

BANCO GRAVIMÉTRICO PARA LA CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE LÍQUIDOS

*Diego Antonio Manrique Moreno*¹, Ferney David Antolinez Tobo¹*

¹ *Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas. Parque Tecnológico UIS Guatiguará. Km 2 vía El Refugio. Piedecuesta, Santander, Colombia.*

Resumen: La medición de flujo (líquido o gas) es una actividad esencial en todas las etapas de procesamiento de fluidos. Se requiere realizar una medición que cumpla con las reglamentaciones establecidas en los esquemas de operación y control de las plantas, las normas de referencia, los contratos de compra y venta, etc., para un adecuado funcionamiento del proceso al cual se encuentra asociado. Una situación particular en la cual tiene un alto impacto económico la medición de flujo es en la comercialización de hidrocarburos, debido a su alto valor.

La calibración de un instrumento de medición es la comparación directa entre las indicaciones del equipo bajo prueba respecto a la indicación de un medidor patrón con trazabilidad nacional o internacional. Lo anterior permite cuantificar las desviaciones de los equipos de medición respecto a los patrones y así poder establecer las correcciones necesarias.

Este documento describe el desarrollo del banco gravimétrico de líquidos del CDT de Gas, el cual opera en un intervalo de caudal másico desde 1 kg/min hasta 900 kg/min y es empleado en la calibración de medidores másicos tipo Coriolis en condiciones de laboratorio. Se describen aspectos como el método de calibración, los componentes del banco, y las pruebas de validación y confirmación del método junto con sus resultados y análisis.

Palabras clave: Gravimétrico, Coriolis, totalización de masa, medidores de líquidos.

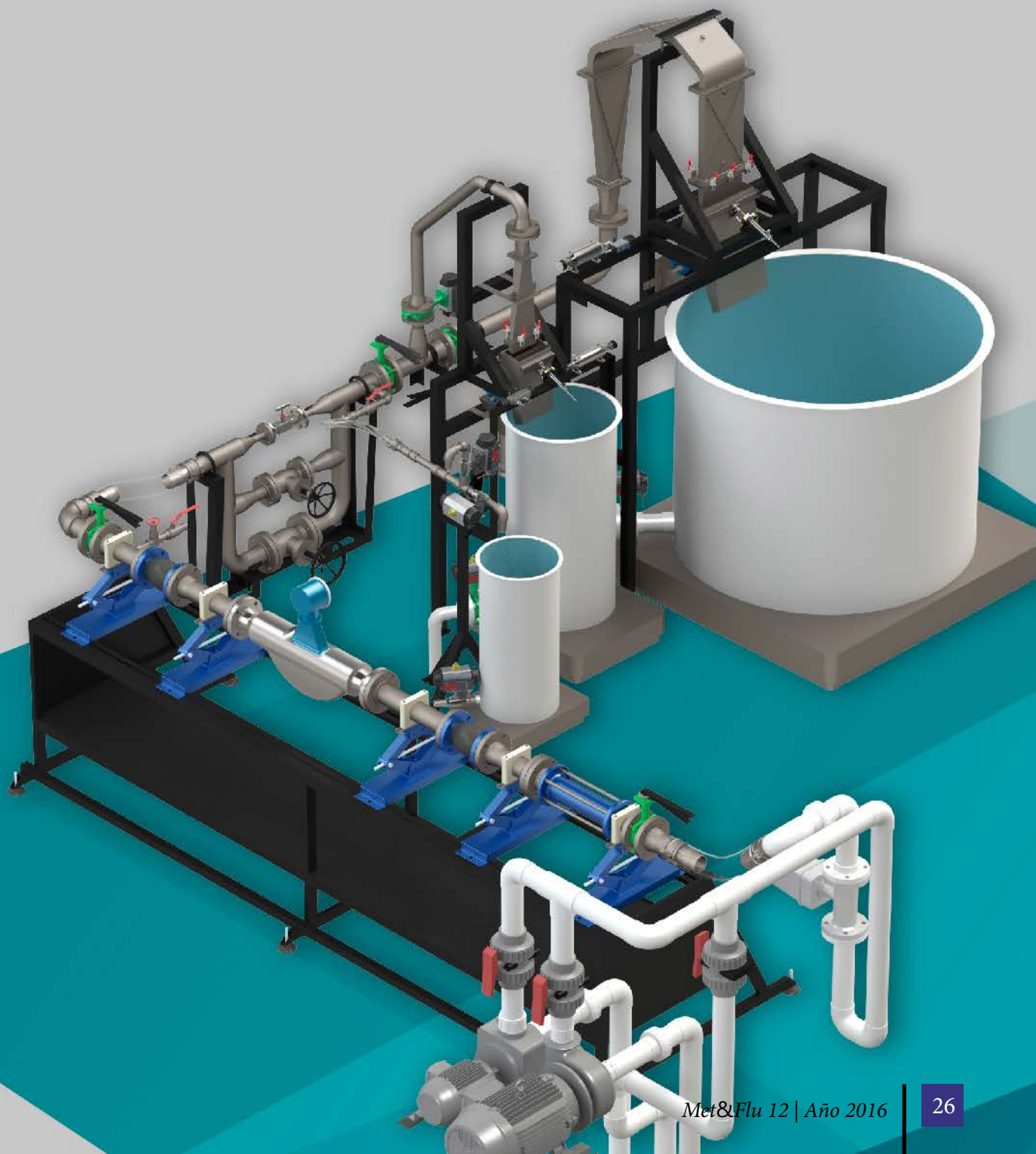
Abstract: Measurement of gas or liquid flows is an essential activity in all of the fluid processing stages. An adequate process functioning requires that the measurements comply with the established regulations in plant operation and control schemes, reference standards, purchase and sale contracts, etc. A particular situation in which the flow measurement has a high economic impact is hydrocarbon commercialization, due to its high value.

