

EVALUACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LA MEDICIÓN DE MEDIDORES MÁSCOS UTILIZANDO FLUIDOS DE DENSIDADES DIFERENTES

Sergio Lupo, Juan Forastieri, INTI, Avda. Gral Paz 5445, Buenos Aires, ARGENTINA
0054-11-4724-6200 Int. 6262, caudal@inti.gov.ar
Juan Cirvini, EnviroControl S.A., Besares 106 Chacras de Coria, Mendoza ARGENTINA
0054- 261-496-1113, jcirvini@envirocontrolsa.com.ar

Resumen: En la medición de petróleo y sus derivados el medidor másico por efecto de Coriolis ha ganado un espacio importante. Las facilidades de calibración disponibles en Argentina se basan en el método gravimétrico utilizando agua como fluido de ensayo.

El presente trabajo se refiere a los resultados obtenidos a partir de comparar los valores obtenidos durante calibraciones efectuadas con dos fluidos distintos con una relación de densidad de aproximadamente 2 a 1. El primer fluido de ensayo fue agua y el segundo el comercializado, que en este caso es gas licuado de petróleo.

1. INTRODUCCIÓN

La medición de fluidos líquidos utilizando medidores másicos por efecto Coriolis ha ido incrementándose en el país en los últimos años, contándose hoy en día con más de 6 000 unidades instaladas dentro del territorio nacional y en industrias que desarrollan actividades diferentes, como lo es la industria alimenticia y la industria del petróleo. Esta última es la que más emplea esta tecnología para la medición del petróleo y sus productos derivados.

En Argentina existe un laboratorio para la calibración de estos medidores que se basa en el método gravimétrico utilizando agua como fluido de ensayo. Por pesaje se obtiene el error en masa del instrumento a calibrar y se determina el nuevo factor del medidor. Tomando una muestra de agua se determina la densidad de la misma y se calcula el error comparando este valor con el indicado por el instrumento. Luego se calcula el factor de densidad. El factor de masa y de densidad obtenidos son ingresados a la electrónica asociada al medidor. De esta forma se logra llevar a "cero" el error de indicación del instrumento, es decir, que la indicación suministrada por él sea lo más exacta posible.

Una de las empresas petroleras en Argentina opera una planta de despacho de gas licuado de petróleo (GLP) butano y propano ubicada en el interior del país. Sus instalaciones son aptas para el montaje de un medidor másico. El despacho de estos productos se efectúa en unidades de masa,

disponiendo por tal motivo de una balanza electrónica para su comercialización.

Siendo el flujo másico y la densidad las magnitudes primarias que mide el medidor por efecto Coriolis (además de la temperatura que es utilizada para corregir la rigidez del material de los tubos), se propuso evaluar el comportamiento que presenta el medidor por efecto coriolis empleando dos fluidos de densidades diferentes.

2. DESARROLLO DEL TRABAJO

Las tareas realizadas para llevar a cabo el estudio fueron:

- Calibración de la balanza.
- Calibración del medidor másico por efecto Coriolis en laboratorio.
- Calibración en campo del medidor másico utilizando agua como fluido de ensayo
- Calibración en campo del medidor másico utilizando GLP como fluido de ensayo.

2.1 Calibración de la balanza

La balanza consta de una plataforma de hormigón, apoyada sobre ocho celdas de carga dentro de una fosa, y un cabezal electrónico. Sus datos y características se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Datos y características de la báscula

MARCA	Mettler Toledo
MODELO	7561
RESOLUCION	10 kg
CAP. MIN	500 kg
CAP. MAX	80 000 kg

La calibración de la balanza la realizó personal técnico de INTI [1] [4]. Para la misma se utilizó un camión, propiedad de INTI, con 46 000 kg de tara total, 23 000 de los cuales fueron pesas patrones.

Por ser la menor división de la balanza 10 kg, se utilizó el método de redondeo con un juego de pesas de 1 a 10 kg, obteniendo así una mejor resolución en la indicación.

