

Desempeño del Medidor Másico Tipo Coriolis Como Patrón de Referencia en la Verificación de los Sistemas de Medición del GLP Residencial en Estado Líquido

José Manuel Maldonado Razo

Centro Nacional de Metrología
km 4,5 Carretera a Los Cués, 76246, Querétaro, México.
mmaldona@cenam.mx

RESUMEN

El Centro Nacional de Metrología en colaboración con la PROFECO realizó un estudio para determinar la conveniencia de utilizar medidores másico tipo Coriolis como medidor de referencia para verificar los sistemas de medición de despacho de Gas Licuado de Petróleo (GLP) instalados en los auto-tanques de las compañías que ofrecen la venta a domicilio del GLP, en estado líquido. Se presentan los resultados de las pruebas realizadas a medidores Coriolis, las cuales consistieron en su calibración unidades de masa usando un sistema estático de pesado con agua, y la calibración con un patrón volumétrico a presión usando GLP. Estos datos de calibración se han utilizado para realizar pruebas de verificación de un medidor de desplazamiento positivo y determinar si el medidor Coriolis es adecuado para realizar dicha verificación.

1. INTRODUCCIÓN

Este estudio lo realizó el CENAM en coordinación con la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) para dar una opinión técnica respecto a la conveniencia de utilizar el medidor Coriolis como medidor de referencia en la verificación de medidores de desplazamiento positivo instalados en los auto-tanques utilizados en el despacho de GLP domiciliario.

Actualmente en México se realiza la verificación de estos sistemas de medición utilizando medidas volumétricas a presión. Sin embargo, a pesar de ser éste un método internacionalmente utilizado, hoy en día existen en el mercado medidores de caudal con cualidades metrológicas suficientes para ser considerados como patrones de referencia en el ejercicio de verificación de los medidores instalados en los auto-tanques que prestan el servicio de carga de GLP a domicilio. El uso de estos medidores ofrece ventajas en cuanto a la operación, la transportación, el tiempo de ejecución y la obtención de resultados directos, en comparación con la utilización de una medida volumétrica.

Las pruebas se realizaron a 3 modelos diferentes de medidores Coriolis de dos diferentes marcas; los cuales se probaron en tres diferentes caudales y con dos diferentes fluidos: agua y GLP.

En la realización de las pruebas con GLP se utilizó como base el procedimiento indicado en el proyecto de norma NOM-023-SEDG-2005, "Medidores

volumétricos por desplazamiento positivo para gas LP en estado líquido en uso. Procedimiento para la verificación de los errores máximos tolerados del medidor, utilizando el método de comparación directa con medida volumétrica".

Los requerimientos de los errores máximos tolerados para estos sistemas de medición se establecen en la Recomendación 117 de la Organización Internacional de Metrología Legal, y se muestran en la Tabla 1 [1].

Tabla 1. Errores Máximos permisibles para Sistemas de Medición para Flujo de Líquidos, según la OIML R117. Sólo se incluye la información correspondiente a las clases de exactitud 1.0 y 1.5.

OIML R 117		
Clase de exactitud	Campo de aplicación	
1.0	Despachadores de GLP para vehículos	
1.5	Sistemas de medición de GLP bajo presión (excepto despachadores de GLP)	
Errores máximos tolerados		
Clase de exactitud	1.0	1.5
Aprobación de modelo	0.6 %	1.0 %
Verificaciones periódicas	1.0 %	1.5 %

El Gas Licuado de Petróleo, es un producto de la destilación del petróleo, constituido por la mezcla de propano y butano. Para identificar claramente el gas licuado de petróleo se le agrega mercaptano como odorizante. Como datos de referencia, en la Tabla 2

se muestran las principales propiedades termodinámicas del propano y butano.

Durante las pruebas realizadas se registró la densidad del GLP, valor que en promedio fue de 525 kg/m³ a 23,5 °C.

Tabla 2 Propiedades del GLP.