The calibration of a measuring instrument is the direct comparison between the indications of the meter under test and a master meter with national or international traceability. This allows to quantify the bias of measurement equipments with respect to standards, and thus be able to establish the required corrections.

This paper describes the development of the liquid flow gravimetric calibration bench of the CDT de Gas, which operates in a mass flow rate interval between 1 kg/min and 900 kg/min, and is employed to calibrate Coriolis mass flow meters in laboratory conditions. Different aspects as calibration method, bench components, validation and confirmation tests, along with their results and analysis, are described in this work.

Keywords: *Gravimetric, Coriolis, mass totalization, liquid meters.*

* dmanrique@cdtdegas.com



INTRODUCCIÓN

Las mediciones correctas y confiables (objetivo de la metrología) tienen una clara importancia para el cumplimiento de las exigencias de los clientes, reglamentaciones, etc., pues permite alcanzar un nivel de calidad y confianza de los productos y servicios [1], permitiendo asegurar la transparencia en el intercambio de productos entre vendedores y compradores.

El sector de los hidrocarburos no es la excepción, y día a día demanda el uso de sistemas de medición con características metrológicas especiales para cumplir con los cada vez más exigentes requisitos establecidos en las normas de referencia y/o en los contratos de compraventa correspondientes [2]. Una parte de los aspectos necesarios para garantizar las correctas mediciones son los procesos de calibración de los instrumentos de medida en los diferentes parámetros implicados [3].

Obtener un sistema de medición que entregue resultados confiables, implica un proceso que inicia con la adecuada selección e instalación de sus componentes, y se mantiene en el tiempo a través de la ejecución de actividades que contemplan la apropiada operación y mantenimiento del mismo, la comprensión del proceso de medición y la correcta interpretación de los resultados obtenidos.

Con el fin de dar cumplimiento a los requerimientos especiales de la industria, especialmente en la medición de hidrocarburos gaseosos y líquidos, y la calibración de sus equipos de medida, la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas (CDT de Gas) decidió desarrollar una infraestructura metrológica con la capacidad de calibrar medidores másicos tipo Coriolis. Este

tipo de medidores son empleados por la industria del petróleo en aplicaciones de transferencia de custodia, crudo y productos terminados [2, 4], como el caso de las estaciones de servicio de combustible y en transacciones de Gas Licuado de Petróleo (GLP). De igual forma, también se usa en la industria del gas natural, en la medición en transferencia de custodia y en los surtidores de Gas Natural Vehicular (GNV) [5, 6]. Estos medidores también son usados en la industria de alimentos y bebidas, industria farmacéutica, y adicionalmente como patrones de referencia para la calibración de medidores de flujo [2].

METODOLOGÍA

El sistema de calibración de medidores de flujo de líquidos del CDT de Gas (ver **Figura 1**) fue diseñado, construido y caracterizado por personal de la Corporación, basado en los requerimientos de las normas ISO 4185:1980, ISO 9368-1:1990 e ISO 10790:2015. El banco de calibración opera bajo el principio gravimétrico tipo pesaje estático con método de arranque-parada dinámico [7 - 9].



Figura 1. Banco gravimétrico de líquidos.

Este método normalizado consiste en comparar la cantidad de masa de líquido recolectada en un tanque (y medida en una báscula patrón) durante un tiempo determinado, con la masa medida por el equipo bajo calibración durante el mismo periodo de tiempo. La masa neta del tanque se determina calculando la diferencia entre la masa al inicio de la prueba y la masa después de realizar la colecta. Debido a que la entrega de líquido al tanque de recolección no es constante, se hace necesario de una válvula desviadora de flujo para dirigir intermitentemente el líquido al tanque sin interrumpir el caudal.

El banco gravimétrico de líquidos está compuesto por tres subsistemas. El primero consta de los componentes mecánicos (tubería, válvulas, bombas, etc.), el segundo es el sistema de control que automatiza el proceso y permite la adquisición y registro histórico de variables, y por último una herramienta informática donde se realizan los cálculos y se generan los resultados.

