

## **Realización metrológica y mantenimiento de la Escala Nacional de volumen en gas**

*Juan Forastieri, Sergio Lupo*

*Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Avda. Gral Paz 5445, Buenos Aires, ARGENTINA  
0054-11-4724-6200 Int. 62626, [caudal@inti.gov.ar](mailto:caudal@inti.gov.ar), [jaforast@inti.gov.ar](mailto:jaforast@inti.gov.ar), [slupo@inti.gov.ar](mailto:slupo@inti.gov.ar)*

### **RESUMEN**

En la actualidad la industria del gas natural en Argentina tiene una participación importante dentro del cuadro energético del país y de la región. Por este motivo se impone la necesidad de asegurar que los resultados en un proceso de medición se encuadren dentro de un determinado nivel de calidad. El INTI desde hace varios años, con el fin de brindar asistencia industrial y legal que permita efectuar mediciones con el máximo nivel de exactitud, viene trabajando en definir la escala Nacional de volumen en gas a partir de la magnitud de masa de forma tal de posibilitar a los usuarios vincular sus mediciones a patrones nacionales. La realización de la unidad primaria requiere su definición, luego generar su realización y posteriormente materializarla. Una instalación de medición y calibración de flujo consiste de una fuente de fluido, instalaciones de cañerías para acondicionar los medidores a ensayar bajo condiciones ambientales aceptables y controladas y de patrones. En el presente trabajo se exponen las actividades para la realización y materialización de la escala nacional en una primera instancia para caudales comprendidos entre los 50 dm<sup>3</sup>/h y los 60 m<sup>3</sup>/h a presión atmosférica, niveles de exactitud alcanzados, incertidumbres de medición, trabajos de intercomparación y desarrollos a futuro de los patrones.

**Palabras Claves:** gas, volumen, flujo

## 1. INTRODUCCIÓN

Establecer una escala de medida de una magnitud determinada y diseminarla implica conocer su definición dentro de un sistema coherente de unidades para luego estudiar su realización física que permita ser mantenida en el tiempo y a su vez poder ser transferida a aplicaciones científicas, técnicas y comerciales.

Llevado este concepto a la magnitud volumen podemos decir que por su definición se encuentra vinculada en un principio con la magnitud de base que es la longitud y se la puede vincular con la magnitud masa a través de las siguientes expresiones:

$$V = longitud^3$$

$$V = masa / densidad \quad (1)$$

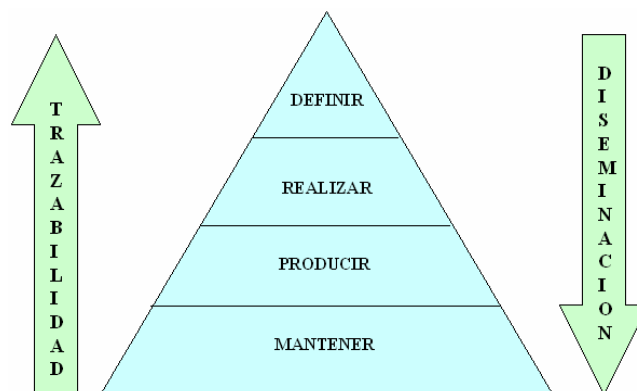
Luego podemos asociarla físicamente con el kilogramo patrón que es custodiado por ley en el Instituto Nacional de Metrología de cada nación.

Su realización conlleva el arreglo físico de un conjunto de operaciones metrológicas que permita obtener calidad de valores representativos de los niveles de exactitud que la industria y la ciencia requieren para efectuar transacciones técnicas y comerciales con el más alto grado de confianza asignable.

Luego de este paso, es decir de su realización al más alto nivel nacional, es necesario producirla y mantenerla para garantizar su transferencia.

Lógicamente para su posterior aplicación en el ámbito de las transacciones entre partes, se requiere del conocimiento para diseminar la escala en múltiplos y submúltiplos y su aplicación masiva.

La etapa descrita anteriormente es la denominada capacidad de diseminar una unidad determinada que recorrida en forma inversa permite garantizar la trazabilidad de las mediciones con su concepto de una cadena ininterrumpida de vinculaciones de medidas con los patrones nacionales.



