

La ciencia no es sino una perversión de sí misma, a menos que tenga como objetivo final, el mejoramiento de la humanidad. **Nicola Tesla, Inventor Austrohúngaro.**

La actividad científica está orientada a satisfacer la curiosidad, y a resolver las dudas, acerca de cuáles son y cómo están organizadas las leyes de la naturaleza.

Seguros de que la comunidad científica nacional e internacional, utilizará la Revista MET&FLU como un medio para compartir los hallazgos de alta relevancia, cada semestre nuestros lectores encontrarán un tema de su agrado que facilitará la transferencia del conocimiento al ritmo que nuestra sociedad, nos lo exige.

VERIFICACIÓN DE MEDIDORES ULTRASÓNICOS A BAJA PRESIÓN

como una Solución Eficiente para procesos de confirmación
sugerido en la ISO 10012

Henry Abril (habril@cdtdegas.com)
Jose A. Fuentes (jfuentes@cdtdegas.com)
Jorge Reyes (jreyes@cdtdegas.com)

Corporación CDT de GAS
km 2 Via Refugio PTG, Piedecuesta - Colombia

Juan Manuel Ortiz (juanmanuel.ortiz@tgi.com.co)
John Fredy Velosa (john.velosa@tgi.com.co)

Transportadora de Gas Internacional S.A. ESP
Cra 34 No. 41-51 Bucaramanga - Colombia

Artículo disponible en Inglés
www.cdtdegas.com



Resumen:

El proceso de confirmación metrológica aplicado a medidores de flujo ultrasónico, de acuerdo a los términos especificados en la norma ISO 10012, representa un gran desafío para las empresas de transporte de gas natural, como TGI S.A. ESP por ejemplo, la cual está interesada en establecer un Sistema de Gestión de Mediciones basado en esta norma internacional.

En este artículo, se describe una propuesta de control metrológico para su aplicación, exclusiva a medidores ultrasónicos (USM) operando a bajas presiones (presión atmosférica). Esta se basa en pruebas desarrolladas en dos (2) medidores DN150 (6"), nuevos y calibrados por primera vez en PIGSAR (Alemania) con gas natural a alta presión, como fluido de prueba, y caracterizados posteriormente con presión atmosférica en CDT de GAS (Colombia).

1. INTRODUCCIÓN

Para las empresas de transporte de gas natural, las mediciones realizadas en cada punto de transferencia de custodia (de recibo o entrega), constituyen uno de los procesos claves para el cumplimiento de su objeto social, dado que a partir de estas se controla el balance del gas transportado y se factura el servicio de transporte.

En Colombia, los aspectos regulatorios [1] relacionados con medición no se encuentran alineados con OIML R140 [2] en relación a las especificaciones del desempeño requeridas en los elementos que conforman un sistema de medición, sin embargo, dicha regulación si establece un desempeño global aplicable al sistema de medición, así como un límite de control para el balance de gas asociado a toda la red. A partir de estos aspectos se proyecta el aseguramiento metrológico de cada una de las magnitudes involucradas: presión, temperatura, volumen y contenido energético.

Llevar a cabo dicho aseguramiento metrológico dentro de estándares de clase mundial implica la realización de inversiones a diferentes niveles del proceso, mediante los cuales puedan cubrirse tanto los elementos instalados en campo como los resultados de medición obtenidos.

En este sentido, en Colombia desde el año 2007, la Transportadora de Gas Internacional (TGI) con el apoyo tecnológico de la Corporación CDT de GAS, han realizado esfuerzos para implementar de manera gradual, un sistema de gestión de las mediciones basado en el estándar internacional ISO 10012, que permita mejorar y mantener dentro de control, el balance de la red (328 sistemas de medición de transferencia de custodia a lo largo de más de 3957 kilómetros de tuberías), buscando obtener la mejor relación costo/beneficio bajo una perspectiva de clase mundial.

2. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA

Para magnitudes como presión, temperatura y poder calorífico, la implementación de un programa de confirmación metrológica es viable técnica y económicamente bajo el contexto local, considerando la suficiente disponibilidad tanto de infraestructura metrológica como de mecanismos para su implementación.