A continuación se presenta cada uno de los componentes principales del banco de calibración de la Corporación CDT de Gas:

1. Cisterna y líneas de flujo

El banco gravimétrico dispone de una cisterna de 2000 litros de capacidad para almacenamiento del agua que se utiliza en las calibraciones. Construida en concreto, se encuentra de manera subterránea en el área del banco. De esta cisterna se toma el agua que recircula por el circuito hidráulico.

Las líneas de flujo están conformadas en su mayoría en acero inoxidable, y una pequeña parte en PVC y en manguera de silicona (en zonas donde se requiere flexibilidad de la línea). Estos materiales resistentes a la corrosión permiten mantener la integridad del banco con el paso del tiempo.

El banco posee tubería, accesorios y acoples de diámetro nominal 3", 2", 1", ¾" y ½", para el acople de medidores bajo prueba de esos diámetros.

2. Sistema de generación de flujo

La generación de flujo del banco se realiza mediante bombas centrífugas que cuentan con la capacidad requerida para obtener desde 1 kg/min hasta 900 kg/min. El ajuste y la estabilidad del flujo de calibración se logran mediante variadores de frecuencia acoplados a los motores de las bombas, donde el ajuste se realiza por medio de un control PID (proporcional, integral y derivativo) o por modificación directa de la frecuencia. **La Figura 2** muestra el lazo cerrado del sistema de control para la generación de caudal. Los variadores también permiten ahorrar energía y reducen calentamiento del fluido. Adicionalmente, el banco posee un tren de regulación de válvulas para realizar un



Figura 2. Lazo de control regulación de caudal.

ajuste fino por estrangulación en caso de que se desee o sea necesario.

3. Sistema de pesaje

El sistema de pesaje del banco consta de tres balanzas electrónicas equipadas con tanques fabricados en fibra de vidrio de igual capacidad en volumen. Las balanzas son los instrumen-

tos de referencia del banco y cuentan con las siguientes capacidades: 60 kg con división de escala 1 g, 150 kg con división de escala 1 g, y 1500 kg multiescala (0 kg a 300 kg división de escala 10 g; 300 kg a 600 kg división de escala 20 g; 600 kg a 1500 kg división de escala 50 g). Las básculas poseen comunicación Modbus con el sistema de control del banco donde se almacena el historial de su indicación.

4. Válvula desviadora

La válvula desviadora fue diseñada por personal del CDT de Gas, basándose en las recomendaciones dadas por ISO 4185:1980 e ISO 9368-1:1990. Estos son elementos pivotantes usados para dirigir el flujo alternadamente entre el bypass y el tanque de medición (ver **Figura 3**). En este caso, la válvula se desarrolló como una canaleta en forma de pantalón o “V” invertida. El movimiento de la válvula es realizado por un pistón neumático activado por una válvula biestable electroneumática, controlada por el sistema de automatización del banco. El conteo de masa del medidor bajo prueba inicia y finaliza cuando la válvula se encuentra en el centro



Figura 3. Válvula desviadora.

de la trayectoria de flujo, mediante un sensor fotoeléctrico alineado con el centro de la válvula [7, 10].

5. Sistema de control y adquisición de datos

Con el objetivo de realizar el proceso de manera más eficiente (aumentar repetibilidad en las mediciones) y disminuir los errores humanos en la calibración y tiempo de ejecución [11], varios parámetros como activación de temporizadores, activación de actuadores, adquisición de pulsos y medición de variables secundarias como presión, temperatura y caudal se encuentran automatizadas con la plataforma de adquisición y control OPTO 22. En esta plataforma también se desarrolló la interfaz hombre-máquina (HMI) para la interacción con el banco desde un computador. La **Figura 4** muestra una de las ventanas de la interfaz.

6. Herramienta para análisis de datos

La herramienta para análisis de datos asociada al banco gravimétrico permite la gestión de los datos de cada una de las variables implicadas en el modelo matemático y requisitos de la norma de referencia, al igual que los parámetros asociados, reduciendo las posibles causas que puedan afectar la calidad de los resultados finales. Entre las facilidades que ésta herramienta ofrece están la generación del informe de resultados disminuyendo el tiempo de realización de éste y la generación de las evidencias correspondientes.

El objetivo de la calibración es conocer el error relativo del medidor, y su incertidumbre, en diferentes caudales o puntos de calibración distribuidos dentro de su alcance de medición [12]. El error relativo para totalización de masa se determina con la Ecuación 1.

$$Error = \left(\frac{M_{MUT}}{M_{Mi} * C_{desv} * \left(\frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_v}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_w}} \right)} - 1 \right) * 100 \quad (1)$$



Figura 4. HMI del Banco Gravimétrico de Líquidos.

