

# EFFECTOS DE LA CONFIGURACIÓN DE LA INSTALACIÓN SOBRE LOS VALORES OBTENIDOS EN LA CALIBRACIÓN DE MEDIDORES VOLUMÉTRICOS DE LÓBULOS ROTATIVOS

Sergio Lupo, Juan Forastieri, Ezequiel Filipovic  
INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial)

Colectora de Avenida General Paz 5445 – San Martín, Provincia de Buenos Aires, República Argentina  
Teléfono: (5411) 4724-6200 Interno: 6262, Correo Electrónico: [caudal@inti.gob.ar](mailto:caudal@inti.gob.ar) , [jaforast@inti.gob.ar](mailto:jaforast@inti.gob.ar)

**Resumen:** El presente trabajo, parte de datos recopilados durante la última década de ensayos realizados sobre medidores volumétricos de lóbulos rotativos. Realizando modificaciones sobre la configuración de la instalación se pudo observar que, debido a las mismas, se producen variaciones aleatorias en los valores de error para un mismo caudal, en algunos casos de magnitud tal, que merecen un análisis particular. Resultados similares se observaron al emplear diferentes patrones y diferentes métodos de generación de caudal de aire. Algunos patrones utilizados para estos ensayos fueron calibrados por un laboratorio Internacional de Metrología. Para evaluar la concordancia entre este laboratorio y el laboratorio de INTI se utilizó la técnica del Error Normalizado en la cual se tienen en consideración las incertidumbres asociadas a la medición informada por ambos.

## 1. INTRODUCCION

Un segmento de importancia dentro del consumo de Gas Natural en la República Argentina es el de los usuarios industriales y comerciales. Muchos de ellos utilizan medidores volumétricos de lóbulos rotativos para la transacción comercial del fluido. Estos medidores son verificados periódicamente in-situ por las empresas prestadoras del servicio o bien son desmontados para ser calibrados en laboratorios con trazabilidad a patrones nacionales o/e internacionales. Generalmente los laboratorios poseen instalaciones con diferentes configuraciones de cañerías donde se monta el instrumento a ensayar, empleando para la calibración el método de comparación y utilizando como patrones medidores de lóbulos rotativos de alta exactitud instalados en serie con el medidor bajo ensayo.

Además, desde los aspectos de metrología legal, estos medidores deberán ser ensayados para aprobación de modelo y verificaciones posteriores [1]. Esto implica contar con instalaciones de ensayos que puedan garantizar niveles de exactitud e incertidumbres de medición acorde a los errores máximos tolerados por la autoridad de aplicación.

Debido a esto, surge la inquietud de analizar y evaluar la influencia que poseen las distintas instalaciones utilizadas sobre la exactitud de los

medidores volumétricos de lóbulos rotativos, ya que de las diferencias constructivas entre estas facilidades de calibración podrían obtenerse valores de errores disímiles según fuese la configuración empleada.

En este trabajo se presenta un resumen en función de las variantes de ensayo que se realizaron en el Laboratorio de Caudalimetría de Gas, del centro de Física y Metrología de INTI.

## 2. VALIDACION DE LAS INSTALACIONES Y PATRONES DEL LABORATORIO

El Laboratorio de Caudalimetría de Gas, por medio del desarrollo de la Escala Nacional de Volumen en Gas [2], le transfiere trazabilidad a sus patrones a través de la unidad de masa empleando un sistema gravimétrico. Las calibraciones realizadas en el Laboratorio utilizan como fluido de ensayo aire a las condiciones atmosféricas. De acuerdo al patrón utilizado, los ensayos pueden realizarse según dos modalidades de circulación del fluido: por soplado o por succión.

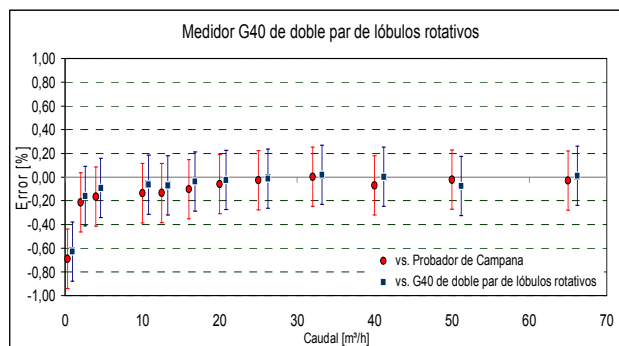
Para este estudio se utilizaron los siguientes patrones:

Patrón	Incertidumbre [%]
Campana de capacidad 0,5 m <sup>3</sup>	0,20
Medidor de doble par de lóbulos rotativos G40	0,22
Medidor de doble par de lóbulos rotativos G250	0,20
Medidor de cámaras rotativas volumétricas G100	0,25

Todas las incertidumbres declaradas en el presente trabajo se corresponden a la incertidumbre expandida (U) para un factor de cobertura k=2.

