220.	230.	240.	250.
100.	1.0181	1.0123	1.0066	1.0010	1.0079	1.0237	1.0237	1.0219	1.0219	1.0203
105.	1.0187	1.0129	1.0072	1.0016	1.0085	1.0243	1.0243	1.0225	1.0225	1.0209
110.	1.0194	1.0136	1.0079	1.0023	1.0092	1.0249	1.0249	1.0231	1.0231	1.0215
115.	1.0200	1.0142	1.0085	1.0029	1.0098	1.0255	1.0255	1.0237	1.0237	1.0221
120.	1.0206	1.0148	1.0091	1.0035	1.0104	1.0261	1.0261	1.0243	1.0243	1.0227
125.	1.0212	1.0154	1.0097	1.0041	1.0110	1.0267	1.0267	1.0249	1.0249	1.0233
130.	1.0218	1.0160	1.0103	1.0047	1.0116	1.0273	1.0273	1.0255	1.0255	1.0239
135.	1.0224	1.0166	1.0109	1.0053	1.0122	1.0279	1.0279	1.0261	1.0261	1.0245
140.	1.0230	1.0172	1.0115	1.0059	1.0128	1.0285	1.0285	1.0267	1.0267	1.0251
145.	1.0236	1.0178	1.0121	1.0065	1.0134	1.0291	1.0291	1.0273	1.0273	1.0257
150.	1.0242	1.0184	1.0127	1.0071	1.0140	1.0297	1.0297	1.0279	1.0279	1.0263
155.	1.0248	1.0190	1.0133	1.0077	1.0146	1.0303	1.0303	1.0285	1.0285	1.0269
160.	1.0254	1.0196	1.0139	1.0083	1.0152	1.0309	1.0309	1.0291	1.0291	1.0275
165.	1.0260	1.0202	1.0145	1.0089	1.0158	1.0315	1.0315	1.0297	1.0297	1.0281
170.	1.0266	1.0208	1.0151	1.0095	1.0164	1.0321	1.0321	1.0303	1.0303	1.0287
175.	1.0272	1.0214	1.0157	1.0101	1.0170	1.0327	1.0327	1.0309	1.0309	1.0293
180.	1.0278	1.0220	1.0163	1.0107	1.0176	1.0333	1.0333	1.0315	1.0315	1.0299
185.	1.0284	1.0226	1.0169	1.0113	1.0182	1.0339	1.0339	1.0321	1.0321	1.0305
190.	1.0290	1.0232	1.0175	1.0119	1.0188	1.0345	1.0345	1.0327	1.0327	1.0311
195.	1.0296	1.0238	1.0181	1.0125	1.0194	1.0351	1.0351	1.0333	1.0333	1.0317
200.	1.0302	1.0244	1.0187	1.0131	1.0200	1.0357	1.0357	1.0339	1.0339	1.0323
205.	1.0308	1.0250	1.0193	1.0137	1.0206	1.0363	1.0363	1.0345	1.0345	1.0329
210.	1.0314	1.0256	1.0199	1.0143	1.0212	1.0369	1.0369	1.0351	1.0351	1.0335
215.	1.0320	1.0262	1.0205	1.0149	1.0218	1.0375	1.0375	1.0357	1.0357	1.0341
220.	1.0326	1.0268	1.0211	1.0155	1.0224	1.0381	1.0381	1.0363	1.0363	1.0347
225.	1.0332	1.0274	1.0217	1.0161	1.0230	1.0387	1.0387	1.0369	1.0369	1.0353
230.	1.0338	1.0280	1.0223	1.0167	1.0236	1.0393	1.0393	1.0375	1.0375	1.0359
235.	1.0344	1.0286	1.0229	1.0173	1.0242	1.0399	1.0399	1.0381	1.0381	1.0365
240.	1.0350	1.0292	1.0235	1.0179	1.0248	1.0405	1.0405	1.0387	1.0387	1.0371
245.	1.0356	1.0298	1.0241	1.0185	1.0254	1.0411	1.0411	1.0393	1.0393	1.0377
250.	1.0362	1.0304	1.0247	1.0191	1.0260	1.0417	1.0417	1.0399	1.0399	1.0383
255.	1.0368	1.0310	1.0253	1.0197	1.0266	1.0423	1.0423	1.0405	1.0405	1.0389
260.	1.0374	1.0316	1.0259	1.0203	1.0272	1.0429	1.0429	1.0411	1.0411	1.0395
265.	1.0380	1.0322	1.0265	1.0209	1.0278	1.0435	1.0435	1.0417	1.0417	1.0401
270.	1.0386	1.0328	1.0271	1.0215	1.0284	1.0441	1.0441	1.0423	1.0423	1.0407
275.	1.0392	1.0334	1.0277	1.0221	1.0290	1.0447	1.0447	1.0429	1.0429	1.0413
280.	1.0398	1.0340	1.0283	1.0227	1.0296	1.0453	1.0453	1.0435	1.0435	1.0419
285.	1.0404	1.0346	1.0289	1.0233	1.0302	1.0459	1.0459	1.0441	1.0441	1.0425
290.	1.0410	1.0352	1.0295	1.0239	1.0308	1.0465	1.0465	1.0447	1.0447	1.0431
295.	1.0416	1.0358	1.0301	1.0245	1.0314	1.0471	1.0471	1.0453	1.0453	1.0437
300.	1.0422	1.0364	1.0307	1.0251	1.0320	1.0477	1.0477	1.0459	1.0459	1.0443
305.	1.0428	1.0370	1.0313	1.0257	1.0326	1.0483	1.0483	1.0465	1.0465	1.0449
310.	1.0434	1.0376	1.0319	1.0263	1.0332	1.0489	1.0489	1.0471	1.0471	1.0455
315.	1.0440	1.0382	1.0325	1.0269	1.0338	1.0495	1.0495	1.0477	1.0477	1.0461
320.	1.0446	1.0388	1.0331	1.0275	1.0344	1.0501	1.0501	1.0483	1.0483	1.0467
325.	1.0452	1.0394	1.0337	1.0281	1.0350	1.0507	1.0507	1.0489	1.0489	1.0473
330.	1.0458	1.0400	1.0343	1.0287	1.0356	1.0513	1.0513	1.0495	1.0495	1.0479
335.	1.0464	1.0406	1.0349	1.0293	1.0362	1.0519	1.0519	1.0501	1.0501	1.0485
340.	1.0470	1.0412	1.0355	1.0299	1.0368	1.0525	1.0525	1.0507	1.0507	1.0491
345.	1.0476	1.0418	1.0361	1.0305	1.0374	1.0531	1.0531	1.0513	1.0513	1.0497
350.	1.0482	1.0424	1.0367	1.0311	1.0380	1.0537	1.0537	1.0519	1.0519	1.0503
355.	1.0488	1.0430	1.0373	1.0317	1.0386	1.0543	1.0543	1.0525	1.0525	1.0509
360.	1.0494	1.0436	1.0379	1.0323	1.0392	1.0549	1.0549	1.0531	1.0531	1.0515
365.	1.0500	1.0442	1.0385	1.0329	1.0398	1.0555	1.0555	1.0537	1.0537	1.0521
370.	1.0506	1.0448	1.0391	1.0335	1.0404	1.0561	1.0561	1.0543	1.0543	1.0527
375.	1.0512	1.0454	1.0397	1.0341	1.0410	1.0567	1.0567	1.0549	1.0549	1.0533
380.	1.0518	1.0460	1.0403	1.0347	1.0416	1.0573	1.0573	1.0555	1.0555	1.0539
385.	1.0524	1.0466	1.0409	1.0353	1.0422	1.0579	1.0579	1.0561	1.0561	1.0545
390.	1.0530	1.0472	1.0415	1.0359	1.0428	1.0585	1.0585	1.0567	1.0567	1.0551
395.	1.0536	1.0478	1.0421	1.0365	1.0434	1.0591	1.0591	1.0573	1.0573	1.0557
400.	1.0542	1.0484	1.0427	1.0371	1.0440	1.0597	1.0597	1.0579	1.0579	1.0563
405.	1.0548	1.0490	1.0433	1.0377	1.0446	1.0603	1.0603	1.0585	1.0585	1.0569
410.	1.0554	1.0496	1.0439	1.0383	1.0452	1.0609	1.0609	1.0591	1.0591	1.0575
415.	1.0560	1.0502	1.0445	1.0389	1.0458	1.0615	1.0615	1.0597	1.0597	1.0581
420.	1.0566	1.0508	1.0451	1.0395	1.0464	1.0621	1.0621	1.0603	1.0603	1.0587
425.	1.0572	1.0514	1.0457	1.0401	1.0470	1.0627	1.0627	1.0609	1.0609	1.0593
430.	1.0578	1.0520	1.0463	1.0407	1.0476	1.0633	1.0633	1.0615	1.0615	1.0599
435.	1.0584	1.0526	1.0469	1.0413	1.0482	1.0639	1.0639	1.0621	1.0621	1.0605
440.	1.0590	1.0532	1.0475	1.0419	1.0488	1.0645	1.0645	1.0627	1.0627	1.0611
445.	1.0596	1.0538	1.0481	1.0425	1.0494	1.0651	1.0651	1.0633	1.0633	1.0617
450.	1.0602	1.0544	1.0487	1.0431	1.0500	1.0657	1.0657	1.0639	1.0639	1.0623
455.	1.0608	1.0550	1.0493	1.0437	1.0506	1.0663	1.0663	1.0645	1.0645	1.0629
460.	1.0614	1.0556	1.0499	1.0443	1.0512	1.0669	1.0669	1.0651	1.0651	1.0635
465.	1.0620	1.0562	1.0505	1.0449	1.0518	1.0675	1.0675	1.0657	1.0657	1.0641
470.	1.0626	1.0568	1.0511	1.0455	1.0524	1.0681	1.0681	1.0663	1.0663	1.0647
475.	1.0632	1.0574	1.0517	1.0461	1.0530	1.0687	1.0687	1.0669	1.0669	1.0653
480.	1.0638	1.0580	1.0523	1.0467	1.0536	1.0693	1.0693	1.0675	1.0675	1.0659
485.	1.0644	1.0586	1.0529	1.0473	1.0542	1.0699	1.0699	1.0681	1.0681	1.0665
490.	1.0650	1.0592	1.0535	1.0479	1.0548	1.0705	1.0705	1.0687	1.0687	1.0671
495.	1.0656	1.0598	1.0541	1.0485	1.0554	1.0711	1.0711	1.0693	1.0693	1.0677
500.	1.0662	1.0604	1.0547	1.0491	1.0560	1.0717	1.0717	1.0699	1.0699	1.0683
505.	1.0668	1.0610	1.0553	1.0497	1.0566	1.0723	1.0723	1.0705	1.0705	1.0689
510.	1.0674	1.0616	1.0559	1.0503	1.0572	1.0729	1.0729	1.0711	1.0711	1.0695
515.	1.0680	1.0622	1.0565	1.0509	1.0578	1.0735	1.0735	1.0717	1.0717	1.0701
520.	1.0686	1.0628	1.0571	1.0515	1.0584	1.0741	1.0741	1.0723	1.0723	1.0707
525.	1.0692	1.0634	1.0577	1.0521	1.0590	1.0747	1.0747	1.0729	1.0729	1.0713
530.	1.0698	1.0640	1.0583	1.0527	1.0596	1.0753	1.0753	1.0735	1.0735	1.0719
535.	1.0704	1.0646	1.0589	1.0533	1.0602	1.0759	1.0759	1.0741	1.0741	1.0725
540.	1.0710	1.0652	1.0595	1.0539	1.0608	1.0765	1.0765	1.0747	1.0747	1.0731
545.	1.0716	1.0658	1.0601	1.0545	1.0614	1.0771	1.0771	1.0753	1.0753	1.0737
550.	1.0722	1.0664	1.0607	1.0551	1.0620	1.0777	1.0777	1.0759	1.0759	1.0743
555.	1.0728	1.0670	1.0613	1.0557	1.0626	1.0783	1.0783	1.0765	1.0765	1.0749
560.	1.0734	1.0676	1.0619	1.0563	1.0632	1.0789	1.0789	1.0771	1.0771	1.0755
565.	1.0740	1.0682	1.0625	1.0569	1.0638	1.0795	1.0795	1.0777	1.0777	1.0761
570.	1.0746	1.0688	1.0631	1.0575	1.0644	1.0801	1.0801	1.0783	1.0783	1.0767
575.	1.0752	1.0694	1.0637	1.0581	1.0650	1.0807	1.0807	1.0789	1.0789	1.0773
580.	1.0758	1.0700	1.0643	1.0587	1.0656	1.0813	1.0813	1.0795	1.0795	1.0779
585.	1.0764	1.0706	1.0649	1.0593	1.0662	1.0819	1.0819	1.0801	1.0801	1.0785
590.	1.0770	1.0712	1.0655							

Table D5. Factores F_{pv} de Supercompresibilidad (continua)