Donde:

$Error$: porcentaje de error en la indicación del medidor [%].

M_{MUT} : masa registrada por el medidor bajo calibración [kg].

M_{Mi} : masa registrada en la báscula [kg].

C_{desv} : constante de la válvula desviadora [adimensional].

ρ_a : densidad del aire. $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

ρ_p : densidad de las pesas utilizadas en la calibración de la balanza. $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

ρ_w : densidad del agua. $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

Como requisito de las normas técnicas usadas como referencia para el procedimiento, y el propósito de asegurar cada una de las variables del modelo matemático del proceso, fue necesario realizar las siguientes pruebas:

-Determinación de la constante de la válvula desviadora [7].

-Determinación de la densidad del fluido de calibración [8].

-Requisitos de la estabilidad de caudal y variación de la temperatura del agua [13, 14].

- Constantes de las válvulas desviadoras

Al utilizarse un método gravimétrico estático, con arranque parado dinámico, se hace indispensable el uso y caracterización de las válvulas desviadoras. Estos elementos fueron caracterizados siguiendo los lineamientos de la ISO 4185:1980 Anexo A, método 1 [7]. De este ejercicio se determinó una constante para cada válvula (que ingresa en el modelo matemático como una corrección a la masa de líquido colectada en el tanque) y la incertidumbre de cada una (estimada a través de Método de Monte Carlo).

- Densidad del líquido

En la calibración de medidores de masa de líquidos, la densidad del fluido es un factor que ingresa en el modelo matemático para la corrección por flotabilidad, en la indicación del patrón. En la calibración de medidores volumétricos, este factor ingresa adicionalmente para la conversión de valores de masa del patrón, a unidades de volumen [15-17].

- Estabilidad de caudal y temperatura del agua

En cumplimiento de los requisitos para calibración estipulados en la ISO 10790, se realizó una evaluación de la estabilidad de caudal y temperatura en el intervalo de operación del banco gravimétrico. La norma estipula que el caudal debe permanecer estable en $\pm 5\%$ del caudal seleccionado, y la temperatura del agua debe permanecer dentro de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre puntos de calibración y su variación no debe exceder los $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en toda la calibración [8].

RESULTADOS

La norma ISO/IEC 17025 establece en el numeral 5.9 que “el laboratorio debe tener procedimientos de control de calidad para realizar el seguimiento de la validez de los resultados de los ensayos y las calibraciones llevados a cabo”. Para realizar la validación del método de calibración utilizado en el banco gravimétrico, se realizaron los siguientes procedimientos y pruebas:

1. Prueba de precisión del proceso de calibración

Se realizaron pruebas de repetibilidad y reproducibilidad bajo condiciones de cambio de metrólogo y día, a resultados generados a partir

de calibraciones ejecutadas en el banco. La evaluación estadística se realizó siguiendo los lineamientos dados en la norma ASTM E691 mediante un análisis numérico, el cual consistió en el cálculo de las componentes individuales de repetibilidad y reproducibilidad, y posterior una evaluación gráfica por medio de las constantes estadísticas h y k de Mandel, donde el valor de h representa la consistencia estadística entre calibraciones y k representa la consistencia estadística interna de las calibraciones [18]. Se realizó una prueba de precisión para cada sistema de pesaje (3 en total). Las calibraciones fueron realizadas por diferentes metrólogos, en días distintos.

La **Figura 5** representa los resultados de tres calibraciones realizadas a un medidor másico Coriolis marca Micro Motion modelo CNG050 en el intervalo de caudal de 1 kg/min hasta 25 kg/min .

La **Figura 6** muestra los resultados del análisis gráfico a través de las constantes de h y k de Mandel. Este análisis permite identificar valores atípicos o inconsistencias del proceso. Para la matriz de experimentos diseñada en este intervalo se utilizaron valores críticos de $h = 1,15$ y $k = 1,40$ para un nivel de confianza del 5% .