En este contexto el INTI es por ley custodio de los patrones nacionales de medida y desde su Departamento de Física y Metrología encaró las tareas para realizar la escala de volumetría en gas a partir de la unidad del kg con el fin de que todas las mediciones en esta magnitud estén vinculadas a patrones nacionales de manera tal de poder garantizar la trazabilidad de las mediciones en la industria del gas dentro de ciertos niveles de exactitud. De esta forma las empresas no necesitan enviar sus patrones de referencia o de transferencia al exterior con los costos y riesgo conocidos.

## 2. DESARROLLO

El patrón primario desarrollado por el INTI para la medición de volumen en gas es el método gravimétrico [1-3]. Con él se inicia la realización de la Escala Nacional, la cual presenta trazabilidad al kilogramo patrón mantenido en el Instituto que a su vez, por comparaciones internacionales, se encuentra vinculado con el BIPM (Bureau Internacional de Pesas y Medidas). Este método consiste en desplazar un volumen de un fluido líquido de un dispositivo estanco (cuba) asociado a un medidor patrón de transferencia bajo ensayo. A medida que el líquido se desplaza, el medidor va registrando una cantidad de aire que circula por él y que llena el espacio ocupado por el líquido antes de su desplazamiento. El volumen del líquido es calculado en función de su masa y de su densidad y se lo compara con la indicación obtenida del medidor corregida a las condiciones termodinámicas del aire que ocupó el volumen físico del fluido líquido desplazado. Para ello se utilizan las ecuaciones (1), (2) y (3).

$$V_P = V_{ac} = \frac{m_{ac}}{\rho_{ac}} \quad (1)$$

$$V_M = \frac{V_P \times P_P \times T_M}{P_M \times T_P} \quad (2)$$

$$\varepsilon[\%] = \frac{V_L - V_M}{V_M} \times 100 \quad (3)$$

siendo:  $V_P = V_{ac}$  es el volumen patrón, o sea el volumen de aceite desplazado en  $m^3$

$m_{ac}$  es la masa de aceite en kg.

$\rho_{ac}$  la densidad del aceite en  $kg/m^3$ .

$V_M$  es el volumen de aire real que circuló por el medidor bajo ensayo en  $m^3$

$V_L$  es el volumen de aire indicado en el medidor bajo ensayo en  $m^3$

$P_P$  la presión absoluta en kPa del aire en el patrón (cuba de aceite)

$P_M$  la presión absoluta en kPa medida a la entrada del medidor bajo ensayo.

$T_P$  la temperatura termodinámica en °K del aire en el patrón (cuba de aceite).

$T_M$  la temperatura termodinámica en °K del aire a la entrada del medidor bajo ensayo.

$\varepsilon$  es el error de indicación porcentual del medidor bajo ensayo.

La descripción esquemática de este método y sus componentes puede verse en la Figura 1.