Datos Base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocarburo

Presión est. man. lb/pg ²	Temperatura, °F									
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
2040.	1.3827	1.3345	1.3264	1.2981	1.2701	1.2413	1.2202	1.1956	1.1703	1.1527
2220.	1.3796	1.3304	1.3223	1.2940	1.2660	1.2372	1.2161	1.2004	1.1750	1.1574
2040.	1.3768	1.3282	1.3201	1.2918	1.2638	1.2350	1.2139	1.1892	1.1638	1.1462
2040.	1.3739	1.3253	1.3172	1.2889	1.2609	1.2321	1.2110	1.1900	1.1646	1.1470
2080.	1.3709	1.3223	1.3142	1.2859	1.2579	1.2291	1.2080	1.1870	1.1616	1.1440
2160.	1.3650	1.3164	1.3083	1.2800	1.2520	1.2232	1.2021	1.2000	1.1842	1.1684
2120.	1.2677	1.2596	1.1624	1.2720	1.2670	1.2434	1.2205	1.2001	1.1841	1.1687
2140.	1.3619	1.3133	1.3159	1.2877	1.2597	1.2309	1.2098	1.2002	1.1842	1.1687
2160.	1.3588	1.3102	1.3128	1.2846	1.2566	1.2278	1.2067	1.2002	1.1842	1.1687
2180.	1.3558	1.3072	1.3098	1.2815	1.2535	1.2247	1.2036	1.2002	1.1842	1.1687
2200.	1.3527	1.3041	1.3067	1.2784	1.2504	1.2216	1.2005	1.2002	1.1842	1.1687
2220.	1.3498	1.3012	1.3038	1.2753	1.2473	1.2185	1.1974	1.2002	1.1842	1.1687
2240.	1.3468	1.2981	1.3007	1.2722	1.2442	1.2154	1.1943	1.2002	1.1842	1.1687
2260.	1.3438	1.2950	1.2976	1.2691	1.2411	1.2123	1.1912	1.2002	1.1842	1.1687
2280.	1.3408	1.2919	1.2945	1.2660	1.2380	1.2092	1.1881	1.2002	1.1842	1.1687
2300.	1.3378	1.2888	1.2914	1.2629	1.2349	1.2061	1.1850	1.2002	1.1842	1.1687
2320.	1.3348	1.2857	1.2883	1.2598	1.2318	1.2030	1.1819	1.2002	1.1842	1.1687
2340.	1.3318	1.2826	1.2852	1.2567	1.2287	1.2000	1.1788	1.2002	1.1842	1.1687
2360.	1.3288	1.2795	1.2821	1.2536	1.2256	1.1969	1.1757	1.2002	1.1842	1.1687
2380.	1.3258	1.2764	1.2790	1.2505	1.2225	1.1938	1.1726	1.2002	1.1842	1.1687
2400.	1.3228	1.2733	1.2759	1.2474	1.2194	1.1907	1.1695	1.2002	1.1842	1.1687
2420.	1.3198	1.2702	1.2728	1.2443	1.2163	1.1876	1.1664	1.2002	1.1842	1.1687
2440.	1.3168	1.2671	1.2697	1.2412	1.2132	1.1845	1.1633	1.2002	1.1842	1.1687
2460.	1.3138	1.2640	1.2666	1.2381	1.2101	1.1814	1.1602	1.2002	1.1842	1.1687
2480.	1.3108	1.2609	1.2635	1.2350	1.2070	1.1783	1.1571	1.2002	1.1842	1.1687
2500.	1.3078	1.2578	1.2604	1.2319	1.2039	1.1752	1.1540	1.2002	1.1842	1.1687
2520.	1.3048	1.2547	1.2573	1.2288	1.2008	1.1721	1.1509	1.2002	1.1842	1.1687
2540.	1.3018	1.2516	1.2542	1.2257	1.1977	1.1690	1.1478	1.2002	1.1842	1.1687
2560.	1.2988	1.2485	1.2511	1.2226	1.1946	1.1659	1.1447	1.2002	1.1842	1.1687
2580.	1.2958	1.2454	1.2480	1.2195	1.1915	1.1628	1.1416	1.2002	1.1842	1.1687
2600.	1.2928	1.2423	1.2449	1.2164	1.1884	1.1597	1.1385	1.2002	1.1842	1.1687
2620.	1.2898	1.2392	1.2418	1.2133	1.1853	1.1566	1.1354	1.2002	1.1842	1.1687
2640.	1.2868	1.2361	1.2387	1.2102	1.1822	1.1535	1.1323	1.2002	1.1842	1.1687
2660.	1.2838	1.2330	1.2356	1.2071	1.1791	1.1504	1.1292	1.2002	1.1842	1.1687
2680.	1.2808	1.2299	1.2325	1.2040	1.1760	1.1473	1.1261	1.2002	1.1842	1.1687
2700.	1.2778	1.2268	1.2294	1.2009	1.1729	1.1442	1.1230	1.2002	1.1842	1.1687
2720.	1.2748	1.2237	1.2263	1.1978	1.1698	1.1411	1.1199	1.2002	1.1842	1.1687
2740.	1.2718	1.2206	1.2232	1.1947	1.1667	1.1380	1.1168	1.2002	1.1842	1.1687
2760.	1.2688	1.2175	1.2201	1.1916	1.1636	1.1349	1.1137	1.2002	1.1842	1.1687
2780.	1.2658	1.2144	1.2170	1.1885	1.1605	1.1318	1.1106	1.2002	1.1842	1.1687
2800.	1.2628	1.2113	1.2139	1.1854	1.1574	1.1287	1.1075	1.2002	1.1842	1.1687
2820.	1.2598	1.2082	1.2108	1.1823	1.1543	1.1256	1.1044	1.2002	1.1842	1.1687
2840.	1.2568	1.2051	1.2077	1.1792	1.1512	1.1225	1.1013	1.2002	1.1842	1.1687
2860.	1.2538	1.2020	1.2046	1.1761	1.1481	1.1194	1.0981	1.2002	1.1842	1.1687
2880.	1.2508	1.1989	1.2015	1.1730	1.1450	1.1163	1.0950	1.2002	1.1842	1.1687
2900.	1.2478	1.1958	1.1984	1.1699	1.1419	1.1132	1.0919	1.2002	1.1842	1.1687
2920.	1.2448	1.1927	1.1953	1.1668	1.1388	1.1101	1.0888	1.2002	1.1842	1.1687
2940.	1.2418	1.1896	1.1922	1.1637	1.1357	1.1064	1.0851	1.2002	1.1842	1.1687
2960.	1.2388	1.1865	1.1891	1.1606	1.1326	1.1033	1.0820	1.2002	1.1842	1.1687
2980.	1.2358	1.1834	1.1860	1.1575	1.1295	1.1000	1.0787	1.2002	1.1842	1.1687
3000.	1.2328	1.1803	1.1829	1.1544	1.1264	1.0969	1.0756	1.2002	1.1842	1.1687

Tabla D5. Factores F_{DV} de Supercompresibilidad (continua)

Datos Base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocarburo

Tabla D5

Presión est. mmHg.	Temperatura, °F									
	40.	50.	60.	80.	100.	110.	120.	130.	140.	150.
2000	1.1470	1.1338	1.1221	1.1119	1.1026	1.0940	1.0861	1.0790	1.0724	1.0663
2020	1.1476	1.1343	1.1226	1.1124	1.1030	1.0944	1.0865	1.0792	1.0726	1.0665
2040	1.1480	1.1347	1.1230	1.1128	1.1034	1.0947	1.0868	1.0795	1.0728	1.0667
2060	1.1485	1.1352	1.1235	1.1133	1.1039	1.0951	1.0871	1.0797	1.0730	1.0669
2080	1.1489	1.1356	1.1239	1.1137	1.1043	1.0954	1.0873	1.0800	1.0732	1.0670
2100	1.1493	1.1360	1.1243	1.1141	1.1046	1.0957	1.0876	1.0802	1.0734	1.0671
2120	1.1497	1.1364	1.1246	1.1144	1.1049	1.0959	1.0878	1.0804	1.0735	1.0673
2140	1.1500	1.1367	1.1249	1.1147	1.1052	1.0962	1.0881	1.0806	1.0737	1.0675
2160	1.1503	1.1370	1.1253	1.1151	1.1056	1.0966	1.0885	1.0810	1.0741	1.0679
2180	1.1506	1.1373	1.1255	1.1153	1.1058	1.0967	1.0886	1.0811	1.0742	1.0680
2200	1.1508	1.1375	1.1257	1.1155	1.1060	1.0969	1.0888	1.0813	1.0744	1.0682
2220	1.1510	1.1378	1.1260	1.1158	1.1063	1.0971	1.0890	1.0815	1.0746	1.0684
2240	1.1512	1.1380	1.1263	1.1160	1.1065	1.0973	1.0892	1.0817	1.0748	1.0686
2260	1.1513	1.1382	1.1265	1.1161	1.1066	1.0974	1.0893	1.0818	1.0749	1.0687
2280	1.1513	1.1382	1.1265	1.1161	1.1066	1.0974	1.0893	1.0818	1.0749	1.0687
2300	1.1513	1.1382	1.1265	1.1161	1.1066	1.0974	1.0893	1.0818	1.0749	1.0687
2320	1.1512	1.1381	1.1264	1.1160	1.1065	1.0973	1.0892	1.0817	1.0748	1.0686
2340	1.1511	1.1380	1.1263	1.1159	1.1064	1.0972	1.0891	1.0816	1.0747	1.0685
2360	1.1510	1.1379	1.1262	1.1158	1.1063	1.0972	1.0891	1.0816	1.0747	1.0685
2380	1.1509	1.1378	1.1261	1.1157	1.1062	1.0971	1.0890	1.0815	1.0746	1.0684
2400	1.1508	1.1377	1.1260	1.1156	1.1061	1.0970	1.0889	1.0814	1.0745	1.0683
2420	1.1506	1.1376	1.1259	1.1155	1.1060	1.0969	1.0888	1.0813	1.0744	1.0682
2440	1.1504	1.1375	1.1258	1.1154	1.1059	1.0968	1.0887	1.0812	1.0743	1.0681
2460	1.1502	1.1373	1.1256	1.1153	1.1058	1.0967	1.0886	1.0811	1.0742	1.0680
2480	1.1499	1.1371	1.1254	1.1151	1.1056	1.0965	1.0884	1.0809	1.0740	1.0678
2500	1.1496	1.1369	1.1252	1.1150	1.1055	1.0964	1.0883	1.0808	1.0739	1.0677
2520	1.1493	1.1367	1.1250	1.1148	1.1053	1.0962	1.0881	1.0806	1.0737	1.0675
2540	1.1489	1.1365	1.1248	1.1146	1.1052	1.0961	1.0880	1.0805	1.0736	1.0674
2560	1.1484	1.1364	1.1247	1.1145	1.1050	1.0959	1.0878	1.0803	1.0734	1.0673
2580	1.1481	1.1364	1.1247	1.1145	1.1050	1.0959	1.0878	1.0803	1.0734	1.0673
2600	1.1480	1.1363	1.1246	1.1144	1.1049	1.0958	1.0877	1.0802	1.0733	1.0672
2620	1.1475	1.1359	1.1244	1.1140	1.1046	1.0955	1.0874	1.0800	1.0731	1.0670
2640	1.1471	1.1353	1.1240	1.1136	1.1042	1.0951	1.0870	1.0796	1.0727	1.0667
2660	1.1466	1.1347	1.1234	1.1131	1.1037	1.0946	1.0865	1.0791	1.0722	1.0662
2680	1.1461	1.1341	1.1228	1.1126	1.1032	1.0941	1.0860	1.0786	1.0717	1.0657
2700	1.1455	1.1335	1.1224	1.1123	1.1029	1.0938	1.0857	1.0783	1.0714	1.0654
2720	1.1450	1.1330	1.1220	1.1121	1.1027	1.0936	1.0855	1.0781	1.0712	1.0652
2740	1.1444	1.1324	1.1216	1.1117	1.1023	1.0932	1.0851	1.0777	1.0708	1.0648
2760	1.1438	1.1316	1.1212	1.1113	1.1019	1.0928	1.0847	1.0773	1.0704	1.0644
2780	1.1432	1.1311	1.1204	1.1105	1.1011	1.0920	1.0839	1.0765	1.0696	1.0636
2800	1.1425	1.1305	1.1203	1.1104	1.1010	1.0919	1.0838	1.0764	1.0695	1.0635
2820	1.1418	1.1299	1.1200	1.1101	1.1006	1.0915	1.0834	1.0760	1.0691	1.0631
2840	1.1411	1.1291	1.1202	1.1103	1.1008	1.0917	1.0836	1.0762	1.0693	1.0633
2860	1.1403	1.1283	1.1197	1.1098	1.1003	1.0912	1.0831	1.0757	1.0688	1.0628
2880	1.1396	1.1280	1.1192	1.1093	1.1001	1.0910	1.0829	1.0755	1.0686	1.0626
2900	1.1388	1.1284	1.1186	1.1086	1.0995	1.0904	1.0823	1.0749	1.0680	1.0620
2920	1.1381	1.1277	1.1180	1.1081	1.0990	1.0901	1.0820	1.0746	1.0677	1.0617
2940	1.1373	1.1270	1.1174	1.1076	1.0985	1.0896	1.0815	1.0741	1.0672	1.0612
2960	1.1365	1.1263	1.1168	1.1069	1.0979	1.0890	1.0809	1.0735	1.0666	1.0606
2980	1.1357	1.1256	1.1162	1.1063	1.0973	1.0884	1.0803	1.0729	1.0660	1.0600
3000	1.1349	1.1249	1.1155	1.1056	1.0966	1.0876	1.0795	1.0721	1.0652	1.0592
3020	1.1341	1.1242	1.1150	1.1051	1.0961	1.0871	1.0790	1.0716	1.0647	1.0587

Tabla D5. Factores F_{pv} de Supercompresibilidad (continua)