No obstante, para el caso particular de medición de volumen de gas, la implementación de un

programa de confirmación metrológica es restrictiva debido a factores como:

- La escasa disponibilidad en la región (Suramérica y Colombia particularmente) de laboratorios de calibración que alcancen los diferentes rangos de caudal y presión presentes en las redes de transporte locales. Colombia cuenta principalmente con laboratorios de calibración operando con aire a presión atmosférica y solo un laboratorio opera con gas natural a aproximadamente 17 bar.
- Los aspectos logísticos requeridos para el desplazamiento del medidor desde su ubicación al laboratorio.
- La necesidad de recurrir a conciliación de volúmenes de gas entre las partes debido a la ausencia de medidor de respaldo durante el proceso de calibración.
- Las inversiones requeridas y los costos de sostenimiento del modelo una vez implementado.

2.1. Prácticas comunes para confirmación metrológica en medidores de volumen

Para algunas tecnologías de medición empleadas en transferencia de custodia, tales como rotativos, turbinas y másicos tipo Coriolis, la problemática presentada anteriormente puede ser superada con relativa facilidad, considerando la disponibilidad de laboratorios de calibración que permiten evaluar el desempeño de los elementos de manera confiable bajo los estándares aplicables para cada tecnología en particular.

Sin embargo, para el caso de los ultrasónicos no hay un consenso en cuanto a la metodología que debe ser aplicada para la confirmación metrológica, lo cual queda en evidencia por la ausencia de lineamientos o recomendaciones que permitan establecer dichos periodos. Trabajos experimentales, como el presentado por C. Coull - E. Spearman [4] buscaron determinar el desempeño de los medidores ultrasónicos en el tiempo, a través de calibraciones periódicas, sin embargo, dichos estudios no fueron concluyentes en cuanto a las fuentes que ocasionaron las desviaciones encontradas y la posibilidad de predecir el comportamiento de otros medidores.

Por otro lado, algunas iniciativas de estudio han logrado generar estrategias de confirmación metrológica para medidores ultrasónicos con aceptación en sectores particulares de la industria, tal es el caso de la estrategia descrita por Peterson - Lightbody [5], la cual es aplicada principalmente en UK. Dicha estrategia contempla que un USM nuevo debería ser calibrado seis meses después de colocarse en servicio, y seis meses después una segunda calibración y que si la diferencia FWME era menor a 0,3% (entre las dos calibraciones subsecuentes) el USM quedaría calificado para una frecuencia de calibración anual. Como complemento de la estrategia descrita anteriormente, se plantea la posibilidad de emplear las herramientas de diagnóstico de los medidores ultrasónicos como un medio para extender los intervalos de calibración.

T. Kegel y S. English [3], advierten que en ninguna de las ediciones del Reporte AGA No. 9 se especifican estos intervalos, razón por la cual desarrollaron un interesante modelo matemático predictivo para estimar la posible desviación del medidor en el tiempo, el cual facilitaría la estimación de periodos de recalibración de medidores ultrasónicos teniendo como datos de entrada, el tamaño del medidor, la velocidad media del fluido medido y el periodo de recalibración actual.

Finalmente, es de resaltar que desarrollos sobre medición ultrasónica, como el uso de transductores que permiten el acople de las ondas a baja presión, han abierto la posibilidad de realizar la confirmación metrológica de estos medidores empleando facilidades de calibración con aire a presión atmosférica, tal como lo plantean [6], podría prever que la calibración de medidores de gas a baja presión podría sustituir la calibración a alta presión, al menos parcialmente, en particular para los procesos de recalibración, considerando por supuesto, la comparabilidad de resultados entre la calibración a alta y a baja presión. Y las ventajas económicas de esta alternativa.

2.2. Estrategia de TGI para la implementación de ISO 10012 a la medición de volumen de gas:

Teniendo en cuenta la amplia variedad de sistemas de medición presentes en la red de transporte de TGI, no es posible definir una estrategia unificada aplicable a toda la infraestructura, lo cual se puede evidenciar mediante un análisis de Pareto, a partir del volumen medido por cada

sistema de medición en relación al volumen total transportado por TGI:

- Sistemas clase A: 26 sistemas de medición cuantifican el 80% de la totalidad del gas transportado. En estos sistemas se emplean principalmente medidores ultrasónicos y en menor medida medidores tipo turbina.
- Sistemas clase B y C: 302 sistemas de medición cuantifican el 20% de la totalidad del gas transportado. En estos sistemas se utilizan principalmente medidores rotativos y turbinas y en menor medida medidores tipo Coriolis.