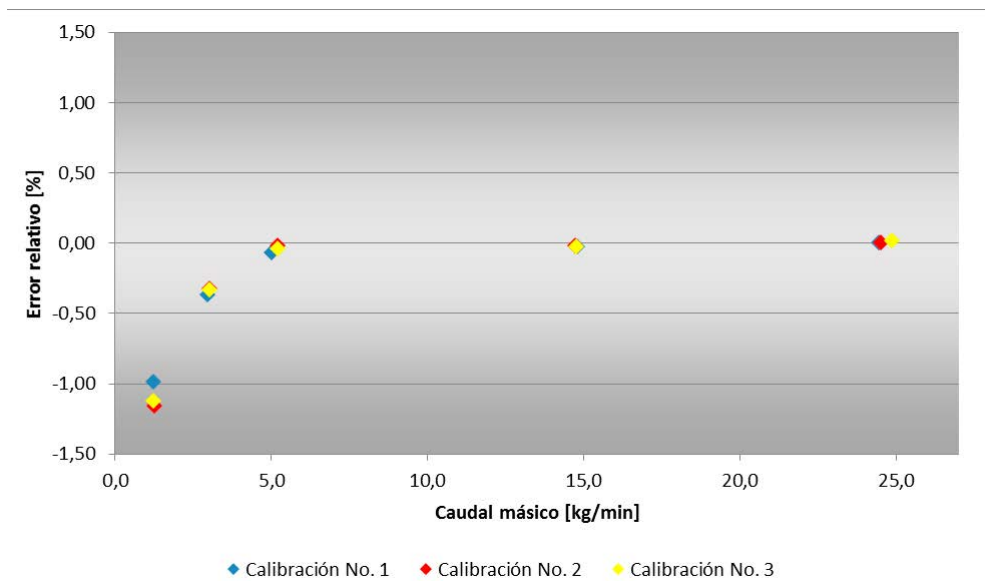


Figura 5. Resultados calibración medidor Micro Motion CNG050.

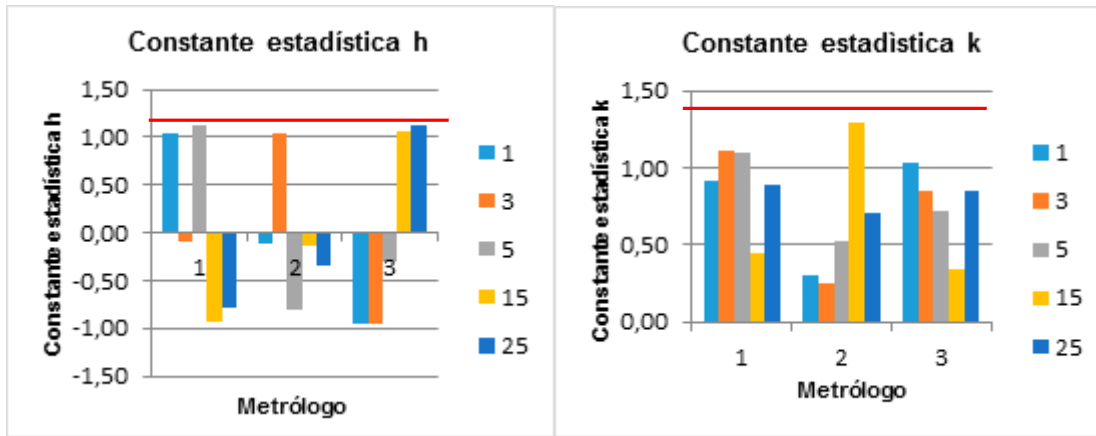


Figura 6. Consistencias estadísticas h y k de Mandel para el medidor modelo CNG050.

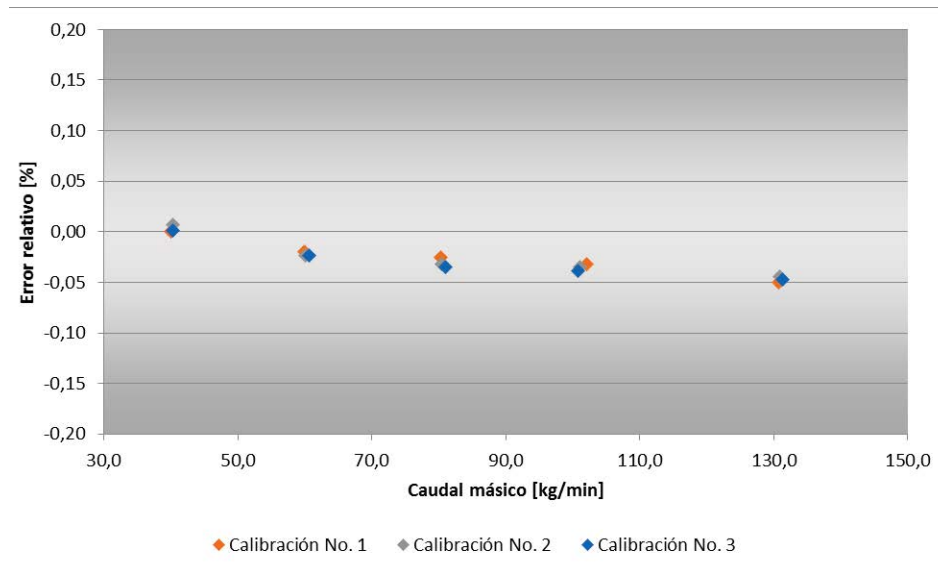


Figura 7. Resultados de calibración medidor Endress+Hauser 83F25.

La **Figura 7** representa los resultados de tres calibraciones de un medidor másico tipo Coriolis marca Endress+Hauser modelo 83F25 en el intervalo de caudal desde 40 kg/min hasta 130 kg/min. Por otra parte, la **Figura 8** presenta el análisis de los estadísticos h y k de Mandel; para la matriz de experimentos diseñada en este intervalo se utilizó valores críticos de $h = 1,15$ y $k = 1,40$ para un nivel de confianza del 5 %.

