

ENSAYO DE APTITUD No. CENAM-EA-720/P.01 EN EL INTERVALO DE MEDICIÓN DE 7 MPa A 50 MPa EN PRESIÓN HIDRÁULICA

Pablo Olvera Arana, Jorge C. Torres Guzmán, Jesús Aranzolo Suárez
Centro Nacional de Metrología, CENAM

km 4,5 carretera a Los Cués, El Marqués, Querétaro, México

Teléfono (52) 442 211 0500, fax (52) 442 211 0578 Dirección de correo electrónico: polvera@cenam.mx

Resumen. El Centro Nacional de Metrología (CENAM) organizó y piloteó el ensayo de aptitud en presión hidráulica relativa en el intervalo de medición de 7 MPa a 50 MPa para laboratorios del Sistema Nacional de Calibraciones (SNC). En la comparación participaron 12 laboratorios del SNC. La Comisión Federal de Electricidad, a través de la GEIC prestó el patrón de transferencia, (PT), para este ensayo de aptitud. Este artículo es un resumen del ensayo de aptitud y presenta las lecturas iniciales y finales obtenidas por el laboratorio piloto (CENAM), el valor promedio y su incertidumbre asociada. También incluye gráficos mostrando las desviaciones del promedio de las mediciones de cada laboratorio respecto al promedio de las del laboratorio piloto, con su incertidumbre asociada; gráficas de desviación del conjunto de todos los laboratorios participantes y su incertidumbre asociada. Se realiza el análisis de compatibilidad de los resultados entre los laboratorios mediante la aplicación del método del error normalizado.

1. INTRODUCCIÓN

La Especialidad de Presión y Vacío, de la División de Metrología de Fuerza y Presión, del Centro Nacional de Metrología (CENAM), organizó y piloteó el ensayo de aptitud en presión hidráulica relativa a 50 MPa con una balanza de presión para laboratorios del Sistema Nacional de Calibraciones (SNC). Las mediciones para el ensayo de aptitud se realizaron de agosto a noviembre del 2005. Participaron 12 laboratorios, un laboratorio no entregó resultados (CICY). El patrón de transferencia (PT) para esta comparación fue facilitado por CFE - GEIC.

1.1 Procedimiento de Medición

El procedimiento de calibración de la balanza fue diseñado por CENAM siguiendo lineamientos de otras comparaciones nacionales e internacionales [1, 2, 3, 4, 5 y 6]. El procedimiento consistió en 5 mediciones distribuidas aproximadamente del 10% al 100% del alcance de medición. Cada punto de medición se repitió dos veces en forma ascendente y dos en descendente.

1.2 Patrón de Transferencia

Se utilizó como patrón de transferencia, (PT), una balanza de presión tipo industrial, marca Ametek, clase de exactitud 0,1% de la lectura, modelo TD-700M, número de serie 18105; ensamble pistón – cilindro número de serie 26345 y juego de pesas, con alcance de medición de 0,5 MPa a 50 MPa. El PT es propiedad de CFE - GEIC.

1.3 Laboratorios Participantes

Los laboratorios participantes utilizaron los patrones descritos en la *Tabla 1*, con la incertidumbre expandida declarada, (U con k=2).

Tabla 1. Patrones de los laboratorios participantes.