A partir de las prácticas de confirmación metrológica descritas anteriormente y de la distribución de los sistemas de medición de acuerdo con la capacidad de los mismos, se definieron dos escenarios diferentes para la implementación de confirmación metrológica, cada uno de los cuales cuenta con su estrategia particular

Sistemas Clase A

La estrategia consiste en aprovechar los procesos de actualización tecnológica de sistemas de medición para implementar medición con ultrasónicos cuya tecnología permita la verificación a presión atmosférica. Esto permite sacar provecho de las facilidades de calibración disponibles localmente.

Sistemas Clases B y C

Desarrollo de una facilidad de calibración móvil que permita realizar los procesos de confirmación metrológica in-situ. Dicha facilidad, denominada M3Tlab [7], fue desarrollada en conjunto entre TGI y el CDT de GAS y se encuentra actualmente en una etapa preoperativa para validar su desempeño con miras a obtener acreditación ISO 17025.

3. ESTRATEGIA DE CONFIRMACIÓN METROLÓGICA PARA SISTEMAS DE ALTO IMPACTO

Considerando lo descrito anteriormente, a continuación se describe una estrategia para llevar a cabo el proceso de confirmación metrológica con aplicación exclusiva para USM. Dicha estrategia se basa principalmente en la habilidad que poseen algunos medidores ultrasónicos de acoplar la señal de sus transductores a baja

presión y que por tanto podrían ser evaluados metrológicamente, en facilidades que operan a presión atmosférica, mitigando el efecto de las limitantes de infraestructura de la región y disminución de costos de aseguramiento. En la Figura 1 se presentan las diferentes etapas que conforman la estrategia. El proceso de confirmación metrológica del USM inicia inmediatamente después de la adquisición del medidor:

Etapas 1

Se realizan las **calibraciones del medidor**, que incluyen tanto la calibración del medidor a las condiciones estimadas de operación (Entre 17 y 70 bar con gas natural) como la calibración a presión atmosférica para evaluar la comparabilidad de los resultados a diferentes condiciones de operación.

Etapas 2

Contempla las actividades de **diagnóstico** (a través de los parámetros de desempeño disponibles en los USM) e **inspección** ejecutadas de forma periódica (mensualmente) con el objeto de evidenciar el correcto funcionamiento del medidor, condiciones de proceso aceptables, y parámetros de desempeño dentro de los límites permisibles (ej. SNR, Performance, SOS, etc.). Si los resultados obtenidos están fuera de los límites establecidos, se da paso a la etapa de verificación a baja presión.

Etapas 3

Verificación, representa el elemento de mayor importancia en la estrategia, consiste en la calibración del USM a presión atmosférica con aire y la comparación del resultado con los registros anteriores. Si se confirma que los dos resultados poseen un grado de equivalencia aceptable, se considera que la curva de la calibración a alta presión es aún válida. Si los resultados no cuentan con un grado de equivalencia aceptable y en el proceso de verificación se han mantenido controladas las consideraciones especiales que soportan las hipótesis, se hace necesario la recalibración en la facilidad a alta presión. La actividad de verificación se realiza cuando se ha cumplido un período de cinco años o cuando se detectan desviaciones en los parámetros de desempeño del USM.



Figura 1. Propuesta de Estrategia para Confirmación Metrológica en USM

Etapas 4

Por último, la actividad de recalibración a alta presión con gas natural, ésta solo será realizada cuando se detecte una desviación por fuera de los límites en la actividad de verificación.

La implementación de la estrategia descrita anteriormente se fundamenta en la confirmación de dos hipótesis relacionadas con la equivalencia de los resultados:

- Hipótesis 1: Si los resultados de calibración del USM a alta presión con gas natural y a baja presión con aire atmosférico poseen un grado de equivalencia aceptable, la verificación posterior a baja presión puede ser usada como herramienta para confirmar si el desempeño del USM se mantiene de acuerdo con los resultados de la calibración a alta presión.