La Fig.1 muestra al personal acondicionando la plataforma de la báscula para la realización de los ensayos.



Fig.1 Báscula utilizada para realizar los ensayos.

2.2 Calibración del medidor másico por efecto Coriolis

El medidor másico por efecto Coriolis, junto con la electrónica asociada, fue calibrado inicialmente en laboratorio empleando un método gravimétrico y utilizando agua como fluido de ensayo [7]. Una vez determinado el desvío del medidor se calcula un nuevo factor de masa.

Con el medidor vacío y sin circulación de fluido se toma el valor indicado de la densidad del aire. Luego se la compara con la densidad calculada y se

determina el factor de densidad D1 correspondiente al aire.

Con el medidor lleno de agua y sin circulación se toma el valor indicado de la densidad del agua y se lo compara con el valor de referencia obtenido por picnometría. Se determina el factor de densidad D2 correspondiente al agua.

Los factores D1y D2, factores asociados y factor de masa son cargados en la electrónica para minimizar el error de indicación.

Los datos y características del medidor se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Datos y características del medidor másico por efecto Coriolis informados por el fabricante.

MARCA	MICRO MOTION
MODELO	CMF300M426NU
CAUDAL MÁXIMO	2260 kg/min
TRANSMISOR	RTF9739
EXACTITUD	0,10%

La Fig.2 muestra el medidor másico por efecto Coriolis a ensayar en la línea de carga.



Fig.2 Medidor másico por efecto Coriolis e instrumentación asociada.

2.3 Calibración en campo del medidor másico utilizando agua como fluido de ensayo

Una vez calibrado en el laboratorio, el medidor másico por efecto Coriolis fue montado en la línea

de carga de la planta. Se le conectó un transmisor de presión y se configuró para que realizara automáticamente la compensación en la medición de flujo másico y densidad por efecto de la presión.

Se reacondicionó la instalación para poder hacer circular agua por la estación de medición desde el tanque de almacenamiento. Finalizado los ajustes previos se comenzó con la verificación.

Se utilizaron camiones con cisternas de distintas capacidades para almacenar el agua. Se realizaron tres ensayos sobre el medidor para determinar el desvío de indicación en flujo másico [2, 3, 5, 8]. De cada uno de los ensayos se extrajo una muestra de agua de la cual se obtuvo un valor de densidad utilizando un densímetro patrón.

En la tabla 3 se detallan las condiciones operativas de línea durante los ensayos.

Tabla 3. Condiciones operativas de línea durante el ensayo con agua.

FLUIDO	AGUA
CAUDAL MASICO	870 kg/min
PRESION MEDIA	7,4 bar
TEMPERATURA MEDIA	21 °C
DENSIDAD MEDIA	0,99865 kg/dm³

2.4 Calibración en campo del medidor másico utilizando GLP como fluido de ensayo

Se restableció la configuración original de la línea de carga y se procedió a realizar los ensayos con GLP. Se utilizó gas butano por ser éste menos propenso a gasificarse a las condiciones de operación de línea. Se trató con esto evitar la circulación de un fluido de ensayo con dos estados de agregación distintos ya que, en medidores de tecnología Coriolis, esta condición de flujo es perjudicial para la exactitud.

Se utilizaron camiones tanques de aproximadamente 22 500 kg de capacidad de producto neto. Se realizaron tres ensayos comparando el valor indicado por el medidor con el valor obtenido de pesar el GLP en la báscula. De esta manera se determinó el desvío de indicación del instrumento en flujo másico [3, 5, 8].

No se pudo determinar la densidad del producto durante los ensayos por no estar preparada la instalación para conectar un picnómetro en línea. La tabla 4 muestra las condiciones operativas de línea durante los ensayos con GLP

Tabla 4. Condiciones operativas de línea durante el ensayo con GLP.

FLUIDO	GLP Butano
CAUDAL MASICO	600 kg/min
PRESION MEDIA	10,3 bar
TEMPERATURA MEDIA	21,5
DENSIDAD MEDIA	0,57080 kg/dm³

En la Fig.3 se puede apreciar el medidor másico instalado y el camión tanque cargándose sobre la balanza durante los ensayos.



