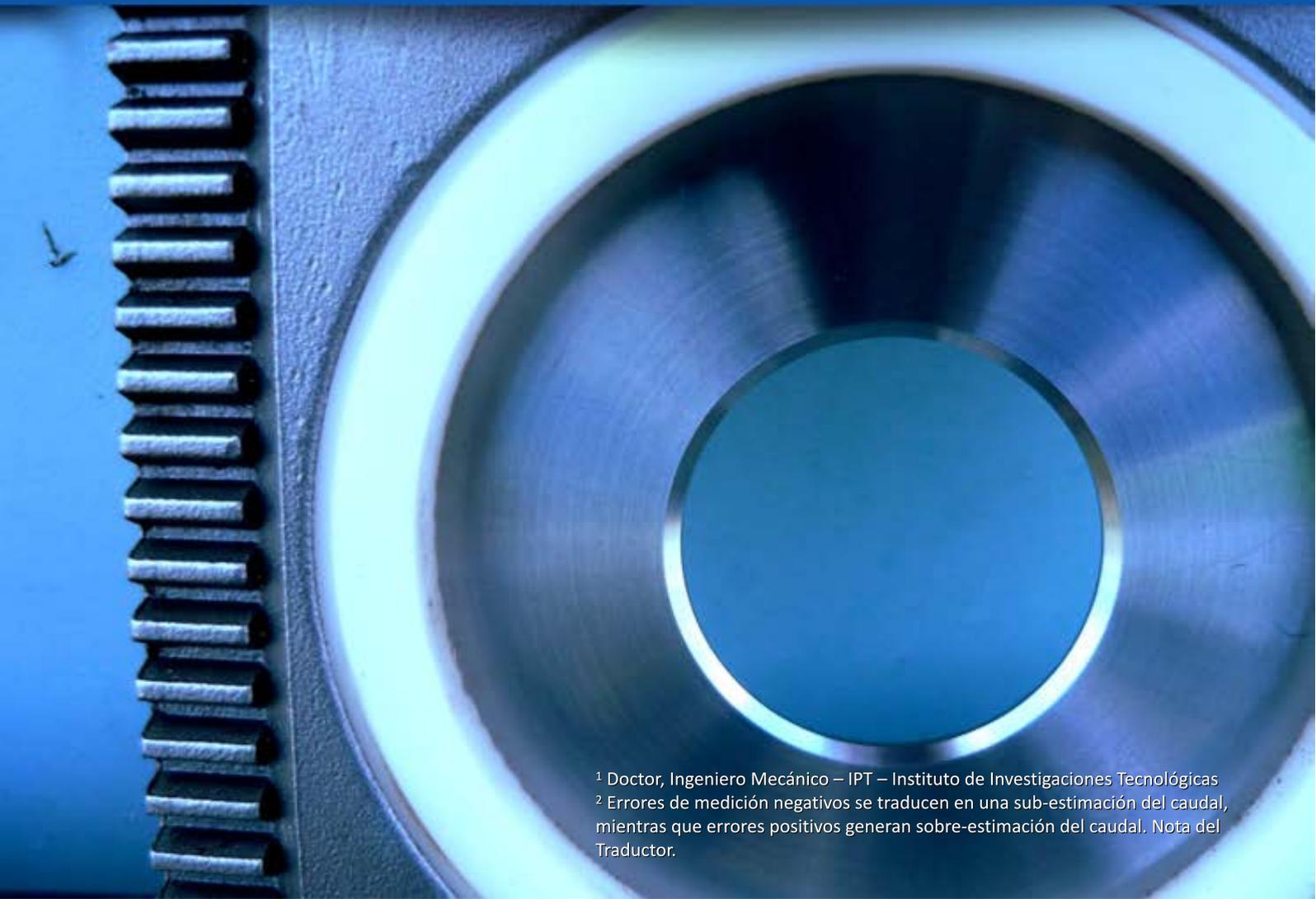


EFFECTOS DE LOS DEPÓSITOS DE CONTAMINANTES EN PLACAS DE ORIFICIO

Este Trabajo Técnico fue cedido por el autor, para ser presentado en el volumen 1 de la Revista MET & FLU. Igualmente fue autorizada su traducción, del idioma original, el portugués, al idioma castellano.

Resumen

La mayoría de los sistemas de medición fiscal y de transferencia de custodia de gas natural utilizados actualmente en Brasil se basan en la tecnología de medición por placa de orificio. Para cumplir los niveles de exactitud reglamentados, los sistemas de medición deben atender las especificaciones y límites definidos en las normas de referencia, especialmente en relación con los parámetros dimensionales, de forma y de calidad superficial del elemento primario. Las desviaciones sobre estas condiciones, pueden conducir a la generación de errores de medición. La cuantificación exacta de estos errores es difícil, aunque puede realizarse una estimación con base en referencias pertinentes como la ISO/TR 12767:1998 o en los resultados de una investigación más reciente desarrollada por técnicos de Advantica (UK) que suministran estimaciones de los errores de medición ocasionados por depósitos de materiales no-gaseosos sobre placas de orificio. El presente artículo busca sintetizar los tipos de contaminación tratados en la norma ISO/TR 12767 y en los ensayos desarrollados por Advantica. Presenta los resultados obtenidos que revelan errores de medición negativos² que varían de 0 a 24% para diversos grados de contaminación ocasionada por depósitos de aceite, grasa, líquidos, polvo, sólidos, etc.



