

RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN NACIONAL DE MEDICIÓN DE FLUJO DE HIDROCARBUROS EN SITIO, CENAM – LABORATORIOS SECUNDARIOS ACREDITADOS

José Martín Calvo Morales y Dario Alejandro Loza Guerrero
Centro Nacional de Metrología
División de Flujo y Volumen
km 4,5 Carretera a los Cués, Municipio El Marqués, Querétaro, México
Correo electrónico: mcalvo@cenam.mx , aloza@cenam.mx

Resumen

Este informe presenta los resultados de la comparación nacional entre laboratorios secundarios acreditados del Sistema Nacional de Calibración del Área de Flujo y el Centro Nacional de Metrología (CENAM), como patrón de transferencia se empleó un medidor de flujo tipo turbina instalado en un sistema de llenado de autos tanque ubicado en la TAD – PEMEX Refinación en Querétaro, Qro., el cual fue calibrado con PEMEX - Diesel, como patrones de referencia los laboratorios utilizaron: una medida volumétrica y/o un medidor de flujo de desplazamiento positivo.

1. INTRODUCCIÓN

Dos de las de las funciones fundamentales del Centro Nacional de Metrología son la conservación de los patrones nacionales y la participación en comparaciones nacionales e internacionales.

Actualmente, la División de Flujo y Volumen del CENAM impulsa el programa de Aseguramiento de las Mediciones – comparación nacional – con la finalidad de fortalecer la infraestructura metrológica en el área de volumen y flujo de líquidos, sobre la base de la experiencia y los resultados obtenidos en las comparaciones con laboratorios nacionales de otros países, que nos permiten asegurar la confiabilidad necesaria para dar coherencia a las mediciones de flujo de líquidos en México. Así mismo, este programa, es impulsado también por el Subcomité de Evaluación de Laboratorios de Calibración en el Área de Flujo y Volumen de la Entidad Mexicana de Acreditación, A.C. (ema).

Este programa de comparación nacional (2006) en el área de flujo de líquidos entre el CENAM y los Laboratorios Secundarios Acreditados tiene como fin evaluar de manera integral la competencia técnica de los participantes.

Entre los objetivos que se persiguen con su realización están:

- a) establecimiento del grado de equivalencia entre participantes,
- b) demostración de competencia técnica. Este tipo de ensayos es un requisito para obtener y mantener la acreditación conforme a la norma NMX-EC-17025-IMNC-2000,
- c) validación de métodos, y
- d) determinación de errores sistemáticos

En resumen, este programa de aseguramiento de las mediciones de flujo de líquidos nos permitirá comparar métodos, procedimientos, sistemas de medición, personal, cálculos e incertidumbre entre los laboratorios participantes con el propósito de establecer oportunidades de mejora en los mismos.

Esta comparación nacional provee información cuantitativa para determinar las limitaciones de un método de medición en particular, ofrece una descripción de las magnitudes de influencia y permite establecer objetivamente la incertidumbre total del proceso de medición de flujo, provee la posibilidad de cuantificar cualquier desviación de los resultados fuera de la incertidumbre estimada de medición, ayuda a simplificar de manera racional los procedimientos de medición y ofrece, sin duda alguna, una manera de evaluación cíclica del comportamiento de los procesos de medición.

Las conclusiones de este trabajo versan sobre las diferencias encontradas en el comportamiento del medidor de flujo tipo turbina que fue calibrado y el error normalizado E_n con respecto a la incertidumbre declarada por cada uno de los participantes.

2. PROGRAMA DE PRUEBAS

En México, los Laboratorios Secundarios Acreditados en el área de flujo de líquidos proporcionan servicios de calibración con patrones viajeros en sitio, es decir, en las instalaciones de sus clientes. Por lo que esta comparación, se efectuó en las instalaciones PEMEX - Refinación de la Terminal de Almacenamiento y Distribución (TAD) de Querétaro, Querétaro.

El CENAM actuó como laboratorio de piloto - organizó, ejecutó la comparación, aportó los valores de referencia, analizó los resultados y emitió un informe final - cada uno de los Laboratorios Secundarios efectuaron las pruebas según el calendario de pruebas propuesto en el protocolo de la comparación.