Hipótesis 2: Si los resultados del proceso de verificación, mediante la ejecución periódica de calibraciones a bajas presiones, cuentan con un grado de equivalencia aceptable, dichos resultados pueden ser usados como soporte para extender el tiempo de validez de la calibración a alta presión, considerando bajo control metrológico los posibles factores de influencia en el método aplicado.

Teniendo en cuenta las variables involucradas y los diferentes factores que pueden influenciar los resultados obtenidos en el proceso de verificación, se definieron las siguientes consideraciones y aclaraciones para el desarrollo práctico de las hipótesis descritas anteriormente:

- El laboratorio que realiza la calibración con aire a baja presión cuenta con acreditación bajo los lineamientos dados en la ISO 17025 y ha desarrollado ensayos de aptitud.
- Dentro de las fuentes de incertidumbre de calibración a baja presión, están incluidas aquellas asociadas a la estabilidad en el tiempo y la reproducibilidad de los resultados con el banco, por tanto los límites utilizados para evaluar la equivalencia de los resultados, tienen inmerso el efecto de una probable dispersión de los datos por dichos aspectos.
- En la evaluación de los resultados descrita a continuación, se aprovechó el modelo matemático de error normalizado usado en ensayos de aptitud, como un indicador estadístico del desempeño de los resultados en el tiempo.
- La metodología empleada en el proceso de verificación, tanto inicial como posterior, contempla el control de los factores externos que puedan afectar el desempeño del medidor.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Con el objeto de validar la implementación de la estrategia se realizaron ensayos y se obtuvieron evidencias de desempeño con un medidor DN150 (6"). Éste fue adquirido en el 2011 en Alemania, con calibración a alta presión en PIGSAR caracterizándose inmediatamente después de su llegada

a Colombia con aire a presión atmosférica en el laboratorio del CDT de GAS¹, antes de su puesta en operación. En febrero de 2013 nuevamente fue verificado en el CDT de GAS mediante calibración a presión atmosférica.

4.1. Equivalencia de resultados a alta y baja presión: calibraciones iniciales en laboratorios.

La calibración inicial fue realizada a condiciones similares a las de operación (*alta presión: 13,79 bar -200 psig-*) en PIGSAR Alemania. La calibración a alta presión y la caracterización a presión atmosférica fueron ejecutadas con los tubos de medición aguas-arriba y aguas-abajo para mitigar efectos de "condiciones diferentes de instalación" y posible efectos de desalineamiento descritos en la referencia [4]. Durante los procesos de calibración y caracterización se generaron los reportes de autodiagnóstico necesarios para su uso como línea base, junto con los resultados de calibración y caracterización a baja presión, los cuales permitirán evidenciar posteriormente posibles desviaciones. Los resultados de las calibraciones a alta presión con gas natural y la calibración con aire a presión atmosférica del medidor objeto de evaluación (adquirido en 2011), se muestran en la Figura 2.

Con el objeto de evaluar la equivalencia de resultados obtenidos con el medidor a diferentes condiciones de operación, se realizó un análisis comparativo entre los resultados de calibración emitidas por PIGSAR y las obtenidas en el laboratorio del CDT de GAS.

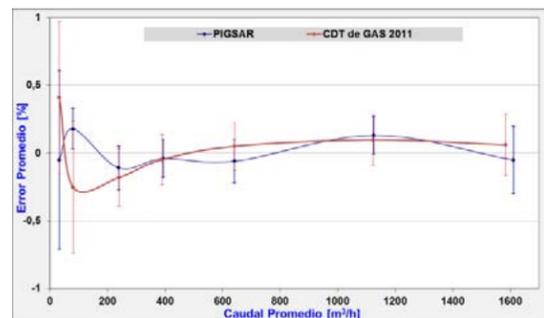


Figura 2. Curvas de calibración de PIGSAR (alta presión) y CDT de GAS (presión atmosférica)

¹ Acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia -ONAC, basado en lineamientos ISO/IEC 17025

Para el análisis comparativo de los resultados, se utiliza el error normalizado, el cual es estimado para cada caudal, y representa el grado de equivalencia entre las dos condiciones.

$$En = \frac{X_{CDT\ de\ GAS} - X_{PIGSAR}}{\sqrt{U_{CDT\ de\ GAS}^2 + U_{PIGSAR}^2}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