¹ Doctor, Ingeniero Mecánico – IPT – Instituto de Investigaciones Tecnológicas

² Errores de medición negativos se traducen en una sub-estimación del caudal, mientras que errores positivos generan sobre-estimación del caudal. Nota del Traductor.

1. Introducción

Actualmente, los sistemas de medición por placa de orificio representan la solución más utilizada en Brasil para medición fiscal y de transferencia de custodia de gas natural. Los sistemas de medición por placa de orificio deben atender las especificaciones de condiciones de operación constantes dadas en la norma ISO 5167, debido a que las desviaciones sobre estas condiciones pueden ocasionar una medición no exacta de los caudales de gas. Las fuentes de desviación más comunes son las contaminaciones por depósitos de materiales no-gaseosos sobre el elemento primario del sistema de medición. La literatura sobre el tema contiene diversas referencias que muestran que los depósitos de contaminantes en las caras de una placa de orificio pueden ocasionar errores significativos en la medición de caudal de gas.

La cuantificación exacta de estos errores es difícil, aunque puede realizarse una estimación con base en referencias pertinentes como la ISO/TR 12767:1998. Esta norma proporciona una estimación de los errores de medición ocasionados por depósitos de materiales no-gaseosos sobre el elemento primario. El trabajo experimental, que constituyó la base de la norma fue desarrollado originalmente en la década de 1970 y reveló errores de medición que variaban de cero a 24% para diversos grados de contaminación, ocasionados por depósitos de polvo, aceite, grasas, líquidos, etc. Los experimentos fueron realizados a presión atmosférica utilizando aire como fluido de ensayo, y empleando placas de orificio con relaciones beta entre 0,2 y 0,7. Sin embargo, estas condiciones no reflejan la práctica operacional y, por consiguiente, existía la necesidad de evaluar la exactitud de los errores estimados en esta norma sobre placas de orificio utilizadas bajo condiciones reales de operación.

Con el objetivo de atender esta necesidad, los investigadores de la empresa Advantica, del Reino Unido, desarrollaron un estudio inicial cuyo objetivo era evaluar el efecto de los depósitos de materiales no-gaseosos sobre placas de orificio utilizadas bajo condiciones reales de operación. Para simular la situación real, todos los ensayos fueron realizados utilizando placas de orificio instaladas en un tubo de medición de 12" (300 mm) ANSI 600 de acuerdo con los requisitos de la norma ISO 5167. Se realizaron ensayos con placas de orificio de relaciones beta con valores de 0,6, 0,7 y 0,75 y todos los ensayos fueron ejecutados con gas natural a una presión de 55 bar. Durante los ensayos, se llevaron a cabo mediciones de caudal, presión, presión diferencial y

temperatura aguas arriba y aguas abajo de las placas de orificio.

2. Medición de Caudal por Placa de Orificio

La tecnología de un sistema de medición por placa de orificio se encuentra bien fundamentada, con los requisitos de diseño e instalación descritos en normas internacionales, como por ejemplo las normas ISO 5167 y AGA #3. El medidor consiste de una placa de orificio concéntrica, instalada transversalmente respecto al tubo de medición por medio de un porta-placa o entre un par de bridas para placa de orificio, con tramos rectos aguas arriba y aguas abajo de la placa, suficientemente largos para asegurar un flujo uniforme, completamente desarrollado en la placa de orificio. El flujo de gas a través de la placa de orificio genera un diferencial de presión en el flujo que puede medirse mediante transmisores de presión. Cuanto mayor sea el caudal, mayor será la presión diferencial generada por el elemento de restricción.

El presente trabajo no tiene como intención abordar la teoría de funcionamiento de una placa de orificio. En ese sentido, las dudas eventuales, relacionadas con el dimensionamiento, diseño, construcción y operación de sistemas de medición por placa de orificio pueden abordarse a través una consulta a las normas ISO 5167:2003.

3. Análisis de los Resultados de Trabajos Anteriores

Las características constructivas de una placa de orificio son parámetros críticos para la aplicabilidad de la ley de semejanza inherente a su principio de medición y cualquier desviación con relación a la especificación de la norma puede provocar alteraciones en el coeficiente de descarga. Por ejemplo, placas de orificio que no posean un borde afilado en la entrada del orificio, de acuerdo con el ítem 8.1.6.2 de la ISO 5167-1, presentarán valores de coeficientes de descarga progresivamente mayores (errores negativos en el caudal) en la medida en que el radio de curvatura del borde del orificio aumente.