Fig.3 Medidor másico y camión tanque para transporte de GLP.

3. RESULTADOS

Los valores obtenidos de la verificación en flujo másico en campo empleando agua como fluido de ensayo se informan en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la verificación en flujo másico utilizando agua como fluido de ensayo

ENSAYO	DESVÍO	DESVÍO ESTÁNDAR	U_{95%} k = 2
Nº	%	%	%
1	-0,02	0,02	0,08
2	-0,01		
3	0,02		

La desviación estandar de la media fue mejor al 0,015 %.

En la tabla 6 y Fig. 4 se detallan los desvíos de indicación en densidad con el mismo fluido de ensayo.

Tabla 6. Desvío de indicación en densidad de agua.

ENSAYO	DESVÍO	DESVÍO ESTÁNDAR	$U_{95\%}$ $k = 2$
Nº	%	%	%
1	-0,07	0,01	0,05
2	-0,05		
3	-0,06		

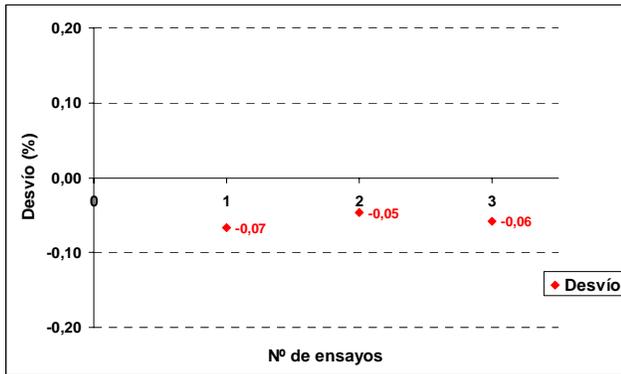


Fig.4 Desvío de indicación en densidad respecto a la línea de cero.

La desviación estandar de la media fue mejor al 0,01 %.

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos de la verificación del medidor másico utilizando el GLP como fluido de ensayo.

Tabla 7. Resultados de la verificación en flujo másico utilizando GLP como fluido de ensayo.

ENSAYO	DESVÍO	DESVÍO ESTÁNDAR	$U_{95\%}$ $k = 2$
Nº	%	%	%
1	0,03	0,01	0,08
2	-0,01		
3	0,04		

4. ANÁLISIS

En la tabla 8 se comparan los resultados obtenidos de las calibraciones realizadas con los dos fluidos de ensayos.

Tabla 8. Desvíos y diferencias encontradas en la calibración con agua y GLP

Ensayo	Agua Desvío %	GLP(Butano) Desvío %	Dif. Máx. %
1	-0,02	0,03	0,06
2	-0,01	-0,01	
3	0,02	0,04	

En la Fig.5 se muestra una gráfica de los desvíos obtenidos con agua y GLP con sus franjas de incertidumbres.

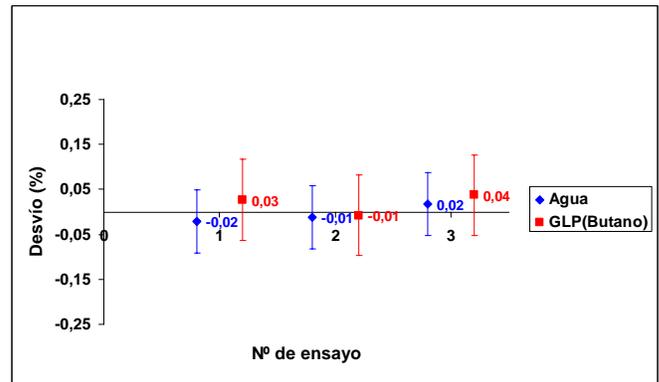


Fig.5 Desvíos del medidor másico ensayado con agua y GLP.