Composición	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀
Temperatura de inflamación, en °C	-60	-42
Temperatura de autoignición, en °C	287	450
Densidad relativa líquido (agua=1)	0.582	0.504
Presión de vapor a 20 °C, en Pa	433	867
Coefficiente de expansión térmica a 20 °C, en 1/°C	0.003 02	0.001 98
Coefficiente de compresibilidad 22 °C a 25 °C, en 1/kPa	5,4E-7	

2. CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR CORIOLIS

Los medidores Coriolis se calibraron en dos modos: en masa y en volumen. Mientras que la calibración en modo de masa no es afectada por las propiedades físicas del fluido, la calibración en modo de volumen es recomendada sólo cuando el fluido de calibración es igual o similar en propiedades al fluido de trabajo.

2.1. Calibración en Masa

Los medidores Coriolis se calibraron en modo de masa en CENAM, usando el Patrón Nacional de Flujo de Líquidos (PNFL) como patrón de referencia, siendo agua el fluido de trabajo.

En el sistema estático de pesado, parte medular del PNFL mide el caudal másico colectando una masa de agua en un tiempo determinado, para ello cuenta con un tanque de almacenamiento soportado en tres celdas de carga, una válvula desviadora de flujo y un sistema de control que sincroniza la válvula desviadora de flujo, la señal del medidor y el conteo de tiempo. Una vez instalado el medidor en el sistema, se regula un caudal, cuando éste se estabiliza y se logra el equilibrio térmico, entonces el sistema de control acciona la válvula desviadora de flujo y comienza a recibir la señal del medidor y se inicia la medición de tiempo; cuando se alcanza un valor predeterminado de masa en el tanque de

almacenamiento el sistema de control acciona la válvula para desviar el flujo de agua hacia la cisterna de drenado y se detiene la medición de tiempo y la recepción de la señal del medidor; antes de realizar las mediciones de masa final y de las condiciones ambientales, se da un tiempo de estabilización en el tanque, para posteriormente realizar las correcciones y determinar el factor de calibración del medidor bajo prueba.

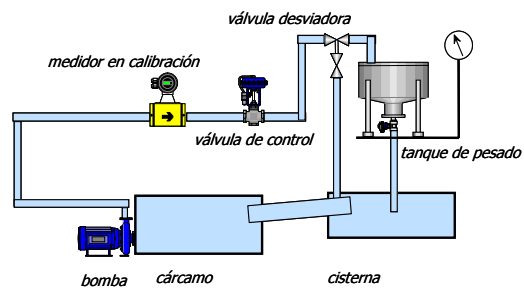


Fig. 1. Diagrama esquemático del Patrón Nacional de Flujo de Líquidos.

2.2. Calibración en Volumen

Esta calibración se realizó utilizando una medida volumétrica a presión con una capacidad de 200 L; esta medida esta fabricada en acero al carbón y cuenta con sensores de presión y temperatura; la medida tiene una escala inferior para fijar el nivel de referencia o de cero, y una escala superior para leer el volumen colectado.

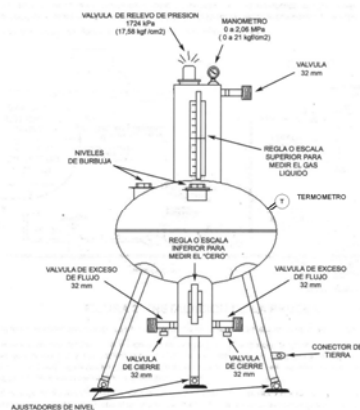


Fig. 2. Medida volumétrica a presión.

Las pruebas se realizaron en campo en varias Terminales de Abastecimiento de GLP, utilizando la medida volumétrica y calibrando el medidor Coriolis en unidades de volumen con GLP.

Para la calibración se utilizó un sistema de despacho de GLP para hacer pasar el fluido a través del medidor e introducirlo en la medida volumétrica; para vaciar la medida volumétrica se usó un compresor de vapor de GLP. Una vez conectado el equipo se realizaron corridas de ambientación circulando el fluido a través de la instalación. Lograda la estabilidad térmica se vacía la medida volumétrica, se igualan las presiones de vapor de la medida volumétrica y del tanque de almacenamiento por medio de una manguera que une ambos componentes; se ajusta el nivel del GLP a la marca de cero en la medida volumétrica, se cierra la válvula que conecta a los dos recipientes, y se energiza el sistema de bombeo, se abre la válvula aguas arriba del medidor y se colecta el GLP en el patrón volumétrico; cuando el nivel del GLP alcanza la marca de volumen nominal de la medida volumétrica se cierra la válvula, se espera un tiempo de estabilización y se registran las lecturas de volumen, temperatura presión y la lectura de volumen en el medidor, para posteriormente determinar el factor de calibración o los errores de medición del medidor bajo prueba.

