

# CALIBRACIÓN DE UN MEDIDOR DE FLUJO DE LÍQUIDOS UTILIZANDO COMO PATRÓN DOS MEDIDORES MÁSICOS CONECTADOS EN PARALELO

Víctor Hugo Vázquez Morales, José Manuel Maldonado Razo  
Centro Nacional de Metrología

Carretera a los Cués km 4.5, el Marqués, Querétaro, C.P. 76246

01 442 211 05 00 ext: 3764, 3766, [vvazquez@cenam.mx](mailto:vvazquez@cenam.mx), [mmaldona@cenam.mx](mailto:mmaldona@cenam.mx)

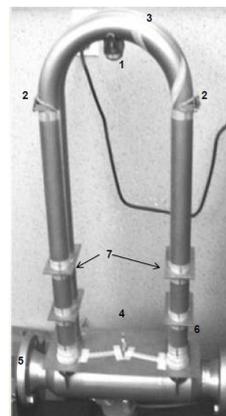
**Resumen:** La máxima referencia en la medición de flujo de líquidos en nuestro país es el Patrón Nacional de flujo de líquidos (PNFL), este patrón es el encargado de dar trazabilidad a las mediciones de flujo de líquidos, con este patrón se calibran medidores de flujo másicos tipo coriolis, ultrasónicos, electromagnéticos, turbinas, desplazamiento positivo, etc. Este trabajo presenta el estudio de la calibración de un medidor de flujo de alto alcance utilizando como patrón de medición dos medidores másicos calibrados individualmente con el PNFL, estos medidores conectados en paralelo tienen un alcance de 18 000 kg/min.

## 1. INTRODUCCIÓN

El PNFL se fundamenta en el pesado estático de la masa de líquido colectada en un tiempo determinado, la cantidad de líquido colectada por unidad de tiempo define el flujo másico. El flujo volumétrico que pasa a través de un área de sección transversal en un intervalo de tiempo definido se determina a partir del flujo másico y la densidad del líquido.

- La incertidumbre expandida relativa del PNFL es 0.030 % para flujo másico y 0.038 % para flujo volumétrico para un nivel de confianza del 95 % aproximadamente.
- El PNFL cubre un intervalo de medida de 30 L/min - kg/min a 12 000 L/min - kg/min.
- Líquido de trabajo: agua.
- Intervalo de medida de presión manométrica de 0.16 MPa a 1 MPa.
- Material en contacto con el fluido: acero inoxidable.

Un medidor de flujo puede ser seleccionado para la transferencia de custodia de productos líquidos o para aplicaciones industriales, para ello hay una gran diversidad de medidores de flujo, por ejemplo, medidores de flujo tipo turbina, medidores de desplazamiento positivo, medidores ultrasónicos, medidores másicos. Los medidores de flujo son utilizados para la medición de flujo volumétrico y/o la determinación cantidad (volumen), flujo másico y/o la determinación cantidad (masa); siendo el medidor de flujo másico tipo coriolis el más utilizado, en la fig. 1 se muestra este tipo de medidor.



**Fig. 1.** Medidor de flujo másico tipo Coriolis de tubos en U (componentes: 1. Bobina excitadora, 2. Detectores electromagnéticos, 3. Tubos del sensor, 4. Conexiones eléctricas - señales, 5. Bridas de conexión al proceso, 6. RTD adherido a la pared exterior del tubo y 7. Absorbedor de vibración.)

El principio de medición de un medidor de flujo másico tipo coriolis se basa en el fenómeno que se presenta cuando un objeto sigue una trayectoria en un sistema rotatorio, cuando un fluido fluye a través de los tubos del sensor<sup>1</sup> en oscilación, se produce la fuerza de Coriolis. Esta fuerza origina una flexión (torsión) en sentidos opuestos entre la entrada y la salida del tubo sensor. Si el flujo másico a través del tubo en oscilación se incrementa, la flexión en los tubos es mayor, esta flexión provoca un cambio en la señal eléctrica de los detectores electromagnéticos montados a la entrada y salida de los tubos (fig 1, numeral 2), la ec. 1 presenta el

<sup>1</sup> Elemento de un instrumento de medición que está sometido directamente a la acción del mensurando.

modelo matemático que rige el comportamiento del medidor.

$$q_m \cong K * \Delta t \quad (1)$$

Donde:

$q_m$ : Caudal másico, kg/min.