Tabla 1. *Laboratorios participantes y Calendario de prueba.*

Laboratorio	Fecha prueba
CENAM – prueba inicial Medida volumétrica y medidor de referencia (DP)	2006-02-13 a 2006-02-14
Fujisan Survey, S.A. de C.V. Medida volumétrica y medidor de referencia (DP)	2006-02-14 a 2006-02-15
Flujo Cómmitl, S.A. de C.V. Medida volumétrica y medidor de referencia (DP)	2006-02-16 a 2006-02-17
Servicios de Ingeniería y Control Avanzado, S.A. de C.V. (SICA) Medida volumétrica y medidor de referencia (DP)	2006-02-20 a 2006-02-21
CIATEQ, A.C. Medida volumétrica	2006-02-22 a 2006-02-23
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI) Medida volumétrica	2006-02-24
SGS de México Medida volumétrica	2006-02-27 a 2006-02-28
CENAM – prueba final Medida volumétrica y medidor de referencia (DP)	2006-03-01 a 2006-03-02

3. PATRONES DE REFERENCIA Y PATRON DE TRANSFERENCIA

Los laboratorios utilizaron una medida volumétrica y/o un medidor de referencia de desplazamiento positivo durante las pruebas.

3.1 Calibración del medidor de transferencia empleando como patrón de referencia una medida volumétrica.

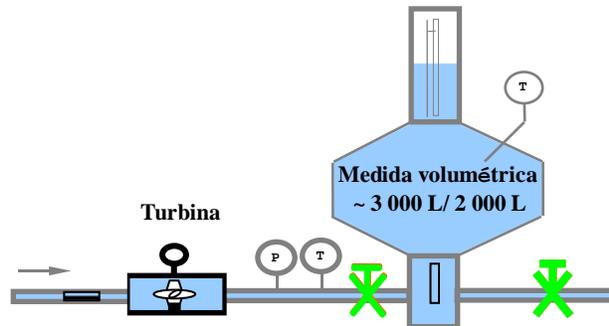


Figura 1. Observe el arreglo esquemático de la calibración del patrón de transferencia -medidor de flujo tipo turbina- utilizando como patrón de referencia una medida volumétrica.

El factor del medidor intermedio, *IMF* ésta dado por:

$$IMF = \frac{BPV_a \cdot CCF_p}{IV_m \cdot CCF_m} \quad (\text{adimensional}) \quad (1)$$

donde:

BPV_a - Volumen de la medida volumétrica a condiciones base (L)

IV_m - volumen indicado por el medidor en una corrida (L)

CCF_p = *CTS_p* · *CTL_p* - Factor de corrección combinado del patrón de referencia (adimensional)

CTS_p - Factor de corrección por efecto de la temperatura en el acero de la medida volumétrica (adimensional)

CTL_p - Factor de corrección por efecto de la temperatura en la densidad del líquido, medida volumétrica (adimensional)

CCF_m = *CTL_m* · *CPL_m* - Factor de corrección combinado del medidor de transferencia (adimensional)

CTL_m - Factor de corrección por efecto de la temperatura en la densidad del líquido en el medidor de transferencia (adimensional)

CPL_m - Factor de corrección por efecto de la presión en la densidad del líquido, en el medidor de transferencia (adimensional)

3.2 Calibración del medidor de transferencia empleando como patrón de referencia un medidor de desplazamiento positivo.

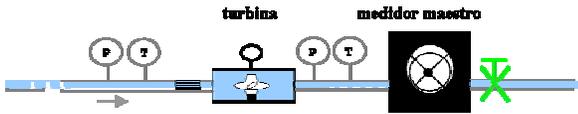


Figura 2. Diagrama esquemático de la calibración del patrón de transferencia -medidor de flujo tipo turbina- utilizando como patrón de referencia un medidor de desplazamiento positivo.

El factor del medidor intermedio, *IMF* ésta dado por:

$$IMF = \frac{IV_{mm} \cdot CCF_{mm} \cdot MMF}{IV_m \cdot CCF_m} \quad (\text{adimensional}) \quad (2)$$

donde:

- IV_{mm} - Volumen indicado por el medidor de referencia en una corrida (L)
- IV_m - volumen indicado por el medidor bajo prueba (L)
- $CCF_{mm} = CTL_{mm} \cdot CPL_{mm}$ - Factor de corrección combinado del medidor maestro (adimensional)
- $CCF_m = CTL_m \cdot CPL_m$ - Factor de corrección combinado del medidor (adimensional)
- MMF - Factor del medidor maestro (adimensional)

El factor de corrección por efecto de la temperatura en la densidad del líquido CTL, se puede calcular a partir de la siguiente relación:

$$CTL = \frac{RHO_{tp}}{RHO_b} \quad (\text{adimensional}) \quad (3)$$

aproximación lineal:

$$CTL = (1 - \beta_b \cdot (T - T_b)) \quad (\text{adimensional}) \quad (4)$$

- RHO_{tp} - Densidad del producto en línea (kg/m^3)
- RHO_b - Densidad del producto a condiciones base (kg/m^3)
- β_b - Coeficiente volumétrico de expansión térmica del fluido a temperatura base ($^{\circ}C^{-1}$)
- T_b - Temperatura base (de referencia) ($^{\circ}C$)
- T - Temperatura ($^{\circ}C$)