2.3. Instalación

Los medidores Coriolis no requieren de instalación especial, el fabricante recomienda sean soportados firmemente de manera que no se transmitan esfuerzos mecánicos de la tubería al medidor, y la instalación de una válvula aguas abajo del mismo; adicionalmente se colocaron tramos de tubería recta a la entrada y salida del medidor para propiciar mejores condiciones de medición y se instalaron sensores de presión y temperatura a la entrada del medidor.



Fig. 3. Instalación del medidor.

2.4. Puntos de Calibración

La calibración por ambos métodos se realizó en 3 caudales diferentes, dentro del alcance de medición de 40 kg/min a 100 kg/min. En el modo de masa, los medidores Coriolis se calibraron a (35, 70 y 100) kg/min, siendo agua el fluido de trabajo; mientras que en el modo de volumen, los medidores Coriolis

se calibraron a (45, 70 y 100) L/min, siendo GLP el fluido de trabajo.

2.5. Medidores Probados

Se probaron 3 medidores de dos diferentes marcas y diferentes tamaños; sus características principales se especifican en la Tabla 3.

Tabla 3. Características de los medidores.

	Medidor 1	Medidor 2	Medidor 3
Diámetro nominal (Pulgadas)	1	1/2	1/2
Alcance máximo (kg/min)	450	136	136
Repetibilidad (%)	± 0,025	± 0,25	± 0.05

2.6. Factores de Calibración en Masa Usando Agua

Para la determinación de los factores de calibración del medidor Coriolis, usando el Patrón Nacional de Flujo de Líquidos, se utilizó el siguiente modelo matemático,

$$FC = \frac{m_p}{m_m}, \tag{1}$$

$$m_p = (m_{agua} + C_{calibración}) \cdot C_A \cdot C_D, \tag{2}$$

donde m_p es la masa de agua colectada en el sistema estático de pesado, m_m es la masa de agua registrada en el medidor, m_{agua} es la masa de agua registrada por el sistema de pesado, $C_{calibración}$ es la corrección de masa según certificado de calibración de sistema de pesado, C_A es la corrección en la masa debido al empuje del aire en las pesas y el agua, C_D es la corrección en masa debido a la válvula desviadora de flujo.

2.7. Factores de Calibración en Volumen Usando GLP

Para la determinación de los factores de calibración del medidor Coriolis usando la medida volumétrica se utilizó el siguiente modelo matemático,

$$FC = \frac{V_p}{V_m}, \tag{3}$$

$$V_p = V_{20} \cdot C_{ts} + C_p, \tag{4}$$

$$V_m = V_L \cdot C_{tl} \cdot C_{pl}, \tag{5}$$

donde V_p y V_m son el volumen de GLP en el patrón y el medidor, a las condiciones de temperatura y presión de la medida volumétrica, V_{20} es el volumen del patrón a 20 °C y presión atmosférica, Cts es la corrección por efecto de la temperatura en el cuerpo de la medida volumétrica, Cp es la corrección por efecto de la presión en el cuerpo de la medida volumétrica; determinada experimentalmente y expresada en mL/MPa, Ctl es la corrección por efecto de la temperatura en el fluido para llevarlo a las condiciones del patrón, Cpl es la corrección por efecto de la presión en el fluido para llevarlo a las condiciones de presión del patrón.

2.8. Verificación de un Medidor de Desplazamiento Positivo Usando la Medida Volumétrica y los Medidores Másicos como Patrón de Referencia

Se eligió un medidor de desplazamiento positivo con las características mostradas en la Tabla 4, para realizar pruebas de verificación usando una medida volumétrica y usando un medidor Coriolis como patrones de referencia; estas mediciones se realizaron en forma consecutiva, comenzando con la medida volumétrica y enseguida con cada uno de los medidores, por separado. En las pruebas usando el medidor Coriolis se han considerado los factores de calibración en masa y en volumen respectivamente para realizar las correcciones correspondientes.