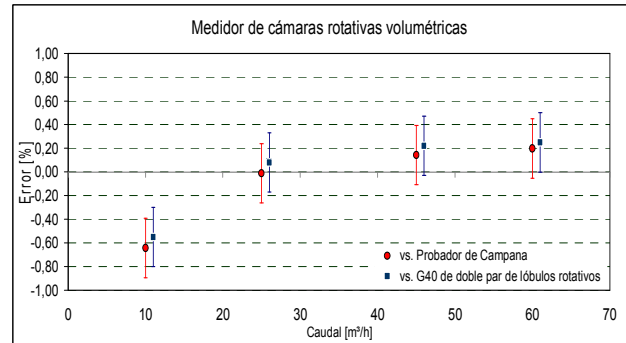
Los medidores de lóbulos rotativos fueron calibrados en un Laboratorio Nacional Extranjero (NMI). Luego se calibraron en nuestro laboratorio utilizando el probador de campana y para comparar los resultados obtenidos con los del Laboratorio Internacional, se empleó la ecuación del error normalizado [3] donde se relacionan los errores hallados y las incertidumbres de medición expandidas de los dos laboratorios [4]. Según esta técnica, valores superiores a la unidad representan puntos de no concordancia entre laboratorios. Como todos los valores resultantes fueron menores a la unidad se comprobó la concordancia entre los mismos.

En las figuras siguientes se observan las curvas de calibración de los medidores con las respectivas incertidumbres obtenidas en Laboratorio y según los patrones que se han utilizado. La **figura 1** corresponde a los valores obtenidos de la calibración de un medidor G40 de doble par de lóbulos rotativos por comparación con un medidor patrón G40 de similares características por succión y un probador de campana por sobrepresión. La incertidumbre determinada para ambos ensayos fue de 0,25 %.



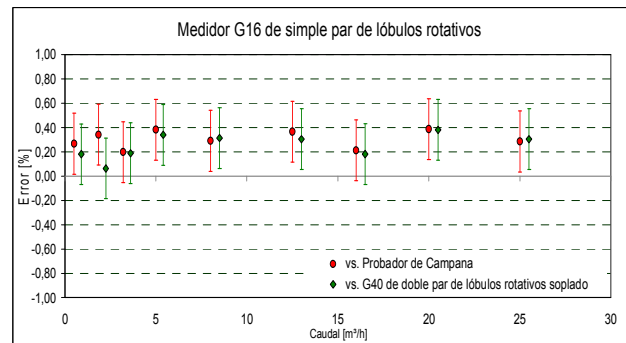
**Fig. 1** Errores en un G40 calibrado con diferentes patrones de diferentes tecnologías

En la **figura 2** se observan los errores porcentuales obtenidos de la calibración de un medidor de cámaras rotativas volumétricas (CVM) por comparación con un medidor patrón G40 de doble par de lóbulos rotativos y un probador de campana. La incertidumbre de medición asociada a estos ensayos fue de 0,25 %.



**Fig. 2** Errores en un CVM calibrado con patrones de diferentes tecnologías

En la **figura 3** se observan los errores porcentuales obtenidos de la calibración de un medidor rotativo G16 de simple par de lóbulos rotativos por comparación con un medidor patrón G40 de doble par de lóbulos rotativos y un probador de campana. Para ambos ensayos la incertidumbre de medición determinada fue de 0,25 %.



**Fig. 3** Comparación de un G16 calibrado con patrones de diferentes tecnologías

### 3. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS DE LAS VARIANTES DE ENSAYOS REALIZADAS

En este apartado analizaremos los diferentes casos que se han presentado a lo largo del tiempo en las calibraciones realizadas en Laboratorio. Cabe destacar que los resultados obtenidos son una recopilación de datos históricos, de los cuales se tomaron casos de análisis más significativos.

Las variantes evaluadas son las siguientes:

-Modificación de las condiciones de alimentación del fluido.

-Modificación de la longitud de los tramos de cañería.

-Modificación de la posición relativa entre los medidores.

-Colocación de restricciones en la cañería.

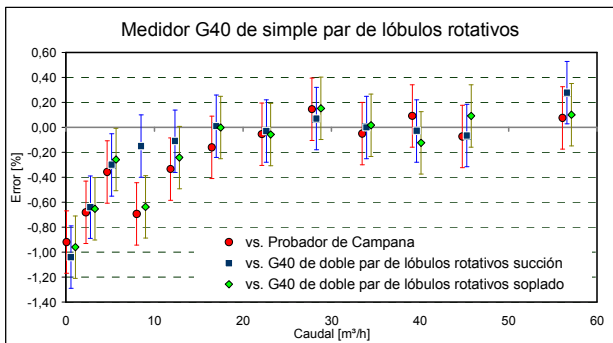
-Caudales bajo ensayo.