Datos Base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocarburo

Presión est. p_{20} , lb/ps ²	Temperatura, °F									
	160.	170.	180.	190.	200.	210.	220.	230.	240.	250.
2000.	1.4977	1.0553	1.0508	1.0464	1.0424	1.0386	1.0352	1.0319	1.0291	1.0261
2100.	1.5069	1.0537	1.0509	1.0466	1.0425	1.0387	1.0352	1.0321	1.0291	1.0262
2200.	1.5010	1.0558	1.0510	1.0467	1.0426	1.0388	1.0353	1.0323	1.0291	1.0262
2300.	1.0611	1.0539	1.0511	1.0467	1.0427	1.0389	1.0354	1.0324	1.0293	1.0263
2400.	1.0613	1.0560	1.0512	1.0468	1.0428	1.0390	1.0355	1.0325	1.0293	1.0263
2100.	1.0614	1.0561	1.0513	1.0469	1.0429	1.0391	1.0356	1.0326	1.0294	1.0264
2120.	1.0615	1.0562	1.0514	1.0470	1.0429	1.0391	1.0356	1.0326	1.0294	1.0264
2140.	1.0616	1.0563	1.0515	1.0471	1.0430	1.0392	1.0357	1.0327	1.0295	1.0265
2160.	1.0617	1.0564	1.0516	1.0471	1.0431	1.0393	1.0358	1.0328	1.0296	1.0266
2180.	1.0618	1.0565	1.0516	1.0471	1.0431	1.0393	1.0358	1.0328	1.0296	1.0266
2200.	1.0619	1.0565	1.0516	1.0472	1.0431	1.0393	1.0358	1.0328	1.0296	1.0266
2220.	1.0619	1.0566	1.0516	1.0472	1.0432	1.0394	1.0358	1.0328	1.0296	1.0266
2240.	1.0620	1.0566	1.0517	1.0472	1.0432	1.0394	1.0358	1.0328	1.0296	1.0266
2260.	1.0620	1.0566	1.0517	1.0472	1.0432	1.0394	1.0358	1.0328	1.0296	1.0266
2280.	1.0620	1.0566	1.0517	1.0472	1.0432	1.0394	1.0358	1.0328	1.0296	1.0266
2300.	1.0621	1.0567	1.0517	1.0472	1.0432	1.0394	1.0359	1.0328	1.0296	1.0266
2320.	1.0621	1.0567	1.0517	1.0472	1.0432	1.0394	1.0359	1.0328	1.0296	1.0266
2340.	1.0621	1.0566	1.0516	1.0472	1.0432	1.0394	1.0358	1.0328	1.0296	1.0266
2360.	1.0621	1.0566	1.0516	1.0472	1.0432	1.0394	1.0358	1.0328	1.0296	1.0266
2380.	1.0620	1.0566	1.0516	1.0471	1.0431	1.0394	1.0358	1.0328	1.0296	1.0266
2400.	1.0620	1.0566	1.0516	1.0471	1.0431	1.0394	1.0358	1.0328	1.0296	1.0266
2420.	1.0619	1.0564	1.0514	1.0470	1.0430	1.0393	1.0357	1.0327	1.0295	1.0265
2440.	1.0618	1.0564	1.0514	1.0469	1.0430	1.0393	1.0356	1.0327	1.0295	1.0265
2460.	1.0617	1.0563	1.0513	1.0468	1.0429	1.0392	1.0356	1.0326	1.0294	1.0264
2480.	1.0616	1.0562	1.0512	1.0467	1.0428	1.0391	1.0355	1.0325	1.0293	1.0263
2500.	1.0615	1.0561	1.0511	1.0466	1.0427	1.0391	1.0355	1.0325	1.0293	1.0263
2120.	1.0614	1.0560	1.0510	1.0465	1.0426	1.0390	1.0354	1.0318	1.0287	1.0257
2140.	1.0613	1.0559	1.0509	1.0464	1.0425	1.0389	1.0353	1.0317	1.0286	1.0256
2160.	1.0612	1.0558	1.0508	1.0463	1.0424	1.0388	1.0352	1.0316	1.0285	1.0255
2180.	1.0611	1.0557	1.0507	1.0462	1.0423	1.0387	1.0351	1.0315	1.0284	1.0254
2200.	1.0610	1.0555	1.0506	1.0461	1.0422	1.0386	1.0350	1.0314	1.0283	1.0253
2220.	1.0609	1.0554	1.0504	1.0460	1.0421	1.0384	1.0348	1.0312	1.0281	1.0252
2240.	1.0607	1.0553	1.0503	1.0458	1.0420	1.0383	1.0347	1.0311	1.0280	1.0250
2260.	1.0606	1.0552	1.0502	1.0457	1.0418	1.0382	1.0346	1.0310	1.0279	1.0249
2280.	1.0604	1.0550	1.0500	1.0456	1.0417	1.0380	1.0344	1.0308	1.0277	1.0247
2300.	1.0603	1.0548	1.0499	1.0454	1.0415	1.0379	1.0343	1.0307	1.0276	1.0246
2320.	1.0602	1.0546	1.0497	1.0452	1.0413	1.0378	1.0342	1.0306	1.0275	1.0245
2340.	1.0600	1.0545	1.0496	1.0451	1.0412	1.0376	1.0340	1.0304	1.0273	1.0243
2360.	1.0599	1.0543	1.0494	1.0449	1.0410	1.0374	1.0338	1.0302	1.0271	1.0241
2380.	1.0597	1.0541	1.0491	1.0447	1.0408	1.0372	1.0336	1.0300	1.0269	1.0239
2400.	1.0595	1.0541	1.0491	1.0447	1.0407	1.0371	1.0335	1.0299	1.0268	1.0238
2420.	1.0593	1.0538	1.0489	1.0445	1.0405	1.0370	1.0334	1.0298	1.0267	1.0237
2440.	1.0591	1.0536	1.0487	1.0443	1.0403	1.0368	1.0332	1.0296	1.0265	1.0235
2460.	1.0589	1.0534	1.0485	1.0441	1.0401	1.0366	1.0330	1.0294	1.0263	1.0233
2480.	1.0587	1.0531	1.0482	1.0438	1.0398	1.0363	1.0327	1.0291	1.0260	1.0230
2500.	1.0585	1.0529	1.0480	1.0436	1.0396	1.0361	1.0325	1.0289	1.0258	1.0228
2120.	1.0580	1.0526	1.0478	1.0434	1.0394	1.0359	1.0324	1.0289	1.0258	1.0228
2140.	1.0577	1.0524	1.0475	1.0431	1.0391	1.0356	1.0321	1.0286	1.0255	1.0225
2160.	1.0575	1.0521	1.0472	1.0428	1.0388	1.0353	1.0318	1.0283	1.0252	1.0222
2180.	1.0572	1.0518	1.0469	1.0425	1.0385	1.0350	1.0315	1.0280	1.0249	1.0219
2200.	1.0569	1.0516	1.0467	1.0424	1.0384	1.0349	1.0314	1.0279	1.0248	1.0218
2220.	1.0566	1.0513	1.0464	1.0421	1.0381	1.0346	1.0311	1.0276	1.0245	1.0215

Tabla D5. Factores Γ_{pv} de Super compresibilidad (continua)

Datos Base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocarburo

Presión est. man. lb/pulg. ²	Temperatura, °F									
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
300.	1.2254	1.2249	1.2170	1.2084	1.1997	1.1928	1.1773	1.1662	1.1552	1.1448
305.	1.2296	1.2281	1.2199	1.2103	1.1996	1.1925	1.1754	1.1647	1.1540	1.1434
350.	1.2209	1.2198	1.2121	1.2032	1.1949	1.1879	1.1743	1.1636	1.1529	1.1424
360.	1.2241	1.2172	1.2072	1.2001	1.1912	1.1842	1.1704	1.1597	1.1490	1.1384
365.	1.2214	1.2147	1.2079	1.2000	1.1911	1.1841	1.1704	1.1597	1.1490	1.1384
400.	1.2187	1.2122	1.2056	1.1979	1.1892	1.1799	1.1699	1.1599	1.1499	1.1399
410.	1.2150	1.2097	1.2033	1.1958	1.1873	1.1780	1.1682	1.1582	1.1481	1.1382
415.	1.2113	1.2072	1.2008	1.1931	1.1844	1.1753	1.1657	1.1556	1.1456	1.1357
416.	1.2166	1.2047	1.1979	1.1916	1.1843	1.1746	1.1651	1.1555	1.1457	1.1361
416.	1.2099	1.2023	1.1964	1.1895	1.1816	1.1729	1.1636	1.1541	1.1445	1.1350
420.	1.2074	1.1992	1.1941	1.1874	1.1799	1.1711	1.1621	1.1527	1.1433	1.1339
425.	1.2028	1.1974	1.1919	1.1853	1.1778	1.1678	1.1605	1.1513	1.1420	1.1328
430.	1.2002	1.1950	1.1896	1.1833	1.1759	1.1677	1.1590	1.1500	1.1406	1.1317
435.	1.1976	1.1925	1.1876	1.1812	1.1740	1.1659	1.1574	1.1486	1.1395	1.1306
436.	1.1950	1.1901	1.1851	1.1791	1.1721	1.1643	1.1559	1.1472	1.1383	1.1294
440.	1.1925	1.1877	1.1829	1.1771	1.1702	1.1625	1.1543	1.1457	1.1370	1.1283
445.	1.1899	1.1854	1.1807	1.1750	1.1683	1.1608	1.1527	1.1443	1.1359	1.1274
450.	1.1874	1.1830	1.1783	1.1726	1.1660	1.1591	1.1512	1.1429	1.1344	1.1260
455.	1.1849	1.1806	1.1763	1.1709	1.1645	1.1574	1.1496	1.1415	1.1331	1.1248
460.	1.1824	1.1783	1.1741	1.1689	1.1627	1.1556	1.1480	1.1400	1.1318	1.1236
465.	1.1800	1.1761	1.1719	1.1669	1.1608	1.1539	1.1465	1.1385	1.1305	1.1225
470.	1.1775	1.1737	1.1687	1.1639	1.1579	1.1512	1.1444	1.1367	1.1292	1.1218
475.	1.1751	1.1714	1.1665	1.1628	1.1571	1.1505	1.1433	1.1357	1.1279	1.1201
480.	1.1726	1.1691	1.1644	1.1608	1.1552	1.1488	1.1417	1.1341	1.1266	1.1189
485.	1.1702	1.1668	1.1623	1.1588	1.1534	1.1471	1.1402	1.1329	1.1253	1.1177
490.	1.1678	1.1645	1.1601	1.1568	1.1515	1.1454	1.1386	1.1314	1.1242	1.1172
495.	1.1655	1.1623	1.1590	1.1549	1.1497	1.1436	1.1370	1.1300	1.1227	1.1153
500.	1.1631	1.1601	1.1569	1.1529	1.1478	1.1418	1.1354	1.1285	1.1213	1.1141
505.	1.1608	1.1579	1.1548	1.1509	1.1459	1.1402	1.1339	1.1271	1.1201	1.1129
510.	1.1584	1.1556	1.1527	1.1490	1.1442	1.1385	1.1323	1.1256	1.1187	1.1116
560.	1.1561	1.1534	1.1507	1.1470	1.1423	1.1366	1.1307	1.1242	1.1173	1.1104
565.	1.1538	1.1512	1.1486	1.1451	1.1405	1.1351	1.1291	1.1227	1.1160	1.1092
570.	1.1515	1.1490	1.1465	1.1431	1.1387	1.1334	1.1276	1.1213	1.1147	1.1080
575.	1.1492	1.1468	1.1445	1.1412	1.1369	1.1317	1.1260	1.1198	1.1133	1.1067
580.	1.1470	1.1447	1.1424	1.1393	1.1351	1.1301	1.1244	1.1184	1.1120	1.1055
585.	1.1447	1.1425	1.1404	1.1373	1.1333	1.1284	1.1229	1.1169	1.1105	1.1043
590.	1.1425	1.1404	1.1384	1.1354	1.1315	1.1267	1.1213	1.1155	1.1091	1.1030
595.	1.1403	1.1383	1.1364	1.1335	1.1297	1.1250	1.1197	1.1140	1.1081	1.1020
600.	1.1381	1.1362	1.1344	1.1316	1.1279	1.1233	1.1182	1.1126	1.1066	1.1006
605.	1.1359	1.1341	1.1324	1.1298	1.1261	1.1217	1.1166	1.1111	1.1053	1.0993
660.	1.1337	1.1321	1.1304	1.1279	1.1244	1.1200	1.1151	1.1097	1.1039	1.0980
665.	1.1315	1.1300	1.1283	1.1259	1.1226	1.1184	1.1135	1.1082	1.1024	1.0965
670.	1.1294	1.1279	1.1263	1.1241	1.1208	1.1167	1.1120	1.1068	1.1012	1.0955
675.	1.1273	1.1259	1.1244	1.1223	1.1191	1.1151	1.1104	1.1053	1.0999	1.0943
680.	1.1251	1.1239	1.1227	1.1205	1.1174	1.1134	1.1089	1.1039	1.0985	1.0929
740.	1.1230	1.1219	1.1207	1.1187	1.1156	1.1115	1.1073	1.1024	1.0972	1.0918
745.	1.1209	1.1199	1.1188	1.1168	1.1139	1.1101	1.1058	1.1010	1.0959	1.0905
750.	1.1188	1.1179	1.1169	1.1150	1.1121	1.1083	1.1043	1.0995	1.0945	1.0891
755.	1.1167	1.1159	1.1150	1.1132	1.1104	1.1067	1.1027	1.0980	1.0932	1.0882
760.	1.1146	1.1140	1.1131	1.1114	1.1087	1.1051	1.1012	1.0967	1.0919	1.0871
800.	1.1125	1.1120	1.1112	1.1095	1.1070	1.1036	1.0999	1.0952	1.0905	1.0855

Tabla D5. Factores F_{GV} de Supercomresibilidad (continua)