De forma análoga, una rugosidad superficial excesiva en la cara aguas arriba de la placa también genera un aumento en el valor del coeficiente de descarga, siendo estos errores más significativos para placas de orificio con relaciones beta mayores.

Una cantidad considerable de ensayos se desarrolló con medidores tipo placa de orificio con el objetivo de determinar el efecto de las no-conformidades de estos sistemas con relación a los requisitos de la ISO 5167-1. Un resumen de los descubrimientos derivados de este trabajo se compiló e incluyó en la norma ISO/TR 12767:1998.

Los efectos causados por las desviaciones de las condiciones especificadas en la ISO 5167-1 fueron descritos en el documento de Advantica, en función de las variaciones en el coeficiente de descarga. Las desviaciones se clasificaron en términos de construcción, instalación y operación.

3.1 La Norma ISO/TR 12767:1998

La norma ISO/TR 12767:1998 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices – Guidelines to the effect of departure from the specifications and operating conditions given in ISO 5167-1 describe que los depósitos de contaminantes sobre la cara aguas arriba de una placa de orificio afectan su coeficiente de descarga de forma similar a una rugosidad superficial excesiva de la placa, indiscutiblemente tendiendo a aumentar el valor del coeficiente de descarga. La severidad de este efecto dependería del grado de contaminación de la placa, conforme se presenta en la Tabla 1.

Las figuras de la Tabla 1, tomadas de la norma, muestran los efectos causados por el depósito de una capa de granos de arena de tamaño uniforme (0,4 mm) y también el efecto de manchas de grasa (cada una de un diámetro nominal de 6,3 mm y una altura de 2,5 mm) sobre una placa de orificio instalada en un tubo de medición de 100 mm de diámetro, midiendo aire a presión atmosférica.

La Tabla 1 muestra, también, la importancia de las condiciones superficiales de la región anular

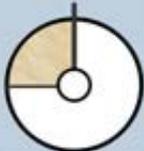
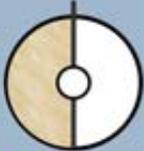
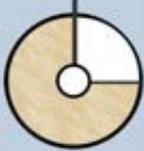
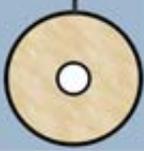
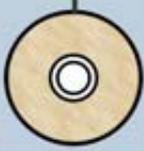
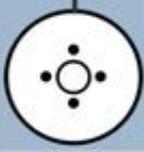
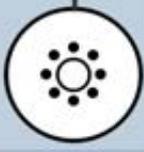
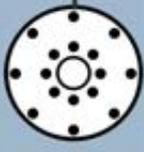
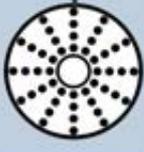
Depósito		Variación en el coeficiente de descarga, C_d		
		$\beta = 0,2$	$\beta = 0,7$	
Arena	1 cuadrante de arena		+1,0%	+0,8%
	2 cuadrantes de arena		+2,8%	+1,9%
	3 cuadrantes de arena		+3,9%	+2,4%
	4 cuadrantes de arena		+6,2%	+3,0%
	4 cuadrantes de arena con un anillo de 6 mm esparcido alrededor del borde del orificio de la placa		+0,3%	+0,3%
	Grasa	4 depósitos de grasa		+1,0%
8 depósitos de grasa			+2,8%	+1,3%
16 depósitos de grasa			+2,1%	+1,2%
32 depósitos de grasa			+2,6%	+0,6%

Tabla 1. Efectos sobre el coeficiente de descarga de placas de orificio, ocasionados por la deposición de contaminantes en la cara aguas arriba de las placas.

alrededor de la entrada del orificio de la placa. Como esta región es normalmente barrida por el flujo, los errores efectivos probablemente son menores que los indicados en la Tabla. Es necesario reconocer que muchos de los patrones de contaminación descritos en la figura no representan las condiciones que se encuentran normalmente en la práctica. Sin embargo, se consideró importante replicarlos de modo que se pudiera efectuar una comparación con los trabajos anteriores.

Adicionalmente, la norma ISO/TR 12767 presenta los resultados de ensayos realizados con la intención de simular los efectos de la deposición de desechos y de la acumulación de material líquido al interior del tubo de medición, junto a la cara aguas arriba de la placa de orificio. La Figura 1 muestra que se utilizaron varillas de soldadura en los experimentos realizados para simular la acumulación de desechos en el tubo de medición, las cuales provocaron un aumento en el valor del coeficiente de descarga, siendo dicho aumento más pronunciado en la placa con relación beta 0,7 que en la de beta 0,2.

