

# LABORATORIO SECUNDARIO DE GAS, UNA OPCIÓN DE INVERSIÓN.

Juan José Mercado Pérez  
 Centro Nacional de Metrología  
 Dirección de Metrología Mecánica, División de Flujo y Volumen  
 (442) 2 11 05 00 al 04, ext.: 3814, [jmercado@cenam.mx](mailto:jmercado@cenam.mx)

**Resumen:** Las necesidades en materia de servicios de calibración de equipos para medir volumen o caudal de gas se han incrementado en forma importante en los últimos años, en parte como consecuencia de los procesos de privatización del transporte y distribución de gas natural en nuestro país. El crecimiento de dicha demanda de servicios de calibración exige al Sistema Metrológico Nacional dar una respuesta oportuna y confiable. En este documento se describe la infraestructura actual del Laboratorio de Flujo de Gas, y cómo ha evolucionado ésta para cubrir la demanda de servicios. Se incluye también una descripción y el análisis metrológico de los sistemas de medición disponibles en CENAM, así como una propuesta de equipamiento y presupuesto de incertidumbre para la instalación de un laboratorio secundario de calibración para medidores de caudal de gas.

## 1. INTRODUCCIÓN

En este documento se describe la infraestructura y la evolución que ha experimentado el Laboratorio de Flujo de Gas del CENAM, en la búsqueda de satisfacer las demandas de servicios de calibración de la industria nacional. Se menciona la demanda que ha presentado el laboratorio en los últimos años y cómo ha evolucionado. Se analizan estos datos con la finalidad de conocer las necesidades del mercado nacional.

Con base en el análisis de las demandas de servicios, se hace una propuesta del equipamiento para un hipotético Laboratorio Secundario y se presenta un presupuesto de incertidumbre asociado a los resultados de calibración empleando los patrones propuestos.

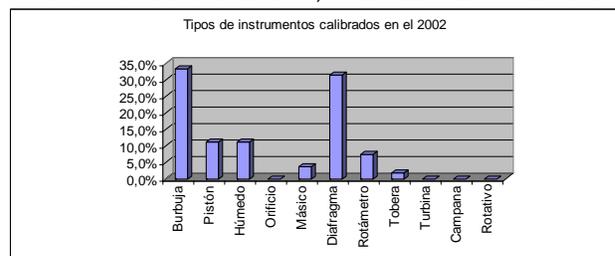
## 2. LABORATORIO DE CAUDAL DE GAS

### 2.1. Demanda de servicios de calibración

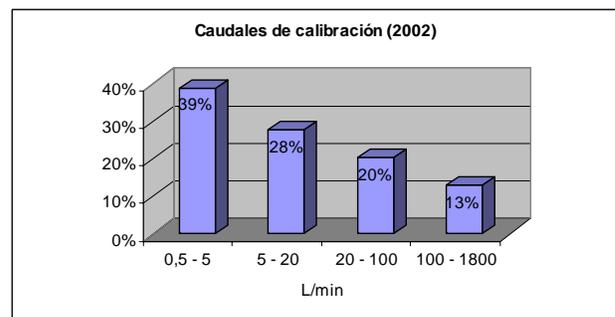
Las solicitudes de servicios de calibración en el laboratorio de flujo de gas se han ido incrementado un cincuenta y cinco por ciento respecto del año 2001.

En el año del 2002, la mayor cantidad de instrumentos que se calibraron en el Laboratorio de Flujo de Gas fue de tipo burbuja y tipo diafragma, como se muestra en la gráfica 1. Los intervalos de medición de medición se muestran en la gráfica 2.

En los años 2003 y 2004 sólo se realizaba alrededor del cuarenta por ciento de los servicios solicitados. Los equipos de referencia disponibles para realizar las calibraciones eran dos patrones de medición caudal de gas tipo campana y dos medidores de desplazamiento positivo tipo pistón; logrando un intervalo de medición de 0,05 L/min a 2 840 L/min.