Datos Base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocarburo

Presión est. man. lb/pg ²	Temperatura, °F										
	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
3000	1.1343	1.1242	1.1150	1.1064	1.0981	1.0901	1.0825	1.0754	1.0687	1.0624	1.0564
3020	1.1332	1.1234	1.1143	1.1058	1.0976	1.0896	1.0821	1.0750	1.0683	1.0621	1.0561
3040	1.1322	1.1226	1.1136	1.1052	1.0970	1.0891	1.0816	1.0746	1.0680	1.0618	1.0558
3060	1.1314	1.1218	1.1129	1.1045	1.0964	1.0886	1.0812	1.0742	1.0676	1.0614	1.0554
3080	1.1307	1.1210	1.1122	1.1038	1.0958	1.0881	1.0807	1.0737	1.0671	1.0609	1.0549
3100	1.1299	1.1202	1.1114	1.1032	1.0953	1.0876	1.0802	1.0732	1.0666	1.0604	1.0544
3120	1.1290	1.1194	1.1106	1.1024	1.0947	1.0871	1.0800	1.0730	1.0664	1.0602	1.0542
3140	1.1282	1.1186	1.1098	1.1016	1.0939	1.0863	1.0792	1.0722	1.0656	1.0594	1.0534
3160	1.1274	1.1177	1.1089	1.1007	1.0930	1.0854	1.0783	1.0713	1.0647	1.0585	1.0525
3180	1.1267	1.1168	1.1080	1.1000	1.0923	1.0847	1.0776	1.0706	1.0640	1.0578	1.0518
3200	1.1259	1.1160	1.1072	1.0992	1.0915	1.0839	1.0768	1.0700	1.0634	1.0572	1.0512
3220	1.1251	1.1152	1.1064	1.0984	1.0907	1.0831	1.0760	1.0692	1.0626	1.0564	1.0504
3240	1.1243	1.1144	1.1056	1.0976	1.0900	1.0824	1.0753	1.0685	1.0619	1.0557	1.0497
3260	1.1235	1.1136	1.1048	1.0968	1.0891	1.0815	1.0744	1.0676	1.0610	1.0548	1.0488
3280	1.1227	1.1128	1.1040	1.0960	1.0883	1.0807	1.0736	1.0668	1.0602	1.0540	1.0480
3300	1.1219	1.1120	1.1032	1.0952	1.0875	1.0800	1.0729	1.0661	1.0595	1.0533	1.0473
3320	1.1211	1.1112	1.1024	1.0944	1.0867	1.0791	1.0720	1.0652	1.0586	1.0524	1.0464
3340	1.1203	1.1104	1.1016	1.0936	1.0859	1.0783	1.0712	1.0644	1.0578	1.0516	1.0456
3360	1.1195	1.1096	1.1008	1.0928	1.0851	1.0775	1.0704	1.0636	1.0570	1.0508	1.0448
3380	1.1187	1.1088	1.1000	1.0920	1.0843	1.0767	1.0696	1.0628	1.0562	1.0500	1.0440
3400	1.1179	1.1080	1.0992	1.0912	1.0835	1.0759	1.0688	1.0620	1.0554	1.0492	1.0432
3420	1.1171	1.1072	1.0984	1.0904	1.0827	1.0751	1.0680	1.0612	1.0546	1.0484	1.0424
3440	1.1163	1.1064	1.0976	1.0896	1.0819	1.0743	1.0672	1.0604	1.0538	1.0476	1.0416
3460	1.1155	1.1056	1.0968	1.0888	1.0811	1.0735	1.0664	1.0596	1.0530	1.0468	1.0408
3480	1.1147	1.1048	1.0960	1.0880	1.0803	1.0727	1.0656	1.0588	1.0522	1.0460	1.0400
3500	1.1139	1.1040	1.0952	1.0872	1.0795	1.0719	1.0648	1.0580	1.0514	1.0452	1.0392
3520	1.1131	1.1032	1.0944	1.0864	1.0787	1.0711	1.0640	1.0572	1.0506	1.0444	1.0384
3540	1.1123	1.1024	1.0936	1.0856	1.0779	1.0703	1.0632	1.0564	1.0498	1.0436	1.0376
3560	1.1115	1.1016	1.0928	1.0848	1.0771	1.0695	1.0624	1.0556	1.0490	1.0428	1.0368
3580	1.1107	1.1008	1.0920	1.0840	1.0763	1.0687	1.0616	1.0548	1.0482	1.0420	1.0360
3600	1.1099	1.0999	1.0911	1.0831	1.0754	1.0678	1.0607	1.0539	1.0473	1.0411	1.0351
3620	1.1091	1.0991	1.0903	1.0823	1.0746	1.0670	1.0600	1.0532	1.0466	1.0404	1.0344
3640	1.1083	1.0983	1.0895	1.0815	1.0738	1.0662	1.0591	1.0523	1.0457	1.0395	1.0335
3660	1.1075	1.0975	1.0887	1.0807	1.0730	1.0654	1.0583	1.0515	1.0449	1.0387	1.0327
3680	1.1067	1.0967	1.0879	1.0799	1.0722	1.0646	1.0575	1.0507	1.0441	1.0379	1.0319
3700	1.1059	1.0959	1.0871	1.0791	1.0714	1.0638	1.0567	1.0500	1.0434	1.0372	1.0312
3720	1.1051	1.0951	1.0863	1.0783	1.0706	1.0630	1.0559	1.0491	1.0425	1.0363	1.0303
3740	1.1043	1.0943	1.0855	1.0775	1.0698	1.0622	1.0551	1.0483	1.0417	1.0355	1.0295
3760	1.1035	1.0935	1.0847	1.0767	1.0690	1.0614	1.0543	1.0475	1.0409	1.0347	1.0287
3780	1.1027	1.0927	1.0839	1.0759	1.0682	1.0606	1.0535	1.0467	1.0401	1.0339	1.0279
3800	1.1019	1.0919	1.0831	1.0751	1.0674	1.0598	1.0527	1.0459	1.0393	1.0331	1.0271
3820	1.1011	1.0911	1.0823	1.0743	1.0666	1.0590	1.0519	1.0451	1.0385	1.0323	1.0263
3840	1.1003	1.0903	1.0815	1.0735	1.0658	1.0582	1.0511	1.0443	1.0377	1.0315	1.0255
3860	1.0995	1.0895	1.0807	1.0727	1.0650	1.0574	1.0503	1.0435	1.0369	1.0307	1.0247
3880	1.0987	1.0887	1.0799	1.0719	1.0642	1.0566	1.0495	1.0427	1.0361	1.0299	1.0239
3900	1.0979	1.0879	1.0791	1.0711	1.0634	1.0558	1.0487	1.0419	1.0353	1.0291	1.0231
3920	1.0971	1.0871	1.0783	1.0703	1.0626	1.0550	1.0479	1.0411	1.0345	1.0283	1.0223
3940	1.0963	1.0863	1.0775	1.0695	1.0618	1.0542	1.0471	1.0403	1.0337	1.0275	1.0215
3960	1.0955	1.0855	1.0767	1.0687	1.0610	1.0534	1.0463	1.0395	1.0329	1.0267	1.0207
3980	1.0947	1.0847	1.0759	1.0679	1.0602	1.0526	1.0455	1.0387	1.0321	1.0259	1.0199
4000	1.0939	1.0839	1.0751	1.0671	1.0594	1.0518	1.0447	1.0379	1.0313	1.0251	1.0191

Tabla D5. Factores F_{ov} de Supercompresibilidad (continua)