La **Figura 9** presenta los resultados de tres calibraciones de un medidor másico marca Endress+Hauser modelo 83F80 en el intervalo de caudal de 150 kg/min hasta 900 kg/min.

La **Figura 10** muestra los respectivos análisis con los estadísticos h y k de Mandel para dicha prueba.

2. Prueba de exactitud de los resultados de calibración

Con el fin de evaluar el desempeño del laboratorio en esta magnitud y confirmar la exactitud del método, se realizó un análisis del error normalizado de dos medidores Coriolis como dispositivos de transferencia a través de la comparación de los resultados de los certificados de calibración acreditados emitidos por dos laboratorios de calibración (CDT de Gas y Endress&Hauser).

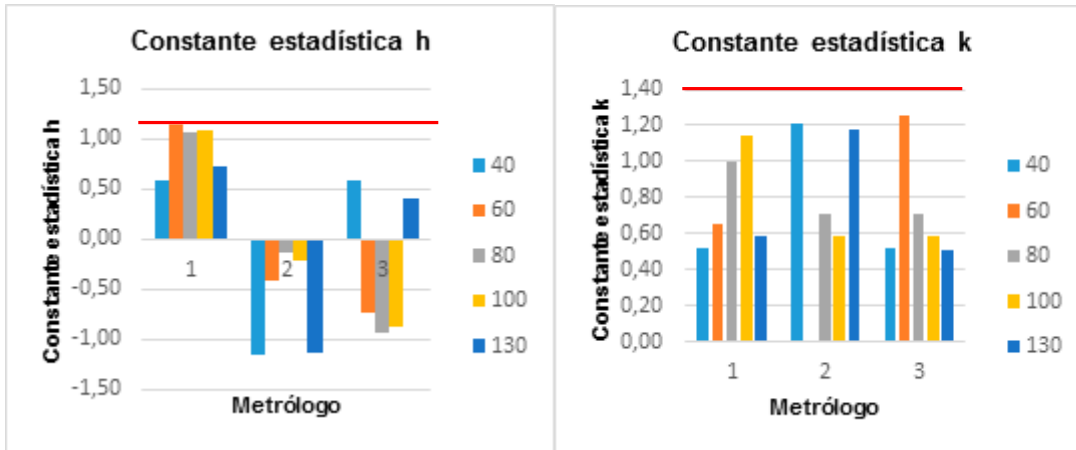


Figura 8. Consistencias estadísticas h y k de Mandel para el medidor modelo 83F25.

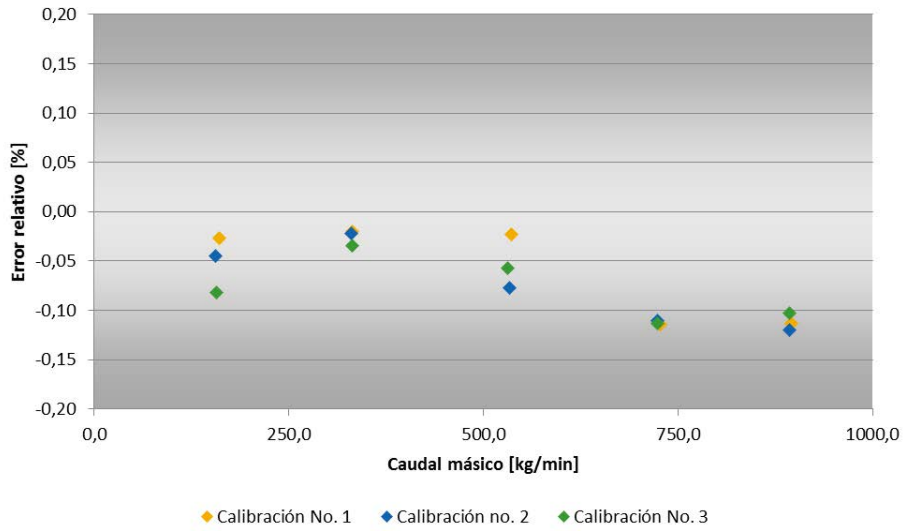


Figura 9. Resultados de calibración medidor Endress+Hauser 83F80.