Cálculo de la densidad base (RHO_b) de productos petrolíferos a la temperatura de referencia de $15^{\circ}C$:

$$RHO_b = \frac{RHO_{tp}}{\exp(-\beta_{15} \cdot \Delta T \cdot (1 + 0,8 \cdot \beta_{15} \cdot \Delta T))} \quad * \quad (\text{adimensional}) \quad (5)$$

$$\beta_{15} = \frac{K_0}{RHO_b^2} + \frac{K_1}{RHO_b} \quad (^{\circ}C^{-1}) \quad (6)$$

* Ecuación API 2540

- RHO_{tp} - Densidad en línea (kg/m^3)
- RHO_b - Densidad Base - $15^{\circ}C$ (kg/m^3)
- β_{15} - Coeficiente de expansión volumétrico a temperatura de $15^{\circ}C$ ($^{\circ}C^{-1}$)
- K_0, K_1 - Constantes en función del la densidad del producto.

Corrección por compresibilidad en el líquido

Factor de corrección por efecto de la presión en la densidad del líquido puede ser calculado de la siguiente manera:

$$CPL = \frac{1}{1 - P_m \cdot F} \quad (\text{adimensional}) \quad (7)$$

- P_m - Presión manométrica (Pa)
- F - Factor de compresibilidad del líquido (1/Pa)

La ecuación que se emplea para el cálculo del factor de compresibilidad, es la siguiente:

$$F = 0,001 \cdot \exp(-1,6208 + 2,1592 \cdot 10^{-4} \cdot T + 0,87096 \cdot \rho_{15}^{-2} + 4,2092 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot \rho_{15}^{-2}) \quad (1/MPa) \quad (8)$$

- RHO_b - Densidad del fluido a $15^{\circ}C$, (kg/L)
- T - Temperatura del fluido, ($^{\circ}C$)

Factor de corrección por expansión térmica en el acero de la medida volumétrica (CTS)

$$CTS = 1 + [(T - T_b) Gc] \quad (\text{adimensional}) \quad (9)$$

- Gc - Coeficiente cúbico de expansión térmico del acero, ($^{\circ}C^{-1}$)
- T_b - Temperatura base, ($^{\circ}C$)
- T - Temperatura del líquido en la medida volumétrica, ($^{\circ}C$)

Trazabilidad en las mediciones

Los sistemas de medición y los instrumentos empleados mantienen trazabilidad¹ hacia los patrones nacionales de las magnitudes de volumen, temperatura y presión mantenidos por el CENAM.

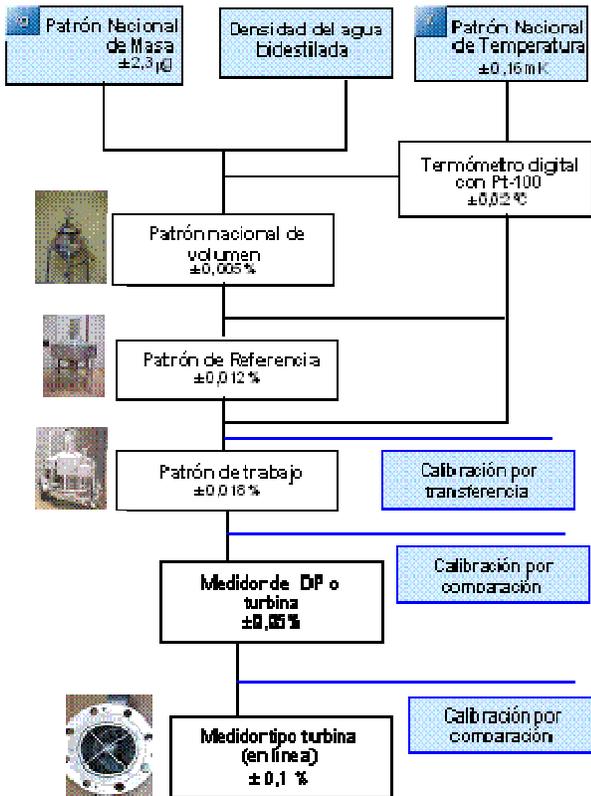


Figura 3. Carta de trazabilidad para las mediciones de volumen.

El patrón de transferencia empleado fue un medidor de flujo tipo turbina, marca Smith Meters Inc., número de serie: XJ 18171 LSJH, modelo: K2FDA001C00 instalado en un sistema de llenado de autos tanque No.1 Diesel de 75 mm de diámetro con clase de exactitud según OIML R 117 de 0,3.²

¹ **Trazabilidad:** Propiedad de un resultado de medición consistente en poder relacionarlo con los patrones apropiados, generalmente internacionales o nacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo todas las incertidumbres determinadas

² OIML (Organización internacional de Metrología Legal). La recomendación OIML R 117 se refiere a

El fluido de prueba fue PEMEX - Diesel.