Datos Base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocarburo

Presión est. man. lb./pg ²	Temperatura, °F								
	160.	170.	180.	190.	200.	210.	220.	230.	239.
360.	1.0256	1.0213	1.0166	1.0121	1.0074	1.0028	0.9983	0.9938	1.0247
360.	1.0263	1.0210	1.0161	1.0118	1.0071	1.0025	0.9980	0.9935	1.0248
365.	1.0259	1.0206	1.0158	1.0115	1.0068	1.0022	0.9977	0.9932	1.0247
370.	1.0256	1.0203	1.0155	1.0112	1.0065	1.0019	0.9974	0.9929	1.0246
375.	1.0252	1.0200	1.0152	1.0109	1.0062	1.0016	0.9971	0.9926	1.0245
380.	1.0249	1.0197	1.0149	1.0106	1.0059	1.0013	0.9968	0.9923	1.0244
385.	1.0245	1.0193	1.0145	1.0102	1.0055	1.0009	0.9964	0.9919	1.0243
390.	1.0242	1.0190	1.0142	1.0099	1.0052	1.0006	0.9961	0.9916	1.0242
395.	1.0238	1.0187	1.0139	1.0096	1.0049	1.0003	0.9958	0.9913	1.0241
400.	1.0235	1.0184	1.0136	1.0093	1.0046	1.0000	0.9955	0.9910	1.0240
405.	1.0232	1.0181	1.0133	1.0090	1.0043	0.9997	0.9952	0.9907	1.0239
410.	1.0228	1.0178	1.0130	1.0087	1.0040	0.9994	0.9947	0.9902	1.0238
415.	1.0225	1.0175	1.0127	1.0084	1.0037	0.9991	0.9946	0.9901	1.0237
420.	1.0222	1.0172	1.0124	1.0081	1.0034	0.9988	0.9943	0.9898	1.0236
425.	1.0218	1.0169	1.0121	1.0078	1.0031	0.9985	0.9940	0.9895	1.0235
430.	1.0215	1.0166	1.0118	1.0075	1.0028	0.9982	0.9937	0.9892	1.0234
435.	1.0212	1.0163	1.0115	1.0072	1.0025	0.9979	0.9934	0.9889	1.0233
440.	1.0208	1.0160	1.0112	1.0069	1.0022	0.9976	0.9931	0.9886	1.0232
445.	1.0205	1.0157	1.0109	1.0066	1.0019	0.9973	0.9928	0.9883	1.0231
450.	1.0202	1.0154	1.0106	1.0063	1.0016	0.9970	0.9925	0.9880	1.0230
455.	1.0198	1.0151	1.0103	1.0060	1.0013	0.9967	0.9922	0.9877	1.0229
460.	1.0195	1.0148	1.0100	1.0057	1.0010	0.9964	0.9919	0.9874	1.0228
465.	1.0192	1.0145	1.0097	1.0054	1.0007	0.9961	0.9916	0.9871	1.0227
470.	1.0188	1.0142	1.0094	1.0051	1.0004	0.9958	0.9913	0.9868	1.0226
475.	1.0185	1.0139	1.0091	1.0048	1.0001	0.9955	0.9910	0.9865	1.0225
480.	1.0182	1.0136	1.0088	1.0045	0.9998	0.9952	0.9907	0.9862	1.0224
485.	1.0178	1.0133	1.0085	1.0042	0.9995	0.9949	0.9904	0.9859	1.0223
490.	1.0175	1.0130	1.0082	1.0039	0.9992	0.9946	0.9901	0.9856	1.0222
495.	1.0172	1.0127	1.0079	1.0036	0.9989	0.9943	0.9898	0.9853	1.0221
500.	1.0168	1.0124	1.0076	1.0033	0.9986	0.9940	0.9895	0.9850	1.0220
505.	1.0165	1.0121	1.0073	1.0030	0.9983	0.9937	0.9892	0.9847	1.0219
510.	1.0162	1.0118	1.0070	1.0027	0.9980	0.9934	0.9889	0.9844	1.0218
515.	1.0158	1.0115	1.0067	1.0024	0.9977	0.9931	0.9886	0.9841	1.0217
520.	1.0155	1.0112	1.0064	1.0021	0.9974	0.9928	0.9883	0.9838	1.0216
525.	1.0152	1.0109	1.0061	1.0018	0.9971	0.9925	0.9880	0.9835	1.0215
530.	1.0148	1.0106	1.0058	1.0015	0.9968	0.9922	0.9877	0.9832	1.0214
535.	1.0145	1.0103	1.0055	1.0012	0.9965	0.9919	0.9874	0.9829	1.0213
540.	1.0142	1.0100	1.0052	1.0009	0.9962	0.9916	0.9871	0.9826	1.0212
545.	1.0138	1.0097	1.0049	1.0006	0.9959	0.9913	0.9868	0.9823	1.0211
550.	1.0135	1.0094	1.0046	1.0003	0.9956	0.9910	0.9865	0.9819	1.0210
555.	1.0132	1.0091	1.0043	1.0000	0.9953	0.9907	0.9862	0.9817	1.0209
560.	1.0128	1.0088	1.0040	0.9997	0.9950	0.9904	0.9859	0.9814	1.0208
565.	1.0125	1.0085	1.0037	0.9994	0.9947	0.9901	0.9856	0.9811	1.0207
570.	1.0122	1.0082	1.0034	0.9991	0.9944	0.9898	0.9853	0.9808	1.0206
575.	1.0118	1.0079	1.0031	0.9988	0.9941	0.9895	0.9850	0.9805	1.0205
580.	1.0115	1.0076	1.0028	0.9985	0.9938	0.9892	0.9847	0.9802	1.0204
585.	1.0112	1.0073	1.0025	0.9982	0.9935	0.9889	0.9844	0.9799	1.0203
590.	1.0108	1.0070	1.0022	0.9979	0.9932	0.9886	0.9841	0.9796	1.0202
595.	1.0105	1.0067	1.0019	0.9976	0.9929	0.9883	0.9838	0.9793	1.0201
600.	1.0102	1.0064	1.0016	0.9973	0.9926	0.9880	0.9835	0.9790	1.0200
605.	1.0098	1.0061	1.0013	0.9970	0.9923	0.9877	0.9832	0.9787	1.0199
610.	1.0095	1.0058	1.0010	0.9967	0.9920	0.9874	0.9829	0.9784	1.0198
615.	1.0092	1.0055	1.0007	0.9964	0.9917	0.9871	0.9826	0.9781	1.0197
620.	1.0088	1.0052	1.0004	0.9961	0.9914	0.9868	0.9823	0.9778	1.0196
625.	1.0085	1.0049	1.0001	0.9958	0.9911	0.9865	0.9820	0.9775	1.0195
630.	1.0082	1.0046	0.9998	0.9955	0.9908	0.9862	0.9817	0.9772	1.0194
635.	1.0078	1.0043	0.9995	0.9952	0.9905	0.9859	0.9814	0.9769	1.0193
640.	1.0075	1.0040	0.9992	0.9949	0.9902	0.9856	0.9811	0.9766	1.0192
645.	1.0072	1.0037	0.9989	0.9946	0.9899	0.9853	0.9808	0.9763	1.0191
650.	1.0068	1.0034	0.9986	0.9943	0.9896	0.9850	0.9805	0.9760	1.0190
655.	1.0065	1.0031	0.9983	0.9940	0.9893	0.9847	0.9802	0.9757	1.0189
660.	1.0062	1.0028	0.9980	0.9937	0.9890	0.9844	0.9799	0.9754	1.0188
665.	1.0058	1.0025	0.9977	0.9934	0.9887	0.9841	0.9796	0.9751	1.0187
670.	1.0055	1.0022	0.9974	0.9931	0.9884	0.9838	0.9793	0.9748	1.0186
675.	1.0052	1.0019	0.9971	0.9928	0.9881	0.9835	0.9790	0.9745	1.0185
680.	1.0048	1.0016	0.9968	0.9925	0.9878	0.9832	0.9787	0.9742	1.0184
685.	1.0045	1.0013	0.9965	0.9922	0.9875	0.9829	0.9784	0.9739	1.0183
690.	1.0042	1.0010	0.9962	0.9919	0.9872	0.9826	0.9781	0.9736	1.0182
695.	1.0038	1.0007	0.9959	0.9916	0.9869	0.9823	0.9778	0.9733	1.0181
700.	1.0035	1.0004	0.9956	0.9913	0.9866	0.9820	0.9775	0.9730	1.0180
705.	1.0032	1.0001	0.9953	0.9910	0.9863	0.9817	0.9772	0.9727	1.0179
710.	1.0028	0.9998	0.9950	0.9907	0.9860	0.9814	0.9769	0.9724	1.0178
715.	1.0025	0.9995	0.9947	0.9904	0.9857	0.9811	0.9766	0.9721	1.0177
720.	1.0022	0.9992	0.9944	0.9901	0.9854	0.9808	0.9763	0.9718	1.0176
725.	1.0018	0.9988	0.9941	0.8998	0.9851	0.9805	0.9760	0.9715	1.0175
730.	1.0015	0.9985	0.9938	0.8995	0.9848	0.9802	0.9757	0.9712	1.0174
735.	1.0012	0.9982	0.9935	0.8992	0.9845	0.9799	0.9754	0.9709	1.0173
740.	1.0008	0.9979	0.9932	0.8989	0.9842	0.9796	0.9751	0.9706	1.0172
745.	1.0005	0.9976	0.9929	0.8986	0.9839	0.9793	0.9748	0.9703	1.0171
750.	1.0002	0.9973	0.9926	0.8983	0.9836	0.9790	0.9745	0.9700	1.0170
755.	0.9998	0.9970	0.9923	0.8980	0.9833	0.9787	0.9742	0.9697	1.0169
760.	0.9995	0.9967	0.9920	0.8977	0.9830	0.9784	0.9739	0.9694	1.0168
765.	0.9992	0.9964	0.9917	0.8974	0.9827	0.9781	0.9736	0.9691	1.0167
770.	0.9988	0.9961	0.9914	0.8971	0.9824	0.9778	0.9733	0.9688	1.0166
775.	0.9985	0.9958	0.9911	0.8968	0.9821	0.9775	0.9730	0.9685	1.0165
780.	0.9982	0.9955	0.9908	0.8965	0.9818	0.9772	0.9727	0.9682	1.0164
785.	0.9978	0.9952	0.9905	0.8962	0.9815	0.9769	0.9724	0.9679	1.0163
790.	0.9975	0.9949	0.9902	0.8959	0.9812	0.9766	0.9721	0.9676	1.0162
795.	0.9972	0.9946	0.9899	0.8956	0.9809	0.9763	0.9718	0.9673	1.0161
800.	0.9968	0.9943	0.9896	0.8953	0.9806	0.9760	0.9715	0.9670	1.0160
805.	0.9965	0.9940	0.9893	0.8950	0.9803	0.9757	0.9712	0.9667	1.0159
810.	0.9962	0.9937	0.9890	0.8947	0.9800	0.9754	0.9709	0.9664	1.0158
815.	0.9958	0.9934	0.9887	0.8944	0.9797	0.9751	0.9706	0.9661	1.0157
820.	0.9955	0.9931	0.9884	0.8941	0.9794	0.9748	0.9703	0.9658	1.0156
825.	0.9952	0.9928	0.9881	0.8938	0.9791	0.9745	0.9700	0.9655	1.0155
830.	0.9948	0.9925	0.9878	0.8935	0.9788	0.9742	0.9697	0.9652	1.0154
835.	0.9945	0.9922	0.9875	0.8932	0.9785	0.9739	0.9694	0.9649	1.0153
840.	0.9942	0.9919	0.9872	0.8929	0.9782	0.9736	0.9691	0.9646	1.0152
845.	0.9938	0.9916	0.9869	0.8926	0.9779	0.9733	0.9688	0.9643	1.0151
850.	0.9935	0.9913	0.9866	0.8923	0.9776	0.9730	0.9685	0.9640	1.0150
855.	0.9932	0.9910	0.9863	0.8920	0.9773	0.9727	0.9682	0.9637	1.0149
860.	0.9928	0.9907	0.9860	0.8917	0.9770	0.9724	0.9679	0.9634	1.0148
865.	0.9925	0.9904	0.9857	0.8914	0.9767	0.9721	0.9676	0.9631	1.0147
870.	0.9922	0.9901	0.9854	0.8911	0.9764	0.9718	0.9673	0.9628	1.0146
875.	0.9918	0.9898	0.9851	0.8908	0.9761	0.9715	0.9670	0.9625	1.0145
880.	0.9915	0.9895	0.9848	0.8905	0.9758	0.9712	0.9667	0.9622	1.0144
885.	0.9912	0.9892	0.9845	0.8902	0.9755	0.9709	0.9664	0.9619	1.0143
890.	0.9908	0.9889	0.9842	0.8899	0.9752	0.9706	0.9661	0.9616	1.0

Tabla D5. Factores F_{pp} de Supercompresibilidad (continua)

Datos base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocarburo

Presión est. man. lb/pg ²	Temperatura, °F									
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
40.0	1.1126	1.1120	1.1112	1.1096	1.1070	1.1036	1.0997	1.0952	1.0903	1.0851
40.2	1.1156	1.1150	1.1094	1.1078	1.1053	1.1020	1.0981	1.0938	1.0891	1.0842
40.4	1.1186	1.1081	1.1075	1.1050	1.1025	1.1004	1.0966	1.0924	1.0878	1.0830
40.6	1.1166	1.1062	1.1056	1.1033	1.1019	1.0988	1.0951	1.0910	1.0867	1.0821
40.8	1.1046	1.1043	1.1038	1.1025	1.1002	1.0977	1.0936	1.0893	1.0850	1.0808
41.0	1.1027	1.1023	1.1019	1.1007	1.0986	1.0956	1.0921	1.0881	1.0838	1.0796
41.2	1.1007	1.1004	1.1001	1.0989	1.0969	1.0941	1.0906	1.0867	1.0824	1.0781
41.4	1.0978	1.0983	1.0982	1.0972	1.0954	1.0927	1.0892	1.0853	1.0810	1.0767
41.6	1.0959	1.0966	1.0964	1.0955	1.0936	1.0910	1.0876	1.0836	1.0793	1.0750
41.8	1.0940	1.0947	1.0946	1.0937	1.0919	1.0893	1.0861	1.0825	1.0784	1.0742
42.0	1.0920	1.0929	1.0928	1.0920	1.0903	1.0878	1.0846	1.0811	1.0771	1.0729
42.2	1.0901	1.0910	1.0911	1.0903	1.0886	1.0862	1.0831	1.0796	1.0756	1.0714
42.4	1.0882	1.0892	1.0893	1.0886	1.0870	1.0846	1.0816	1.0781	1.0741	1.0700
42.6	1.0863	1.0874	1.0875	1.0869	1.0854	1.0831	1.0802	1.0768	1.0728	1.0687
42.8	1.0845	1.0856	1.0856	1.0852	1.0837	1.0815	1.0787	1.0754	1.0714	1.0673
43.0	1.0826	1.0838	1.0838	1.0835	1.0821	1.0800	1.0773	1.0741	1.0702	1.0661
43.2	1.0807	1.0820	1.0820	1.0817	1.0804	1.0783	1.0757	1.0725	1.0686	1.0645
43.4	1.0788	1.0802	1.0802	1.0800	1.0788	1.0768	1.0743	1.0712	1.0674	1.0635
43.6	1.0769	1.0784	1.0784	1.0782	1.0771	1.0752	1.0728	1.0698	1.0660	1.0621
43.8	1.0750	1.0766	1.0766	1.0765	1.0755	1.0736	1.0713	1.0684	1.0646	1.0607
44.0	1.0731	1.0748	1.0748	1.0747	1.0738	1.0720	1.0698	1.0671	1.0634	1.0596
44.2	1.0712	1.0730	1.0730	1.0729	1.0721	1.0703	1.0682	1.0656	1.0620	1.0583
44.4	1.0693	1.0712	1.0712	1.0712	1.0704	1.0686	1.0666	1.0642	1.0607	1.0571
44.6	1.0674	1.0694	1.0694	1.0694	1.0687	1.0670	1.0650	1.0627	1.0593	1.0558
44.8	1.0655	1.0676	1.0676	1.0676	1.0670	1.0653	1.0634	1.0612	1.0579	1.0545
45.0	1.0636	1.0658	1.0658	1.0658	1.0652	1.0636	1.0617	1.0595	1.0563	1.0531
45.2	1.0617	1.0640	1.0640	1.0640	1.0634	1.0619	1.0601	1.0580	1.0549	1.0518
45.4	1.0598	1.0622	1.0622	1.0622	1.0616	1.0602	1.0584	1.0564	1.0534	1.0504
45.6	1.0579	1.0604	1.0604	1.0604	1.0600	1.0586	1.0569	1.0550	1.0521	1.0492
45.8	1.0560	1.0586	1.0586	1.0586	1.0582	1.0569	1.0553	1.0536	1.0508	1.0480
46.0	1.0541	1.0568	1.0568	1.0568	1.0564	1.0552	1.0536	1.0520	1.0494	1.0467
46.2	1.0522	1.0550	1.0550	1.0550	1.0547	1.0535	1.0520	1.0505	1.0480	1.0454
46.4	1.0503	1.0532	1.0532	1.0532	1.0529	1.0518	1.0504	1.0490	1.0466	1.0441
46.6	1.0484	1.0514	1.0514	1.0514	1.0511	1.0501	1.0487	1.0474	1.0451	1.0427
46.8	1.0465	1.0496	1.0496	1.0496	1.0493	1.0484	1.0471	1.0459	1.0437	1.0414
47.0	1.0446	1.0478	1.0478	1.0478	1.0475	1.0467	1.0455	1.0444	1.0423	1.0401
47.2	1.0427	1.0460	1.0460	1.0460	1.0457	1.0450	1.0439	1.0429	1.0409	1.0388
47.4	1.0408	1.0442	1.0442	1.0442	1.0439	1.0433	1.0423	1.0414	1.0395	1.0375
47.6	1.0389	1.0424	1.0424	1.0424	1.0421	1.0416	1.0407	1.0400	1.0381	1.0362
47.8	1.0370	1.0406	1.0406	1.0406	1.0403	1.0400	1.0391	1.0384	1.0366	1.0347
48.0	1.0351	1.0388	1.0388	1.0388	1.0385	1.0382	1.0374	1.0367	1.0350	1.0331
48.2	1.0332	1.0370	1.0370	1.0370	1.0367	1.0364	1.0357	1.0350	1.0334	1.0315
48.4	1.0313	1.0352	1.0352	1.0352	1.0349	1.0346	1.0340	1.0334	1.0318	1.0299
48.6	1.0294	1.0334	1.0334	1.0334	1.0331	1.0328	1.0323	1.0317	1.0302	1.0283
48.8	1.0275	1.0316	1.0316	1.0316	1.0313	1.0310	1.0305	1.0300	1.0285	1.0266
49.0	1.0256	1.0298	1.0298	1.0298	1.0295	1.0292	1.0287	1.0282	1.0267	1.0248
49.2	1.0237	1.0280	1.0280	1.0280	1.0277	1.0274	1.0270	1.0265	1.0250	1.0231
49.4	1.0218	1.0262	1.0262	1.0262	1.0259	1.0256	1.0252	1.0248	1.0234	1.0215
49.6	1.0200	1.0244	1.0244	1.0244	1.0241	1.0238	1.0234	1.0230	1.0216	1.0197
49.8	1.0181	1.0226	1.0226	1.0226	1.0223	1.0220	1.0217	1.0213	1.0200	1.0181
50.0	1.0162	1.0208	1.0208	1.0208	1.0205	1.0202	1.0200	1.0196	1.0183	1.0164

Tabla D5. Factores F_{pv} de Supercompresibilidad (continua)