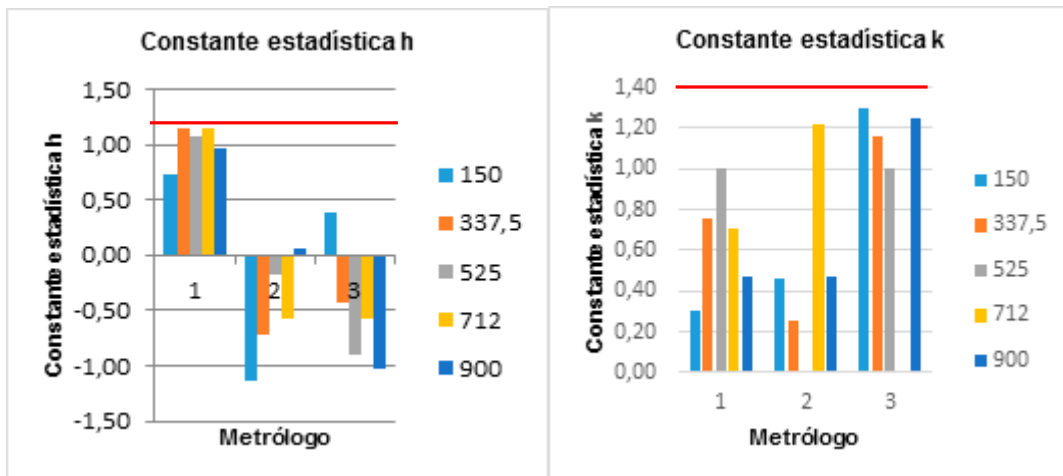


Figura 10. Consistencia estadística h y k de Mandel para el medidor modelo 83F80.

Se usaron como valores de referencia los datos emitidos por el fabricante en sus certificados de calibración. El análisis de resultados fue realizado según lo descrito en la norma ISO 17043 a través de la Ecuación 2.

$$E_n = \frac{X_{CDT} - X_{E\&H}}{\sqrt{(U_{CDT})^2 + U_{E\&H}^2}} \quad (2)$$

Donde:

E_n : error normalizado.

X_{CDT} : valor del mensurando reportado por el laboratorio usando el método bajo validación o verificación.

$X_{(E\&H)}$: valor del mensurando reportado por el otro laboratorio o método.

U_{CDT} : incertidumbre expandida del mensurando dada por el laboratorio usando el método bajo validación o verificación.

$U_{(E\&H)}$: incertidumbre expandida del mensurando reportada por el otro laboratorio o método.

El error normalizado es evaluado así:

$E_n \leq 1$ La comparación fue exitosa

$E_n > 1$ La comparación no fue exitosa

Las **Tablas 1 y 2** presentan los resultados del análisis del error normalizado.

Como se puede observar en las **Tablas 1 y 2**, el resultado del error normalizado en todos los casos fue menor a 1, y por tanto se considera que el desempeño del método durante la validación o verificación fue satisfactorio para el método de calibración validado.

DISCUSIÓN

Una manera de evaluar un proceso de calibración consiste en realizar pruebas de precisión y exactitud, y analizarlas con herramientas estadísticas apropiadas tales como las descritas anteriormente. Si los resultados se encuentran dentro de los límites establecidos, estos datos son evidencia de que los resultados son consistentes y permiten dar robustez al proceso de calibración.

El siguiente paso de la Corporación CDT de Gas en la medición de líquidos es ampliar el alcance de su infraestructura metrológica para la calibración de tecnologías tales como turbinas, vortex, etc., así como llevar las calibraciones al sitio de operación de los medidores, reduciendo costos y tiempo asociados al proceso.

RESULTADOS ANÁLISIS ERROR NORMALIZADO						
Laboratorio	Error Xi	U	k	di	U(di)	En
	%	%	--	%	%	
Caudal de 12 kg/min						
Endress&Hauser	0,01	0,03	2,00	0,02	0,182	0,105
CDT	0,03	0,18	1,97			
Caudal de 21 kg/min						
Endress&Hauser	-0,01	0,03	2,00	0,02	0,132	0,144
CDT	0,01	0,13	1,97			
Caudal de 30 kg/min						
Endress&Hauser	-0,02	0,03	2,00	0,01	0,132	0,106
CDT	0,00	0,13	1,97			
Caudal de 45 kg/min						
Endress&Hauser	-0,01	0,03	2,00	0,01	0,132	0,098
CDT	0,00	0,13	1,97			
Caudal de 60 kg/min						
Endress&Hauser	0,00	0,03	2,00	0,01	0,132	0,076
CDT	0,01	0,13	1,97			

Tabla 1. Resultados análisis de error normalizado intervalo de caudal de 12 kg/min a 60 kg/min.

RESULTADOS ANÁLISIS ERROR NORMALIZADO						
Laboratorio	Error Xi	U	K	di	U(di)	En
	%	%	--	%	%	
Caudal de 120 kg/min						
Endress&Hauser	0,01	0,03	2,00	0,00	0,132	0,008
CDT	0,01	0,13	1,99			
Caudal de 210 kg/min						
Endress&Hauser	0,023	0,03	2,00	0,11	0,123	0,887
CDT	-0,09	0,12	1,96			
Caudal de 300 kg/min						
Endress&Hauser	0,00	0,03	2,00	0,08	0,123	0,646
CDT	-0,08	0,12	1,96			
Caudal de 450 kg/min						
Endress&Hauser	0,02	0,03	2,00	0,10	0,123	0,831
CDT	-0,08	0,12	1,96			
Caudal de 600 kg/min						
Endress&Hauser	0,03	0,03	2,00	0,12	0,123	0,982
CDT	-0,10	0,12	1,97			

Tabla 2. Resultados análisis de error normalizado intervalo de caudal de 120 kg/min a 600 kg/min.