<i>Laboratorio</i>	<i>Patrón</i>	<i>U (k = 2)</i>
CENAM	Balanza de Presión; DH Instruments; Mod. 5306-02; N. S. 5715; ensamble p-c N. S. 5716	$\pm 37 \times 10^{-6}$
CIPSA	Manómetro digital marca paroscientific	$\pm 100 \times 10^{-6}$
CIDE SI	Balanza de Presión; DH Instruments; Mod. 5306-02, alcance de medición 50 MPa	$\pm 55 \times 10^{-6}$
LAPE M	Balanza de Presión; DH Instruments; Mod. 5301-02, No.S. D543572/4539; C.E. 0,005% L	$\pm 50 \times 10^{-6}$
Caltex hnix	Balanza de pesos muertos DH-Instruments Mod 5203, serie de émbolo	$\pm 45 \times 10^{-6}$
CIAT EQ	Balanza de presión Ametek, alcance de medición 70 MPa, C. E. 0,025% L.	$\pm 67 \times 10^{-6}$
MET AS	Balanza de presión Ametek, alcance de medición 70 MPa, C. E. 0,015% L.	$\pm 64 \times 10^{-6}$
SIMC A	Balanza de presión, Ametek, alcance de medición 68,9 kPa a 6 957 kPa.	$\pm 100 \times 10^{-6}$
CFE-Laguna Verde	Manómetro Digital Ametek – Jofra; modelo APC10KGINDG; No.S. 847800; C. E. 0,05%	$\pm 500 \times 10^{-6}$
IMP	Balanza de presión, Pressurements, modelo M-220/4.	$\pm 100 \times 10^{-6}$
Metrotecnica	Balanza de Presión; DH Instruments; Mod. 5403, No. S. 4036; C. E. 0,005% L.	$\pm 56 \times 10^{-6}$
CALPRO	Balanza de Presión; DH Instruments; Mod. 5306-02, alcance de medición 100 MPa	$\pm 69 \times 10^{-6}$

1.4 Programa de la Comparación

El ensayo de aptitud se llevó a cabo en una ronda de comparación buscando la mejor y más fácil movilización del patrón de transferencia. La *Tabla 2* presenta el calendario del ensayo de aptitud.

Tabla 2. Calendario del ensayo de aptitud.

LABORATORIO	UBICACIÓN	CALIBRACIÓN
CENAM	Querétaro	15 al 19 agosto
Lapem-CFE	Irapuato	22 al 26 agosto
Metas	Jalisco	29 agosto al 2 sept.
Simca	DF	5 al 9 septiembre
Caltechnix	DF	12 al 16 septiembre
Metrotecnia	DF	19 al 23 septiembre
Calpro	DF	26 al 30 septiembre
Cipsa	DF	3 al 7 octubre
CIDESI	Querétaro	10 al 14 octubre
CICY	Mérida	17 al 21 octubre
LV-CFE	Veracruz	24 al 28 octubre
IMP	DF	31 octubre al 4 nov.
CIATEQ	Aguascalientes	
CENAM	Querétaro	7 al 11 noviembre

2. RESULTADOS

2.1 Estabilidad del Patrón de Transferencia

El PT se calibró en CENAM en dos ocasiones. La primera antes de iniciar el ensayo de aptitud y la segunda al final. La *Figura 1* muestra la estabilidad del patrón de transferencia durante todo el proceso del ensayo de aptitud.

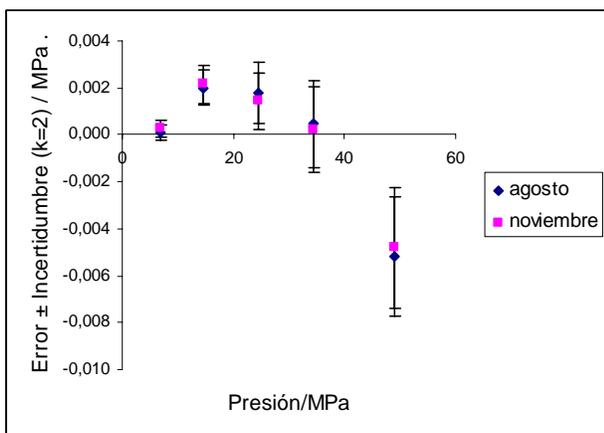


Figura 1. Estabilidad del patrón de transferencia.

La *Tabla 3* muestra la diferencia relativa entre las dos calibraciones del patrón de transferencia realizadas por el CENAM.

Tabla 3. Diferencia relativa entre las calibraciones del PT realizadas por el CENAM.

