

EVALUACIÓN DEL IMPACTO METROLÓGICO DE TAREAS DE MANTENIMIENTO SOBRE EL MEDIDOR DE GAS TIPO TURBINA

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.gov.ar , jaforast@inti.gov.ar

Resumen: En la industria del Gas Natural, para la medición de volúmenes importantes del fluido, se utilizan distintos tipos de medidores, siendo uno de ellos el medidor de Gas tipo turbina. El mismo, cuando es empleado en transacciones comerciales o de Transferencia de custodia, ingresa al país generalmente con dos certificados de calibración, uno utilizando como fluido de ensayo Gas Natural a condiciones de flujo próximas a la de operación y otro utilizando aire a condiciones atmosféricas. Durante la vida útil de este instrumento, debido a sus características constructivas, los usuarios realizan sobre él distintas tareas rutinarias de mantenimiento para verificar su funcionamiento mecánico. El presente trabajo se refiere a los resultados obtenidos respecto de la curva de error original a condiciones atmosféricas cuando el medidor de Gas tipo turbina es sometido a dichas tareas.

1. INTRODUCCIÓN

En la República Argentina el Gas Natural es el recurso energético más importante. Su aporte dentro de la matriz energética del país es superior al 50 % del total, motivo por el cual es de importancia conocer el comportamiento de los instrumentos de medición empleados para su cuantificación dentro del ámbito legal y comercial, ya sean para transacciones fiscales internas o de frontera.

Entre los medidores utilizados para tal fin se encuentran los Sistemas de Medición por Placa Orificio, Medidores a turbina, Medidores Ultrasonicos y Rotativos. Estos instrumentos se encuentran ubicados a lo largo de los más de 15 000 km de tendido de gasoductos existentes en la actualidad, los cuales son mantenidos y operados por dos empresas transportistas.

Dado el gran número de Sistemas de Medición de Gas Natural en los cuales se utilizan como elemento primario Medidores de Gas tipo turbina, el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial) ha impulsado desde su centro de "Física y Metrología" en forma conjunta con una de las empresas de transporte del gas en Argentina, tareas encuadradas dentro del marco de la investigación, sobre este tipo de medidores. Estas tareas tienen por finalidad analizar el comportamiento de los mismos en virtud de los cambios que puedan presentarse sobre la condición original propia del medidor cuando, por cuestiones de uso y funcionamiento en el tiempo,

deben realizarse sobre ellos tareas de mantenimiento.

En el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos de diferentes ensayos realizados sobre este tipo de medidores, los cuales intentan representar tareas comunes y frecuentes realizadas por las empresas dentro de sus programas de mantenimiento. Para tal fin se tomó una muestra compuesta por Medidores de gas tipo turbina, de ahora en adelante llamados turbinas, de distintos modelos y diámetros nominales las cuáles fueron ensayadas, luego de cada modificación, a condiciones atmosféricas. El análisis consiste en comparar los resultados obtenidos de estos ensayos con respecto a la curva de calibración original a las mismas condiciones de flujo y evaluar si se presentó algún error respecto de esta última. De este error se podría inferir el impacto metrológico con que estas tareas influenciarían al comportamiento del medidor.

2. DESAROLLO DEL TRABAJO

Los ensayos programados para el desarrollo del presente trabajo se llevaron a cabo en las instalaciones de la empresa Transportadora de Gas del Sur, cuyo laboratorio posee la mayor capacidad de medición de flujo a presión atmosférica del país y pertenece a la red de Laboratorios de Calibraciones supervisadas por el INTI [1]. En la Figura 1 se observa el banco de calibración utilizado. El mismo trabaja por succión, está compuesto por 7

medidores rotativos de doble par de lóbulos, seis tamaños G650 y uno tamaño G16. Desarrolla un caudal máximo de 6 500 m³/h y utiliza como fluido de ensayo aire a las condiciones de laboratorio. El banco posee tramos de configuración de cañerías de distintas longitudes que son utilizados aguas arriba del medidor a ensayar según sea el tamaño de la turbina cuya finalidad es acondicionar el flujo antes de su paso por ella [2] [3].



Figura 1. Banco de prueba utilizado para los ensayos

Para los ensayos se utilizaron cuatro turbinas de diámetro nominal 101,6 mm / 152,4 mm / 203,2 mm / 304,8 mm y un módulo de medición independiente de 304,8 mm. Para los ensayos realizados sobre el módulo de medición se utilizó el cuerpo del medidor de igual diámetro nominal. Las turbinas, sus repuestos y accesorios fueron provistos por la empresa Transportadora de Gas del Norte TGN.

