

Respuesta a las demandas de trazabilidad en las mediciones de caudal de líquidos en la industria

A Loza G., R Arias R
Centro Nacional de Metrología
División de Flujo y Volumen

Introducción

Los múltiples procesos de transferencia de custodia de fluidos valiosos, dentro de los cuales muy pronto se incluirá el agua, demandan del uso de sistemas de sistemas de medición de caudal con características metrológicas especiales para cumplir con los cada vez mas exigentes requisitos establecidos en las normas de referencia o en los contratos de compraventa.

Para dar referencia de la importancia que tienen las mediciones de caudal en nuestro país, basta decir que de acuerdo con cifras de la Secretaría de Energía [1], de los recursos energéticos que mueven al país (incluyendo los sectores industrial, transporte, agropecuario, residencial, comercio y del sector público) aproximadamente 80% corresponden a las categorías de petrolíferos y de gas natural. En 2002 por ejemplo, el consumo interno de los energéticos totales se cuantificó en 3 828.9 PJ (1PJ = 10^{15} Joule), de los cuales aproximadamente 3 063 PJ fueron extraídos de recursos petrolíferos (sin incluir al coque de petróleo) y gas natural, energía que equivale aproximadamente a la asociada a 532 millones de barriles de petróleo.

Por otro lado, prospectivas de la Comisión Nacional del Agua [2], revelan que la *disponibilidad natural media de agua* per cápita en la zona del Valle de México decrecerá a razón de 0,75% cada año; lo que significa que para el año 2025 la disponibilidad natural media de agua per cápita en la zona del Valle de México será del orden de 156 m^3 , cifra que será 6 veces menor que la segunda mas baja de este tipo (833 m^3 por habitante, correspondiente a la península de Baja California). Estos datos ponen de manifiesto la urgencia que México tiene de administrar los recursos hidráulicos con sabiduría.

En la administración de la infraestructura energética e hidráulica, las mediciones de caudal juegan un rol muy importante; de hecho, para muchas empresas los medidores de caudal representan su “*caja registradora*”, en el sentido de que su facturación esta directamente ligada al funcionamiento de los

medidores de caudal. También, la identificación de fugas de líquidos o la extracción ilícita de los mismos puede ser comprobada mediante el uso continuo de estos sistemas de medición.

Dentro de los criterios de selección de sistemas de medición normalmente se toman en cuenta cualidades metrológicas propias de los instrumentos, por ejemplo: repetibilidad, linealidad, histéresis, deriva, etc., que son documentadas por los fabricantes y transmitidas al usuario a través de folletos, manuales operación, etc.; sin embargo, con frecuencia olvidamos tomar en cuenta un par de cualidades de enorme importancia cuando de asumir riesgos económicos se trata: ¹*incertidumbre* y ²*trazabilidad*; de hecho, cuando no es posible demostrar la trazabilidad de un resultado de medición, entonces de manera automática se pierde la confianza en el mismo; similarmente, cuando no existe una declaración de incertidumbre del resultado de una medición, entonces no existe forma de poder comprobar el cumplimiento con especificaciones, o de resolver disputas por diferencias entre resultados de medición diversos.

En este sentido, la instalación de los Patrones Nacionales de Medición en México tiene como objeto principal dotar de trazabilidad a los sistemas de medición instalados en la industria, a través de servicios de calibración; mismos que pueden ser prestados directamente por el Centro Nacional de Metrología (CENAM), o a través de la red de laboratorios secundarios correspondientes.

Aún cuando en el CENAM se han instalado patrones nacionales para medición de caudal de gas e hidrocarburos líquidos, por razones de espacio solo se describirán en este documento las cualidades

¹ **Incetidumbre** de medición: Parámetro, asociado con el resultado de la medición, que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente pueden ser atribuidos al mensurando [3].

² **Trazabilidad**: Propiedad del resultado de una medición o de un patrón, tal que ésta pueda ser relacionada a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas incertidumbres determinadas. [3]

y formas de uso del Patrón Nacional para Flujo de Líquidos (PNFL, ver figura 1); que desde 1996 es usado como el origen de la cadena de trazabilidad en las mediciones de caudal de líquidos, brindando oportunamente hasta el momento cerca de 350 servicios de calibración a instrumentos de medición de caudal provenientes de la industria mexicana.



Figura 1. Vista general de los sistemas para pesar del PNFL.

Reseña del Patrón Nacional para Flujos de Líquidos

La construcción del PNFL se justificó en términos de las necesidades de proveer de trazabilidad a los sistemas de medición de caudal instalados en industrias como: del petróleo, petroquímica, de generación de energía eléctrica, de transporte y distribución de agua, de alimentos, textil, entre otras. Así mismo, fue diseñado y construido para atender también las necesidades de caracterización de componentes hidráulicos como: bombas, válvulas de control, filtros, etc., fabricados en México como en el extranjero.