El sistema de medición esta ubicado en la terminal de Almacenamiento y Distribución de PEMEX-Refinación con dirección Acceso No.3 S/N. Zona industrial Benito Juárez. Querétaro, Querétaro.

El patrón de transferencia fue calibrado bajo las condiciones de operación de la TAD.

3. PRUEBAS

Los principales aspectos sujetos a estudio son los siguientes:

- Determinar errores sistemáticos con el fin de identificar si estos provienen de los sistemas de medición o del método particular empleado.
- Establecer el comportamiento metroológico y la estabilidad del medidor de flujo tipo turbina empleado como medidor de transferencia.
- Determinar si la estimación de incertidumbre del medidor de transferencia está dentro de lo esperado.
- Finalmente, como beneficio adicional, los resultados de la comparación nos permitirá detectar oportunidades de mejora en el proceso de medición.

La figura 4 muestra un diagrama esquemático de la instalación empleada durante la comparación, observe la instalación de los patrones de referencia aguas abajo, en serie con la turbina (patrón de transferencia).

Durante las pruebas, los expertos de cada laboratorio participante operaron los diferentes sistemas de medición y efectuaron las pruebas de acuerdo a lo requerido por el protocolo de la comparación y a sus procedimientos de calibración, específicos para cada método de calibración.

sistemas de medición de flujo para líquidos diferentes al agua.

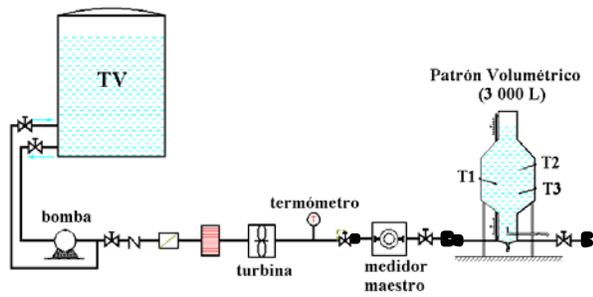


Figura 4. Sistemas de medición empleados durante la comparación.

4. RESULTADOS

La forma en que se presentan los resultados del medidor de transferencia es utilizando el Factor del Medidor promedio en función del flujo volumétrico. Determinamos también, la desviación con respecto al valor de referencia.

$$IMF = \frac{GSV}{ISVm} \quad (\text{adimensional}) \quad (10)$$

donde:

GSV- Volumen del patrón de referencia corregido a condiciones base (L)

ISVm- Volumen indicado por el medidor corregido a condiciones base (L)

Factor del medidor promedio (\bar{MF})

$$\bar{MF} = \frac{\sum_{i=1}^n IMF_i}{n} \quad (\text{adimensional}) \quad (11)$$

donde:

n es el número de datos (5 mediciones por flujo).

Desviación (e)

$$e = \frac{\bar{MF}_{lab.} - \bar{MF}_{CENAM}}{\bar{MF}_{CENAM}} \cdot 100\% \quad (12)$$

Error Normalizado

El error normalizado En con respecto a la incertidumbre declarada por el laboratorio está dado por:

$$En_i = \frac{|MF_{lab_i} - MF_{ref}|}{\sqrt{(U_{lab_i}^2 + U_{ref}^2) + U_{pt}^2}} \quad (13)$$

Donde:

MF_{lab_i} es el resultado promedio del laboratorio participante i

MF_{ref} es el valor de referencia

U_{lab_i} es la incertidumbre expandida de MF_{lab_i}

U_{ref} es la incertidumbre expandida de MF_{ref}

U_{pt} es la incertidumbre expandida debida estabilidad del patrón de transferencia –reproducibilidad- (toma en cuenta los efectos por las condiciones de operación del sistema de llenado de autos tanque sobre el patrón de transferencia).

Los valores de referencia a los diferentes flujos seleccionados para la comparación son los valores promedio obtenidos durante las pruebas inicial y final realizadas por el CENAM.

El parámetro de aceptación es $En < 1$.

La incertidumbre expandida del MF , se expresa con un factor de cobertura $k = 2$ que corresponde aproximadamente a un nivel de confianza el 95 %, se estimó basándose en la Guía para la Expresión de la Incertidumbre en las Mediciones –BIMP, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML. Publicada por ISO en 1995.