A partir de los resultados obtenidos de calibraciones a condición atmosférica en laboratorio se analizó y evaluó el comportamiento de los medidores respecto de la condición original de su calibración en fábrica según la técnica del error normalizado [4]. Luego se analizó y evaluó el comportamiento de los mismos cuando se varían las siguientes condiciones de ensayo respecto de la calibración en laboratorio:

- Desmontaje y montaje del módulo de medición
- Lubricación de rodamientos
- Cambio de rodamientos
- Ensayo de "Spin Time Test" (Resistencia a la Fricción Mecánica)
- Cambio de módulo de medición

2.1 Calibración de las turbinas a condiciones atmosféricas y cambio de módulo de medición

Una vez que llegaron las turbinas desde fábrica se trasladaron al laboratorio y se calibraron a condiciones atmosféricas. Para homogeneizar la temperatura de todos los instrumentos y componentes que intervienen en el ensayo (banco de calibración, medidores a ensayar, tramos rectos a utilizar, instrumentación asociada) las turbinas fueron almacenadas en la sala de ensayos con una anterioridad superior a las 24 horas antes del inicio de las calibraciones. En la Figura 2 se observan dos de las turbinas que formaron parte de la muestra ensayada, una de diámetro nominal 304,8 mm y otra de 203,2 mm.



Figura 2. Turbinas a ensayar

En la Figura 3 se observa la turbina de 152,4 mm instalada en el banco de calibración lista para ser ensayada acoplada a un tramo recto aguas arriba cuya longitud y configuración cumple con la especificación del Reporte Número 7 de la American Gas Association [2].



Figura 3. Turbina de 152,4 mm de diámetro nominal instalada en el banco de calibración

Una vez calibrada la turbina de 304,8 mm se procedió a intercambiar su módulo de medición con el módulo de medición independiente para proceder a calibrar este último. De esta forma se calibraron los dos módulos con el mismo cuerpo.

2.2 Desmontaje y montaje del módulo de medición

Una vez realizada la calibración de las turbinas se procedió a desmontar los módulos de cada una de ellas y a volver a montarlas. Antes del montaje se les realizó el ensayo de "Spin Time Test" (ver 2.4). Luego del montaje se volvió a calibrar cada turbina para evaluar si esta operación tuvo algún impacto sobre la curva de calibración realizada en el punto 2.1. En la Figura 4 se observa el acondicionamiento de la misma turbina para su posterior armado y calibración.



Figura 4. Técnicos del laboratorio acondicionando la turbina para el ensayo

2.3 Lubricación de los rodamientos

Con la finalidad de evaluar si esta tarea frecuente en el mantenimiento de estos medidores de Gas, ejerce alguna influencia sobre la curva de calibración realizada en el punto 2.1 se procedió a realizar la lubricación de los módulos de medición según el procedimiento específico que el fabricante confeccionó para cada modelo y tamaño de medidor. Luego de cumplir con este procedimiento se volvió a calibrar las turbinas.

Cabe aclarar que el procedimiento especificado por el fabricante se refiere a las condiciones de servicio del instrumento.

Adicional a esta tarea se desmontaron los módulos de medición y se le realizó la prueba de "Spin Time Test" para evaluar la influencia que el lubricante ejerce sobre este ensayo.

2.4 Ensayo de Spin Time Test (tiempo libre de rotación)

El ensayo de Spin Time Test permite evaluar si los componentes de la turbina, que durante su funcionamiento poseen movimientos giratorios, han modificado su comportamiento de desempeño a causa de un aumento en su fricción mecánica con respecto a la inicial con que fueron fabricados.

El ensayo se basa en desmontar el módulo de medición, colocarlo en un ambiente libre de corrientes de aire, hacer girar el rotor generando en el mismo una velocidad angular y medir el tiempo desde que comienza a girar hasta que se detiene por completo. Hay dos modalidades para esta prueba. Una se realiza sobre el rotor libre y la otra sobre el rotor acoplado al dispositivo de lectura. Para cada modalidad, el fabricante especifica los tiempos mínimos en que el rotor debe girar hasta detenerse. Estos tiempos son propios para cada modelo y tamaño de medidor y representan una medida de la fricción mecánica con que fueron fabricados.