**Grafica 1.- Instrumentos calibrados en el 2002.**



**Grafica 2.- Caudales de calibración de los equipos calibrados en el 2002.**

En 2003 la mayor cantidad de medidores que se calibraron incluían medidores tipo diafragma, burbuja, pistón, tambor húmedo y rotámetros, siendo estos el ochenta y cinco por ciento de los instrumentos calibrados: mientras que los

instrumentos tipo másico, campana, toberas, turbina, etc., conformaron el quince por ciento restante. Los instrumentos calibrados en caudales de 0,05 L/min a 20 L/min acumularon el sesenta y dos por ciento, de 20 L/min a 100 L/min alcanzaron el veinte y siete por ciento y el once por ciento complementario correspondió a medidores con un intervalo de medición entre 100 L/min y 2 840 L/min.

En el año 2004 la mayor cantidad de medidores que se calibraron fueron de tipo burbuja, pistón, tambor húmedo, diafragma, másico y campana, siendo estos el noventa y tres por ciento de los instrumentos calibrados; mientras que los instrumentos tipo placa de orificio, de desplazamiento positivo (rotativo), etc., conformaron el siete por ciento restante. Los instrumentos calibrados en caudales de 0,05 L/min a 20 L/min fueron el setenta por ciento, de 20 L/min a 100 L/min alcanzaron el diez y ocho por ciento y el doce por ciento correspondió a medidores con alcance de medición entre 100 L/min y 2 840 L/min.

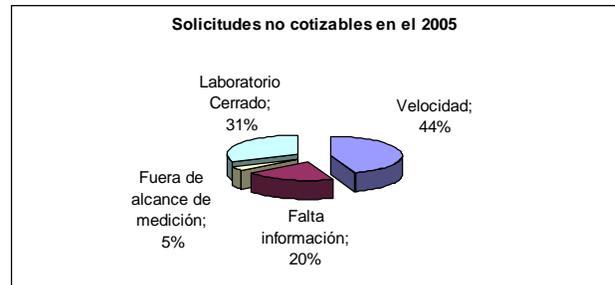
Debido al incremento en la demanda de servicios de calibración entre 0,05 L/min a 100 L/min, se adquirió un medidor de caudal de gas tipo laminar con intervalo de 0,05 L/min a 5 L/min. De igual forma, se pone en funcionamiento un banco de toberas de flujo crítico con un intervalo de medición de 0,5 L/min a 1 850 L/min y se pone también en funcionamiento un medidor de desplazamiento positivo tipo rotativo con un intervalo de 17 L/min a 6 750 L/min.

Para el año de 2005 se incrementaron los servicios de calibración en un sesenta y un por ciento, respecto del año inmediato anterior; lo cual redundó en una satisfacción del ochenta y nueve por ciento respecto de las solicitudes de los servicios; ver gráfica 3.



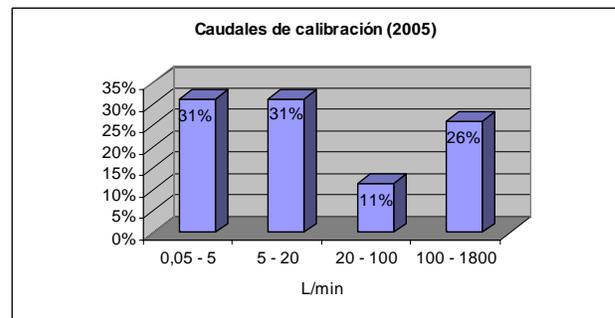
**Grafica 3.-** Porcentaje de las calibraciones realizadas con respecto a las solicitudes en el Laboratorio de Flujo de Gas.

Entre los motivos por los cuales no se concretaron las solicitudes recibidas destacan: a) exceso de carga de trabajo (treinta y un por ciento), b) inexistencia de patrones de referencia, principalmente para mediciones de velocidad de aire (cuarenta y cuatro por ciento), c) falta de información (veinte por ciento) y d) solicitudes fuera del intervalo de medición de los patrones de referencia (cinco por ciento).



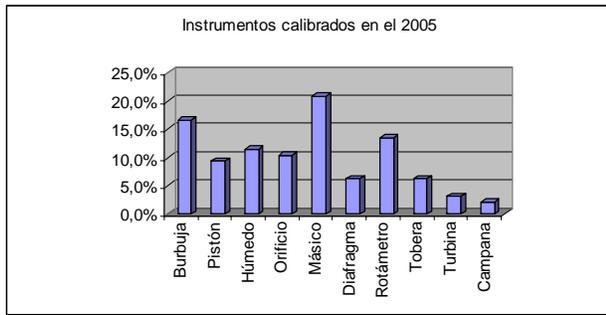
**Grafica 4.-** Solicitudes no cotizables en el 2005.