Quienes trabajamos en el campo de la metrología de flujo de fluidos estaremos de acuerdo en que las mediciones son afectadas por múltiples factores:

- cambios de temperatura
- de presión
- de densidad, de viscosidad
- inestabilidad de los dispositivos de control de flujo
- presencia de partículas
- daños por corrosión
- efectos de instalación
- pérdidas de configuración en los sistemas de procesamiento de datos
- fugas en válvulas de bloqueo
- desgaste prematuro
- cavitación

- presencia de aire en los sistemas de medición de hidrocarburos líquidos
- ruido electromagnético
- vibraciones mecánicas
- pulsaciones inducidas en el fluido

Así, para garantizar la trazabilidad en los resultados de medición de cualquier estación de medición de flujo de fluidos es necesario poner gran cuidado no solamente para poner en práctica los resultados de calibración de los instrumentos, sino también para operarlos y mantenerlos en condiciones semejantes a las que prevalecieron durante la calibración. De hecho cualquier declaración de incertidumbre carece de todo sentido cuando no toma en cuenta a todos los componentes del sistema de medición y a todas las variaciones en las condiciones de operación del sistema de medición.

4.1. Resultados de las pruebas.

Las figuras y las tablas que se muestran a continuación muestran los resultados obtenidos por los laboratorios participantes comparados con el valor de referencia a los diferentes flujos de la prueba.

La Figura 5 muestra la dispersión de los datos; a flujo alto es de 0,13 %, a flujo medio de 0,11 % y a flujo bajo es de 0,14%.

La incertidumbre expandida de los valores de referencia del MF promedio es $\pm 0,06$ % con $k=2$.

Las Tablas 2, 3 y 4 presentan los resultados de la comparación entregados por los laboratorios participantes; el MF , la incertidumbre expandida U , las diferencias con respecto al valor de referencia y el valor del error normalizado En .

En esas tablas podemos encontrar también, el valor de referencia y su incertidumbre, el valor de la estimación de la incertidumbre que toma en cuenta la variabilidad significativa – reproducibilidad pobre- del patrón de transferencia observada en el transcurso de las pruebas.

Esa variabilidad significativa se debe a las condiciones de operación que prevalecieron en el sistema de llenado de autos tanque en el periodo que se llevó a cabo la comparación

Las Figuras 6, 8 y 10 muestran gráficamente los valores del MF y la incertidumbre asociada a ellos – declarada por cada laboratorio participante- y en ellas se puede apreciar las desviaciones de cada laboratorio con respecto a los valores de referencia.

En esas figuras, se puede apreciar también, que el laboratorio identificado con la clave LCK 27MV tiene una desviación con respecto al valor de referencia a los diferentes flujos que son mayores a la incertidumbre expresada por el laboratorio. Algo similar, sucede con el laboratorio identificado con la clave LCE 29MV. Esas desviaciones tienen muy probablemente un origen sistemático.

En la Figura 8, flujo medio observamos que todos los valores obtenidos por los laboratorios participantes son mayores que el valor de referencia.

Las Figuras 7, 9 y 11 presentan gráficamente el error normalizado En de cada uno de los laboratorios y por cada procedimiento utilizado, medida volumétrica y medidor de desplazamiento positivo empleados como patrones de referencia.

En general, puede observarse que los resultados generados por 5 de los 6 laboratorios son aceptables de acuerdo al criterio del error normalizado.