**3.1. Modificación de las condiciones de alimentación del fluido**

Se analiza la influencia de la utilización de diferentes métodos de generación de caudal de aire.

El método se basa en succionar o soplar el aire atmosférico a través de la instalación en la cuál se encuentran los medidores utilizados en la comparación. En el caso del método por soplado se utiliza el probador de campana con un valor de sobrepresión de 200 Pa, y en el caso del método por succionado se utiliza un ventilador centrífugo para generar la depresión.

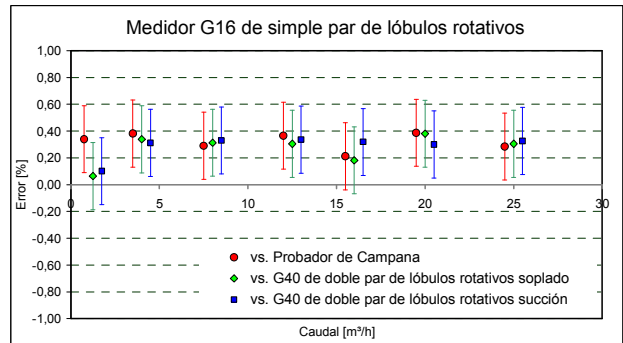
En la **figura 4** se observan los errores porcentuales obtenidos en la calibración de un medidor rotativo G40 cuando se lo calibra por comparación utilizando un medidor patrón G40 de doble par de lóbulos y un probador de campana. Las incertidumbres de medición asociadas a los ensayos fueron de 0,25 %.



**Fig. 4** Modificación de las condiciones de alimentación sobre un G40

En la **figura 5** se representan los valores obtenidos en la calibración de un medidor rotativo G16 cuando se lo calibra por comparación con un medidor patrón

G40 de doble par de lóbulos (succionando y soplando) y un probador de campana. La incertidumbre para estos ensayos fue de 0,25 %.



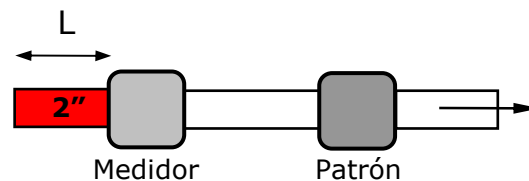
**Fig. 5** Modificación de las condiciones de alimentación sobre un G40

**3.2. Modificación de la longitud de los tramos de cañería**

Unos de los factores de mayor variabilidad en las instalaciones disponibles son las longitudes de los tramos de medición aguas arriba y aguas abajo de los medidores. Por tal motivo en este apartado se analiza la influencia en la exactitud del medidor al modificar la longitud de los tramos de cañerías cuando se realiza la calibración.

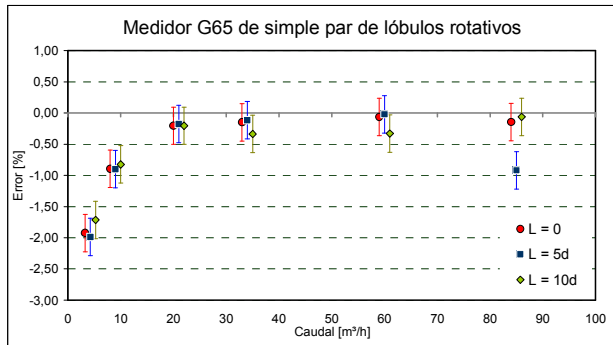
**3.2.1. Modificación del tramo de cañería aguas arriba del medidor bajo ensayo**

La evaluación se basa en la variación de la longitud (L) del tramo de cañería aguas arriba del medidor a calibrar, de acuerdo a la configuración adoptada según **figura 6**, utilizando aire por succión.



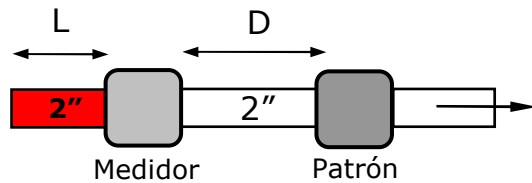
**Fig. 6** Instalación "variación de L=f(d)"

En la **figura 7** se observan los errores porcentuales obtenidos a partir de este arreglo en un medidor rotativo G65 cuando es calibrado en serie con un medidor patrón G250 de doble par de lóbulos rotativos, modificando la longitud del tramo (L) según las siguientes dimensiones: L=0, L=5d (d=diámetro nominal cañería) y L=10d. La incertidumbre de medición asociada a estos ensayos fue de 0,30 %.