Datos Base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocárburo

Presión est. mén. lb/pg ²	Temperatura, °F												
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	250	
4000	1.0641	1.0754	1.0784	1.0808	1.0828	1.0848	1.0859	1.0870	1.0881	1.0892	1.0903	1.0914	1.0925
4020	1.0731	1.0743	1.0751	1.0759	1.0767	1.0774	1.0781	1.0788	1.0795	1.0802	1.0809	1.0816	1.0822
4040	1.0781	1.0791	1.0794	1.0797	1.0799	1.0801	1.0803	1.0805	1.0807	1.0809	1.0811	1.0813	1.0815
4060	1.0799	1.0799	1.0799	1.0799	1.0799	1.0799	1.0799	1.0799	1.0799	1.0799	1.0799	1.0799	1.0799
4080	1.0757	1.0757	1.0757	1.0757	1.0757	1.0757	1.0757	1.0757	1.0757	1.0757	1.0757	1.0757	1.0757
4100	1.0744	1.0698	1.0653	1.0628	1.0603	1.0578	1.0553	1.0528	1.0503	1.0478	1.0453	1.0428	1.0403
4120	1.0733	1.0667	1.0612	1.0572	1.0532	1.0492	1.0452	1.0412	1.0372	1.0332	1.0292	1.0252	1.0212
4140	1.0722	1.0676	1.0632	1.0592	1.0552	1.0512	1.0472	1.0432	1.0392	1.0352	1.0312	1.0272	1.0232
4160	1.0711	1.0665	1.0621	1.0581	1.0541	1.0501	1.0461	1.0421	1.0381	1.0341	1.0301	1.0261	1.0221
4180	1.0700	1.0654	1.0610	1.0570	1.0530	1.0490	1.0450	1.0410	1.0370	1.0330	1.0290	1.0250	1.0210
4200	1.0689	1.0643	1.0600	1.0560	1.0520	1.0480	1.0440	1.0400	1.0360	1.0320	1.0280	1.0240	1.0200
4220	1.0678	1.0632	1.0589	1.0549	1.0509	1.0469	1.0429	1.0389	1.0349	1.0309	1.0269	1.0229	1.0189
4240	1.0667	1.0621	1.0578	1.0538	1.0498	1.0458	1.0418	1.0378	1.0338	1.0298	1.0258	1.0218	1.0178
4260	1.0656	1.0610	1.0567	1.0527	1.0487	1.0447	1.0407	1.0367	1.0327	1.0287	1.0247	1.0207	1.0167
4280	1.0645	1.0599	1.0556	1.0516	1.0476	1.0436	1.0396	1.0356	1.0316	1.0276	1.0236	1.0196	1.0156
4300	1.0634	1.0588	1.0545	1.0505	1.0465	1.0425	1.0385	1.0345	1.0305	1.0265	1.0225	1.0185	1.0145
4320	1.0623	1.0577	1.0534	1.0494	1.0454	1.0414	1.0374	1.0334	1.0294	1.0254	1.0214	1.0174	1.0134
4340	1.0612	1.0566	1.0523	1.0483	1.0443	1.0403	1.0363	1.0323	1.0283	1.0243	1.0203	1.0163	1.0123
4360	1.0601	1.0555	1.0512	1.0472	1.0432	1.0392	1.0352	1.0312	1.0272	1.0232	1.0192	1.0152	1.0112
4380	1.0590	1.0544	1.0501	1.0461	1.0421	1.0381	1.0341	1.0301	1.0261	1.0221	1.0181	1.0141	1.0101
4400	1.0579	1.0533	1.0490	1.0450	1.0410	1.0370	1.0330	1.0290	1.0250	1.0210	1.0170	1.0130	1.0090
4420	1.0568	1.0522	1.0479	1.0439	1.0399	1.0359	1.0319	1.0279	1.0239	1.0199	1.0159	1.0119	1.0079
4440	1.0557	1.0511	1.0468	1.0428	1.0388	1.0348	1.0308	1.0268	1.0228	1.0188	1.0148	1.0108	1.0068
4460	1.0546	1.0500	1.0457	1.0417	1.0377	1.0337	1.0297	1.0257	1.0217	1.0177	1.0137	1.0097	1.0057
4480	1.0535	1.0489	1.0446	1.0406	1.0366	1.0326	1.0286	1.0246	1.0206	1.0166	1.0126	1.0086	1.0046
4500	1.0524	1.0478	1.0435	1.0395	1.0355	1.0315	1.0275	1.0235	1.0195	1.0155	1.0115	1.0075	1.0035
4520	1.0513	1.0467	1.0424	1.0384	1.0344	1.0304	1.0264	1.0224	1.0184	1.0144	1.0104	1.0064	1.0024
4540	1.0502	1.0456	1.0413	1.0373	1.0333	1.0293	1.0253	1.0213	1.0173	1.0133	1.0093	1.0053	1.0013
4560	1.0491	1.0445	1.0402	1.0362	1.0322	1.0282	1.0242	1.0202	1.0162	1.0122	1.0082	1.0042	1.0002
4580	1.0480	1.0434	1.0391	1.0351	1.0311	1.0271	1.0231	1.0191	1.0151	1.0111	1.0071	1.0031	9991
4600	1.0469	1.0423	1.0380	1.0340	1.0300	1.0260	1.0220	1.0180	1.0140	1.0100	1.0060	1.0020	9980
4620	1.0458	1.0412	1.0369	1.0329	1.0289	1.0249	1.0209	1.0169	1.0129	1.0089	1.0049	1.0009	9969
4640	1.0447	1.0401	1.0358	1.0318	1.0278	1.0238	1.0198	1.0158	1.0118	1.0078	1.0038	9998	9958
4660	1.0436	1.0390	1.0347	1.0307	1.0267	1.0227	1.0187	1.0147	1.0107	1.0067	1.0027	9987	9947
4680	1.0425	1.0379	1.0336	1.0296	1.0256	1.0216	1.0176	1.0136	1.0096	1.0056	1.0016	9976	9936
4700	1.0414	1.0368	1.0325	1.0285	1.0245	1.0205	1.0165	1.0125	1.0085	1.0045	1.0005	9965	9925
4720	1.0403	1.0357	1.0314	1.0274	1.0234	1.0194	1.0154	1.0114	1.0074	1.0034	9994	9954	9914
4740	1.0392	1.0346	1.0303	1.0263	1.0223	1.0183	1.0143	1.0103	1.0063	1.0023	9983	9943	9903
4760	1.0381	1.0335	1.0292	1.0252	1.0212	1.0172	1.0132	1.0092	1.0052	1.0012	9972	9932	9892
4780	1.0370	1.0324	1.0281	1.0241	1.0201	1.0161	1.0121	1.0081	1.0041	1.0001	9961	9921	9881
4800	1.0359	1.0313	1.0270	1.0230	1.0190	1.0150	1.0110	1.0070	1.0030	9990	9950	9910	9870
4820	1.0348	1.0302	1.0259	1.0219	1.0179	1.0139	1.0099	1.0059	1.0019	9979	9939	9899	9859
4840	1.0337	1.0291	1.0248	1.0208	1.0168	1.0128	1.0088	1.0048	1.0008	9968	9928	9888	9848
4860	1.0326	1.0280	1.0237	1.0197	1.0157	1.0117	1.0077	1.0037	9997	9957	9917	9877	9837
4880	1.0315	1.0269	1.0226	1.0186	1.0146	1.0106	1.0066	1.0026	9986	9946	9906	9866	9826
4900	1.0304	1.0258	1.0215	1.0175	1.0135	1.0095	1.0055	1.0015	9975	9935	9895	9855	9815
4920	1.0293	1.0247	1.0204	1.0164	1.0124	1.0084	1.0044	1.0004	9964	9924	9884	9844	9804
4940	1.0282	1.0236	1.0193	1.0153	1.0113	1.0073	1.0033	9993	9953	9913	9873	9833	9793
4960	1.0271	1.0225	1.0182	1.0142	1.0102	1.0062	1.0022	9982	9942	9902	9862	9822	9782
4980	1.0260	1.0214	1.0171	1.0131	1.0091	1.0051	1.0011	9971	9931	9891	9851	9811	9771
5000	1.0249	1.0203	1.0160	1.0120	1.0080	1.0040	1.0000	9960	9920	9880	9840	9800	9760

Tabla D5. Factores F_{pv} de Supercompresibilidad (continua)

Datos Base: densidad relativa de 0.6 para gas hidrocarburo

Presión est. man. lb/pg ²	Temperatura, °F								
	160	170	175	180	200	210	220	230	240
4000	1.0328	1.0287	1.0248	1.0212	1.0178	1.0147	1.0116	1.0087	1.0061
4050	1.0322	1.0282	1.0243	1.0207	1.0173	1.0141	1.0111	1.0082	1.0057
4100	1.0316	1.0276	1.0237	1.0201	1.0168	1.0135	1.0105	1.0077	1.0052
4150	1.0310	1.0270	1.0232	1.0196	1.0163	1.0131	1.0101	1.0073	1.0048
4200	1.0304	1.0264	1.0226	1.0191	1.0157	1.0125	1.0095	1.0067	1.0042
4160	1.0298	1.0258	1.0221	1.0185	1.0152	1.0121	1.0090	1.0062	1.0037
4120	1.0291	1.0252	1.0215	1.0179	1.0147	1.0114	1.0084	1.0056	1.0031
4180	1.0285	1.0245	1.0209	1.0173	1.0141	1.0109	1.0079	1.0051	1.0026
4140	1.0279	1.0239	1.0203	1.0167	1.0135	1.0103	1.0073	1.0045	1.0020
4100	1.0273	1.0233	1.0197	1.0161	1.0129	1.0097	1.0067	1.0039	1.0014
4260	1.0266	1.0228	1.0192	1.0157	1.0125	1.0093	1.0063	1.0035	1.0010
4220	1.0260	1.0222	1.0186	1.0151	1.0119	1.0087	1.0057	1.0029	1.0004
4280	1.0253	1.0216	1.0180	1.0145	1.0113	1.0081	1.0051	1.0023	1.0000
4240	1.0247	1.0210	1.0174	1.0139	1.0107	1.0075	1.0045	1.0017	1.0000
4300	1.0241	1.0204	1.0168	1.0133	1.0101	1.0069	1.0039	1.0011	1.0000
4360	1.0234	1.0198	1.0162	1.0127	1.0095	1.0063	1.0033	1.0005	1.0000
4320	1.0228	1.0191	1.0156	1.0121	1.0089	1.0057	1.0027	1.0000	1.0000
4380	1.0221	1.0185	1.0150	1.0115	1.0083	1.0051	1.0021	1.0000	1.0000
4340	1.0214	1.0179	1.0144	1.0111	1.0079	1.0047	1.0017	1.0000	1.0000
4400	1.0207	1.0172	1.0137	1.0105	1.0073	1.0041	1.0011	1.0000	1.0000
4460	1.0201	1.0166	1.0132	1.0099	1.0067	1.0035	1.0005	1.0000	1.0000
4420	1.0194	1.0159	1.0125	1.0093	1.0062	1.0031	1.0001	1.0000	1.0000
4480	1.0187	1.0153	1.0119	1.0087	1.0057	1.0025	1.0000	1.0000	1.0000
4540	1.0180	1.0146	1.0113	1.0081	1.0051	1.0021	1.0000	1.0000	1.0000
4500	1.0174	1.0140	1.0107	1.0075	1.0045	1.0016	1.0000	1.0000	1.0000
4560	1.0167	1.0133	1.0101	1.0069	1.0039	1.0010	1.0000	1.0000	1.0000
4520	1.0160	1.0127	1.0095	1.0064	1.0035	1.0005	1.0000	1.0000	1.0000
4580	1.0153	1.0120	1.0088	1.0057	1.0028	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4640	1.0146	1.0114	1.0082	1.0051	1.0022	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4600	1.0139	1.0107	1.0076	1.0045	1.0016	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4660	1.0132	1.0100	1.0069	1.0039	1.0010	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4620	1.0125	1.0094	1.0063	1.0033	1.0004	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4680	1.0119	1.0087	1.0057	1.0027	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4740	1.0112	1.0081	1.0050	1.0021	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4700	1.0105	1.0074	1.0044	1.0015	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4760	1.0097	1.0067	1.0037	1.0008	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4720	1.0090	1.0060	1.0031	1.0002	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4780	1.0082	1.0053	1.0024	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4740	1.0076	1.0046	1.0018	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4800	1.0069	1.0039	1.0011	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4860	1.0061	1.0033	1.0005	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4820	1.0054	1.0026	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4880	1.0047	1.0019	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4840	1.0040	1.0012	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4900	1.0033	1.0005	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4960	1.0025	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4920	1.0018	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4980	1.0011	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5040	1.0003	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Tabla D6. Factores F_{hg} de Manómetro de Mercurio