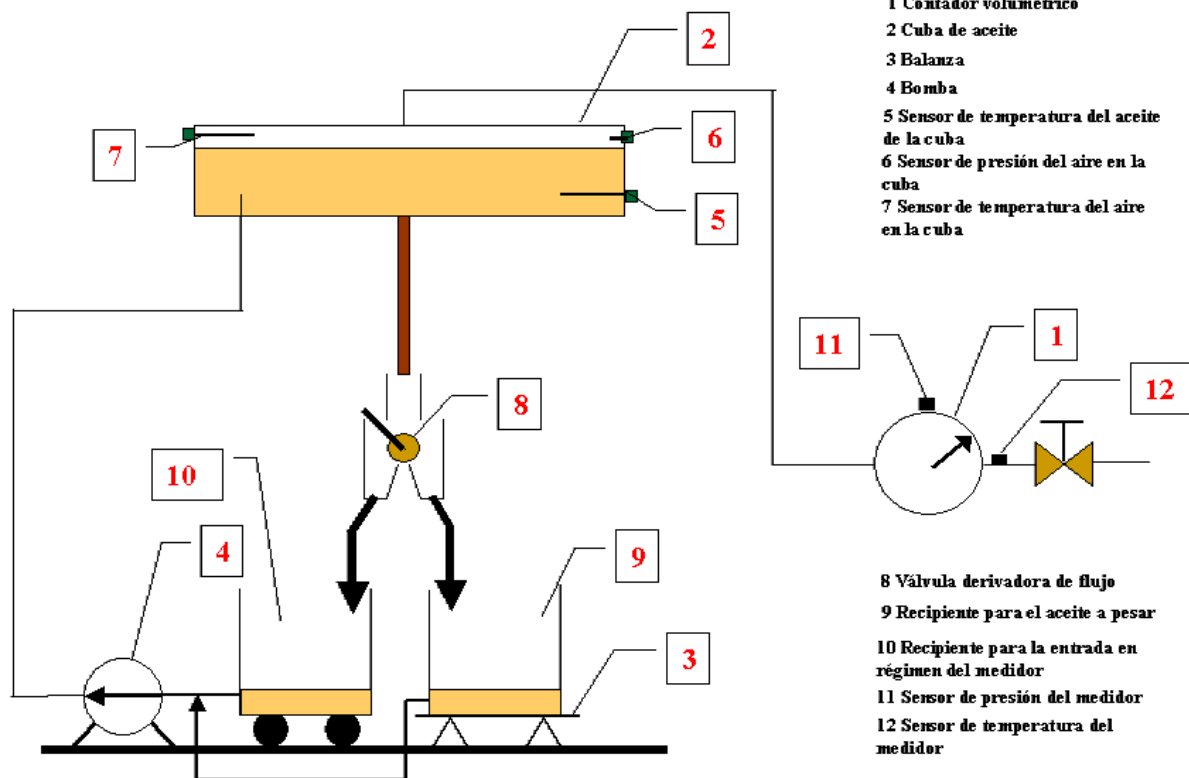


Figura 1. Esquema del método gravimétrico

Con él se obtienen las mediciones con la mejor capacidad nacional en volumen de gas cuyo valor de incertidumbre combinada se encuentran dentro del orden de 0,12% [4]. Los patrones de transferencia utilizados en este método, son dos medidores volumétricos húmedos que utilizan aceite como sello hidráulico, y cubren un rango de trabajo que va de 0,05 m<sup>3</sup>/h hasta 8 m<sup>3</sup>/h. En la figura 2 se observan estos instrumentos.

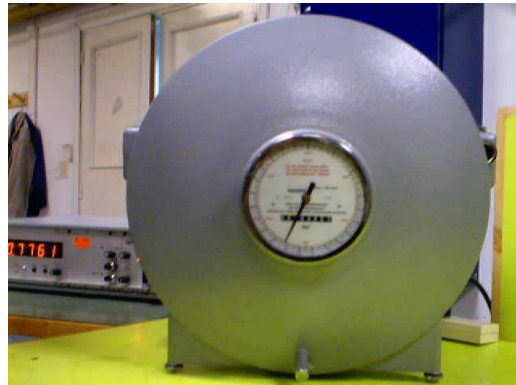


Figura 2. Medidores volumétricos húmedos de sello hidráulico utilizados como patrones de transferencia

El volumen de ensayo es determinado por un sistema de lectura óptico y es función de las revoluciones completas de la cámara volumétrica del medidor. Esto se logra colocando un lector óptico ubicado de forma tal que el haz de luz que emite incide en dirección perpendicular sobre el cuadrante de lectura del medidor, emitiendo un pulso cada vez que la aguja litradora intercepta la trayectoria del haz.

Una vez caracterizados estos patrones son utilizados para determinar el volumen de dos campanas de medición de  $70 \text{ dm}^3$  y de  $500 \text{ dm}^3$  de capacidad respectivamente con las cuales se pueden desarrollar caudales entre  $0,05 \text{ m}^3/\text{h}$  y  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ . Utilizando el método de comparación de volumen se le transfiere trazabilidad a dicha campana [5-7]. La campana tiene