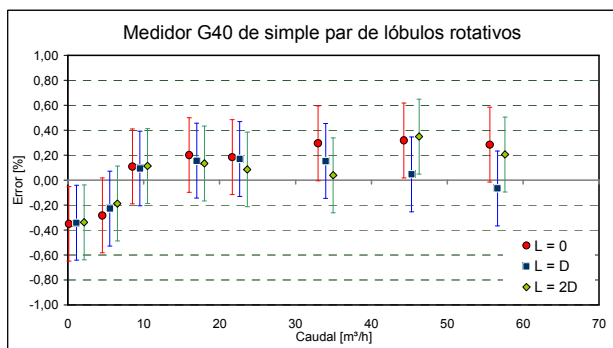
**Fig. 7** Errores al variar la longitud de la cañería en función de *d*

Otra variante se observa en la **figura 8**. Allí, alimentando por succión, se modifica la longitud (*L*) del tramo de cañería aguas arriba del medidor bajo calibración proporcionalmente a la longitud del tramo entre medidores (*D*)



**Fig. 8** Instalación "variación de  $L=f(D)$ "

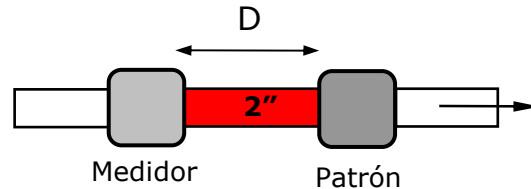
En la **figura 9** se grafican los errores porcentuales obtenidos para un medidor rotativo G40 por comparación con un medidor patrón G40 de doble par de lóbulos rotativos, modificando la longitud del tramo aguas arriba (*L*):  $L=0$ ,  $L=D$  y  $L=2D$ . La incertidumbre determinada para estos ensayos fue de 0,30 %.



**Fig. 9** Errores al variar la longitud de la cañería en función de *D*

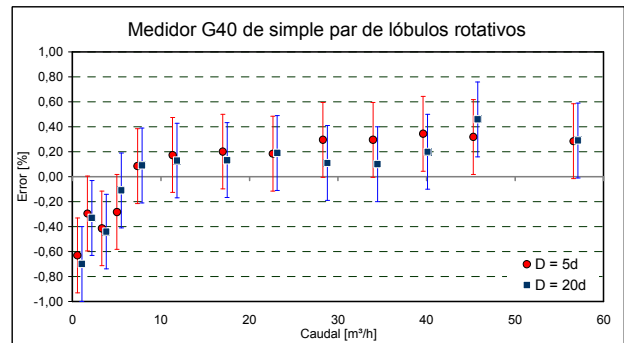
**3.2.2. Modificación de la longitud del tramo de cañería entre medidores**

Esta situación se presenta en las instalaciones de calibración donde no se encuentran especificadas las distancias entre el equipo a calibrar y el patrón. Para esta evaluación se varía la longitud (*D*) del tramo de cañería aguas abajo del medidor a calibrar entre este último y el medidor patrón, como muestra la **figura 10**.



**Fig. 10** Instalación "variación de  $D=f(d)$ "

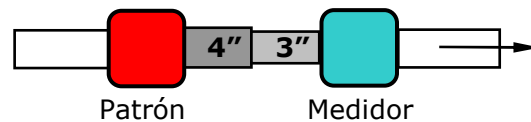
Las curvas de la **figura 11** representan los errores porcentuales obtenidos realizando la calibración de un medidor rotativo G40 con un medidor patrón G40 de doble par de lóbulos rotativos, modificando la longitud del tramo (*D*) según:  $D=5d$  y  $D=20d$ . La incertidumbre obtenida para estos ensayos fue de 0,30 %.



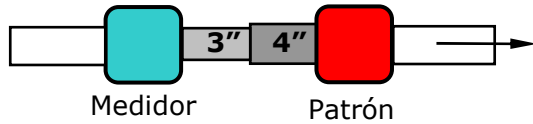
**Fig. 11** Errores al variar la longitud de la cañería entre los medidores

**3.3. Modificación de la ubicación relativa entre los medidores**

Se analiza la influencia de la posición relativa al sentido de circulación del fluido por la cañería de los medidores bajo comparación, como se muestra en la **figura 12** y **figura 13**.

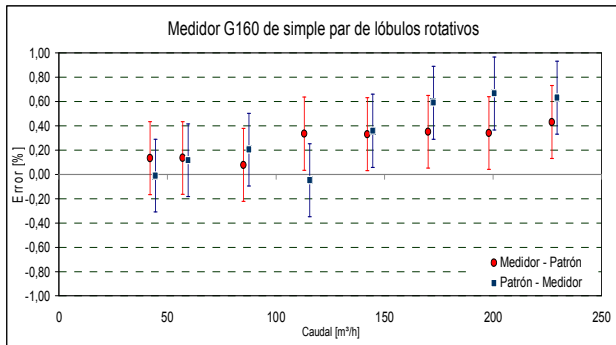


**Fig. 12** Instalación "variación de la posición relativa de los medidores"



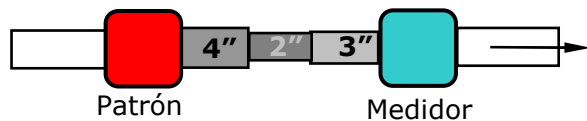
**Fig. 13** Instalación “variación de la posición relativa de los medidores”

Las curvas de la **figura 14** representan los errores porcentuales obtenidos realizando la calibración de un medidor G160 con medidor patrón G250 de doble par de lóbulos, modificando sus posiciones relativas. Cabe destacar que dicha modificación se acompaña de un cambio en la posición relativa de la cañería debida a que los medidores poseen diferentes diámetros nominales. La incertidumbre determinada para estos ensayos fue de 0,30 %.