- $X_{CDT\ de\ GAS}$ Error porcentual - laboratorio del CDT de GAS- Baja presión
- X_{PIGSAR} Error porcentual - laboratorio de PIGSAR - Alta presión
- $U_{CDT\ de\ GAS}$ Incertidumbre Expandida de calibración reportada por CDT de GAS
- U_{PIGSAR} Incertidumbre Expandida de calibración reportada por PIGSAR

El resultado es evaluado utilizando el siguiente criterio:

$En < 1$	El resultado se considera comparable
$1 < En < 1,2$	El resultado se considera comparable con reserva
$En > 1,2$	El resultado se considera no comparable

La evaluación con este criterio busca evidenciar la capacidad del medidor para brindar un desempeño similar a alta y baja presión. Si el resultado de la evaluación es **no comparable**, puede deberse a que el medidor bajo ensayo presenta diferencias significativas de trabajar a alta y baja presión o que existen desviaciones entre las facilidades de calibración, por tanto esta condición no es concluyente y la estrategia actual no sería aplicable.

En la Tabla 1 se presentan los errores normalizados para el medidor objeto de evaluación, siendo todos inferiores a uno (1), mediante lo cual podría afirmarse que para este caso específico, existe equivalencia entre las calibraciones reportadas (cumplimiento de la primera hipótesis) a baja presión con aire atmosférico y alta presión con gas natural.

Ref.	Caudal m³/h	CDT DE GAS - 2011		
		$X_{CDT} - X_{PIGSAR}$ %	$U_{[CDT, PIGSAR]}$ %	EN %
PIGSAR	32	0,46	0,87	0,53
	80	-0,43	0,51	-0,85
	238	-0,07	0,27	-0,26
	393	-0,01	0,23	-0,03
	641	0,11	0,24	0,46
	1126	-0,03	0,23	-0,14
	1611	0,11	0,34	0,33

Tabla 1. Errores normalizados calculados para comparación entre calibración alta y baja presión.

De manera gráfica (Ver Figura 3) este resultado se puede visualizar usando como límite permisible el valor del denominador en la ecuación 1 (Incertidumbre total) y como valor a evaluar lo correspondiente al numerador (diferencia entre los errores porcentuales reportados por cada laboratorio).

4.2. Resultados de las verificaciones en laboratorio del CDT de GAS.

La verificación del USM es realizada mediante la ejecución de calibraciones a baja presión en el laboratorio del CDT de GAS. La evaluación con este criterio busca evidenciar la robustez del proceso de verificación en el tiempo. En caso de que el resultado sea **no comparable**, la metodología no podría aplicarse. Los resultados analizados corresponden al medidor 1, entre la verificación inicial realizada en 2011 y una verificación posterior en Febrero de 2013. (Ver Figura 4).

Para confirmar la equivalencia entre calibración inicial y calibración posterior a un período de tiempo, se evaluó de manera similar como se ejecuta para evaluación a diferentes presiones, con el algoritmo de error normalizado:

$$En = \frac{X_{inicial} - X_{posterior}}{\sqrt{U_{inicial}^2 + U_{posterior}^2}} \quad \text{Ecuación 2}$$

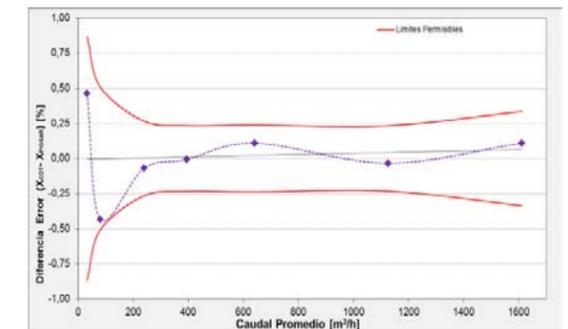


Figura 3. Diferencia de errores

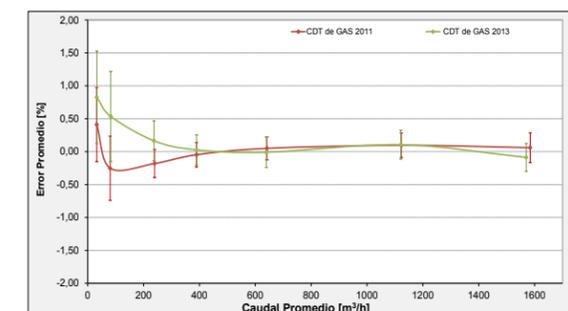


Figura 4. Curvas de calibración inicial y posterior CDT de GAS - presión atmosférica