Si los tiempos obtenidos durante el ensayo de "Spin Time Test" son iguales o mayores a los especificados, la turbina está desarrollando su actividad dentro de los parámetros normales de fabricación. Si por el contrario, los tiempos obtenidos resultan inferiores a los especificados por el fabricante significa que el rotor de la turbina a sufrido un incremento en su fricción mecánica y deberá evaluarse practicar alguna tarea de mantenimiento sobre el mismo para restituir sus parámetros iniciales de funcionamiento.

En la Figura 5 se observa el módulo de medición de la turbina de 152,4 mm de diámetro nominal al cual se le está realizando el ensayo de "Spin Time Test". En ella se observa que el rotor es ensayado sin el dispositivo mecánico de lectura.

2.5 Cambio de rodamientos

Luego de realizar los ensayos anteriores y las respectivas calibraciones a condiciones atmosféricas se procedió a cambiar los rodamientos de los 4 medidores que conformaron la muestra a ensayar con la finalidad de evaluar si esta operación

tiene alguna influencia sobre la exactitud de los mismos. Luego de esto se procedió a montar nuevamente los módulos sobre los cuerpos correspondientes y realizar una nueva curva de calibración. Previo al montaje se realizó sobre cada módulo la prueba de “Spin Time Test”.

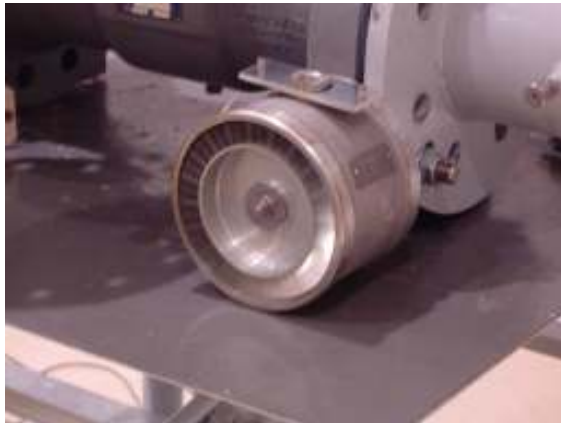


Figura 5. Ensayo de “Spin Time Test”. Módulo de medición de la turbina de 152,4 mm

Cabe aclarar que en este punto, una vez obtenida la curva de calibración, se procedió a la lubricación y se realizó una segunda curva de calibración sobre cada turbina. En este ensayo también se realizó la prueba de “Spin Time Test”.

3. RESULTADOS

A continuación se resumen los resultados obtenidos de los ensayos explicados en el punto 2 del presente trabajo. También se muestran los valores de las curvas de la calibración original de Fábrica.

Para una mejor comprensión del texto se definen las siguientes expresiones:

Valor de Fábrica: valores declarados por el fabricante en el certificado de calibración de cada turbina.

Valor de Laboratorio: valores declarados por el Laboratorio de referencia al calibrar las turbinas sin modificar las condiciones originales con las cuales fueron calibradas en Fábrica.

3.1. Valores de Fábrica para cada elemento de la muestra ensayada

Los valores de fábrica correspondientes a cada medidor y al módulo de medición independiente se muestran en la Tabla 1.

Valores de Fábrica						
Caudal	Medidores de Gas tipo turbina				Módulo	U
	101,6 mm	152,4 mm	203,2 mm	304,8 mm	304,8 mm	
	Error	Error	Error	Error	Error	
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
5	-1,09	0,04	0,54	0,95	0,94	0,25
10	0,01	0,41	0,70	0,63	0,59	0,25
25	-0,26	-0,11	0,16	-0,09	-0,06	0,25
50	-0,46	-0,18	-0,06	-0,21	-0,39	0,25
80	-0,30	-0,13	-0,07	-0,32	-0,24	0,25
100	-0,22	-0,16	-0,03	-0,37	-0,33	0,25

Tabla 1. Valores de calibración en Fábrica a condiciones atmosféricas.

Los valores de caudal están expresados en porcentaje del alcance máximo de cada instrumento.

La incertidumbre declarada (U) fue determinada para un factor k = 2, correspondiendo a un intervalo de confianza del 95 %.