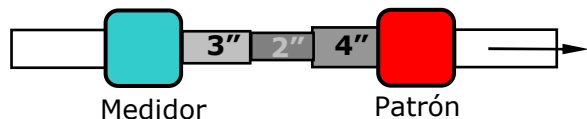


**Fig. 14** Errores según configuraciones de las Fig. 12 y Fig. 13.

En las **figura 15** y **figura 16** se analiza la influencia de la posición relativa al sentido de circulación del fluido por la cañería de los medidores bajo comparación según otra configuración de instalación.



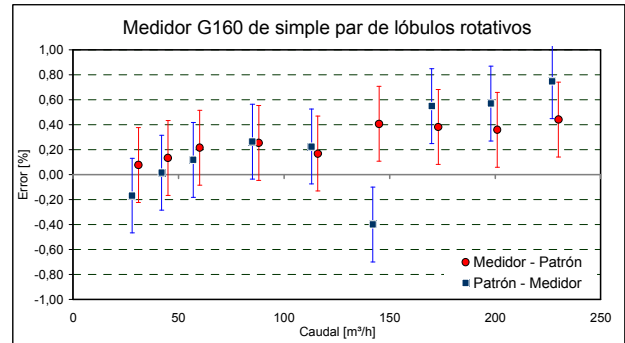
**Fig. 15** Instalación “variación de la posición”



**Fig. 16** Instalación “variación de la posición”

Las curvas de la **figura 17** representan los errores porcentuales obtenidos realizando la calibración de

un G160 con un medidor patrón G250 de doble par de lóbulos, modificando sus posiciones relativas, según las configuraciones ilustradas en las figuras 15 y 16. La incertidumbre de medición asociada a estos ensayos fue de 0,30 %.



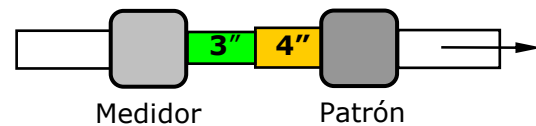
**Fig. 17** Errores según configuraciones de las las Fig.15 y Fig.16

### 3.4. Colocación de restricciones en la cañería

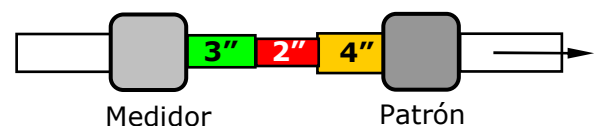
En ciertas ocasiones, cuando se efectúa la calibración de un medidor contra otro medidor patrón de diámetro diferente de conexas, se producen cambios de sección significativos que modifican el perfil de flujo. En base a esta situación, se hace aquí un análisis de la influencia de esta disposición instalando tramos de menor diámetro en el montaje.

#### 3.4.1 Restricción de sección de cañería entre medidores

Se analiza la influencia sobre la exactitud del medidor cuando se coloca en la instalación un tramo de cañería según se observa en las **figura 18** con un cambio de sección (S) con relación 0,75 y una relación 0,5 según **figura 19**, que provocan una modificación en el perfil de la vena fluida.

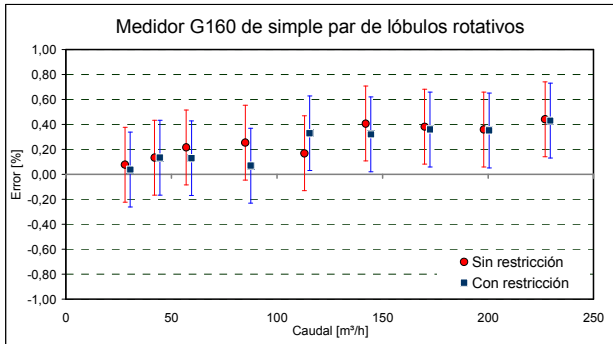


**Fig. 18** Instalación inicial con relación de S= 0,75



**Fig. 19** Instalación modificada con relación de S=0,5

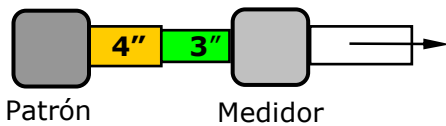
Las curvas de la **figura 20** representan los errores porcentuales obtenidos realizando la calibración de un medidor G160 con medidor patrón G250 de doble par de lóbulos rotativos sin restricción y con la restricción. Para estos ensayos la incertidumbre de medición determinada fue de 0,30 %.