Diseñado por personal del Centro Nacional de Metrología, el PNFL es construido e instalado en 1995, incorporando también valiosas recomendaciones procedentes de Institutos Nacionales de Metrología análogos al CENAM (por ejemplo: National Institute of Standards and Technology, NIST/EU, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB/Alemania y National Engineering laboratory, NEL/Reino Unido), instituciones con los cuales el CENAM mantiene cooperación técnica en forma permanente.

El PNFL es usado principalmente para calibrar medidores de caudal másico o volumétrico en modo dinámico (arranque y paro en movimiento); esto es, durante el proceso de comparación entre el medidor

bajo calibración y el PNFL, el medidor se encuentra todo el tiempo sujeto a la circulación del fluido a su través. En el párrafo siguiente se describe brevemente el procedimiento de calibración.

Antes de iniciar la comparación entre medidor y patrón, el agua es forzada a circular a través del sistema hasta alcanzar la estabilidad térmica y de caudal necesarios. Una vez alcanzada la estabilidad, se mide la masa inicial en el tanque seleccionado; mientras tanto, el agua es direccionada hacia la cisterna. Concluida la medición de masa, la válvula de desvío cambia su posición para introducir ahora el agua hacia el interior del tanque de pesado (ver figura 2), justo a la mitad de la trayectoria de la válvula desviadora un sensor óptico ve interrumpida su señal para iniciar así la medición del tiempo. En el tanque de pesado se colecta una cantidad pre-determinada de agua y acto seguido se activa nuevamente la válvula desviadora para desviar ahora el agua hacia la cisterna de drenado; nuevamente, durante el movimiento de la válvula desviadora se interrumpe la señal de un sensor óptico, mismo que finaliza la medición del tiempo; acto seguido se mide la masa final en el tanque de pesado, usando para este propósito un sistema integrado por tres celdas de carga de excelentes cualidades metrológicas. Considerando el nivel de incertidumbre del PNFL, es indispensable realizar correcciones por el empuje del aire; para lo cual se mide la temperatura, presión atmosférica y humedad relativa del aire en las inmediaciones del sistema de pesado.

Mediante la combinación de las mediciones de masa y tiempo, se determina entonces el caudal másico promedio; mismo que se compara contra la indicación del medidor para obtener el factor de corrección correspondiente.

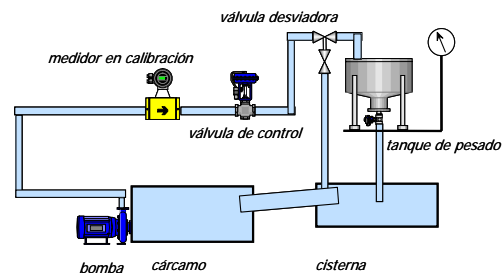


Figura 2. Diagrama esquemático de un sistema de referencia para medición de caudal, según ISO 9368-1 [4].

Característica	
Alcance de medición	(25 – 12 000) L/min
Incertidumbre	masa: $\pm 0,03\%$ * volumen: $\pm 0,05\%$
Trazabilidad	CENAM**
Fluido de trabajo	Agua desmineralizada
Sistema de pesado	Estático
Tanques	(1 500 y 10 000) kg
Presión máxima	1 MPa ($=10^6$ Pa)
Tuberías	(25 – 200) mm
Medidores de caudal	Turbinas, ultrasónicos, coriolis, electromagnéticos, placas de orificio, de desplazamiento positivo, etc.

* Valor expresado a un nivel de confianza del orden de 95 %.

** A los patrones nacionales de masa, tiempo, temperatura y presión.

Tabla 1 Descripción técnica del PNFL.

Diseminando la exactitud del PNFL

A partir de 1998, alrededor de 50 servicios de calibración por año se realizan con el PNFL, ligados en su mayoría con la industria nacional. Los tipos de medidores que preferentemente son enviados para su calibración son: por principio de coriolis (45%), del tipo electromagnético (30%), ultrasónicos (10%), de turbina, desplazamiento positivo y tipo propela (15%).

Además de los servicios de calibración que se realizan en las instalaciones de CENAM, el PNFL disemina su exactitud a través de la operación de patrones de referencia pertenecientes a Laboratorios Secundarios (acreditados por la Entidad Mexicana de Acreditación, *ema*), que en forma frecuente son calibrados contra el PNFL. Dichos patrones de referencia se usan para realizar servicios de calibración en sitio.

La aprobación de modelo de medidores de caudal es otro mecanismo mediante el cual se logra propagar las cualidades del PNFL. A la fecha se han realizado pruebas de aprobación de modelo a diferentes tipos de instrumentos: medidores tipo coriolis, ultrasónicos de trayectorias múltiples, placas de orificio, entre otros. Este tipo de servicios tienen gran relevancia puesto que sirven para certificar que los instrumentos de medición satisfacen los requisitos impuestos en las normas de referencia aplicables, ejemplo OIML R117 [5].