Presión	Diferencia relativa
MPa	
7	2,2E-05
15	1,0E-05
25	-1,6E-05
34	-6,5E-06
49	7,8E-06

2.2 Resultados

Todos los laboratorios entregaron sus resultados, excepto CICY. La *Figura 2* muestra los resultados de las mediciones de cada laboratorio participante.

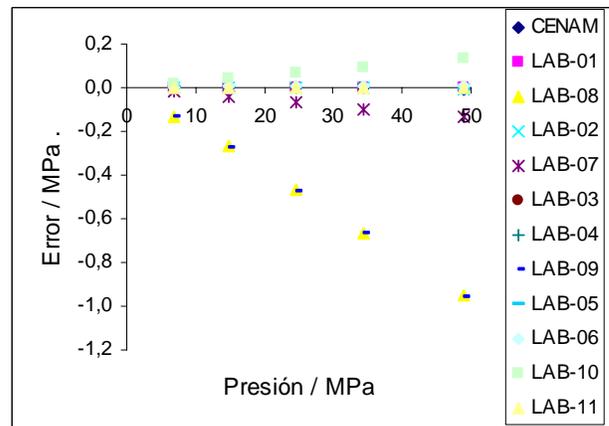


Figura 2. Error del PT de cada laboratorio contra la presión

Los resultados muestran que algunos laboratorios están muy desviados ocasionando tener que ampliar la escala de la gráfica y por lo tanto no se aprecia con claridad las pequeñas variaciones entre algunos laboratorios.

La *Figura 3* muestra los resultados después de filtrar a los laboratorios con mayor desviación. Las tablas 4, 5, 6 y 7 muestran los resultados de las mediciones de los laboratorios, por espacio las tablas se dividieron por cada 6 laboratorios, las dos primeras muestran la diferencia del error obtenido en cada punto de medición, respecto a CENAM y las tablas 6 y 7 muestran la incertidumbre, con factor de cobertura k=2.

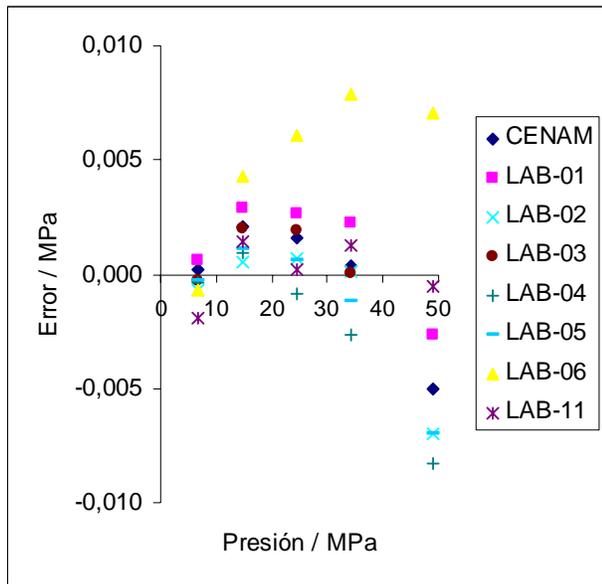


Figura 3. Error de cada laboratorio contra valor de presión, filtrando los laboratorios con mayor error.

Tabla 4. Diferencia entre el error de cada laboratorio y el error de CENAM para cada punto de medición, ($E_{lab} - E_{CENAM}$). Laboratorios del 1 al 5.

Presión MPa	LAB-01 MPa	LAB-02 MPa	LAB-03 MPa	LAB-04 MPa	LAB-05 MPa
7	4,2E-4	-8,7E-4	-4,6E-4	-5,2E-4	-4,8E-4
15	8,2E-4	-1,6E-3	-5,6E-5	-1,2E-3	-9,6E-4
25	1,0E-3	-9,3E-4	2,9E-4	-2,4E-3	-1,0E-3
34	1,9E-3	-2,4E-4	-2,7E-4	-3,0E-3	-1,5E-3
49	2,3E-3	-2,0E-3		-3,3E-3	-2,0E-3

Tabla 5. Diferencia entre el error de cada laboratorio y el error de CENAM para cada punto de medición, ($E_{lab} - E_{CENAM}$). Laboratorios del 6 al 11.