La Figura 2 muestra los resultados de los ensayos desarrollados para simular los efectos de la acumulación de líquido en el tubo de medición. Los resultados indican que, si el nivel del líquido acumulado se encontraba por debajo de la altura del borde de ataque de la placa de orificio, el coeficiente de descarga aumentaba. Si el nivel de líquido excedía dicha altura límite, el área efectiva de la sección transversal del orificio de la placa comenzaba a reducirse, ocasionando una disminución en el valor del coeficiente de descarga de la placa.

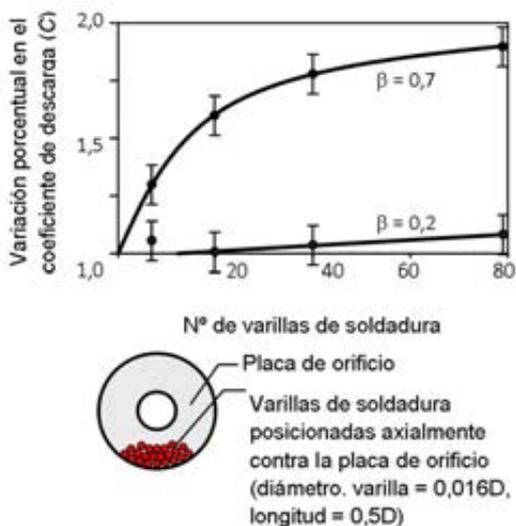


Figura 1. Efecto de varillas de soldadura en el tubo de medición.



Figura 2. Efecto de la acumulación de líquido en el tubo de medición.

3.2 Investigaciones Realizadas por Otros Autores

3.2.1 Contaminación por película de líquido sobre la placa de orificio y el tubo de medición

K.K. Botros (1992) y W. Studzinski (1988) reportaron que los errores relacionados con la contaminación por líquidos dependen del tipo de líquido y del modo como las placas y los tubos de medición están contaminados por el mismo. Concluyeron que películas muy finas de líquido pueden acabar reduciendo la rugosidad superficial de las placas y de los tubos de medición ocasionando errores positivos de caudal, mientras que trazas o gotas grandes de líquido pueden aumentar la rugosidad superficial ocasionando un error negativo de caudal.

B. Johansen (1996) investigó el efecto de una película fina de aceite de lubricación de compresor sobre las superficies de placas de orificio y tubos de medición. Los ensayos se ejecutaron con medidores de 2, 6 y 16 pulgadas a diferentes valores de beta. Las placas de orificio y los tubos de medición fueron sumergidos en aceite, dejando que el exceso del producto escurriera antes de la instalación y del inicio de los ensayos. El trabajo mostró que el efecto de una película fina de este tipo de aceite sobre la placa de orificio generaba un error de medición negativo, inferior a 0,25% del caudal. El trabajo de B. Johansen mostró también que la presencia de aceite en el tubo de medición, en la sección aguas arriba del sistema de medición, generaba errores del orden de 0,75%. La magnitud del error disminuía con el tiempo, probablemente en la medida en que el aceite era arrastrado gradualmente de la superficie del tubo de medición por el flujo.

3.2.2 Depósitos de grasa sobre placas de orificio

E.J. Burgin (1971) reportó que, si el espesor de los depósitos de grasa y el área de la placa cubierta por la grasa variaban, el efecto en la exactitud del caudal también se modificaba. Los resultados de Burgin también mostraban un mayor efecto de la contaminación por grasa sobre la cara aguas arriba de la placa que en la cara aguas abajo. Se observaron errores negativos de 0% a 13%, dependiendo del porcentaje de superficie cubierta. Por ejemplo, una placa 100% cubierta con una capa de grasa de 1/16 de pulgada generó un error negativo de 8%.

K.K. Botros (1992) realizó ensayos con placas de betas 0,2 y 0,6, utilizando discos para simular la contaminación por grasa y evaluar sus efectos sobre la exactitud del medidor. Se posicionaron ocho discos cercanos al borde de ataque de la placa, observándose errores negativos significativos, del orden de 1% para la placa de orificio de beta 0,6 y de 3,5% para la placa de orificio de beta 0,2. Sin embargo, no se observó ningún efecto significativo en el error del caudal cuando los discos se localizaron a la mitad de la distancia entre la pared interna del tubo y el borde del orificio de la placa.

4. Experimentos

El principal objetivo de los experimentos ejecutados por Advantica fue evaluar los errores de medición de caudal ocasionados por la contaminación de la cara aguas arriba de las placas de orificio, por la deposición de materiales en el interior del tubo de medición y por la contaminación de las líneas manométricas con aceite.