CONCLUSIONES

Con el desarrollo del banco gravimétrico de líquidos, el CDT de Gas ofrece actualmente a la industria colombiana el servicio de calibración de medidores másicos Coriolis en el intervalo entre 1 kg/min y 900 kg/min y con diámetro nominal desde ½” hasta 3”, cumpliendo los parámetros establecidos en la norma de referencia ISO 10790:2015. El proceso de calibración se encuentra acreditado por el ONAC bajo los lineamientos y requisitos de la ISO/IEC 17025:2005.

Las pruebas de precisión y exactitud a las que fue sometido el proceso de calibración implementado en el banco gravimétrico resultaron satisfactorias. El alcance del banco gravimétrico del CDT de GAS incluye la calibración (no acreditada) de medidores tipo vortex y desplazamiento positivo en el intervalo de flujo de 1 l/min hasta 900 l/min.

REFERENCIAS

- [1] Lazos R. *La Metrología como soporte a los sistemas de gestión en la industria*, 6ª Jornada Internacional de Medición de Fluidos, 2011.
- [2] Loza D. *Validación del uso de los medidores de flujo másico tipo Coriolis como patrones de referencia en aplicaciones de transferencia de custodia*. 6ª Jornada Internacional de Medición de Fluidos, 2011.
- [3] International Organization of Standardization (ISO). “ISO 10012 Measurement Management Systems — Requirements for Measurement Processes and Measuring Equipment”, International Standard, 2003.
- [4] American Petroleum Institute. *Manual of Petroleum Measurement Standards - Measurement of liquid hydrocarbons by Coriolis meters. Chapter 5 – Section 6*. 2002.
- [5] Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia. *Cadena del Gas Licuado del Petróleo 2013*. Bogotá, D.C, 2013.
- [6] Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira. *Estándares de los Sistemas de Medición en las Actividades de la Cadena de Prestación del Servicio Público Domiciliario de Gas Licuado del Petróleo –GLP– Informe Final*. UTP, 2012.
- [7] International Organization of Standardization (ISO). *ISO 4185 Measurement of liquid in closed conduits – Weighing method, International Standard*, 1980.
- [8] International Organization of Standardization ISO, “ISO 10790 Measurement of liquid flow in closed conduits – Guidance for selection, installation and use of Coriolis meters (Mass flow, density and volume flow measurements)”, International Standard, 2015.
- [9] Mantilla W, Covelli G. *Comparación entre los diferentes métodos de calibración de medidores másicos basado en análisis de incertidumbre*. Corporación CDT de Gas, 2012.
- [10] International Organization of Standardization (ISO). *ISO 9368-1 Measurement of liquid flow in closed conduits by the weighing method - Procedures for checking installations - Part 1: Static weighing systems*, 1990.
- [11] Rodríguez A. *Sistemas SCADA*, 2ª edición. Marcombo ediciones técnicas, 2007.
- [12] Engel R, Baade H-J. *New design dual balance gravimetric reference system with PTB's new hydrodynamic test field*. International Conference on Flow Measurement FLOMEKO, 2003.
- [13] La Guía MetAS. *Densidad del agua*. Junio, 2010. Disponible Online en: <http://www.metas.com.mx/guia-metas/La-Guia-MetAs-10-06-densidad-agua.pdf>.
- [14] Centeno LM, Burgos LdC, Becerra LO. *Determinación de la densidad del agua tipo I ASTM utilizada en el CENAM con patrones sólidos de densidad*. Centro Nacional de Metrología CENAM. Simposio de Metrología. México, 2004.
- [15] Engel R, Baade H-J. *Water density determination in high-accuracy flowmeter Calibration- Measurement uncertainties and practical aspects*. PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Department of liquid flow, Braunschweig and Droge Baade Drescher Consulting Engineers, Salzgitter, Germany, 2011.
- [16] Hafelfinger H. *Economical Processes Deriving from Highly Accurate and Robust metrology*, Oil&Gas, Endress+Hauser Flowtec, 2009.
- [17] Smits E. *Calibration of Prover Tank Using a Coriolis Mass Flow Meter as the Master Meter*. VSL, 2nd European Flow Measurement Workshop, 2014.
- [18] La Guía MetAS. *Aplicación metrológica de los estudios r&R (Repetibilidad y Reproducibilidad)*. Noviembre, 2003. Disponible Online en: <http://www.metas.com.mx/guiametas/la-guia-metas-03-11-r-r.pdf>