Durante 2005 el sesenta y dos por ciento de las calibraciones realizadas estaban en el intervalo de 0,05 L/min a 20 L/min y el treinta y siete por ciento fue en un caudal de 20 L/min a 1840 L/min como se muestra en la gráfica 4.



**Grafica 5.-** Caudales de calibración de los equipos calibrados en el 2005.

Durante 2005 los tipos de instrumentos que más se calibraron fueron los tipo másico, con aproximadamente veinte y un por ciento. En la gráfica 6 se muestran los porcentajes correspondientes a los diferentes tipos de medidores calibrados en los laboratorios de flujo de gas del CENAM.



**Grafica 6.- Instrumentos calibrados en el 2005.**

Se puede apreciar en la gráfica 6 que en el año 2005 los instrumentos calibrados fueron más diversos en lo que al principio de medición se refiere. Destacando que se realizaron diversas calibraciones de rotámetros de alto caudal (100 L/min a 1840 L/min), La barra a la extrema derecha en la gráfica 5 da referencia de estos servicios.

**2.2. Características de un laboratorio secundario de caudal de gas.**

Dada la incapacidad del CENAM para atender en su totalidad las demandas de servicios de calibración de medidores de caudal de gas se sugiere a la iniciativa privada la creación de un laboratorio secundario de caudal de gas.

**2.2.1. Intervalo de medición.**

Como se puede apreciar en el punto 2.1, más del sesenta por ciento de las calibraciones se realizan en un intervalo de medición de 0,05 L/min a 20 L/min, y esta es una tendencia que año con año va creciendo. Bajo este concepto se propone la creación de un laboratorio secundario que realice calibraciones en el intervalo antes mencionado.

**2.2.2. Instrumentos a calibrar.**

El laboratorio secundario tendría que ofrecer servicios de calibración para los siguientes tipos de instrumentos: burbuja, pistón, rotámetro, húmedo, másico y turbinas.

**2.2.3. Incertidumbre requerida para ofrecer los servicios de calibración.**

La mayor cantidad de instrumentos que se calibran en el laboratorio de flujo de gas exhiben comportamientos con incertidumbres de medición del orden de un por ciento (valor expresado a un nivel de confianza del orden de noventa y cinco por

cientos). De tal forma que la incertidumbre de medición de los patrones de referencia del Laboratorio Secundario debería ser del orden de 0,3% a 0,4%.

**2.3. Propuesta de un laboratorio secundario de caudal de gas.**

Es importante mencionar que el laboratorio puede empezar con lo mínimo necesario para realizar sus servicios y que con el tiempo puede tomar robustez adquiriendo equipos sofisticados. La propuesta que se plantea es del equipamiento básico indispensable y suficiente para cubrir las características mencionadas en el punto 2.2. y puedan cubrir más del sesenta por ciento de los servicios solicitados en el Cenam. La propuesta consiste en:

**2.3.1. Patrón de referencia**

El patrón de referencia para un laboratorio secundario, si lo comparamos con el cuerpo humano, es como el corazón; debe ser un elemento estable, económico, con buena repetibilidad y reproducibilidad.

Las placas de orificios (pequeñas) pueden ser una opción viable, ya que no cuenta con partes en movimiento y se propone que sean calibradas en un solo punto para obtener una incertidumbre adecuada.

Se proponen 12 orificios, con los cuales se lograría un intervalo de medición de 0,05 L/min a 25,5 L/min, con mediciones en incrementos de 0,05 L/min aproximadamente. Los diámetros de los orificios calculados se muestran en la tabla 1.

	Propuesta				Comercial	
	Cantidad	Caudal L/min	Presión abs. Bar	φ μm	φ μm	Caudal L/min
1,-	1	0,05	3	44,2	45	0,05
2,-	2	0,1	3	62,5	75	0,14
		0,1	3	62,5		0,14
3,-	1	0,25	3	98,8	100	0,26
4,-	1	0,5	3	139,7	150	0,58
5,-	2	1	3	197,6	200	1,03
		1	3	197,6		1,03
6,-	1	2,5	3	312,4	300	2,31
7,-	2	5	3	441,7	400	4,11
		5	3	441,7		4,11
8,-	1	10	3	624,7	500	6,41
						6,41

**Tabla 1.- Medidas de los orificios propuestos y los comerciales.**

Ajustar a las medidas comerciales [4] es la mejor manera para economizar y los cambios son básicamente en el intervalo de medición, que resultaría de 0,05 L/min a 26,6 L/min.