3.2. Valores de laboratorio sin modificar las condiciones originales de la calibración en Fábrica

En las tablas 2 a la 5 se observan los valores de la primera calibración obtenidos en el laboratorio previo a la realización de cualquier modificación. Estos valores son los que se toman como referencia

para el análisis de los distintos ensayos nombrados en este apartado.

Caudal	Valores de Laboratorio	
	Error	U
[%]	[%]	[%]
5	-0,61	0,31
10	0,58	0,31
25	-0,05	0,31
50	-0,34	0,31
80	-0,32	0,31
100	-0,38	0,31

Tabla 2. Valores de calibración en laboratorio. turbina de 101,6 mm de diámetro.

Caudal	Valores de Laboratorio	
	Error	U
[%]	[%]	[%]
5	0,61	0,31
10	0,88	0,31
25	0,22	0,31
50	0,14	0,31
80	0,20	0,31
100	0,14	0,31

Tabla 3. Valores de calibración en laboratorio. turbina de 152,4 mm de diámetro

Caudal	Valores de Laboratorio	
	Error	U
[%]	[%]	[%]
5	0,83	0,31
10	0,69	0,31
25	0,26	0,31
50	0,04	0,31
80	0,11	0,32
100	0,08	0,32

Tabla 4. Valores de calibración en laboratorio. turbina de 203,2 mm de diámetro

Las incertidumbres declaradas por el Laboratorio se determinaron para un factor de cobertura $k = 2$, correspondiendo a un intervalo de confianza de 95 % [4].

Caudal	Valores de Laboratorio		
	304,8 mm		U
	turbina	Módulo	
[%]	Error	Error	[%]
5	1,34	1,32	0,31
10	0,76	0,79	0,31
25	0,00	0,00	0,31
50	-0,12	-0,14	0,32
80	-0,04	-0,05	0,34
100	-0,04	-0,06	0,35

Tabla 5. Valores de calibración en laboratorio. turbina y Módulo de Medición de 304,8 mm de diámetro.

3.3. Valores de Laboratorio modificando las condiciones originales de Calibración en Fábrica

3.3.1 Desmontaje y Montaje del Módulo de medición.

Los resultados obtenidos luego de la operación de desmontaje y montaje de módulos se observan en las tablas 6 a 8.

Caudal	turbina		U
	101,6 mm	152,4 mm	
	Error	Error	
[%]	[%]	[%]	[%]
5	-0,59	0,69	0,31
10	0,68	0,88	0,31
25	0,00	0,22	0,31
50	-0,34	0,12	0,31
80	-0,33	0,18	0,31
100	-0,38	0,15	0,31

Tabla 6. Valores de Laboratorio. turbinas de 101,6 mm y 152,4 mm.

Caudal	Valores de laboratorio	
	Error	U
[%]	[%]	[%]
5	0,85	0,31
10	0,72	0,31
25	0,25	0,31
50	0,05	0,31

80	0,11	0,32
100	0,08	0,32

Tabla 7. Valores de Laboratorio. turbina de 203,2 mm

Caudal	Valores de Laboratorio	
	Error	U
[%]	[%]	[%]
6	1,32	0,31
12	0,70	0,31
29	-0,09	0,31
58	-0,16	0,32
87	-0,08	0,34
112	-0,06	0,35

Tabla 8. Valores de Laboratorio. turbina de 304,8 mm

3.3.2 Lubricación de los rodamientos.

En las tablas 9 y 10 se observan los valores obtenidos en laboratorio luego de la lubricación de los rodamientos para las turbinas de 203,2 mm y 304,8 mm.

Caudal	Valores de Laboratorio	
	Error	U
[%]	[%]	[%]
5	-0,58	0,31
10	0,17	0,31
25	0,07	0,31
50	-0,03	0,31
80	0,06	0,32
100	0,04	0,32

Tabla 9. Valores de Laboratorio. turbina de 203,2 mm.

Caudal	Valores de Laboratorio	
	Error	U
[%]	[%]	[%]
5	0,76	0,31
10	0,54	0,31
25	0,00	0,31
50	-0,10	0,32
80	-0,01	0,34
100	0,00	0,35

Tabla 10. Valores de Laboratorio. turbina de 304,8 mm.

3.3.3 Cambio de rodamientos.

Los resultados de estos ensayos se observan en las tablas 11 a 14. La Tabla 11 muestra los valores de calibración correspondientes a la turbina de 101,6 mm de diámetro nominal. Antes de la calibración se realizó una lubricación de los rodamientos.