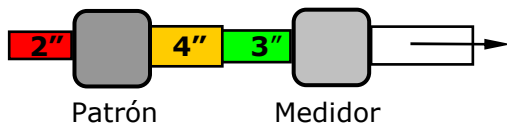
**Fig. 20** Restricciones en la cañería según las Fig. 18 y Fig. 19

**3.4.2 Restricción en el tramo de cañería aguas arriba del medidor patrón**

En algunos sistemas de calibración, se utiliza una configuración similar a la indicada en la **figura 21**. No obstante para comprobar la influencia de acondicionar el flujo de entrada utilizando una sección de cañería de ingreso de sección transversal inferior a la del medidor, se efectuó el arreglo de la medición con una entrada de cañería de 52mm de diámetro (2”) según se muestra en la **figura 22**. La alimentación es por succión.



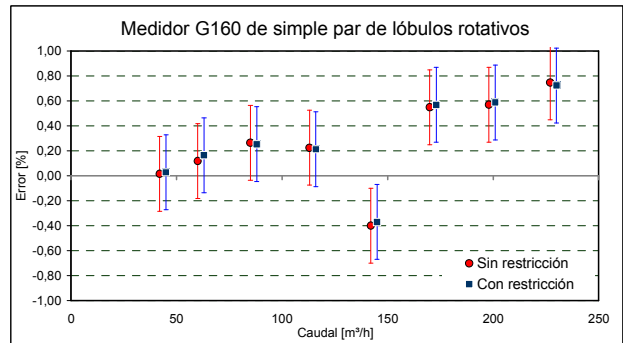
**Fig. 21** Instalación sin conexión de aguas arriba



**Fig. 22** Instalación con conexión de 52mm aguas arriba

En las curvas de la **figura 23** y a partir de las configuraciones indicadas se observan los errores porcentuales obtenidos realizando la calibración de un medidor rotativo G160 con un medidor patrón G250 de doble par de lóbulos rotativos. La

incertidumbre de medición asociada a estos ensayos fue de 0,30 %.



**Fig. 23** Restricciones en la cañería según las Fig. 21 y Fig. 22

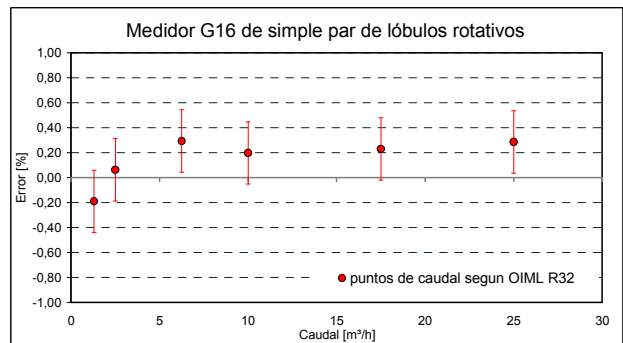
**3.5 Caudales bajo ensayo**

En este punto se procedió a efectuar ensayos considerando caudales que no están contemplados en las recomendaciones o normas. Como ejemplo, si consideramos la recomendación OIML R32 [5], observamos que los caudales allí recomendados son los mostrados en la **tabla 24**.

Caudal dm <sup>3</sup> /h	Porcentaje %
25000	1,00 Qmax
17500	0,70 Qmax
10000	0,40 Qmax
6250	0,25 Qmax
2500	0,10 Qmax
1250	0,05 Qmax
1300	1,00 Qmin

**Tabla 24:** Caudales de ensayos según OIML R32

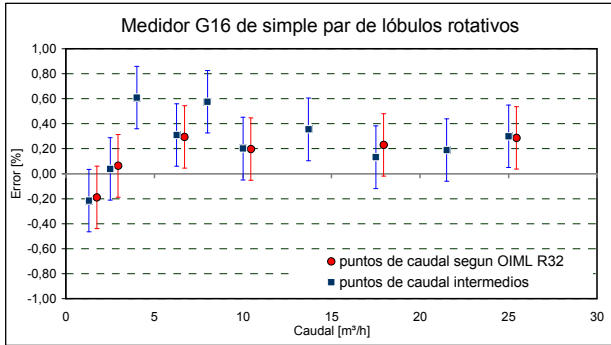
En la **figura 25** se observan los errores de un medidor G16 de simple par de lóbulos rotativos comparados con un probador de campana de 0,5m<sup>3</sup> en dichos caudales.