La ecuación utilizada para el cálculo de los diámetros y caudales es la propuesta por el fabricante [4].

$$\dot{Q} = 0,01749 \cdot \frac{P_1}{29,7} \cdot \sqrt{\frac{29}{M.W.Gas}} \cdot Factor\#3 \cdot \sqrt{\frac{528}{Temp}} \cdot \phi_1^2$$

En donde:

$\dot{Q}$  = Caudal, [cm<sup>3</sup>/min]

$P_1$  = Presión absoluta a la entrada, [psia]

$M.W.Gas$  = Peso molecular del gas [aire = 29 g/gmol]

$Factor\#3 = 1$  cuando  $\Delta P/P_1 > 1/2$ .

$Temp$  = Temperatura del fluido, [°R]

$\phi_1$  = Diámetro del orificio, [μm]

Las variables de mayor influencia en la medición de volumen de gas son: temperatura, presión y humedad relativa.

El utilizar cilindros de aire extra-seco reduce significativamente la influencia de una de las variables: la humedad relativa del aire.

### 2.3.2. Elementos secundarios de medición.

Los elementos secundarios de medición son sistemas de medición de temperatura y de presión, los cuales para el principio de medición del elemento primario de medición tipo orificio son muy importantes.

Para calcular el efecto que tiene la medición de la temperatura y la presión en el volumen de un gas, nos basaremos en la ecuación (2).

$$V_R = V_a \frac{\rho_R}{\rho_a} \tag{2}$$

En donde:

$V_R$  = Volumen a condiciones de referencia, [m<sup>3</sup>]

$V_a$  = Volumen a condiciones de medición, [m<sup>3</sup>]

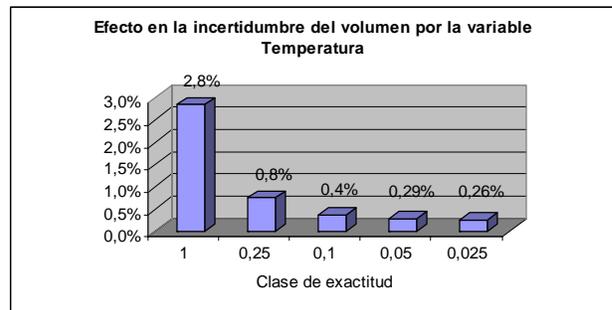
$\rho_R$  = Densidad a condiciones de referencia, [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_a$  = Densidad a condiciones de medición, [kg/m<sup>3</sup>]

En el cálculo de las densidades intervienen las variables temperatura, presión y humedad relativa [1] y [2]. Para estimar la incertidumbre del sistema de medición de caudal de gas, se asume que la placa de orificio presenta una incertidumbre expandida de 0,25% (asociada al caudal), el cual es un valor común es este tipo de elementos.

#### 2.3.2.1. Temperatura.

La propuesta es de un sensor de temperatura de respuesta rápida (termistor). La Gráfica 7 muestra la incertidumbre expandida asociada al volumen [3] ocasionadas por variaciones de la clase de exactitud del medidor de temperatura (para este cálculo se supone que la incertidumbre estándar asociada a la variable de temperatura es la clase de exactitud).



**Gráfica 7.-** Incertidumbre expandida asociada al mesurando, debido a la clase de exactitud del medidor de temperatura.

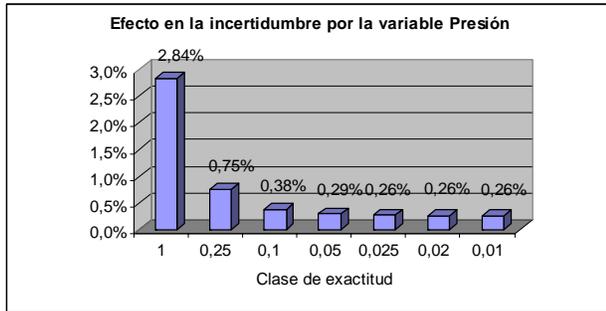
De la Gráfica 7 se observa que el sistema de medición de la variable temperatura con una incertidumbre estándar equivalente a la clase de exactitud de 0,05% es lo conveniente para el sistema de sistema de medición propuesto.