Tabla 4. Características del medidor de desplazamiento positivo utilizado para realizar las pruebas.

Características	
Diámetro nominal (Pulgadas)	1 ¼
Modelo	4D
Alcance de medición (L/min)	19 a 113
Resolución (L)	0,1

La determinación de los errores del medidor de desplazamiento positivo considera correcciones de temperatura y presión en la medida volumétrica y no se realizan correcciones por temperatura y presión del fluido en el patrón y en el medidor bajo prueba.

3. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de la calibración del medidor Coriolis utilizando el Patrón Nacional de Flujo de Líquidos en modo de masa usando agua y usando la medida volumétrica a presión usando GLP. También se presentan los

resultados de la verificación del medidor de desplazamiento positivo cuando es usado como patrón una medida volumétrica, en primera instancia, y un medidor Coriolis en segunda instancia.

La determinación de los errores del medidor de desplazamiento positivo respecto del medidor Coriolis no considera correcciones por presión o por temperatura por considerar que las diferencias de estas variables en el medidor y en el patrón son despreciables y sólo se considera la corrección por calibración en el patrón.

3.1. Calibración en Modo de Masa

La Tabla 5 muestra los resultados de la calibración en modo de masa.

Tabla 5. Resultados de la calibración de los medidores en modo de masa.

Caudal (kg/min)	Medidor 1	Medidor 2	Medidor 3	U, k=2 (%)
	Factor de calibración	Factor de calibración	Factor de calibración	
35	0,999 5	1,000 4	1,000 2	0,03
70	0,999 5	1,000 2	1,000 1	
100	0,999 3	1,000 5	0,999 9	

3.2. Calibración en Modo de volumen

La Tabla 6 muestra los resultados de la calibración en modo de volumen.

Tabla 6. Resultados de la calibración de los medidores configurados en volumen usando GLP.

Caudal (L/min)	Medidor 1	Medidor 2	Medidor 3	U, k=2 (%)
	Factor de calibración	Factor de calibración	Factor de calibración	
45	1,000 4	1,000 0	1,000 7	0,3
75	1,001 8	1,000 8	0,999 5	
100	1,000 7	1,000 7	1,000 6	

Tabla 7 Resultados de la verificación del medidor de desplazamiento positivo usando la medida volumétrica.

Caudal	Medida volumétrica	Medidor D.P.	Error
L/min	L	L	%
102	202,562	201,5	-0,53
71	202,421	202,1	-0,12
41	201,713	201,1	-0,32

3.3. Resultados de la Verificación del Medidor de Desplazamiento Positivo Usando la Media Volumétrica

El error se determinó comparando el volumen corregido de la medida volumétrica por presión y temperatura contra el volumen registrado en el medidor de desplazamiento positivo, según la siguiente expresión,

$$E = Vm - Vp \quad (6)$$

3.4. Resultados de la Verificación del Medidor de Desplazamiento Positivo Usando los Medidores Másicos 1, 2 y 3

En las Tablas 8 a 10 se muestran los resultados de verificación del medidor de desplazamiento positivo usando los medidores Coriolis como referencia. Se incluyen dos columnas para informar sobre el error; la primera corresponde a los resultados obtenidos a partir de la calibración del medidor Coriolis contra el patrón Nacional de Flujo de Líquidos, usando agua como fluido de trabajo; mientras que la segunda columna considera los resultados de calibración del medidor Coriolis en el modo de volumen, siendo GLP el fluido de trabajo.

Tabla 8. Resultados de la Verificación del Medidor de desplazamiento positivo usando el Medidor Coriolis 1.

Caudal	Error	
	FM_{agua}	FM_{GLP}
L/min	%	%
101	-0,34	-0,46
77	-0,22	-0,45
52	-0,14	-0,23

Tabla 9. Resultados de la Verificación del Medidor de desplazamiento positivo usando el Medidor Coriolis 2.