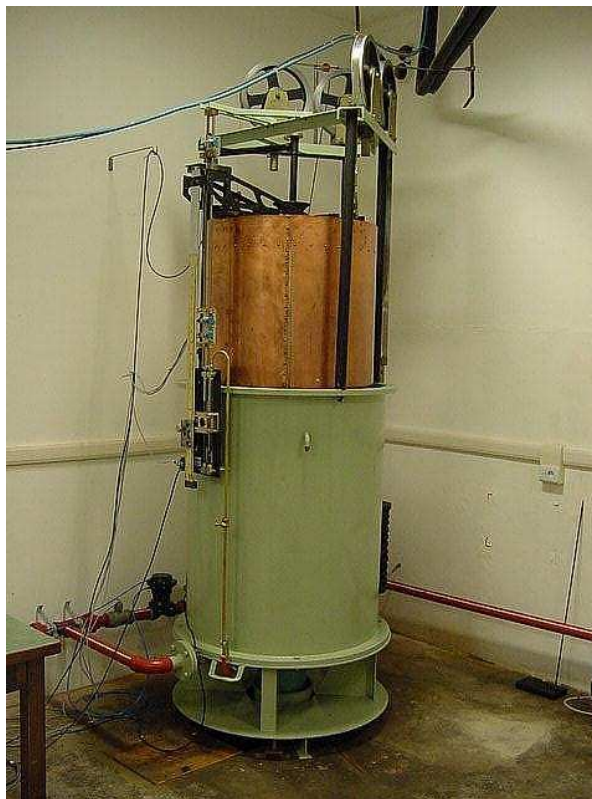


Figura 3. Campana de medición de  $500 \text{ dm}^3$  de capacidad

asociado un encoder solidario a su desplazamiento vertical. En la figura 3 se muestra una campana de medición. Ella consiste en un vaso o cuba que contiene el líquido utilizado como sello, generalmente un aceite liviano de baja viscosidad, y la campana de medición que se sumerge en dicho líquido. La campana es llenada con aire y flota sobre el líquido obturante. A medida que se descarga el aire, la campana va sumergiéndose dentro del aceite. La profundidad de inmersión de ella es una medida del volumen de aire a ser medido. Por tal motivo se encuentra clasificada dentro de los instrumentos de desplazamiento positivo. Dicho volumen es contabilizado por un dispositivo de lectura que lo cuantifica como por ejemplo, una regla calibrada con un indicador o, como en nuestro caso, un sistema electrónico con emisor de pulsos. La calibración consiste en determinar el valor de la constante de pulso. Para ello utilizamos la ecuación (2) para determinar el volumen ensayado y la ecuación (4) para determinar el valor en volumen que tendrá cada pulso.

$$k = \frac{V_M}{n} \left[ \frac{dm^3}{pulso} \right] \quad (4)$$

donde:  $V_M$  es el volumen de aire real en la campana en  $dm^3$

$n$  es el número de pulsos.

$k$  es el valor de la constante de pulso en  $dm^3/pulso$

Una vez determinada la constante  $k$  de la campana se pueden calibrar, utilizando también el método de comparación, instrumentos de medición de volumen de gas que trabajen dentro de un rango de caudal entre  $0,05 m^3/h$  y  $60 m^3/h$ , dándoles de este modo, trazabilidad al kg patrón mantenido en el INTI.

Los medidores que se calibran por este método son:

- Medidores de desplazamiento positivo
- Turbinas
- Medidores húmedos
- Medidores de diafragma
- Medidores de pistones rotativos
- Campanas de medición
- Toberas críticas

Tanto para el método gravimétrico como para el método de comparación, los todos los ensayos aquí descriptos se realizan a presión atmosférica.

### 3. CADENA DE MEDICION Y MEJOR CAPACIDAD EN ARGENTINA

La trazabilidad en las mediciones de Volumen en gas, en todas sus etapas para distintos valores de incertidumbre dentro de la cadena de medición se muestran en la Figura 4.