#### 2.3.2.2. Presión.

De forma similar se realizó para la variable presión, donde las clases de exactitud comerciales son: 0,1%, 0,05%, 0,025%, 0,015%, 0,01% y 0,007%. Se evaluó la incertidumbre de la ecuación [4], considerando que la incertidumbre asociada a la variable es igual a la clase de exactitud. Los resultados se presentan en la Gráfica 8.

Un sistema de medición de la variable presión con una incertidumbre estándar equivalente a la clase

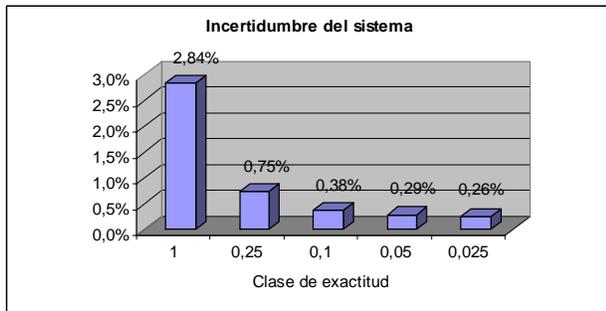
de exactitud de 0,05% es lo conveniente para nuestro sistema de medición.



**Grafica 8.-** Incertidumbre expandida asociada al mesurando, debido a la clase de exactitud del medidor de presión.

**2.3.2.3. Presión y Temperatura.**

En la Gráfica 9 se evalúa a influencia que tienen ambos sistemas de medición en el mesurando.



**Grafica 9.-** Incertidumbre expandida asociada al mesurando, debido a la clase de exactitud de los sistemas de medición de las variables de temperatura y presión.

La elección de sistemas de medición (temperatura y presión) con una clase de exactitud de 0,05% son viables ya que la incertidumbre estándar asociada a la medición de la variable se encuentra por debajo de la incertidumbre expandida requerida.

**3. RESULTADOS**

El sistema de medición que se propone para un laboratorio secundario de caudal de gas con un intervalo de medición de 0,05 L/min a 26,6 L/min debe de contar con 12 elementos tipo orificio, este tendrá que estar montado en un sistema donde se pueda habilitar o deshabilitar según las necesidades, deberá contar con dos sistemas de medición de temperatura y dos de presión con una clase de exactitud de 0,05%. Se requerirá utilizar

cilindros de aire extra-seco para eliminar el sensor de humedad relativa.

Con este sistema de medición propuesto se podrán calibrar medidores tipo: húmedos, burbuja, pistón, diafragma y todos aquellos que no requieran una presión aguas arriba en donde se cumpla la siguiente relación [4]

$$\Delta P / P_1 > 1/2 \tag{3}$$

En donde:

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$P_1$  = Presión absoluta a la entrada

$P_2$  = Presión absoluta a la salida

**4. CONCLUSIONES**

Hoy en día existen una infinidad de medidores de caudal de gas, con características metrologías también diversas. El sistema de medición propuesto es un sistema de medición de caudal de gas funcional y económico para atender las necesidades de calibración en caudales desde 0,05 L/min hasta 20 L/min.

La inversión que se requiere para este sistema no es elevada y su recuperación es a corto plazo ya que es un campo inexplorado aún. No es necesario tener sistemas de medición tan sofisticados, ni con incertidumbres tan bajas para cubrir la mayor demanda de calibración en el país.

**REFERENCIAS**

- [1] R.S. Davis, "Equation for the Determination of the Density of Moist Air (1981/91)", Metrología, 29, 1992, 67-70.
- [2] John D. Wright, "Gas Property Equations for the NIST Fluid Flor Group Gas Flor Measurement Calibration Services", February, 2004.
- [3] NMX-CH-140-IMNC-2002, Guía para la Expresión de la Incertidumbre de las Mediciones equivalente a Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAP, IUPAC, OIML (1995).
- [4] Lenox Laser, "Fluid flor Through Small Calibrated Orificas", <<http://www.lenoxlaser.com>>, 29 de junio del 2006