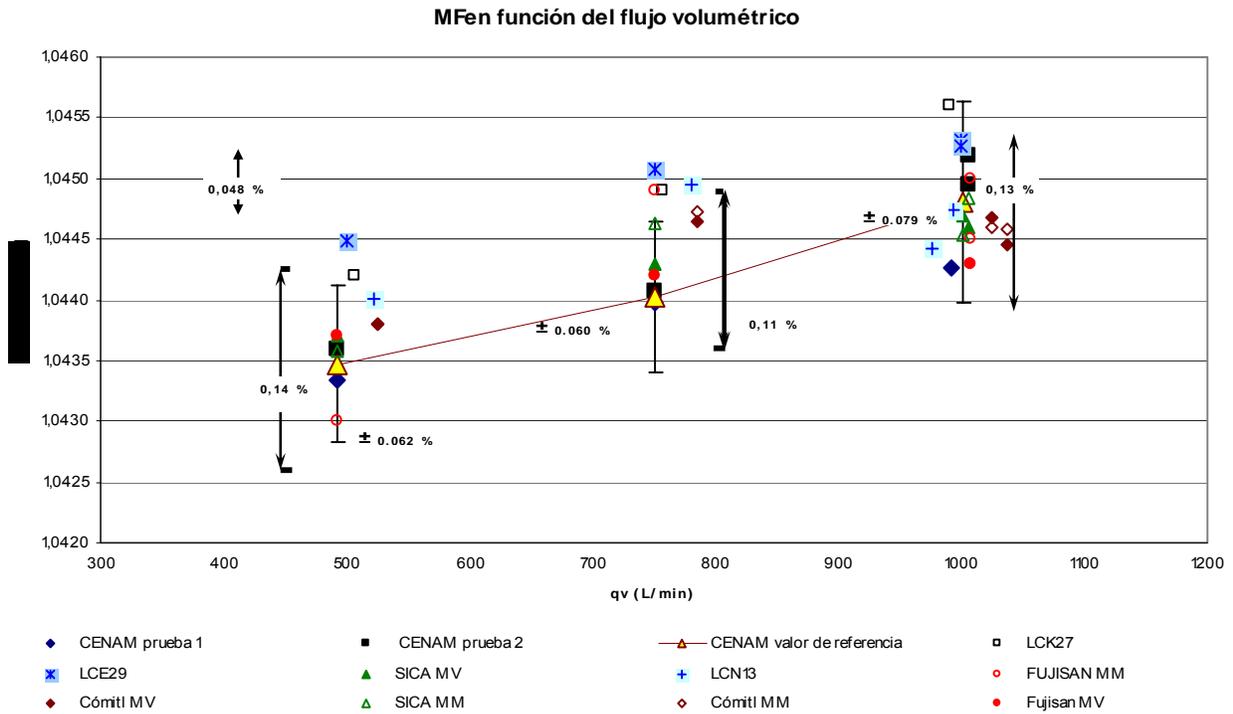


Figura 5. Resultados de las diferentes pruebas de calibración del medidor de flujo tipo turbina empleado como patrón de transferencia durante las pruebas.

Clave Lab.	Flujo bajo (L/min)	MF (adimensional)	U_{lab} del MF (%)	U_{pt} reproducibilidad	Diferencia e (%)	En
Valor de referencia	492	1,043 5	0,060	$7,19 \cdot 10^{-5}$		
LCK27 MV	506	1,044 2	0,050		0,07	0,88
LCE29 MV	500	1,044 5	0,050		0,10	1,24
LCN13 MV	523	1,044 0	0,070		0,05	0,55
SICA MV	492	1,043 7	0,060		0,02	0,26
SICA MM	492	1,043 6	0,080		0,01	0,11
Flujo Comitél MV	525	1,043 8	0,045		0,03	0,41
Flujo Comitél MM	525	1,043 8	0,11		0,03	0,28
Fujisan Survey MV	493	1,043 7	0,070		0,02	0,24
Fujisan Survey MM	493	1,043 0	0,12		- 0,05	0,34

Tabla 2. Presenta los resultados de la comparación obtenidos por laboratorios participantes a flujo bajo.

Clave Lab.	Flujo medio (L/min)	MF (adimensional)	U_{lab} del MF (%)	U_{pt} reproducibilidad	Diferencia e (%)	En
Valor de referencia	750	1,044 0	0,060	$3,08 \cdot 10^{-5}$		
LCK27 MV	757	1,044 9	0,060		0,08	0,98
LCE29 MV	750	1,045 1	0,050		0,10	1,29
LCN13 MV	780	1,044 9	0,070		0,09	0,96
SICA MV	750	1,044 3	0,060		0,03	0,31
SICA MM	750	1,044 6	0,080		0,06	0,58
Flujo Comité MV	785	1,044 6	0,053		0,06	0,73
Flujo Comité MM	785	1,044 7	0,080		0,07	0,67
Fujisan Survey MV	750	1,044 2	0,070		0,02	0,18
Fujisan Survey MM	750	1,044 9	0,094		0,08	0,75

Tabla 3. Resultados de la calibración obtenidos por los laboratorios participantes a flujo medio.

Clave Lab.	Flujo alto (L/min)	MF (adimensional)	U_{lab} del MF (%)	U_{pt} reproducibilidad	Diferencia e (%)	En
Valor de referencia	1 002	1,044 8	0,060	$2,68 \cdot 10^{-4}$		
LCK27 MV	990	1,045 6	0,060		0,08	0,77
LCE29 MV	1 000	1,045 3	0,050		0,05	0,52
LCE29-1 MV	1 000	1,045 3	0,050		0,04	0,47
LCN13 MV	976	1,044 4	0,070		- 0,04	0,34
LCN13-1 MV	994	1,044 7	0,070		- 0,01	0,06
SICA MV	1 002	1,044 7	0,060		- 0,01	0,10
SICA MV1	1 006	1,044 6	0,060		- 0,02	0,19
SICA MM	1 002	1,044 5	0,080		- 0,03	0,23
SICA MM1	1 006	1,044 8	0,080		0,00	0,03
Flujo Comité MV	1 025	1,044 7	0,035		- 0,01	0,13
Flujo Comité MV1	1 038	1,044 5	0,042		- 0,03	0,38
Flujo Comité MM	1 025	1,044 6	0,080		- 0,02	0,18
Flujo Comité MM1	1 038	1,044 6	0,10		- 0,02	0,17
Fujisan Survey MV	1 007	1,044 3	0,040		- 0,05	0,54
Fujisan Survey MV1	1 007	1,044 3	0,070		- 0,05	0,45
Fujisan Survey MM	1 007	1,045 0	0,082		0,02	0,17
Fujisan Survey MM1	1 007	1,044 5	0,10		- 0,03	0,23

Tabla 4. Resultados de la calibración obtenidos por los laboratorios participantes a flujo alto.