Densidad Relativa Real	Temperatura Ambiente, °F	Presión Estática, libras por pulgada-cuadrada man.						
		0	500	1000	1500	2000	2500	3000
0.950	0	1.0000	1.0017	1.0036	0.9990	0.9973	0.9950	0.9931
0.950	0	1.0000	1.0018	1.0032	0.9992	0.9982	0.9950	0.9930
0.950	0	1.0000	1.0017	1.0037	0.9971	0.9953	0.9938	0.9920
0.950	0	1.0000	1.0015	0.9991	0.9997	0.9977	0.9956	0.9920
0.950	0	1.0000	1.0014	0.9964	0.9950	0.9923	0.9913	0.9910
0.950	20	1.0020	1.0010	0.9997	0.9983	0.9969	0.9956	0.9942
0.950	20	1.0020	1.0009	0.9994	0.9972	0.9959	0.9946	0.9932
0.950	20	1.0020	1.0018	0.9993	0.9968	0.9959	0.9949	0.9935
0.950	20	1.0020	1.0017	0.9994	0.9989	0.9976	0.9964	0.9951
0.950	20	1.0020	1.0015	0.9990	0.9984	0.9974	0.9964	0.9952
0.950	40	1.0010	1.0009	0.9999	0.9987	0.9984	0.9982	0.9982
0.950	40	1.0010	0.9998	0.9994	0.9972	0.9954	0.9943	0.9933
0.950	40	1.0010	0.9998	0.9993	0.9985	0.9987	0.9983	0.9983
0.950	40	1.0010	0.9997	0.9990	0.9987	0.9986	0.9982	0.9981
0.950	40	1.0010	0.9996	0.9975	0.9947	0.9925	0.9912	0.9900
0.950	60	1.0000	0.9991	0.9982	0.9983	0.9987	0.9986	0.9986
0.950	60	1.0000	0.9989	0.9978	0.9981	0.9981	0.9984	0.9982
0.950	60	1.0000	0.9989	0.9975	0.9979	0.9983	0.9982	0.9982
0.950	60	1.0000	0.9988	0.9972	0.9983	0.9983	0.9983	0.9983
0.950	60	1.0000	0.9987	0.9981	0.9981	0.9981	0.9981	0.9981
0.950	80	0.9990	0.9981	0.9971	0.9971	0.9980	0.9980	0.9981
0.950	80	0.9990	0.9980	0.9970	0.9972	0.9980	0.9981	0.9982
0.950	80	0.9990	0.9980	0.9967	0.9975	0.9980	0.9980	0.9981
0.950	80	0.9990	0.9978	0.9964	0.9968	0.9980	0.9980	0.9981
0.950	80	0.9990	0.9977	0.9960	0.9961	0.9981	0.9980	0.9980
0.950	100	0.9980	0.9972	0.9962	0.9963	0.9983	0.9983	0.9983
0.950	100	0.9980	0.9971	0.9960	0.9960	0.9983	0.9983	0.9983
0.950	100	0.9980	0.9970	0.9958	0.9958	0.9983	0.9983	0.9983
0.950	100	0.9980	0.9969	0.9956	0.9941	0.9925	0.9912	0.9900
0.950	100	0.9980	0.9968	0.9953	0.9935	0.9917	0.9903	0.9892
0.950	120	0.9970	0.9962	0.9950	0.9951	0.9984	0.9980	0.9981
0.950	120	0.9970	0.9961	0.9951	0.9951	0.9980	0.9970	0.9981
0.950	120	0.9970	0.9960	0.9949	0.9947	0.9925	0.9914	0.9904
0.950	120	0.9970	0.9959	0.9949	0.9948	0.9920	0.9907	0.9896
0.950	120	0.9970	0.9958	0.9945	0.9929	0.9913	0.9899	0.9888

Nota : Esta tabla se utiliza con registradores de presión diferencial con mercurio, el cual se encuentre en contacto con gas.

Tabla D7. Factores F_{wl} y F_{pwl} de Corrección Gravitacional Local

Latitud en Grados	Nivel del Mar	Elevación del Registrador Sobre el Nivel del Mar, pie				
		2000	4000	6000	8000	10000
0	0.9947	0.9986	0.9983	0.9984	0.9983	0.9982
5	0.9987	0.9986	0.9983	0.9984	0.9983	0.9982
10	0.9988	0.9987	0.9985	0.9983	0.9983	0.9983
15	0.9989	0.9988	0.9987	0.9985	0.9985	0.9985
20	0.9990	0.9989	0.9988	0.9987	0.9986	0.9986
25	0.9991	0.9990	0.9989	0.9988	0.9987	0.9986
30	0.9992	0.9992	0.9991	0.9990	0.9989	0.9988
35	0.9993	0.9994	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990
40	0.9994	0.9997	0.9996	0.9995	0.9994	0.9993
45	1.0000	0.9999	0.9998	0.9997	0.9996	0.9995
50	1.0005	1.0001	1.0000	0.9999	0.9998	0.9997
55	1.0004	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999
60	1.0007	1.0006	1.0005	1.0004	1.0003	1.0002
65	1.0008	1.0007	1.0006	1.0005	1.0004	1.0003
70	1.0010	1.0009	1.0008	1.0007	1.0006	1.0005
75	1.0011	1.0010	1.0009	1.0008	1.0007	1.0006
80	1.0012	1.0011	1.0010	1.0009	1.0008	1.0007
85	1.0013	1.0012	1.0011	1.0010	1.0009	1.0008
90	1.0013	1.0012	1.0011	1.0010	1.0009	1.0008

Nota: La latitud de cero grados es el ecuador; la latitud de noventa grados es el polo. Ver E.5 y E.7 para el uso apropiado de la Tabla D7.

Tabla D8. Valores de K Para la Determinación de R_d , para el Cálculo de F_r

beta	K (br (da))	K (tuberfa)
0.106	0.604	0.607
0.125	0.604	0.608
0.150	0.601	0.611
0.175	0.591	0.614
0.200	0.574	0.618
0.225	0.559	0.623
0.250	0.545	0.628
0.275	0.532	0.634
0.300	0.520	0.641
0.325	0.507	0.650
0.350	0.497	0.658
0.375	0.487	0.668
0.400	0.478	0.679
0.425	0.471	0.692
0.450	0.464	0.707
0.475	0.458	0.724
0.500	0.454	0.742
0.525	0.450	0.763
0.550	0.446	0.785
0.575	0.443	0.810
0.600	0.441	0.837
0.625	0.438	0.869
0.650	0.436	0.904
0.675	0.435	0.943
0.700	0.435	0.988
0.725	0.436	
0.750	0.438	

Nota: Para la determinación de R_d , el valor de K para tomas en brida se aproxima con la ecuación:

$$K = \frac{0.604}{(1 - \beta^4)^{0.5}}$$

Para tomas en tuberfa, deben utilizarse los valores de esta tabla.

A P E N D I C E E

AJUSTES PARA LA CALIBRACION Y USO DE INSTRUMENTOS

E.1 Extensión

Este apéndice proporciona procedimientos para el ajuste y corrección de medidores de campo, prácticas de calibración y correcciones del medidor de orificio cuando sea apropiado hacerlas. La decisión de utilizar una parte de este apéndice debe estar basada en si las definiciones y especificaciones de este manual se han seguido completa y precisamente o no.

E.2 Generalidades

Las prácticas de campo para las calibraciones secundarias de instrumentos y aplicaciones de calibración estándar también influyen en la precisión de la medición del flujo.

Las calibraciones estándar para los registradores de presión diferencial y de presión estática son frecuentemente utilizadas en el campo sin ninguna corrección o ajuste por fuerza gravitacional local de los valores indicados por los patrones de calibración. Por ejemplo, es muy común utilizar manómetros de columna de agua para calibrar los registradores de presión diferencial sin hacer correcciones de campo a las lecturas del manómetro para los cambios en la densidad del agua. Las lecturas del manómetro están afectadas por los efectos gravitacionales locales, temperatura del agua y por el uso de agua no destilada. Los dispositivos de presión que utilizan pesos son empleados para la calibración de los registradores de presión diferencial sin corrección por fuerza gravitacional local. Similarmente, se utilizan probadores de peso muerto para calibrar equipo de medición de presión estática sin corrección por fuerza gravitacional local. Generalmente es más conveniente y preciso incorporar estos ajustes en la metodología del cálculo del gasto que hacer a la persona que calibra los instrumentos aplicar estas pequeñas correcciones durante los procedimientos de calibración. Por lo tanto, se agregan factores adicionales (cocientes) a la ecuación de flujo con el propósito de incluir las correcciones estándar de calibración apropiadas en el cálculo del flujo por el procedimiento de cálculo en la oficina o por el técnico de medición, como se desee.

Se proporcionan siete factores (cocientes) los cuales pueden utilizarse individualmente o en combinación como multiplicadores para cualquiera de las ecuaciones de gasto. Estos factores son:

F_a = factor de expansión térmica del orificio.

F_{am} = corrección por la columna de aire sobre el agua en manómetros de agua durante la calibración del registrador de presión diferencial.

F_{w1} = corrección gravitacional local para ajustar al estándar de calibración de columna de agua.

F_{wt} = corrección por densidad del agua (temperatura o composición) para ajustar al estándar de calibración de columna de agua.

F_{wpl} = corrección gravitacional local para ajustar al estándar de presión estática del probador de peso muerto.

F_{hgm} = factor del manómetro. corrección debida a la columna de gas en manómetros de mercurio.

F_{hgt} = factor de temperatura del manómetro de mercurio (corrección por expansión debida al cambio de temperatura del instrumento después de la calibración).

Al incluir estos factores en la Ec. 68 se tiene:

$$Q_v = C \cdot F_a \cdot F_{am} \cdot F_{w1} \cdot F_{wt} \cdot F_{pwl} \cdot F_{hgm} \cdot F_{hgt} \cdot (h_w \cdot P_f)^{0.5} \quad (E1)$$

E.3 Factor de Expansión Térmica del Orificio

El factor de expansión térmica del orificio, F_a , se introduce para corregir el error que resulta de la expansión o contracción de la placa de orificio operando a una temperatura apreciablemente distinta a la temperatura a la cual se midió el orificio. Para temperaturas de operación entre -200°F y $+340^\circ\text{F}$ (260°R a 800°R), el factor puede calcularse con la siguiente ecuación:

para acero inoxidable tipo 304 y 306:

$$F_a = 1 + (0.0000185 (T_f - T_{med})) \quad (E2)$$

para acero monel:

$$F_a = 1 + (0.0000159 (T_f - T_{med})) \quad (E3)$$

Donde:

T_{med} = la temperatura en grados Rankine de la placa de orificio cuando éste se midió.

Estas ecuaciones están deducidas a partir de los datos graficados por la ASME en la página 47 en PTC 19.5; 4-1959, "Flow Measurement." suponiendo una relación lineal sobre la temperatura de expansión de -100°F a $+300^{\circ}\text{F}$.

Debe utilizarse el diámetro realmente medido del orificio, no un diámetro nominal que iguale las tolerancias de la Tabla 1, cuando se aplique el factor -- por expansión del orificio. El dispositivo medidor (micrómetro o equivalente) puede requerir también una corrección por temperatura si su temperatura en el momento de efectuar la medición es significativamente distinta a su temperatura de calibración.

E.4 Factor de Corrección de Manómetro de Agua Utilizado Para la Calibración - Registradores de Presión Diferencial

El factor F_{am} corrige el error introducido por la columna de gas cuando se utiliza un manómetro de agua de calibración estándar para calibrar un registrador de presión diferencial. Se utiliza aire de la atmósfera para presurizar el registrador de presión diferencial y el manómetro en U de agua de calibración durante los trabajos de calibración. Si se calcula la densidad del aire a presión atmosférica y 60 grados Fahrenheit utilizando la Ec. 39:

$$\rho_{atm} = \frac{28.9625 (1) (P_{atm})}{(1545.337/144) (0.99949) (516.67)} = \frac{P_{atm}}{192.4} \quad (E4)$$

Donde:

ρ_{atm} = densidad real del aire de la atmósfera.

P_{atm} = presión atmosférica local en libras por pulgada cuadrada absoluta.

La presión atmosférica local puede calcularse utilizando una ecuación publicada en las "Smithsonian Meteorological Tables":

$$P_{atm} = \frac{55096 - (\text{Elevación (pie)} - 361)}{55096 + (\text{Elevación (pie)} - 361)} \quad (14.54) \quad (E5)$$

Entonces la densidad real del aire a cualquier presión h_w arriba de la presión atmosférica puede representarse por:

$$\rho_a = \frac{P_{atm} + \frac{h_w}{27.707}}{192.4} \quad (E6)$$

y:

$$F_{am} = \left(\frac{\rho_w - \rho_a}{\rho_w} \right) 0.5 \quad (E7)$$

$$F_{am} = \left[\frac{62.3663 - \frac{P_{atm} + \frac{h_w}{27.707}}{192.4}}{62.3663} \right] 0.5 \quad (E8)$$

Para $P_{atm} = 14.73$ y $h_w = 100$

$$F_{am} = 0.99924$$

E.5 Factor de Corrección Gravitacional Local Para Manómetros en U

El factor F_{wl} se utiliza para corregir el error debido al efecto de la gravedad local en los fluidos del manómetro. El peso local del fluido del manómetro en un manómetro en U varía proporcionalmente con la fuerza gravitacional de la localización. El efecto sobre el gasto del medidor de orificio y la cantidad de flujo es la raíz cuadrada del cociente de la fuerza gravitacional local y la fuerza gravitacional estándar utilizada en la deducción de las ecuaciones. Esta relación se expresa como:

$$F_{wl} = \left(\frac{P_g}{32.17405} \right)^{0.5} \quad (E9)$$

Donde:

g = aceleración local debida a la gravedad, pie por segundo cuadrado.

La fuerza ejercida por los pesos en un calibrador de peso para la presión diferencial también varía proporcionalmente con la fuerza gravitacional local. La Ec. E13 puede utilizarse para esta corrección debido a que esta unidad tiene un funcionamiento similar al calibrador de peso muerto.

Cuando se utiliza un calibrador de peso muerto para calibrar la presión diferencial y un probador de peso muerto para calibrar la presión estática, ambos deberán corregirse por gravedad local. Esto involucra el uso de la Ec. E13 dos veces. Los valores prácticos de g pueden obtenerse por medio de la siguiente ecuación en latitudes entre 30 ° y 60 °:

$$g = 0.032808 ((980.665) + (0.087 (L - 45)) - 0.000094 H) \quad (E10)$$

Puede utilizarse también una ecuación ajustada a una curva cubriendo latitudes de 0° a 90°:

$$g = 0.032808 (978.01855 - 0.0028247 L + 0.002029 L^2 - 0.000015058 L^3 - 0.000094 H) \quad (E11)$$

Donde:

L = latitud en grados.