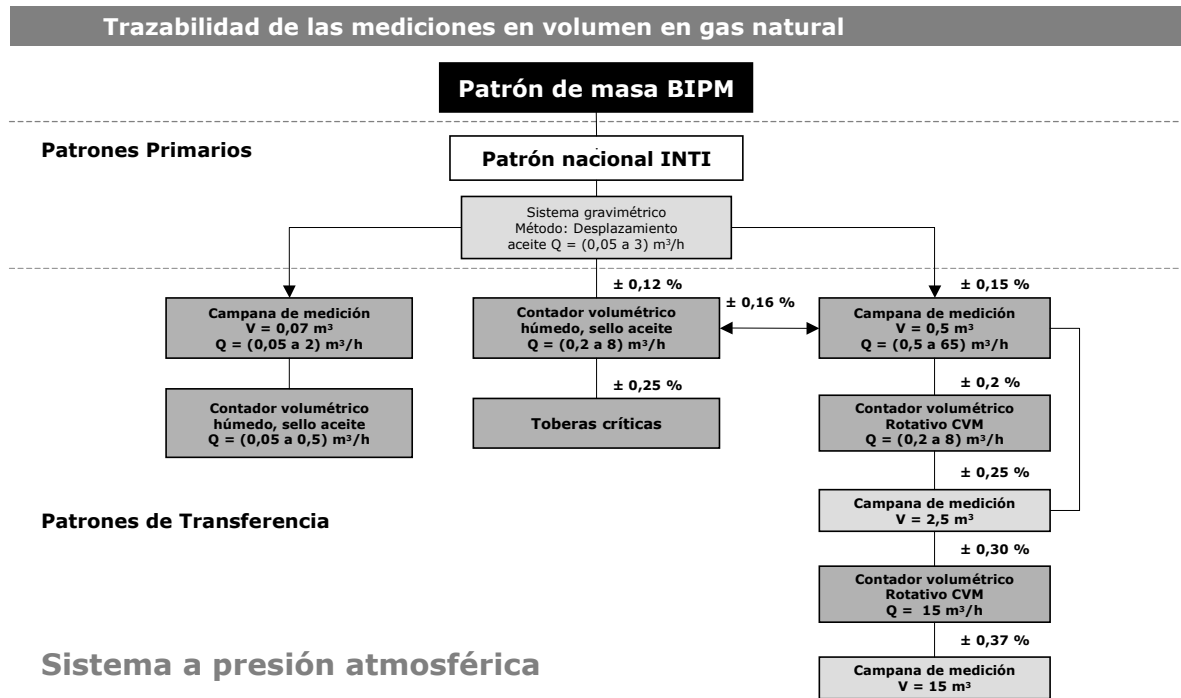


Figura 4. Trazabilidad en las mediciones y mejor capacidad

En este esquema podemos ver como a partir de los patrones primarios se le transfiere trazabilidad a los patrones secundarios o de transferencia propios del INTI y de distintas empresas relacionadas a la medición de gas natural. También se indican las incertidumbres asociadas a los distintos métodos e instrumentos de medición dentro de la cadena de calibraciones.

En la tabla 1 se detallan los patrones y las mejores capacidades alcanzadas en INTI

Tabla 1 Incertidumbre según patrón empleado.

Método	Patrón	Incertidumbre
Gravimétrico	Medidor húmedo	± 0,12 %
Comparación	Campana	± 0,16 %
Comparación	Medidor húmedo	± 0,20 %
Comparación	Contadores volumétricos varios	± 0,30 % – 0,40 %

Actualmente en el país varias empresas relacionadas a la comercialización de gas natural han montado laboratorios para la calibración de medidores de gas. Estos laboratorios cuentan con instrumentos que presentan trazabilidad a patrones nacionales e internacionales. Y es gracias a estas políticas empresariales, en la que se ha entendido la importancia que tiene la calidad

en las mediciones que se cuenta en el país con la posibilidad de calibrar medidores hasta un rango de 6500 m<sup>3</sup>/h.

### 3.1. Trabajo interlaboratorios

Entre cuatro empresas relacionadas a la industria del gas y el INTI se realizó un trabajo de comparación interlaboratorio [9]. El INTI actuó como laboratorio piloto y aportó el valor de referencia a partir del cual los laboratorios participantes compararon sus valores. En la tabla 2 se dan las características del patrón utilizado

*Tabla 2 patrón utilizado para la transferencia.*

<b>Patrón</b>	Medidor de diafragma
<b>Rango de caudal</b>	0,04 a 6 m <sup>3</sup> /h
<b>Marca</b>	Actaris
<b>Modelo</b>	G4
<b>Presión de trabajo</b>	Máx. 100 mbar
<b>Resolución</b>	1 dm <sup>3</sup>
<b>Volumen nominal</b>	2 dm <sup>3</sup>

La comparación se realizó en cuatro caudales dentro del rango de trabajo del medidor. Cada laboratorio estaba equipado con medidores patrones de diferente tecnología. Dichos instrumentos eran Campana de medición, medidor húmedo de sello hidráulico, tobera crítica. Es interesante hacer notar que los sistemas de referencia utilizados no son iguales para todos los laboratorios y que solamente uno de ellos tiene su patrón calibrado directamente con un patrón de transferencia del INTI.

Para comparar los resultados obtenidos entre los laboratorios se utilizó la ecuación del error normalizado [8]

$$E_N = \frac{V_{lab} - V_{Ref}}{\sqrt{U_{Lab}^2 + U_{Ref}^2}} \quad (5)$$

Los valores de  $E_N$  se indican en la tabla 3. Los valores sombreados corresponden a los valores referidos al INTI

*Tabla 3. Errores normalizados*

**Caudal 6 m<sup>3</sup>/h**

laboratorio	1	2	3	4
INTI	0,54	1,54	0,11	0,65
1	-----	1,56	0,57	0,02
2	1,56	-----	1,19	1,88
3	0,57	1,19	-----	0,65
4	0,02	1,88	0,65	-----