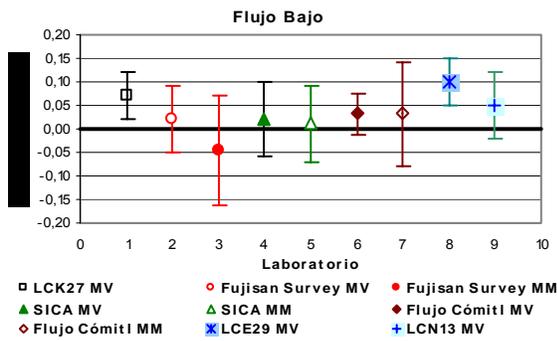


Figura 6. Desviación de los resultados de la prueba con respecto al valor de referencia - flujo bajo.

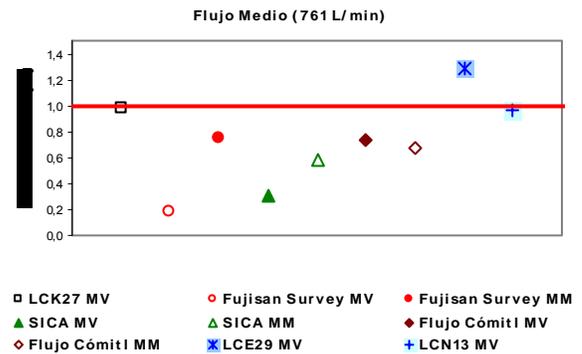


Figura 9. Error normalizado - flujo medio.

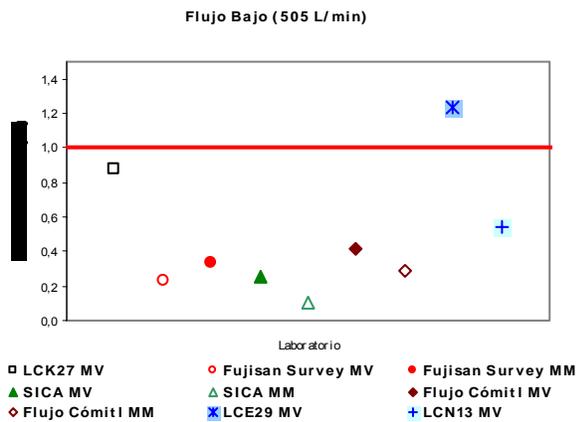


Figura 7. Error normalizado - flujo bajo.

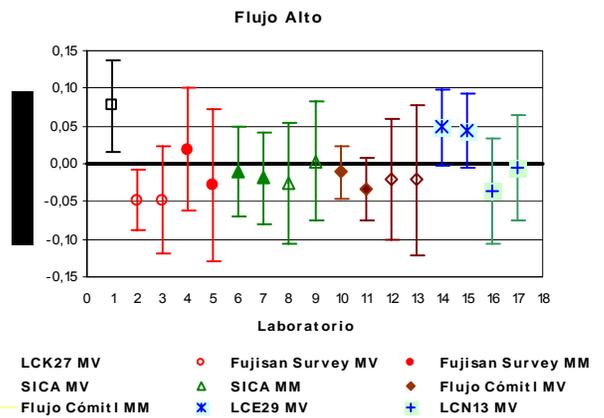


Figura 10. Desviación de los resultados de la prueba con respecto al valor de referencia - flujo alto.

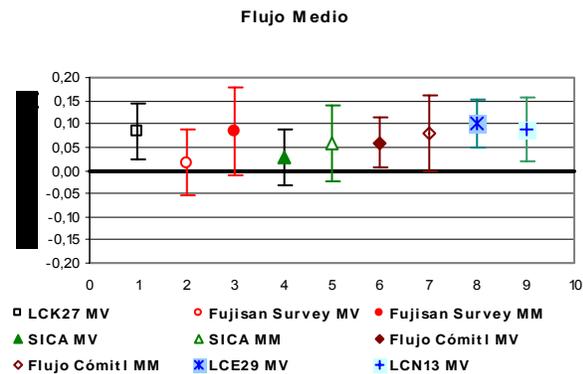


Figura 8. Desviación de los resultados de la prueba con respecto al valor de referencia - flujo medio.