LAB-06 MPa	LAB-07 MPa	LAB-08 MPa	LAB-09 MPa	LAB-10 MPa	LAB-11 MPa
-8,7E-4	-1,9E-2	-1,3E-1	-1,3E-1	1,9E-2	-2,1E-3
2,2E-3	-4,1E-2	-2,7E-1	-2,8E-1	3,8E-2	-6,5E-4
4,5E-3	-6,9E-2	-4,7E-1	-4,7E-1	6,5E-2	-1,4E-3
7,6E-3	-9,7E-2	-6,7E-1	-6,7E-1	9,3E-2	8,9E-4
1,2E-2	-1,3E-1	-9,5E-1	-9,5E-1	1,4E-1	4,5E-3

Tabla 6. Incertidumbre expandida $k=2$ para cada punto de medición declarada por los laboratorios participantes del 1 al 5.

Presión MPa ²	LAB-01 ±MPa ²	LAB-02 ±MPa ²	LAB-03 ±MPa ²	LAB-04 ±MPa ²	LAB-05 ±MPa ²
7	7,4E-4	4,9E-4	2,0E-3	5,1E-4	4,5E-4
15	1,6E-3	1,1E-3	2,7E-3	1,1E-3	9,7E-4
25	2,6E-3	1,8E-3	3,3E-3	1,8E-3	1,7E-3
34	3,7E-3	2,5E-3	4,2E-3	2,9E-3	2,3E-3
49	5,2E-3	3,4E-3		4,1E-3	3,2E-3

Tabla 7. Incertidumbre expandida $k=2$ para cada punto de medición declarada por los laboratorios participantes del 6 al 11.

LAB-06 ±MPa ²	LAB-07 ±MPa ²	LAB-08 ±MPa ²	LAB-09 ±MPa ²	LAB-10 ±MPa ²	LAB-11 ±MPa ²
8,1E-4	6,2E-2	2,3E-3	1,3E-3	4,2E-4	2,6E-3
1,7E-3	6,2E-2	4,4E-3	2,0E-3	1,0E-3	3,9E-3
2,7E-3	6,2E-2	7,1E-3	3,1E-3	1,5E-3	5,4E-3
3,7E-3	6,2E-2	9,9E-3	4,2E-3	2,2E-3	7,3E-3
5,3E-3	6,2E-2	1,4E-2	5,9E-3	3,1E-3	1,0E-2

La Figura 4 muestra las desviaciones relativas con respecto al CENAM de los laboratorios participantes filtrando los de mayor desviación.

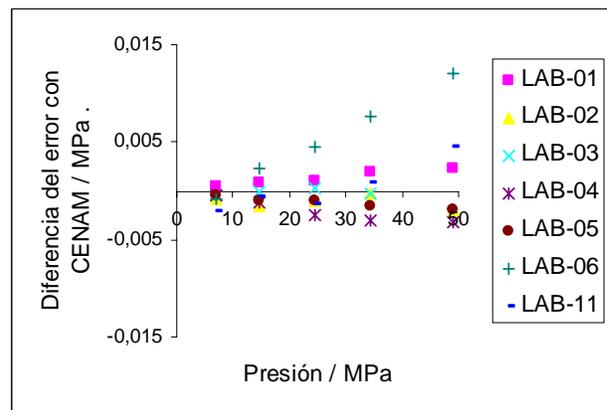


Figura 4. Diferencia de cada laboratorio respecto a CENAM, ($E_{lab} - E_{CENAM}$) contra el valor de presión, filtrando los laboratorios con mayor desviación.

Las Figuras 5, 6 y 7 ilustran la desviación de los laboratorios con respecto al valor de referencia de CENAM, la incertidumbre expandida ($k = 2$) de cada laboratorio. El valor de referencia de CENAM es el promedio de las 2 mediciones realizadas, la incertidumbre es la máxima de las dos

calibraciones. Se presentan solo 2 ejemplos con los laboratorios que no presentaron altas desviaciones.