Para comparar los resultados en masa obtenidos en laboratorio y en campo se utilizó la ecuación del error normalizado [6].

$$E_N = \frac{V_{lab} - V_{Ref}}{\sqrt{U_{Lab}^2 + U_{Ref}^2}}$$

donde:

- E_N Error normalizado, ($k = 2$),
- V_{lab} Error del laboratorio,
- V_{Ref} Error de referencia. Promedio de los errores de las 3 calibraciones del CENAM.
- U_{lab} Incertidumbre expandida, ($k = 2$), del laboratorio,
- U_{lab} Incertidumbre de referencia expandida.

El grado de concordancia entre todos los valores fue mejor al 0,25.

La Fig. 6 muestra los desvíos en masa obtenidos de la calibración en campo. La línea cero representa la calibración en laboratorio.

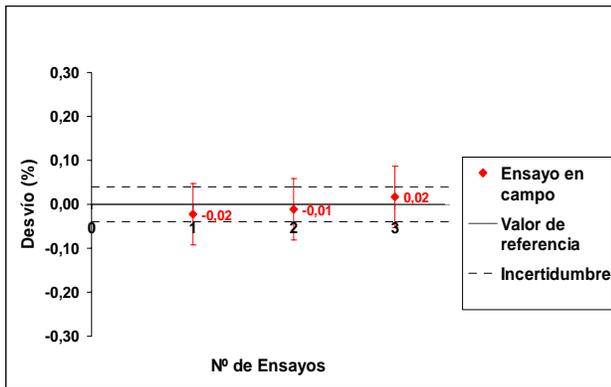


Fig.6 Desvíos en flujo másico.

5. CONCLUSIONES

De los valores obtenidos de la calibración en flujo másico con dos fluidos de ensayo de distintas densidades se observa que la diferencia máxima encontrada es de 0,06 %, siendo este valor mejor que el nivel de exactitud esperado para este modelo de medidor según especificaciones de Tabla 2.

De los valores de calibración en flujo másico obtenidos de los ensayos en laboratorio y en campo utilizando agua como fluido de ensayo se observa que el grado de acuerdo según el error normalizado es muy bueno.

Si bien este trabajo se realizó sobre un modelo específico, los resultados obtenidos son alentadores y permiten ampliar el campo de investigación con el fin de evaluar su utilización en el campo de las mediciones de fluidos líquidos en unidades de masa que se comercializan dentro del ámbito fiscal a nivel nacional y/o de transacciones en fronteras.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la firma ENVIROCONTROL S.A. por haber facilitado sus instalaciones para la calibración del medidor.

Se agradece también a la firma REFINOR S.A. por haber puesto a disposición las instalaciones de la estación de carga de GLP.

Un reconocimiento especial a *Germán Anello (EnviroContro S.A.), Marcos Tomacek, Sergio Contreras (Refinor S.A.), Juan Leiblich y Eduardo Marzoratti (INTI)* que a través de la calibración de la báscula, acondicionamiento de la planta y operación de la misma, hicieron posible la ejecución técnica de las pruebas.

REFERENCIAS

- [1] INTI - Física y Metrología, PEM 01M *Calibración de instrumentos de pesar con escala digital o continua*, 2000.
- [2] INTI - Física y Metrología, PEM 03M *Cálculo de la densidad del aire*, 2000.
- [3] API AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. *Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 5. Metering, Section 6. Measurement of Liquid Hydrocarbons by Coriolis Meters*. 2002.
- [4] *Guía para la expresión de las incertidumbre de medición* INTI - Cefis, 1999
- [5] S. Lupo, J. Forastieri. *Hoja de cálculo para la calibración en masa de medidores másicos*, 2006
- [6] *Remarks on the En - Criterion Used in Measurement Comparisons*. W. Wöger 1998
- [7] EnviroControl, *Cálculo y Procedimientos de laboratorio para la calibración de caudalímetros y densímetros*.
- [8] API AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. *Manual of Petroleum Measurement Standards, Chapter 14.6 MPMS Continuous Density Measurement*. 1991.