**Fig. 25** Caudales de ensayo según OIML R32

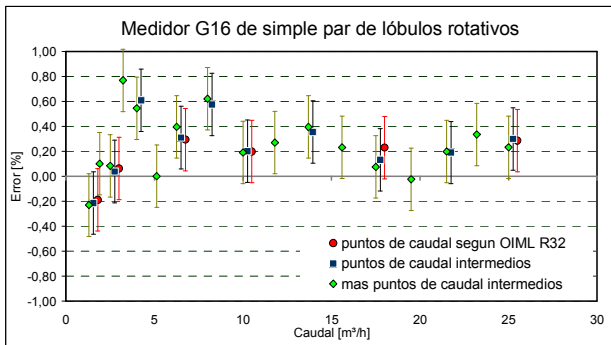


Al ampliar la cantidad de caudales a ensayar dentro del alcance operativo del medidor observamos una curva de errores como la representada en la **figura 26**.



**Fig. 26** Errores obtenidos para estados de caudales mayores a la OIML

En la **figura 27**, se representan una cantidad aun mayor de puntos de ensayo:



**Fig. 27** Errores obtenidos para estados de caudales mayores a la OIML

Para todos los ensayos realizados bajo esta modalidad, la incertidumbre de medición obtenida fue de 0,25 %.

**4. CONCLUSIONES**

En este apartado se describen algunas conclusiones que se pueden extraer del presente trabajo considerando por separado la influencia de las configuraciones adoptadas.

**4.1. “Validación de las instalaciones y patrones del laboratorio”**

De los ensayos realizados en esta etapa (**figuras 1, 2 y 3**) y del posterior análisis a través de la técnica del error normalizado, se evidencia que las mediciones realizadas en el Laboratorio de

Caudalimetría del INTI concuerdan con los resultados obtenidos sobre el medidor calibrado originalmente en un Laboratorio Nacional Externo (NMI). Esta situación permite disponer de un comportamiento en exactitud de los medidores patrones que no depende del efecto de instalación. Asumiendo esta condición, las diferencias que se observan son atribuibles al medidor bajo ensayo.

**4.2. “Modificación de las condiciones de alimentación del fluido ”**

Esta prueba surge en el laboratorio de INTI a partir de las diferencias encontradas al contrastar los valores de calibración entre sus patrones para un mismo medidor bajo comparación.

De las **figura 4** y **figura 5**, podemos distinguir que la instalación en la cual el medidor es ensayado bajo las condiciones de soplado presenta puntos con valores de error para un estado de caudal determinado que difieren de las condiciones de ensayo por succión. Situación que puede ser eliminada con un dispositivo de amortiguación y de acondicionamiento de la vena fluida [6]. Este fenómeno observado en los dos medidores citados y en los caudales bajos, pueden ser asociados a efectos de resonancia relacionados a la modificación de las condiciones de alimentación del fluido. Se debe prestar atención a esta situación en las instalaciones que trabajan a sobrepresión y los medidores son calibrados por succión.

**4.3. “Modificación de la longitud de los tramos de cañería”**

Las diferencias observadas en la comparación entre el laboratorio del INTI y el laboratorio de una empresa prestadora de servicios de gas natural en la Argentina, motivaron a realizar esta serie de pruebas. En el caso de la **figura 6**, se utilizó un medidor viajero que fue contrastado en ambas instalaciones para poder realizar su comparación, dando como resultado las curvas de error de la **figura 7**. Como se puede apreciar, existe un punto en un caudal ensayado donde las diferencias existentes entre los errores superan los valores esperados para este tipo de medidor.

Como se ve en las **figuras 8** y **10** se modifica la longitud del tramo de cañería aguas arriba y el tramo entre medidores. En las **figuras 9** y **11** se observan diferencias en los errores en diferentes caudales que en ningún caso supera los valores

esperados, dados por la incertidumbre propia de la instalación y el sistema de medición.

#### 4.4. "Modificación de la posición relativa entre los medidores"

De las **figuras 14 y 17**, observamos la diferencia que aparecen en ciertos puntos debidos al cambio de su posición dentro de la instalación (**fig 12, 13, 15 y 16**), evidenciando la influencia que puede poseer la incompatibilidad entre medidores independientemente de la instalación que se utilice.

En la figura 17 se observa que la curva presenta errores muy apartados para un solo caudal dentro del alcance del medidor. Si bien esto puede asociarse a efectos de resonancia al invertir la posición de los medidores, el fenómeno observado motiva la programación de futuros ensayos ampliando la muestra a un mayor número de especímenes.

#### 4.5. "Colocación de restricciones en la cañería "

Si bien se efectuaron cambios de sección en el conexionado de la instalación con variaciones en diámetros nominales, en los gráficos de la figura 20 y 23 puede observarse que los valores hallados se encuentran dentro de los límites de errores permitidos.

Un primer análisis de esta situación nos lleva a establecer que criterio de aceptación se debería considerar para que un medidor se encuadre dentro de una situación operativa de medición en campo, teniendo en cuenta las variaciones observadas a diferentes caudales de ensayos que se apartan de los recomendados por las reglamentaciones o normas de aplicación. Esta situación es de esperar para ensayos a caudales establecidos en las recomendaciones OIML R137 [7] y OIML R140 [8].