Caudal	Valores de Laboratorio	
	Error	U
[%]	[%]	[%]
5	-1,69	0,31
10	0,20	0,31
25	-0,13	0,31
50	-0,34	0,31
80	-0,30	0,31
100	-0,24	0,31

Tabla 11. Valores de Laboratorio. turbina de 101,6 mm.

En las Tablas 12, 13 y 14 se observan los resultados de la calibración de las turbinas de 152,4 mm, 203,2 mm y 304,8 mm respectivamente según los ensayos a las que fueron sometidas. Los mismos se explican a continuación:

- Ensayo R1:** Cambio de rodamientos.
- Ensayo R2:** R1 y Desconexión y conexión del dispositivo de lectura.
- Ensayo R3:** R1, R2 y lubricación de rodamientos.

Caudal	Ensayo R1	Ensayo R2	Ensayo R3	U
	Error	Error	Error	
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
5	0,21	0,11	-0,13	0,31
10	0,61	0,58	0,56	0,31
25	0,05	0,02	0,06	0,31
50	-0,04	0,02	0,01	0,31
80	-0,02	0,08	0,10	0,31
100	-0,10	0,06	0,10	0,31

Tabla 12. Valores de Laboratorio. turbina de 152,4 mm.

Caudal	Ensayo R2	Ensayo R3	U
	Error	Error	
[%]	[%]	[%]	[%]
5	0,58	0,04	0,31
10	0,69	0,29	0,31
25	0,18	0,10	0,31

50	0,08	-0,03	0,31
80	0,14	0,04	0,32
100	0,11	0,01	0,32

Tabla 13. Valores de Laboratorio. turbina de 203,2 mm.

Caudal	Ensayo R1	Ensayo R3	U
	Error	Error	
[%]	[%]	[%]	[%]
5	1,08	0,79	0,31
10	0,66	0,56	0,31
25	0,00	0,00	0,31
50	-0,15	-0,22	0,32
80	-0,07	-0,14	0,34
100	-0,06	-0,13	0,35

Tabla 14. Valores de Laboratorio. turbina de 304,8 mm.

3.3.4 Cambio de módulo.

El cambio de módulo se realizó únicamente con la turbina de 304,8 mm de diámetro. Se extrajo el módulo de medición original, ensamblado con el instrumento y se montó el módulo de medición independiente del mismo diámetro nominal que conformaba la muestra. Este último módulo se calibró en fábrica con el cuerpo de una turbina distinta a la ensayada. Los valores de la calibración de ambos módulos, el original y el reemplazado, se observan en la tabla 15.

Caudal	Ensayo MT	Ensayo MI	U
	Error	Error	
[%]	[%]	[%]	[%]
5	1,34	1,32	0,31
10	0,76	0,79	0,31
25	0,00	0,00	0,31
50	-0,12	-0,14	0,32
80	-0,04	-0,05	0,34
100	-0,04	-0,06	0,35

Tabla 15. Valores de Laboratorio. MT: Módulo de la turbina; MI: módulo independiente.

3.3.5 Spin Time Test.

Los resultados del Spin Time Test se observan en la Tabla 16. Los tiempos están expresados en segundos y representan la diferencia con los valores especificados por el fabricante. Se identifican dos tipos de ensayos:

Ensayo 1: Rotor con dispositivo de lectura acoplado

Ensayo 2: Rotor sin dispositivo de lectura acoplado

Las diferencias con los tiempos especificados por el fabricante se informan en tres columnas que identifican una modificación respecto a la condición original con que ingresaron al laboratorio. Ellas son:

CO: Condiciones originales de Fábrica.

L: Lubricación de rodamientos.

CR/L: cambio de rodamientos y lubricación.

turbina	Ensayo	Tiempo (s)		
		Diferencia fabricante		
		CO	L	CR/L
101,6	1	17	17	11
	2	41	23	16
152,4	1	59	-	-
	2	126	55	106
203,2	1	96	122	-
	2	140	-	127
304,8	1	130	-	-
	2	-	202	71

Tabla 16. Resultados del Spin Time Test.