4.1 Montaje

Los experimentos se llevaron a cabo en las instalaciones para ensayos de Advantica Flow Centre en Bishop Auckland, conforme se ilustra en la Figura 3, el gas natural recibido en el Centro de Ensayos, a una presión promedio de 55 bar, pasa inicialmente por una turbina y posteriormente a través de la placa de orificio. Un medidor de tipo turbina de 12 pulgadas se instaló a aproximadamente 40 diámetros de tubería (40D) aguas arriba de la placa de orificio. Se instaló un rectificador de flujo del tipo haz de tubos aguas arriba de la turbina para proporcionar un perfil de velocidades completamente desarrollado para el gas en el punto en que este ingresaba al medidor. La longitud de 40D de tubería recta entre la turbina y la placa de orificio permitía que el flujo retornara nuevamente a su estado completamente desarrollado. Un rectificador de flujo adicional del tipo haz de tubos se instaló entre la turbina y la placa de orificio a una distancia de 13,2 diámetros aguas arriba de la placa de orificio.

La presión diferencial a través de la placa de orificio se midió utilizando dos transmisores de presión diferencial, con alcances de medición para alta y baja presión diferencial. También se instaló un transmisor de presión manométrica aguas arriba de la placa de orificio para registrar la presión de la línea, inmediatamente antes de la placa. Un transmisor de temperatura se instaló a 5,5D aguas abajo de la placa de orificio, cuyas lecturas fueron corregidas para las condiciones aguas arriba.

Para los ensayos se fabricaron tres placas de orificio con betas 0,6, 0,7 y 0,75, de 6 mm de espesor y de acuerdo con la ISO 5167. Durante los experimentos, estas placas fueron montadas entre dos bridas para placa de orificio. Las tres placas de orificio fueron escogidas porque representaban las placas de común uso y por permitir una comparación con el trabajo utilizado en la elaboración de la norma ISO/TR 12767.

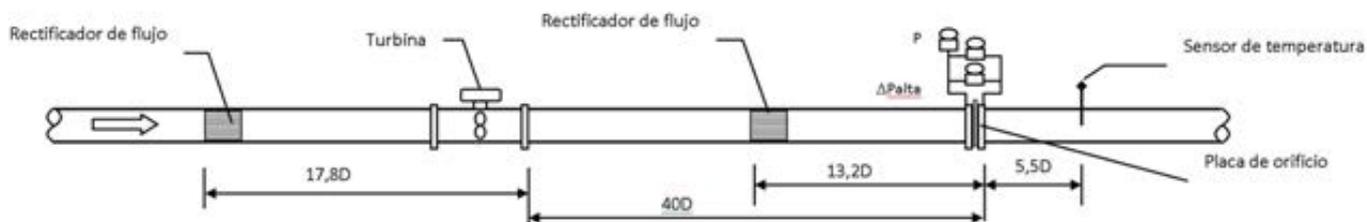


Figura 3. Lay-out de la instalación utilizada en los ensayos de contaminación de placas de orificio

4.2 Resultados

4.2.1 Calibración de la placa limpia

Todas las tres placas, con relaciones beta de 0,6, 0,7 y 0,75, fueron calibradas bajo condiciones de presión y caudal estables en seis números de Reynolds diferentes, representando presiones diferenciales en las placas de orificio entre 10 y 750 mbar. Los ensayos fueron repetidos en determinados números de Reynolds para establecer la repetibilidad de los resultados. El Gráfico 1 muestra los datos obtenidos a partir de tres repeticiones de ensayos con la placa beta 0,7, realizados en tres días diferentes. Hubo una excelente repetibilidad de los datos, adicionalmente se obtuvieron resultados similares para las otras dos placas. Los resultados promedio para cada placa con beta diferente se presentan en el Gráfico 2.

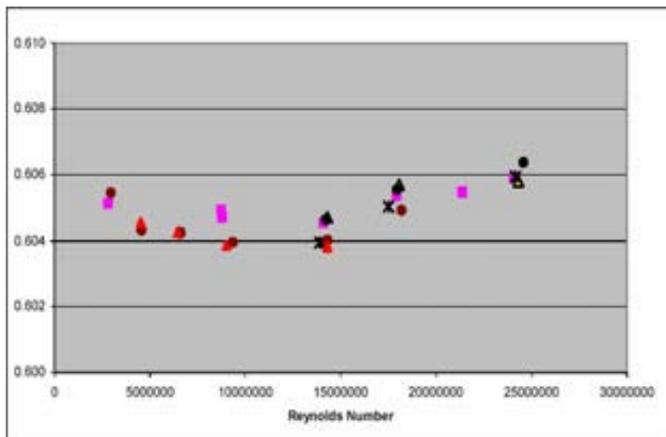


Gráfico 1. Coeficiente de descarga para la placa de beta 0,7 con repetición de ensayos. (Fuente: M.Pritchard, A.Niazi, D.Marshall)