Caudal	Error	
	FM_{agua}	FM_{GLP}
L/min	%	%
100	-0,16	-0,19
78	-0,17	-0,20
51	-0,10	-0,06

Tabla 10. Resultados de la Verificación del Medidor de desplazamiento positivo usando el Medidor Coriolis 3.

Caudal	Error	
	FM_{agua}	FM_{GLP}
L/min	%	%
94	-0,31	-0,37
77	-0,30	-0,25
54	-0,32	-0,39

Los errores del medidor de desplazamiento positivo determinados con cada uno de los medidores másicos usando los factores de calibración en masa y en volumen son muy similares; de hecho, las diferencias no son significativas.

En la Fig. 1 se condensan los resultados de los errores del medidor de desplazamiento positivo respecto de cada medidor tipo Coriolis y respecto de la medida volumétrica.

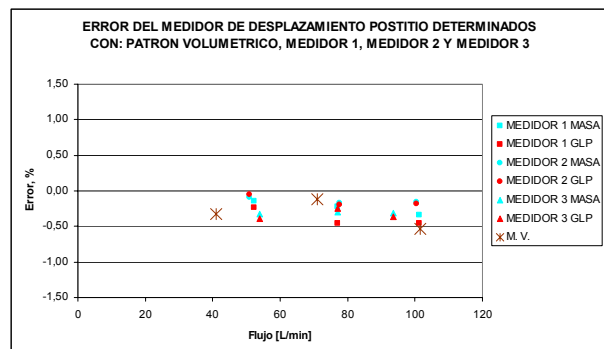


Fig. 1. Resultados del medidor de desplazamiento positivo.

4. DISCUSIÓN

Para asegurar un adecuado desempeño de un medidor Coriolis como medidor de referencia se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Verificar el medidor periódicamente; se sugiere que este periodo no sea mayor a 12 meses, pudiendo ser utilizado para este propósito una medida volumétrica.
- Verificar el cero conforme las recomendaciones del fabricante.
- Energizar el medidor por lo menos 15 min antes de iniciar las corridas de prueba, esto aplica solo al inicio; una vez energizado el medidor puede ser utilizado en forma continua.

- La calibración del medidor debe realizarse en unidades de masa y en densidad, pudiendo realizarse esta calibración con agua como fluido de trabajo.

5. CONCLUSIONES

Las diferencias máximas entre los resultados de calibración en los modos de masa (con agua) y en modo de volumen (con GLP) para los medidores Coriolis fueron, en promedio, menores que 0,1 %; de lo que se concluye que sí es posible calibrar los medidores Coriolis con agua y usarlo con otro tipo de fluidos como el GLP.

Para cumplir con los requisitos de exactitud relativos a la verificación de medidores de GLP, el medidor Coriolis debe ser calibrado con niveles de incertidumbre menores que 0,1 %.

La diferencia promedio presentada en la verificación del medidor de desplazamiento positivo calibrado con la medida volumétrica y los medidores másicos (agua y GLP) es del orden de 0,2 %.

Los medidores másicos tipo Coriolis calibrados con agua, en unidades de masa y densidad, pueden ser utilizados en la verificación de los errores máximos tolerados de medidores de despacho de GLP con clase de exactitud 1.5.

Los medidores másico tipo Coriolis no exhibieron problemas de medición por efectos de instalación.

AGRADECIMIENTOS

Por todas las facilidades dadas para realizar estas pruebas y la disposición de su personal se agradece a las autoridades y personal técnico de cada una de las plantas visitadas.

También se agradece a la empresa MYTEC, que amablemente facilitó un medidor Coriolis para realizar las pruebas.

REFERENCIAS

- [1] OIML R 117 *"Measuring systems for liquids other than water"*, 1995, pp. 17
- [2] LP GAS Association, Technical Memorandum No. 77
- [3] Liquid Petroleum Gas *"An investigation into the practical testing issues"*

[4] Richard Paton, NEL, *"Review of LPG flow measurement Technologies and measurement issues"*, 2006

[5] Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM -023-SEDG-2005

[6] API MPMS, Chapter 11.2.2, section 2, *"Volume Correction Factors"*, p.p 5