4. ANALISIS

Para determinar la concordancia entre los valores declarados en el certificado de calibración de Fábrica y los obtenidos en el Laboratorio se utilizó la técnica del error normalizado [3]. Este criterio de análisis tiene en cuenta el error del valor informado en cada certificado y las incertidumbres asociadas. Según esta técnica valores superiores a la unidad representan puntos de no equivalencia entre laboratorios

$$E_N = \frac{|V_{Lab} - V_{Ref}|}{\sqrt{U^2_{Lab} + U^2_{Ref}}}$$

E_N : error normalizado

V_{Lab} : valor de medición obtenido del Laboratorio

V_{Ref} : valor de referencia obtenido de Fábrica

U_{Lab} : Incertidumbre combinada expandida estimada por el laboratorio

U_{Ref} : Incertidumbre combinada expandida estimada en Fábrica.

En la Tabla 19 se observan los valores para cada componente de la muestra ensayada.

Caudal	Error normalizado				
	Diámetro turbina mm				Módulo
[%]	101,6	152,4	203,2	304,8	304,8
5	1,21	1,43	0,73	0,98	0,95
10	1,43	1,18	0,03	0,33	0,50
25	0,53	0,83	0,25	0,23	0,15

50	0,3	0,8	0,25	0,22	0,62
80	0,05	0,83	0,44	0,66	0,45
100	0,4	0,75	0,27	0,77	0,63

Tabla 18. Error normalizado. Concordancia entre valores de calibración en Fábrica y en Laboratorio.

Al aplicar la herramienta del Error Normalizado se observa que aproximadamente el 92% de los ensayos presentan una buena concordancia entre los obtenidos en Fábrica y por el Laboratorio. Si bien los puntos restantes presentan un factor superior a 1, estos se dan en las turbinas de menor diámetro para caudales por debajo del 10 % del alcance máximo. En todos los casos se registra una tendencia en menos entre los valores de calibración en Fábrica y los valores de calibración en Laboratorio.

En las siguientes Figuras, de la 6 a la 9, se observan los gráficos con los valores obtenidos para los diferentes ensayos realizados sobre cada turbina que compone la muestra ensayada.

Para todas las turbinas, en cada caudal ensayado, la diferencia máxima de los errores entre los valores de calibración en Laboratorio antes y después de realizar el montaje y desmontaje del módulo de medición es de 0,14 %.

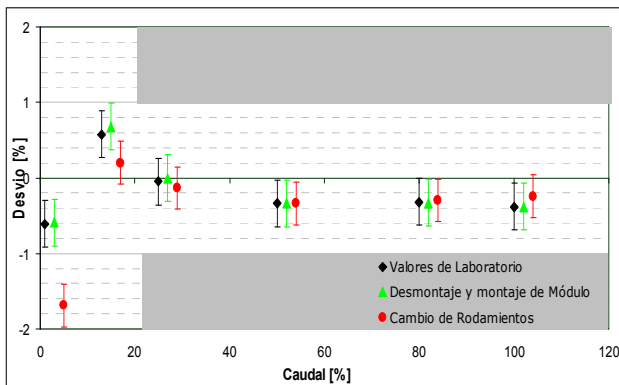


Figura 6. Turbina de 101,6 mm.

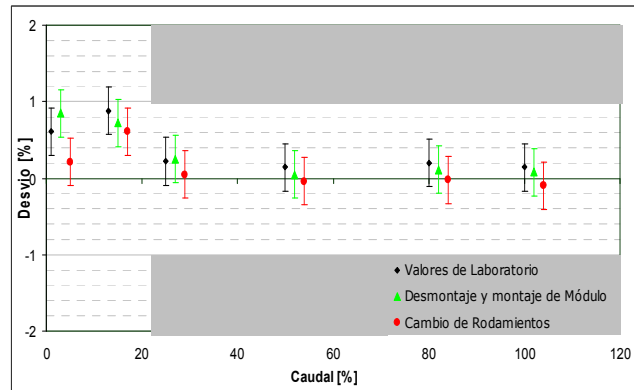


Figura 7. Turbina de 152,4 mm.

De estos resultados se podría inferir que, para el juego de turbinas ensayadas, el error sistemático a introducir en la medición cuando se realiza el desmontaje y montaje del módulo de medición es inferior al 0,15 %.

De los ensayos de lubricación se observa para la turbina de 304,8 mm que la influencia de esta tarea sobre los valores de calibración es menor que para las demás turbinas.

Los valores obtenidos de los ensayos efectuados después de la lubricación presentan una tendencia en menos sobre todo el alcance de medición todas de las turbinas que componen la muestra.