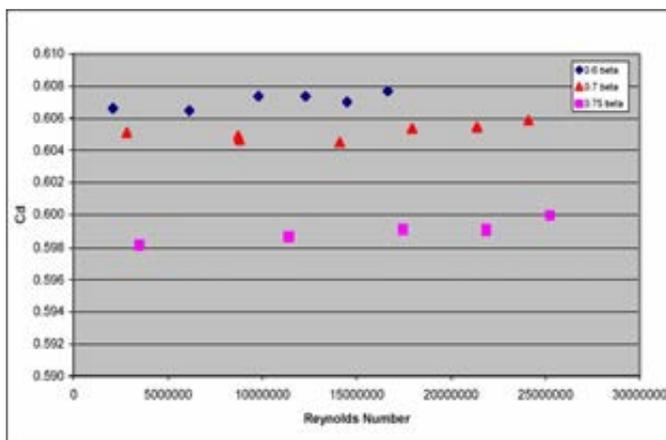


Gráfico 2. Coeficiente de descarga promedio para placas con betas 0,6, 0,7 y 0,75. (Fuente: M.Pritchard, A.Niazi, D.Marshall)

4.2.2 Contaminación del tubo de medición por sólidos

Las placas de orificio con betas 0,6 y 0,75 se ensayaron con cúmulos de 80 varillas de soldadura utilizadas para simular el efecto de la deposición de materiales sólidos en el tubo de medición. Las desviaciones máximas observadas en los coeficientes de descarga fueron de 0,6% y de 1,6% para las placas con betas 0,6 y 0,75, respectivamente. A su vez, la placa con beta 0,7 fue sometida a los ensayos completos con 10, 20, 40, 60 y 80 varillas, iniciándose con las 80 varillas. La desviación máxima observada en el coeficiente de descarga para la placa con beta 0,7 fue de 0,8% y los resultados se presentan en el Gráfico 3. El Gráfico 4 muestra la variación en el coeficiente de descarga para las tres relaciones de beta con las 80 varillas.

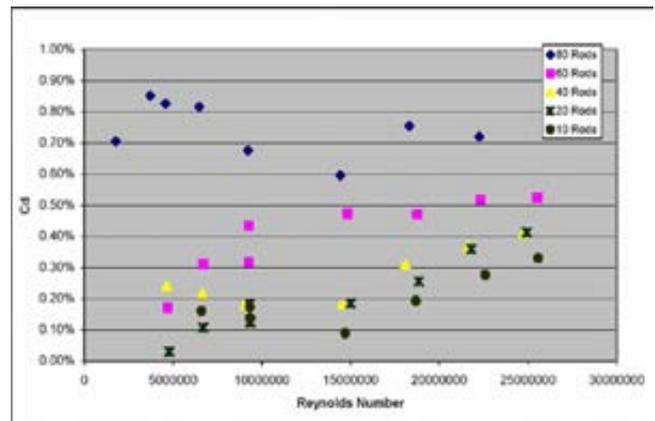


Gráfico 3. Variación en el coeficiente de descarga de una placa con beta 0,7 debido a la contaminación por sólidos (varillas). (Fuente: M.Pritchard, A.Niazi, D.Marshall)

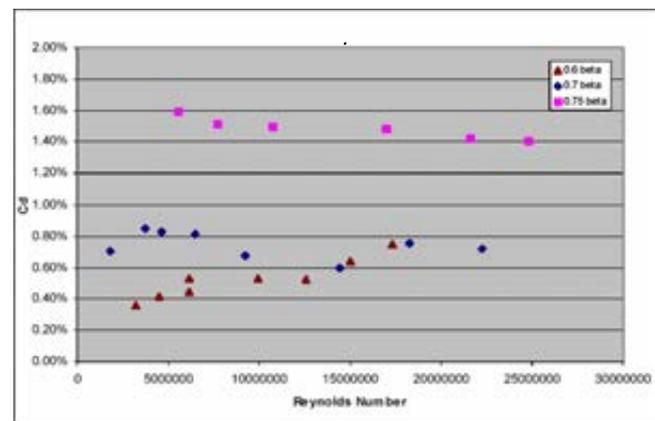


Gráfico 4. Variación en el coeficiente de descarga debido a la contaminación por sólidos (80 varillas). (Fuente: M.Pritchard, A.Niazi, D.Marshall)

Para propósitos de comparación, los ensayos realizados bajo condiciones atmosféricas indicaron una desviación de 1,8% con las 80 varillas para una placa de beta 0,7.

4.2.3 Contaminación de la placa de orificio por grasa

Los resultados iniciales de los ensayos realizados con la placa de beta 0,6 con 4, 8, 16 y 32 manchas de grasa mostraron un impacto variable sobre el coeficiente de descarga de la placa (Gráfico 5). Similarmente con los estudios anteriores, el grado de aumento en el coeficiente de descarga (error negativo en la medición de caudal) varió con el grado de contaminación. Se observaron alteraciones muy pequeñas cuando la placa se ensayó con 4 manchas de grasa. Con 16 manchas de grasa los ensayos ya mostraban un aumento de 0,25% en el coeficiente de descarga y con 32 manchas de grasa el incremento fue de 0,4%, pero todos ellos inferiores a los observados en los ensayos a presión atmosférica. El ensayo adicional con las 32 manchas dispuestas alrededor del borde del orificio de la placa, produjeron una desviación de aproximadamente 1,3%. Estos resultados fueron muy similares a los obtenidos por K.K. Botros en los ensayos realizados en 1992 sobre una placa de beta 0,6.