Debido a que la incertidumbre del Laboratorio 7 es mucho mayor que la de los demás laboratorios participantes, los resultados en la *Figura 5* no tiene una resolución adecuada. Con objeto de poder analizar los resultados de los laboratorios que obtuvieron buen desempeño, en las *Figuras 6 y 7* se presentan solo los laboratorios del 1 al 6 y 11, la figura 6 corresponde a los resultados obtenidos a la presión de 7 MPa, expresando la incertidumbre con un factor de cobertura de $k=2$, La figura 7 corresponde a 34 MPa con una incertidumbre expandida con $k=2$.

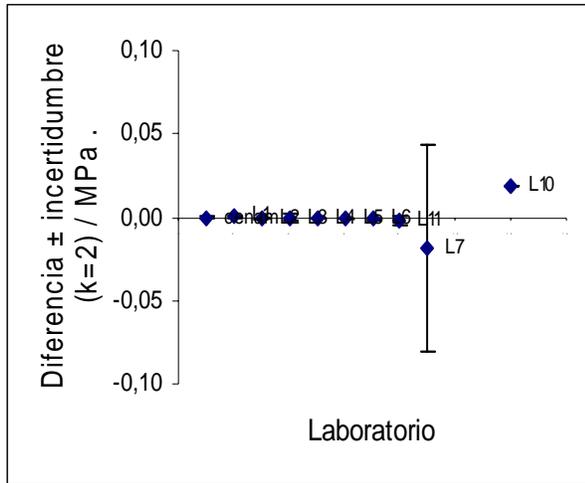


Figura 5. Diferencia de los laboratorios respecto al valor de referencia del CENAM a 7 MPa.

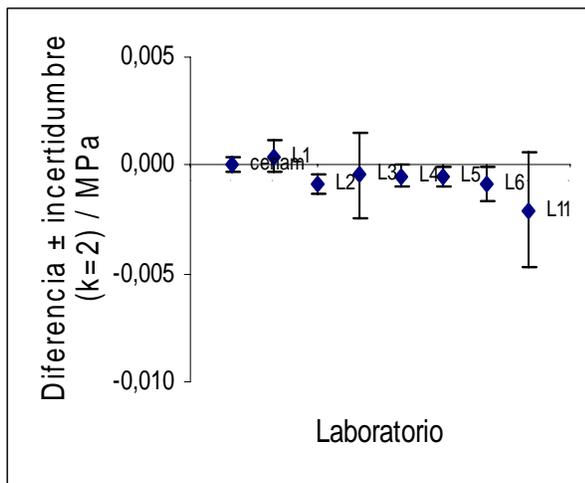


Figura 6. Diferencia de los laboratorios respecto al valor de referencia del CENAM a 7 MPa, después de filtrar a los de mayor desviación.

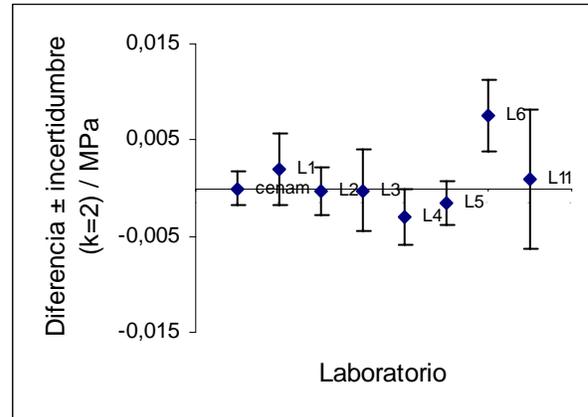


Figura 7 Diferencia de los laboratorios respecto al valor de referencia del CENAM a 34 MPa, después de filtrar a los de mayor desviación.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se utilizó el método del error normalizado [4, 5 y 6]. La *Tabla 8* presenta los valores de error normalizado (con $k = 2$), de los laboratorios. El error normalizado se obtiene a partir de la *Ecuación 1*.