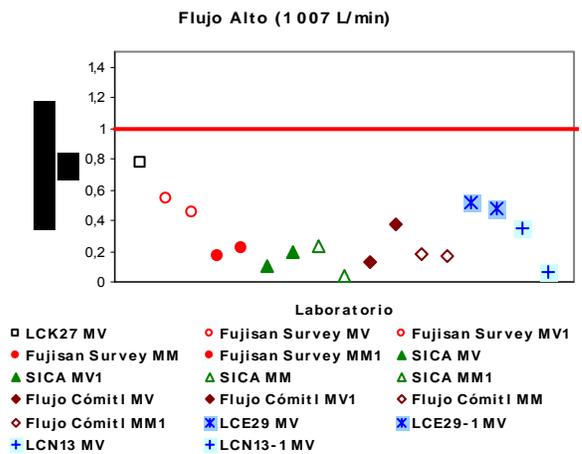


Figura 11. Error normalizado - flujo alto.

5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

De entrada, conviene destacar que se empleó para comparar los resultados de los laboratorios participantes una ecuación modificada del error normalizado (ecuación 13 de este documento). Esta ecuación ha tomado en cuenta la incertidumbre expandida U_{pt} debida a la estabilidad del patrón de transferencia, es decir, se han considerado los cambios –significativos a flujo alto– en el comportamiento de la turbina durante las pruebas de comparación.

Esos cambios significativos del medidor de transferencia se deben muy probablemente a las condiciones de operación del medidor, las pruebas se efectuaron durante la operación normal de la Terminal de Almacenamiento y Distribución de PEMEX- Refinación.

Los valores de referencia para la comparación son los valores promedio del factor del medidor obtenidos durante las pruebas inicial y final realizadas por el CENAM.

La incertidumbre expandida del valor de referencia, MF , es $\pm 0,06\%$ y se expresa con un factor de cobertura $k = 2$ que corresponde a un nivel de confianza aproximado del 95 %.

Las pruebas se efectuaron de acuerdo al protocolo de la comparación, cada laboratorio empleó sus propios procedimientos para efectuar la prueba empleando una medida volumétrica y un medidor de desplazamiento positivo de doble carcasa.

La dispersión de los valores del factor MF en el alcance de prueba de la turbina oscila entre 0,11 % a 0,14 % ver *Figura 5*, la repetibilidad del patrón de transferencia fue en todos los casos $\leq 0,05\%$ y se determinó empleando la desviación estándar experimental de 5 mediciones consecutivas.

Los resultados de la comparación son aceptables en función de que el error normalizado a diferentes flujos de 5 de los 6 laboratorios participantes satisface el criterio de aceptación $En < 1$.

Es recomendable, que en eventos subsecuentes se utilicen patrones de transferencia cuya estabilidad a largo plazo este asegurada. En otras palabras que no estén sujetos a las condiciones de operación de las plantas.

6. CONCLUSIONES

- La dispersión de los datos en la comparación, prueba inicial y final efectuada por el CENAM, muestran que la estabilidad del patrón de referencia no fue lo más adecuado, los resultados han considerado el comportamiento del medidor bajo las condiciones de operación de la TAD.
- La estabilidad del patrón de transferencia se evaluó sobre la base de la repetibilidad y de la reproducibilidad del factor MF .
- Las diferencias muestran la existencia de errores sistemáticos entre patrones de referencia empleados por los laboratorios, que aunque están dentro de la incertidumbre de medición debe determinarse la fuente de los mismos.
- Existen oportunidades de mejora que pueden ser deducidas por los laboratorios estudiando sus propios resultados sobre la base de los resultados de este informe.
- Los resultados indican que dos de los laboratorios participantes (*LCK 27MV* y *LCE 29MV*) deben examinar sus procedimientos de calibración para eliminar errores sistemáticos.
- Finalmente, podemos concluir que los resultados de la comparación son aceptables en función de que el error normalizado en todos los casos, excepto para el laboratorio *LCK 27MV*, es menor que 1. Debe estudiarse la pertinencia del uso del En bajo condiciones de calibración in situ donde la estabilidad del patrón de transferencia no depende únicamente de su comportamiento metrológico sino que también de las condiciones de operación prevalecientes.

RECONOCIMIENTOS

A PEMEX – Refinación, especialmente al personal de la Terminal de Almacenamiento y Distribución de Querétaro, Querétaro por su apoyo durante la realización de los trabajos de la comparación nacional.

REFERENCIAS

- [1] G. E. Mattingly, "Dynamic Traceability of Flow Measurements, Flowmeko 1979, Tokio (Japan) Proceedings pp. 401-411.
- [2] Guía BIPM/ISO para la expresión de la incertidumbre en las mediciones CNM-MED-PT-0002.