En los ensayos con grasa realizados sobre la placa de beta 0,7 se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 1 y las desviaciones máximas observadas en el coeficiente de descarga fueron de aproximadamente 0,13% con las 32 manchas de grasa. A caudales superiores, este error fue reduciéndose casi hasta llegar a cero en la medida en que los números de Reynolds aumentaban.

4.2.4 Contaminación de la placa de orificio por polvo

En la secuencia de los ensayos con grasa, la placa con beta 0,6 fue sometida al ensayo de polvo en los 4 cuadrantes con el contaminante cubriendo toda la superficie de la placa. Este se consideró como el peor caso y por eso fue el único ensayado. El máximo aumento observado en el coeficiente de descarga durante el ensayo fue de aproximadamente 1,4%, variando con respecto al número de Reynolds. Se observó un pico de desviación para un número de Reynolds del orden de 10 millones. Después de este pico, se observó una reducción en los errores en la medida en que los números de Reynolds aumentaban. En Reynolds menores, alrededor de 6 millones, el error en el coeficiente de descarga era casi 0,3% inferior al error observado durante los caudales mayores. Los resultados se presentan en el Gráfico 6.

El ensayo con polvo en los cuatro cuadrantes de la placa con beta 0,7 indicó un error máximo de

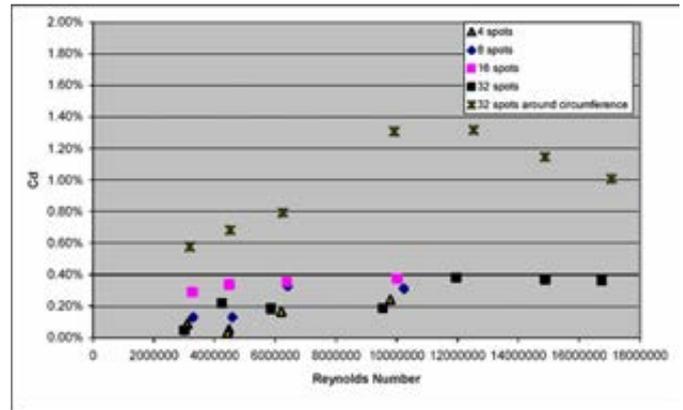


Gráfico 5. Resumen de los ensayos con una placa de beta 0,6 contaminada con grasa.

(Fuente: M.Pritchard, A.Niazi, D.Marshall)

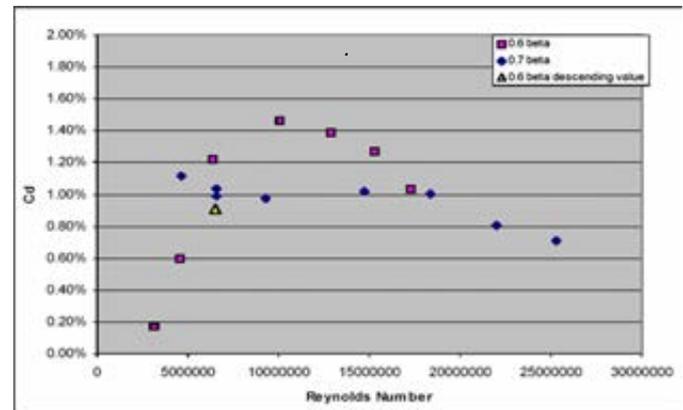


Gráfico 6. Resumen de los ensayos con contaminación por polvo.

(Fuente: M.Pritchard, A.Niazi, D.Marshall)

1,1%. Los resultados se presentan en el Gráfico 6. Al igual que en la placa de beta 0,6, los errores variaban con respecto al número de Reynolds.

4.2.5 Contaminación de la línea manométrica

La línea manométrica del lado de alta presión se contaminó con 50 ml de aceite, extraído de un sistema de filtración. Las lecturas iniciales de los dos transmisores de presión diferencial produjeron un offset de -3,8 mbar, estando el sistema presurizado y sin paso de flujo. Durante los ensayos con flujo se observaron desviaciones significativas en el coeficiente de descarga, indicando un error negativo en el caudal. Se realizaron seis ensayos con caudales equivalentes a 50, 100, 200, 300, 400 y 500 mbar. A una presión diferencial de 50 mbar, el error en el coeficiente de descarga fue de hasta 4,2% (error negativo en la medición de caudal). Esta desviación disminuía en la medida en que el caudal aumentaba conforme se presenta en el Gráfico 7.