$$E_N = \frac{|E_L - E_R|}{\sqrt{U_L^2 + U_R^2}} \tag{1}$$

Donde:

- E_N Error normalizado, ($k = 2$),
- E_L Error del laboratorio,
- E_R Error de referencia. Promedio de los errores de las 2 calibraciones del CENAM.
- U_L Incertidumbre expandida, ($k = 2$), del laboratorio,
- U_R Incertidumbre expandida $k=2$, del valor de referencia, CENAM. Se utilizó la incertidumbre más grande obtenida de las dos calibraciones realizadas.

La tabla 8 presenta los valores de error normalizado, obtenidos a partir de la ecuación 1.

Tabla 8. Error normalizado de los laboratorios participantes, ($k = 2$).

Presión MPa	EN L1	EN L2	EN L3	EN L4	EN L5	EN L6	EN L7	EN L8	EN L9	EN L10	EN L11
7	0,5	1,4	0,2	0,8	0,8	1,0	0,3	58	99	34	0,8
15	0,5	1,2	0,0	0,9	0,8	1,2	0,7	61	128	30	0,2
25	0,4	0,4	0,1	1,1	0,5	1,5	1,1	64	144	34	0,3
34	0,5	0,1	0,1	0,9	0,5	1,8	1,6	66	147	32	0,1
49	0,4	0,5		0,7	0,5	2,1	2,1	66	149	34	0,4

La figura 8 muestra los resultados de los laboratorios participantes, expresados en Error normalizado, E_N , con un factor de cobertura $k=2$.

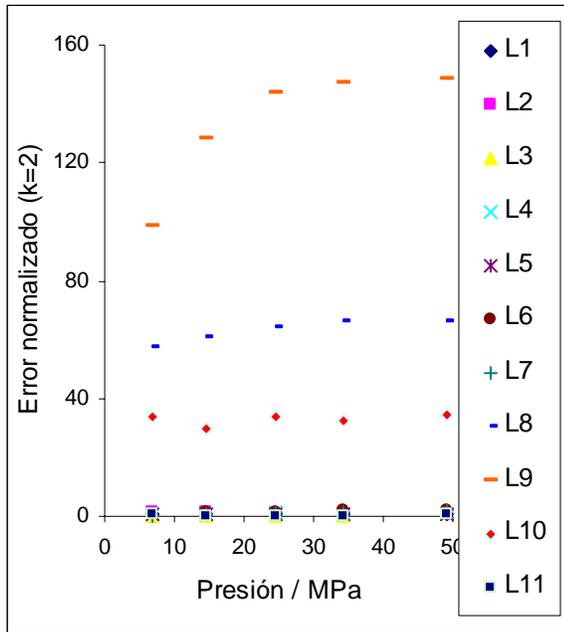


Figura 8. Error normalizado de los laboratorios.

La figura 9 muestra los resultados de los laboratorios participantes, después de filtrar a los que presentar un valor muy grande de E_N con un factor de cobertura $k=2$.

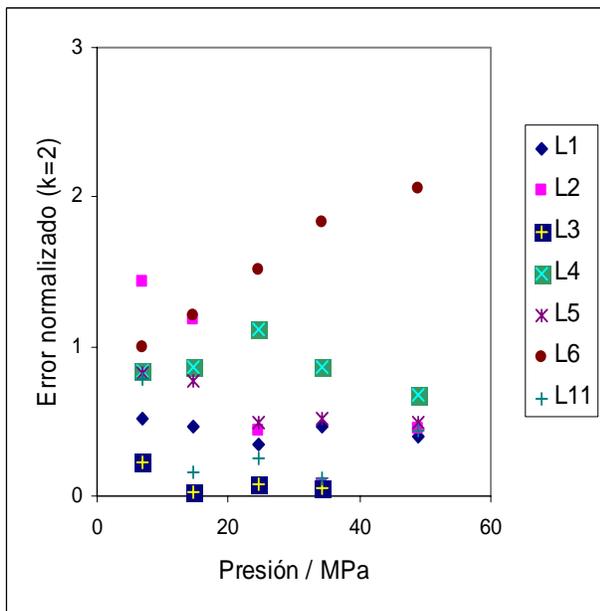


Figura 9. Error normalizado de los laboratorios (filtrado).