También es importante destacar que las cualidades metrológicas de los instrumentos de medición

mejoran año con año, y esto impone la exigencia de que los sistemas de referencia gocen también de la aplicación de programas de mejora continua para disminuir su incertidumbre de medición, de acuerdo con las demandas de la industria.

Comparabilidad internacional

En 1999, bajo el auspicio de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), los directores de 38 Institutos Nacionales de Metrología (INM) de países miembros de la *Convención del Metro*, México incluido, firman el Arreglo de Reconocimiento Mutuo (MRA, por sus siglas en inglés), con la finalidad de que los Patrones Nacionales de Medición y los certificados de calibración expedidos por los institutos signatarios sean reconocidos por sus contra-partes. En el portal <http://kcdb.bipm.org/> es fácil localizar la información relacionada con el progreso del MRA.

El reconocimiento mutuo requiere no obstante, no solo de las buenas intenciones de los INM, sino también de: 1) la demostración de la implantación de un sistema de calidad determinado, y 2) la participación exitosa en comparaciones internacionales entre los INM.

Específicamente, el PNFL ha tomado parte exitosamente en diversos ejercicios de comparación internacional. En 1997 se efectuó una comparación tri-lateral en medición de caudal de líquidos, usando como referencia un arreglo de 2 medidores tipo turbina en serie, y en la cual participaron CENAM/México, NIST/EU y PTB/Alemania. La figura 3 muestra parte de los resultados de dicha comparación, [6]. En esta figura se aprecia que la máxima diferencia entre los resultados de los tres institutos participantes es menor que 0,1%.

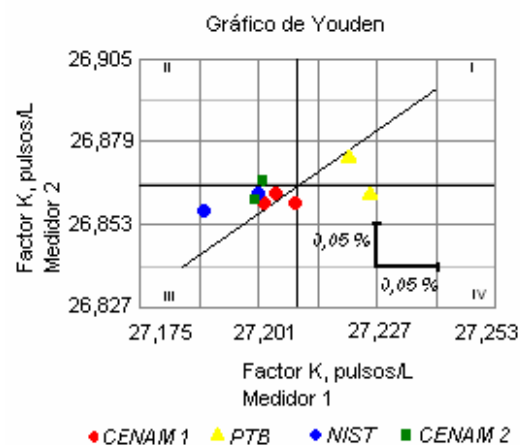


Figura 3 Parte de los resultados de la comparación entre CENAM, NIST y PTB.

En 2001 CENAM participa nuevamente en una comparación multilateral para medición de caudal de líquidos, para la cual se empleó un paquete de transferencia consistente de 2 placas de orificio en serie; esta comparación fue coordinada por el National Engineering Laboratory, NEL del Reino Unido; y en ella participaron Japón, Estados Unidos, Holanda y el Reino Unido, además de México. En enero de 2004 CENAM participó en la comparación clave³ CCM.FF-K1 para medición de Caudal de Líquidos. El patrón de transferencia consistió de dos medidores: una turbina de doble hélice y un medidor tipo coriolis de tubo recto instalados en serie. Esta comparación es coordinada por el Korea Research Institute of Standards and Science, KRISS, y en ella participan: Corea, Suecia, Alemania, México, Japón y el Reino Unido. De acuerdo con las características metrológicas de los patrones de transferencia, se espera que los resultados de todos los participantes se encuentren en una banda no mayor que $\pm 0,05\%$ para ambos medidores de caudal. Los resultados de esta comparación estarán disponibles en 2005.

procedures for checking installations-, Part 1: static weighing systems”, First edition, International Standardization Organization; Geneva, Switzerland.

- [5] OIML R117, “Measuring systems for liquids other than water”, International Organization for Legal Metrology; Paris, France.
- [6] A Loza, “*Comparison Testing Program 1997/1998, Liquid Flow Measurement, Final Results, CENAM - PTB – NIST*”

Comentarios finales

Las mediciones de caudal tienen gran relevancia en muchos sectores productivos del país. Afortunadamente, con la instalación y puesta en marcha del Patrón Nacional para Flujo de Líquidos en el Centro Nacional de Metrología, desde 1996 es posible dar trazabilidad, y confianza por consiguiente, a las operaciones de transferencia de custodia de fluidos valiosos que día con día se realizan en el país.

Referencias

- [1] Secretaría de Energía, “*Consumo de energía por sectores*”, www.sener.gob.mx, 2004.
- [2] Comisión Nacional del Agua, “*Estadísticas del agua en México, 2004*”, www.cna.gob.mx; 2004.
- [3] BIPM/IEC/ISO/OIML, “*Internacional vocabulary of basic and general terms in metrology*”, 1984.
- [4] ISO 9368-1, “*Measurement of liquid flow in closed conduits by the weighing method –*

³ Comparación clave: Es una comparación internacional en la cual participan normalmente Institutos Nacionales de Metrología, para determinar el grado de equivalencia entre ellos al medir o calibrar patrones de transferencia diseñados ex profeso para este propósito. [Nota del autor].