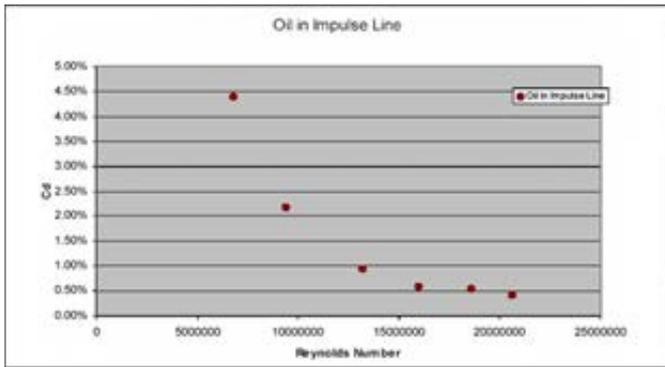


Gráfico 7. Contaminación de la línea manométrica de una placa con beta 0,7. (Fuente: M.Pritchard, A.Niazi, D.Marshall)

5. Conclusiones

El trabajo compara los efectos de la contaminación de placas de orificio sobre el coeficiente de descarga, y por consiguiente en la medición de caudal bajo condiciones reales, con los resultados de trabajos anteriores realizados bajo condiciones atmosféricas. La ISO/TR 12767 presenta los efectos de los depósitos de contaminantes en la cara aguas arriba de la placa y en el tubo de medición. Los resultados incluidos en dicha norma son de trabajos desarrollados con aire a presión atmosférica. Ensayos similares realizados con gas natural a presiones cercanas a 55 bar y bajo condiciones de números de Reynolds variables produjeron resultados diferentes, los cuales podrán servir de respaldo para la revisión de la norma.

Todos los trabajos analizados sobre contaminaciones en placas de orificio, invariablemente concluyen que los depósitos de grasa o arena en la cara aguas arriba de una placa de orificio generan un aumento en el valor de su coeficiente de descarga (C_d). Este efecto puede explicarse de la siguiente manera: en la práctica, el coeficiente de descarga es la relación entre el área efectiva a través de la cual ocurre el flujo del fluido y el área geométrica del orificio de la placa. Típicamente, las placas normalizadas presentan valores de coeficiente de descarga alrededor de 0,6. Dicho valor es menor que la unidad porque en el flujo a través de una placa de orificio, las líneas de corriente del flujo terminan concentrándose en una sección transversal aguas abajo de la placa, denominada vena contracta, conforme se ilustra en la Figura 4.

El flujo de gas en el tramo recto de tubería aguas arriba de la placa está caracterizado por componentes predominantemente axiales. Sin embargo, al aproximarse a la placa, el flujo experimenta un cambio radical, motivado por la necesidad del fluido de atravesar el elemento de restricción. Para esto, en el tramo del tubo de medición, el flujo exhibe variaciones sustanciales de presión, temperatura y de velocidad.

Más cerca a la placa, las líneas de corriente del flujo sufren la acción de las componentes de flujo radial generadas por la placa. En una placa limpia, la capa límite del flujo sobre ésta es delgada, lo que hace que la componente radial del flujo sea casi perpendicular al eje, desviando fuertemente las líneas de corriente y definiendo un área característica de vena contracta. Por otra parte, una placa contaminada tiende a presentar una capa límite más gruesa debido a su mayor rugosidad. Dicha capa límite termina inclinando la componente radial del flujo, haciendo que la misma no ejerza el mismo efecto de desviación sobre las líneas de corriente del flujo, lo que resulta en una mayor área de la vena contracta (C_d mayor) que la de una placa limpia.

6. Referencias

- M.Pritchard, A.Niazi, D.Marshall. Assessment of the effect of contamination on orifice plates, FLOMEKO 2003, Groningen, The Netherlands, May 12-14, 2003.
- AGA Report No.3:1992. (AGA #3) Orifice metering of natural gas.
- AGA Report No.8 1985, 1992 & 1994 Detailed and Gross. (AGA8) Compressibility and supercompressibility for natural gas and other hydrocarbon gases.
- ISO 5167-1:1991. Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices.
- ISO 5167:2003 Measurement of Fluid Flow by Means of Pressure Differential Devices Inserted in Circular Cross-section Running Full, Part 1 - General Principles and Requirements e Part 2 - Orifice Plates
- ISO TR 12767:1998. Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices – Guidelines to the effect of departure from the specifications and operating conditions given in ISO 5167-1.
- GRI Report 00/0141. Metering Research Facility Program: Operational Factors That Affect Orifice Meter Accuracy. This includes the references listed below:
- B.Johansen, W.Seidl and T.Kegel (1996). The Effects of Oil Coating on the Measurement of Gas Flow Using Sharp-Edged Orifice Flow Meters.
- W.Studzinski, D.Berg, D.Bell and D.Richards (1988). Effects of Orifice Surface Conditions on Accuracy Of Flow-rate Measurements.
- K.K.Botros, W.Studzinski and P.Barg (1992). Results of NOVA's Gas Metering Research.
- E.J.Burgin (1971). Factors Affecting Accuracy of Orifice Measurement (primary element)



Figura 4. Efecto de la contaminación sobre el coeficiente de descarga de la placa