H = elevación en pies sobre el nivel del mar.

En la Tabla D7 se muestran datos tabulados para el factor gravitacional de la localización. Si es necesario pueden hacerse interpolaciones entre los valores dados.

E.6 Factor de Corrección por Temperatura en Manómetros de Agua

El factor F_{wt} se utiliza para corregir el error provocado por las variaciones en la densidad del agua utilizada para la calibración, debido a la temperatura u otras razones. La densidad del agua en el manómetro de calibración varía con su temperatura, lo que resulta en variaciones en la altura de la columna de agua

para la misma presión de calibración. Cuando la columna de agua utilizada para la calibración de un registrador de presión diferencial no está a 60 °F ni tiene una densidad de 62.3663 libras por pie cúbico (pesada en el vacío) la corrección F_{wt} deberá incluirse en el cálculo de la medición de flujo.

Este factor de corrección puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$F_{wt} = \left(\frac{\rho_w}{62.3663} \right)^{0.5} \quad (E12)$$

Donde:

ρ_w = densidad del agua en el manómetro U de calibración en libras por pie cúbico. El efecto del aire de la atmósfera está excluido (generalmente la densidad se define como el peso en el vacío de la muestra de fluido a la presión y temperatura existentes en el manómetro U durante la calibración del registrador).

E.7 Factor de Corrección Gravitacional Local por Estándar de Peso Utilizado Para la Calibración de Registradores de Presión Diferencial y Estática

El factor F_{pwl} se utiliza para corregir por el efecto de la gravedad local sobre los pesos del calibrador de peso muerto. Los pesos del calibrador pueden ajustarse para utilizarse a la fuerza gravitacional estándar o a alguna otra fuerza gravitacional especificada.

La fuerza ejercida por los pesos en un calibrador de peso muerto para la presión estática también varía proporcionalmente con la fuerza gravitacional de la localización. Para esta corrección se utiliza la Ec. E13:

$$F_{pwl} = \left(\frac{g}{g_0} \right)^{0.5} \quad (E13)$$

Donde:

g = aceleración debida a la fuerza gravitacional local.

g_0 = aceleración de la gravedad utilizada para calibrar los pesos o el probador de peso muerto.

Cuando un calibrador de peso se utiliza para calibrar la presión diferencial y un probador de peso muerto para calibrar la presión estática, ambos deben corregirse por gravedad local. Esto involucra el uso de la Ec. E13 dos veces.

NOTA: Cuando se utilice un calibrador de peso muerto para calibrar la presión diferencial, la "pulgada de agua" debe ser como la definida en 4.2.2.

E.8 Corrección por Columna de Gas en Registradores de Presión con Mercurio

El factor F_{hgm} corrige el error introducido por la columna de gas o vapor de fluido a la presión estática P_{fl} y la temperatura del manómetro o del registrador. Los manómetros en U de mercurio y los registradores de presión con mercurio -- frecuentemente se utilizan para medir h_w . El factor F_{hgm} del manómetro se incluye en la ecuación de flujo para corregir por el efecto de la columna de gas sobre el mercurio durante la medición de flujo. Este factor aumenta para altas presiones estáticas y para fluidos de alta densidad. Las correcciones por una columna de líquido sobre el mercurio pueden hacer se también si la densidad del líquido sobre el mercurio se sustituye por ρ_g en la Ec. E14:

$$F_{hgm} = \left(\frac{\rho_{hg} - \rho_g}{\rho_{hg}} \right)^{0.5} \quad (E14)$$

Donde:

ρ_{hg} = densidad del mercurio en el registrador de presión diferencial, en libras por pie cúbico. El efecto del aire de la atmósfera se excluye (generalmente la densidad se define como el peso en el vacío de la muestra de mercurio a la presión y a la temperatura base definidas para la medición de flujo).

ρ_g = densidad real del gas o vapor en el registrador de presión diferencial, en libras por pie cúbico. El efecto del aire de la atmósfera se excluye (generalmente la densidad se define como el peso en el vacío de la muestra de fluido a la presión de flujo existente en el medidor de orificio durante la medición del flujo y a la temperatura existente en el registrador de presión diferencial durante la medición del flujo).

La densidad del mercurio a temperatura ambiente T_a , en grados Rankine, pu

de calcularse de la ecuación:

$$P_{hg} = 846.324 (1 - 0.000101 (T_a - 519.67)) \quad (E15)$$

En la Tabla D6 se muestran los datos tabulados para el factor del manómetro.

Si el registrador de presión con mercurio se calibró utilizando un calibrador de columna de agua o un calibrador de peso tendrán que utilizarse también los factores F_{wl} de localización y F_{wt} de temperatura para el registrador con mercurio. Para estas correcciones se utilizan las Ecs. E9 y E10.

2.3 Factor de Temperatura del Manómetro de Mercurio

El factor F_{hgt} corrige el error debido al cambio en la densidad del mercurio en el manómetro de mercurio cuando la temperatura de éste es distinta a su temperatura original de calibración. El factor de temperatura del manómetro de mercurio es aplicable a los registradores de presión diferencial con mercurio, los cuales no tienen compensación por temperatura interna. El factor de temperatura del manómetro de mercurio se introduce para corregir el error en la indicación de la presión diferencial provocado por un cambio en la temperatura del mercurio y el cambio asociado en la densidad de éste después de la calibración del registrador de presión diferencial. Este factor se define por la ecuación:

$$F_{hgt} = \left(\frac{P_{hgo}}{P_{hgc}} \right)^{0.5} \quad (E16)$$

Donde:

P_{hgo} = densidad del mercurio en el registrador de presión diferencial, en libras por pie cúbico a las condiciones de operación del manómetro de mercurio. Se excluye el efecto del aire de la atmósfera (generalmente la densidad se define como el peso en el vacío de la muestra de mercurio a la presión de medición de flujo y a la temperatura del manómetro del registrador).

P_{hgc} = densidad del mercurio en el registrador de presión diferencial, en libras por pie cúbico en el momento de su calibración. Se excluye el efecto del aire de la atmósfera (generalmente la densidad se define como el peso en el vacío de la muestra de mercurio a la presión de una atmósfera y a la temperatura del manómetro de mercurio del registrador).

Este factor tendrá un valor de 1 en el momento de la calibración del manómetro de mercurio a una presión diferencial estándar. Si el estándar de calibración no se corrige como parte de la calibración del registrador de presión diferencial con mercurio, entonces deberán aplicarse los factores de corrección de calibración apropiados proporcionados en este apéndice. El factor de temperatura del manómetro de mercurio se aplica sólo a registradores de presión diferencial con manómetro de mercurio sin compensación por temperatura interna cuando se utilicen a temperaturas de operación diferentes de la temperatura de calibración.

E.10 Ecuación Completa de Flujo Volumétrico con Todas las Correcciones

Todos los factores de flujo pertinentes al flujo de gas y definidos en este manual están incluidos en la Ec. E1. Algunos no son aplicables a todos los sistemas de medición y, por lo tanto, pueden considerarse igual a 1 o ignorarse, como se prefiera. Para otras aplicaciones, particularmente aquellas que involucran la medición del gasto másico, los factores específicos pueden incluirse en la ecuación seleccionada como sea apropiado al sistema, la calibración de los instrumentos y procedimientos particulares de operación.

$$Q_v = C' F_a F_{am} F_{wl} F_{wt} F_{pwl} F_{hgm} F_{hgt} (h_w P_f)^{0.5} \quad (E1)$$

Donde:

Q_v = gasto en pie cúbico por hora a condiciones base.

C' = constante de flujo del orificio.

F_{am} = corrección por aire sobre el agua en el manómetro de agua durante la calibración del registrador de presión diferencial.

F_a = factor por expansión térmica del orificio.

F_{wl} = corrección gravitacional local para ajustar al estándar de calibración de columna de agua.

F_{wt} = corrección por densidad del agua (temperatura) para ajustar al estándar de calibración de columna de agua.

F_{pwl} = corrección gravitacional local para ajustar al estándar de presión estática del probador de peso muerto.

F_{hgm} = corrección por columna de gas en registradores de presión con mercurio.

F_{hgt} = factor por temperatura del manómetro de mercurio (corrección por -- expansión debida al cambio en la temperatura del registrador de -- presión diferencial después de la calibración).

h_w = presión diferencial en pulgadas de agua a 60 °F.

P_f = presión estática absoluta en libras por pulgada cuadrada absoluta; u tilizar el subíndice 1 cuando la presión estática absoluta sea medida en la toma corriente arriba o el subíndice 2 cuando la presión -- estática absoluta sea medida en la toma corriente abajo.

NOTA: Cuando se utilice un calibrador de peso muerto para calibrar la presión diferencial y un probador de peso muerto para calibrar la presión estática, ambos deben corregirse por gravedad local. Esto involucra el uso de F_{pw1} dos veces. (Ver E.7)

E.11 Errores Constantes y Variables en la Medición

La medición de flujo frecuentemente se utiliza sólo como una base para control. Como regla general, las instalaciones de medición con mayor precisión -- proporcionarán un control más preciso. Sin embargo, en la mayoría de los casos, se puede esperar un control más satisfactorio en tanto los errores permanezcan constantes.

E.11.1 Errores Constantes

- a) Información incorrecta sobre el diámetro del orificio de la placa.
- b) Contorno de la placa de orificio (convexo o cóncavo).
- c) Los bordes del orificio están redondeados.
- d) El espesor del borde del orificio.
- e) Excentricidad del orificio en relación a la tubería.
- f) Información incorrecta del diámetro de la tubería.
- g) Espacio excesivo entre el extremo de la tubería y la cara de la placa de orificio.
- h) Rugosidad excesiva de la tubería.

E.11.2 Errores Variables

- a) Disturbios en el flujo provocados por una longitud insuficiente del tubo de medición o irregularidades en la tubería, soldadura, etc.
- b) Localización incorrecta de las tomas de presión en relación a la placa de orificio.
- c) Flujo en pulsos.
- d) Acumulación progresiva de sólidos, suciedad y sedimentos en la parte corriente arriba de la placa de orificio.
- e) Operación inadecuada de la válvula de retención.
- f) Acumulación de líquidos en el tubo de medición.
- g) Acumulación de líquidos en el fondo de un tubo horizontal.
- h) Cambios en las condiciones de operación a los utilizados en el cálculo del coeficiente (densidad relativa, presión atmosférica, temperatura, etc.).
- i) Ajuste incorrecto a cero del registrador de presión.
- j) Calibración no uniforme de las características del registrador de presión diferencial.
- k) Corrosión o depósitos en el tubo de medición o cámara de flotación.
- l) Emulsificación de líquidos con el mercurio.
- m) Mercurio sucio.
- n) Arco incorrecto de las plumillas del registrador de presión diferencial.
- o) Formación de hidratos en el tubo de medición.
- p) Fugas alrededor de la placa de orificio.
- q) Rango incorrecto de la gráfica.
- r) Tiempo incorrecto de rotación de la máquina.
- s) Fricción excesiva en el prensaestopas del registrador.
- t) Registrador no nivelado (para tipo mercurio solamente).

- u) Fricción excesiva entre la plumilla y la gráfica.
- v) Sobreamortiguamiento de la respuesta del registrador.

E.12 Ejemplo

Si el registrador de flujo del ejemplo 4.16 es de fuelles y la presión diferencial se calibró con un calibrador de pesos certificado con una constante gravitacional de 9.80 m/s^2 y la presión estática con un calibrador de peso muerto certificado con una constante gravitacional de 9.805 m/s^2 , calcular las correcciones debidas y el gasto.

Las correcciones se calculan con la Ec. E13:

$$F_{pwl} = \left(\frac{g}{g_o} \right)^{0.5} \quad (\text{E13})$$

en donde el valor de g se calcula con la Ec. E11:

$$g = 0.032808 (978.01855 - 0.0028247 (19.26) + 0.002029 (19.26)^2 - 0.000015058 (19.26)^3 - 0.000094 (7349))$$

$$g = 32.08354725 \text{ pie/s}^2$$

$$g = (32.08354725)(0.3048) = 9.7780 \text{ m/s}^2$$

Para la presión diferencial:

$$F_{pwl} = \left(\frac{9.778}{9.80} \right)^{0.5} = 0.9989$$

Para la presión estática:

$$F_{pwl} = \left(\frac{9.778}{9.805} \right)^{0.5} = 0.9987$$

El gasto corregido será:

$$Q_v = 135824 (0.9989)(0.9987)$$

$$\underline{Q_v = 135498 \text{ pie}^3/\text{hora}} \text{ a condiciones base.}$$

BIBLIOGRAFIA

1. ANSI/API 2530-1985, Report No. 3, API 2530, GPA 6185-85, "Orifice Me-
tering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids", second edi-
tion, september 1985.
2. Ikoku, Chi U., "Natural Gas Engineering", Pen Well Book, 1980.
3. Wichert E., Aziz K., "Calculate Z's for Sour Gases", Hydrocarbon Pro-
cessing, Vol. 51 No. 5, may 1972.
4. Reid Robert C., Sherwood Thomas K., "The Properties of Gases and Li-
quids", second edition, McGraw-Hill Book Company.
5. Reid Robert C., Prausnitz John M., Sherwood Thomas K., "The Properties
of Gases and Liquids", third edition, McGraw-Hill Book Company.