Donde,

<i>I</i> inicial	Error porcentual - laboratorio del CDT de GAS- verificación inicial
<i>X</i> Posterior	Error porcentual - laboratorio del CDT de GAS- verificación posterior
<i>U</i> inicial	Incertidumbre Expandida de calibración inicial reportada por CDT de GAS
<i>U</i> Posterior	Incertidumbre Expandida de calibración posterior reportada por CDT de GAS

Así mismo, en la Tabla 2 y Figura 5 se evidencian los errores normalizados, menores a uno (1), mediante lo cual se puede afirmar que:

- Existe una equivalencia entre la verificación inicial con aire a presión atmosférica (2011) y la verificación posterior (2013), por lo tanto se puede confirmar que la calibración a alta presión sigue siendo válida.
- Con base en los resultados de los diagnósticos y los resultados de verificación inicial y posterior a baja presión, para este caso específico se obtuvo una primera evidencia que confirma de manera a priori, que si no se presenta desviaciones fuera de los límites permisible en los resultados de diagnóstico, el desempeño del medidor no presenta desviación apreciable y por tanto el periodo de verificación podría ampliarse.

Ref.	CDT DE GAS - 2013			
	Caudal m ³ /h	$X_{CDT} - X_{PIGSAR}$ %	$U_{[CDT,PIGSAR]}$ %	E_N %
CDT DE GAS 2011	32	0,41	1,08	0,38
	80	0,79	0,84	0,94
	238	0,34	0,37	0,93
	393	0,07	0,30	0,25
	641	-0,06	0,29	-0,20
	1126	0,01	0,29	0,03
	1611	-0,15	0,31	-0,47

Tabla 2. Errores normalizados calculados para comparación entre verificación inicial y verificación posterior con aire a presión atmosférica

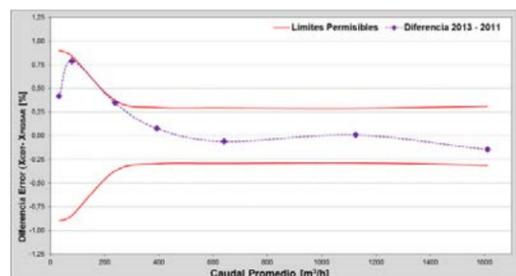


Figura 5. Curva de diferencias de errores entre CDT inicial (2011) y CDT posterior (2013).

5. CONCLUSIONES

La estrategia de confirmación metrológica planteada en este documento es una alternativa que brinda un nivel de confianza aceptable sobre las mediciones y se ajusta a la infraestructura metrológica disponible en la región.

Para el caso específico del medidor evaluado, fue posible evidenciar la habilidad que dicho instrumento posee para brindar resultados comparables operando a alta presión con gas natural y presión atmosférica con aire, aspecto que puede ser aprovechado para realizar verificaciones intermedias a baja presión, este hecho permite disminuir los costos de aseguramiento de los medidores, sin sacrificar calidad en los resultados.

6. REFERENCIAS

- [1]. Reglamento único de Transporte RUT - CREG
- [2]. OIML R140 :2007 - Measuring Systems For Gaseous Fuel
- [3]. T. Kegel and S. English, "A proposed Ultrasonic Meter Calibration Interval Tool", International North Sea Flow Measurement Workshop, 2011.
- [4]. C. Coull and E. Spearman, "Practical Experiences Of Operating Small Bore (4") Gas Ultrasonic Meter for Fiscal Measurement on a FPSO", International North Sea Flow Measurement Workshop, 2008.
- [5]. S. Peterson and C. Lightbody, "On line Condition Based Monitoring of Gas USMs", International North Sea Flow Measurement Workshop, 2008.
- [6]. V. Herrmann, M. Wehmeier, T. Dietz, R. Kramer and B. Mickan, "A new los pressure calibration facility using 8-path ultrasonic meters as working standards", 6th ISFFM, 2006.
- [7]. M3Tlab. www.m3tlab.com

13 años construyendo una Cultura de Mediciones confiables en Colombia