**Caudal 4m<sup>3</sup>/h**

laboratorio	1	2	3	4
INTI	0,39	0,61	0,21	0,00
1	-----	0,88	0,18	0,36
2	0,88	-----	0,74	0,54
3	0,18	0,74	-----	0,19
4	0,36	0,54	0,19	-----

**Caudal 2,4 m<sup>3</sup>/h**

laboratorio	1	2	3	4
INTI	0,25	0,84	0,25	0,25
1	-----	1,05	0,46	0,46
2	1,05	-----	0,50	0,50
3	0,46	0,50	-----	0,00
4	0,46	0,50	0,00	-----

**Caudal 1,2 m<sup>3</sup>/h**

laboratorio	1	2	3	4
INTI	1,08	0,63	0,09	0,47
1	-----	1,63	0,87	1,41
2	1,63	-----	0,64	0,10
3	0,87	0,64	-----	0,50
4	1,41	0,10	0,50	-----

De los valores obtenidos del análisis del Error normalizado referidos al valor del INTI se observa que el laboratorio 2 presenta un desvío sistemático en sus valores por encima de 1.0 para el caudal de 6 m<sup>3</sup>/h. Igual situación de éste con los otros laboratorios participantes. Situación parecida se da para el laboratorio 1 en el caudal mas bajo de ensayo comparando el error normalizado entre los laboratorios. Igualmente teniendo en cuenta que las incertidumbres declaradas por los participantes no han sido muy conservadoras, se puede deducir que el grado de acuerdo entre estos laboratorios es muy bueno. En la tabla 4 se informan dichas incertidumbres.

*Tabla 4. Incertidumbres declaradas*

caudal	INTI	1	2	3	4
6,0	0,35	0,70	0,46	0,51	0,51
4,0	0,35	0,50	0,39	0,45	0,45
2,4	0,35	0,38	0,39	0,45	0,45
1,2	0,35	0,38	0,39	0,45	0,45

#### **4. CONCLUSIONES**

El método gravimétrico permite obtener niveles de incertidumbre aplicables a una cadena de trazabilidad para cumplir con los requerimientos técnicos y normativos legales en la verificación metrológica y calibración de contadores domiciliarios e industriales.

La transferencia del método a una campana de volumen garantiza una muy buena estabilidad en el tiempo.

Los valores obtenidos de la Escala Nacional de volumen en gas desarrollada, permite garantizar a la industria trazabilidad en las mediciones dentro de niveles de incertidumbre apropiados para sus requerimientos.

Dado hoy en día el equipamiento que poseen los laboratorios pertenecientes a las distintas empresas relacionadas al gas natural, que permiten desarrollar caudales superiores a los desarrollados en INTI, y a la capacidad técnica que ha demostrado poseer el personal afectado a estas áreas es factible en un futuro encarar tareas que integren esas capacidades de mediciones a la Escala Nacional de volumen en Gas.

#### **5. REFERENCIAS**

- [1] J. Forastieri – S. Lupo “Desarrollo de un método para la calibración de medidores volumétricos de gas”. Jornadas de Innovación tecnológica INTI - 2000
- [2] J. Forastieri – S. Lupo “ Desarrollo de la escala nacional de volumen en gas” Jornadas Tecnológicas INTI - 2002.
- [3] J. Forastieri - S. Lupo, Realización por método gravimétrico de la escala primaria para las mediciones de volumen de gas natural en la Argentina, Jornadas IAPG 2005.
- [4] Guía para la expresión de incertidumbre de medición, INTI-Cefis, 1999
- [5] Reglamento de Prueba del PTB “ Contadores Volumétricos de Gas” 1992
- [6] OIML R 6 “General provisions for gas volume meters” edición 1989.
- [7] OIML R 137 “Gas meters - Part 1, Requirements”, edición 2006
- [8] Remarks on the En - Criterion Used in Measurement Comparisons. W. Wöger 1998
- [9] J. Forastieri – S. Lupo, “TRABAJO DE INTERCOMPARACIÓN EN GAS NATURAL EN ARGENTINA”, Simposio de Metrología CENAM, Santiago de Querétaro, México 2006.

#### **Agradecimientos**

Los autores de este trabajo desean agradecer a todos los integrantes del laboratorio de caudalimetría de gas del INTI-Física y Metrología quienes colaboraron ampliamente con la caracterización de los medidores de transferencia y cuyos valiosos aportes técnicos contribuyeron al desarrollo de los distintos dispositivos necesarios para la realización de los ensayos.