Los valores obtenidos de los ensayos efectuados después del reemplazo de los rodamientos muestran un error respecto de los valores de Laboratorio inferiores a $\pm 0,1\%$ para las turbinas de 203,2 mm y 304,8 mm en el rango del 25 al 100% del caudal máximo. Para la turbina de 152,4 mm estos valores son del $-0,25\%$ dentro del mismo rango. Para los caudales inferiores al 25% las diferencias fueron:

Turbina 152,4 mm: $-0,50\%$

Turbina 203,2 mm: $-0,25\%$

Turbina 304,8 mm: $-0,34\%$

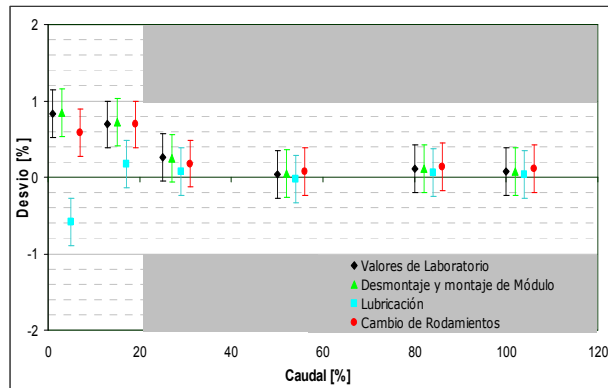


Figura 8. Turbina de 203,2 mm

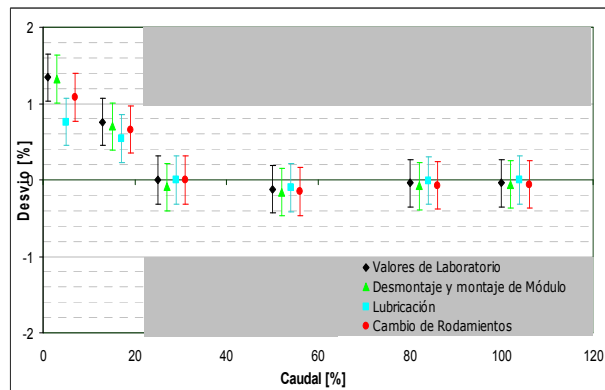


Figura 9. Turbina de 304,8 mm

No se toma en cuenta para este análisis la turbina de 101,6 mm ya que, si bien se le realizó un reemplazo de rodamientos, el mismo fue acompañado de una lubricación.

El ensayo de cambio de módulo de medición para la turbina de 304,8 mm arrojó valores muy similares entre ellos.

5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en los ensayos de desmontaje y montaje del módulo de medición se podría inferir que, para el juego de turbinas ensayadas, el error sistemático a introducir en la medición cuando se realiza esta operación es inferior al 0,15 %.

Los valores obtenidos de los ensayos efectuados después de la lubricación presentan una tendencia en menos sobre todo el alcance de medición de las turbinas, presentando una mayor influencia para

caudales por debajo del 10 % de este. El impacto de esta operación disminuye con las turbinas de mayor tamaño.

Respecto al ensayo de cambio de módulos de medición para la turbina de 304,8 mm se puede inferir que el apartamiento en los valores de calibración a baja presión originados por esta modificación no supera el 0,1 %.

El hecho de que del análisis de los resultados obtenidos de las unidades ensayadas se observe que no se producen cambios significativos en los niveles de exactitud del equipo cuando se originan las modificaciones operativa enunciadas en este trabajo, incentiva a que en un futuro se procuren nuevas oportunidades de ensayos sobre una muestra más amplia de unidades que permita generar una mayor representatividad para los modelos considerados.

Como los resultados de este estudio se refieren específicamente a la influencia que ejercen las modificaciones realizadas en cada componente de la muestra sobre la calibración inicial a presión atmosférica, se incentiva la realización de ensayos en alta presión para validar las mismas en esa modalidad, ya que esta última es más representativa de las condiciones operativas del instrumento.

REFERENCIAS

- [1] Sitio web <<http://www.inti.gob.ar/sac/>>
- [2] AGA, Reporte N° 7, Measurement of Natural Gas by Turbine Meters, 2006.
- [3] OIML R137-1. Gas Meters, Parte 1, edición 2006.
- [4] Remarks on the En – Criterion Used in Measurement Comparisons, W. Wöger 1998.
- [5] Guía para la expresión de la incertidumbre de medición INTI - Cefis, 1999