$K$ : Constante geométrica de proporcionalidad

$\Delta t$ : Desfasamiento de señal,  $\mu$ s.

## 2. CALIBRACION

### 2.1 Calibración de medidores patrón

El sistema de medición consta de dos medidores de flujo másico tipo coriolis, los cuales son utilizados como patrones móviles para realizar la calibración de medidores de flujo en sitio. La calibración de cada medidor del sistema de medición se realiza con el PNFL en el intervalo de medida de (500 a 10 000) kg/min en 7 puntos de medición, al utilizar estos medidores en paralelo se tiene un caudal máximo de medición de 18 000 kg/min.

Cada uno de los medidores másicos esta instrumentado con instrumentos de medición de temperatura y presión que a su vez tienen trazabilidad hacia patrones nacionales, los medidores están instrumentados según la norma API 5.6 "Measurement of Liquid Hydrocarbons by Coriolis Meter".

### 2.2 Calibración de medidores usando el sistema de medición

La calibración de un medidor con el sistema de medición puede realizarse en alguna de las siguientes modalidades:

1. Utilizando el medidor patrón M1
2. Utilizando el medidor patrón M2
3. Utilizando el medidor patrón M1 + el medidor patrón M2

Las mediciones se realizaron en el laboratorio de flujo de líquidos del CENAM utilizando la instalación del PNFL, usando agua como fluido de prueba. Las pruebas se realizaron en tres caudales  $Q_{min}$ ,  $Q_{med}$  y  $Q_{max}$ . Para realizar las pruebas se usó un medidor de flujo másico tipo Coriolis de 8 pulgadas configurado en modo volumen o flujo volumétrico, con un intervalo de medición de 500 L/min a 12 000 L/min.

## 3. MODELO MATEMÁTICO

La ecuación utilizada para la obtención del factor de calibración del instrumento bajo calibración (IBC) es la siguiente:

$$FM = \frac{\text{Volumen del patrón}}{\text{Volumen del IBC}} \quad (2)$$

Donde: el volumen tanto del patrón como el IBC están referidos a condiciones base (20 °C y 101 325 Pa)

## 4. RESULTADOS

La evaluación de los resultados obtenidos se realiza por medio del valor de  $\zeta$  score, mediante el modelo de la ec. 3, en todos los casos el valor de referencia es el determinado con el PNFL.

$$\zeta = \frac{FM_i - FM_{ref}}{\sqrt{u_{FM_i}^2 + u_{FM_{ref}}^2}} \quad (3)$$

Donde:

$FM_i$ : es el valor del factor de calibración del IBC obtenido usando: el medidor M1, el medidor M2, el medidor M1 + medidor M2,  $FM_{ref}$ : es el valor del factor de calibración del IBC utilizando el PNFL.

$u_{FM_i}$ : es la incertidumbre típica de  $FM$  estimada para cada caso.

$u_{FM_{ref}}$ : es la incertidumbre típica de  $FM$  obtenida con el PNFL.

La evaluación del valor de  $\zeta$  score se realiza para cada uno de los caudales de prueba.

## 5. CONCLUSIONES

- Los diferentes métodos de calibración deben ser consistentes.
- la repetibilidad del patrón debe ser en todos los casos  $\leq 0,05$  % y se determinara empleado la desviación estándar experimental de 5 mediciones consecutivas.
- Los resultados de la comparación son aceptables si se cumple que  $\zeta < 1$ .

## AGRADECIMIENTOS

Al equipo del laboratorio de automatización por su trabajo y dedicación en el diseño e implementación del sistema de adquisición de datos.

## REFERENCIAS

- [1] ISO 10790:2015 "Measurement of fluid flow in closed conduits -- Guidance to the selection, installation and use of Coriolis flowmeters (mass flow, density and volume flow measurements)".
- [2] API 5.6 "Measurement of Liquid Hydrocarbons by Coriolis Meter".