### 5. DISCUSIÓN

Si bien los ensayos fueron efectuados sobre un número limitado de medidores, lo que no permite establecer una conclusión definitiva sobre estos procesos de medición, el trabajo permite establecer algunas consideraciones, entre otra, como ser:

1 – Cuando se efectúa la calibración de un medidor de lóbulos rotativos, que será utilizado como elemento de referencia para calibrar medidores de campo, se deberá acordar con el cliente la configuración compatible a las instalaciones de uso

y establecer en lo posible una componente de incertidumbre asociada a esta.

2 – En trabajos de comparación o ensayos de aptitud para determinar las capacidades de medición de los laboratorios que forman parte de la red de calibración nacional, se deberá especificar claramente la configuración del sistema que contiene al patrón viajero. Caso contrario vemos que los resultados puedan arrojar errores sistemáticos que no son atribuibles a la instalación de ensayo a evaluar [9].

3.- Efectuar una selección de modelos de medidores variados y someterlos a ensayos con el fin de evaluar el comportamiento de estos para establecer errores asociados a las configuraciones de medición y determinar si se encuentran dentro de los errores máximos permisibles establecidos por los documentos normativos internacionales y la legislación nacional que hace al ámbito de la metrología legal.

### AGRADECIMIENTOS

Si bien el trabajo requirió la participación de varios colaboradores que participaron entusiastamente en este proyecto, los autores queremos agradecer especialmente al Ing. Gregorio Filas y al Prof. Federico Dabbah por su aporte al análisis de los datos y a la discusión de los resultados obtenidos.

### TABLA RESUMEN

En la tabla siguiente se hace un resumen de la totalidad de ensayos efectuados con sus configuraciones y medidores utilizados



	Tipos de ensayos	Fig.	Esquema	Patron utilizado			Medidor utilizado						Objetivo		
				1	2	4	2	3							
				G40	G250	CVM	G40	G16	G40	G160	G65	G16			
Validacion de patrones en diversas instalaciones	Calibraciones con diferentes patrones	1			X		X						Demostrar la estabilidad de la instalacion del laboratorio de caudalimetria del INTI y la de sus patrones		
			X			X									
		2			X	X									
			X			X									
		3			X			X							
					X			X							
			X					X							
		Modificacion de instalacion	Variaciones en la presion de trabajo	4		X			X						Evidenciar perturbaciones soplando o succioando el gas a medir
							X		X						
					X		X								
5				X			X								
					X		X								
					X		X								
Variaciones de la longitud de cañeria	7		6			X					X	Evidenciar perturbaciones debidas a la longitud (L)			
	9		8		X		X								
	11		10		X		X								
Modificación de la posición relativa de los medidores	14		12 / 13			X				X		Evidenciar perturbaciones debidas a la longitud (L) de caneria			
	17		15 / 16			X				X					
Restricciones en la cañeria	20		18 / 19			X				X		Evidenciar perturbaciones al colocar una restriccion en la cañeria			
	23		21 / 22			X				X					
Caudales bajo ensayo	25- 26- 27			X								X	Evidenciar perturbaciones en caudales intermedios fuera de los propuestos en OIML R32		

Tabla 26. Resumen general de tipo de ensayos “Caudales bajo ensayo”

REFERENCIAS

[1] Decreto 788/2003, Reglamentación de la Ley Nacional de Metrología N° 19.511, 2003.

[2] J. Forastieri – S. Lupo, “Desarrollo de la escala de volumen de Gas en Argentina”, <<http://www4.inti.gov.ar/GD/4jornadas2002/pdf/cefis-124.pdf>>, 2002.

[3] W. Wöger, “Remarks on the En – Criterion Used in Measurement Comparisons”, 1998.

[4] Guía para la expresión de las incertidumbre de medición INTI - Cefis, 1999.

[5] OIML R32, Rotary piston gas meters and turbine gas meters, Edition 1989 (E).

[6] H Dijkstra, “Pulsation Free Rotary Piston For Use as Reference Standard”, <[http://www.ceesi.com/docs\\_library/events/isffm1999/Docs/09\\_01.pdf](http://www.ceesi.com/docs_library/events/isffm1999/Docs/09_01.pdf)>, 1999.

[7] OIML R137, Gas meters Part 1: Requirements, Edition 2006 (E).

[8] OIML R140, Measuring systems for gaseous fuel, Edition 2007(E).

[9] H Baumann, G. Cignolo, “Euromet Project 852: Comparison Gas Flow Standard”, <[http://www.ceesi.com/docs\\_library/events/isffm2006/Docs/A.3.1.pdf](http://www.ceesi.com/docs_library/events/isffm2006/Docs/A.3.1.pdf)>, 2006.