4. CONCLUSIONES

El estudio realizado para la estabilidad del patrón de transferencia muestra que no tiene una deriva considerable en el período de la comparación. La máxima diferencia relativa entre las dos calibraciones en CENAM fue de 22×10^{-6} , que es muy inferior a la clase de exactitud declarada de este instrumento ($1\,000 \times 10^{-6}$), por lo que se concluye que el patrón de transferencia tuvo un desempeño adecuado para el ensayo de aptitud.

Algunos laboratorios tuvieron problemas para nivelar la balanza de presión utilizada como patrón de transferencia, esto posiblemente se debe a algunos de estos laboratorios normalmente no calibran balanzas de presión y por lo tanto no cuentan con los dispositivos adecuados, como un nivel y una mesa o soporte que permita esta nivelación fácilmente. Al parecer, este fue el principal problema de los laboratorios que obtuvieron un error normalizado mayor a 1.

Los resultados de esta comparación son un indicativo de la calidad del sistema de medición y de la capacidad del laboratorio para realizar calibraciones de balanzas de presión.

Los laboratorios que hicieron una correcta evaluación de la incertidumbre y obtuvieron error en el instrumento de comparación dentro de los límites del valor de referencia demuestran una buena capacidad de medición, tomando como referencia el error normalizado.

Los laboratorios que tienen incertidumbre declarada muy pequeña o muy grande y/o desviación grande con respecto al valor de referencia asignado al patrón de transferencia, se les recomienda que identifiquen y realicen las mejoras asociadas con sus patrones y sus procedimientos en sus sistemas de medición.

Este ensayo de aptitud es una continuación de los esfuerzos que realiza el CENAM para homogenizar los resultados de las mediciones y calibraciones que llevan a cabo los laboratorios secundarios [7]. Estas actividades continuarán y se espera que los laboratorios utilicen los resultados para mejorar la calidad de sus mediciones y aumentar la confiabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos La Comisión Federal de Electricidad, GEIC, y en especial a Ma. Teresa Santaella Cópil, por la disposición de facilitar el equipo que se utilizó como patrón de transferencia. Finalmente, agradecemos a todos los laboratorios participantes por el esfuerzo y dedicación realizados para llevar a cabo este ensayo de aptitud.

REFERENCIAS

- [1] Torres Guzmán J. C., *Guía y Lineamientos Generales para Comparaciones de Patrones de Medición*, Memorias del Segundo Congreso Internacional Metrocal. Concepción, Chile. Abril 2001.
- [2] Sabuga W., Bergoglio M., Rabault T., Waller B., Torres Guzman J. C., Olson D. A., Agarwal A., Kobata T., Bandyopadhyay A.K. [PTB, IMGC, BNM-LNE, NPL, CENAM, NIST, INMS/NRC, NMIJ/AIST, NPLI], *Final Report on Key Comparison CCM.P-K7 in the range 10 MPa to 100 MPa of Hydraulic gauge pressure*. Metrologia 2005, 42, Tech. Suppl., 07005.
- [3] Torres-Guzmán J. C., Olvera-Arana P., Olson D., *Hydraulic gauge pressure SIM comparison for a range up to 100 MPa*. The 4th CCM International Conference on Pressure Metrology from Ultra-High Vacuum to very high pressure. Inglaterra, 2005.
- [4] Torres Guzmán J. C., Couto P. R., Soriano J., *Pressure standards comparison within the Interamerican Metrology System (SIM), up to 100 MPa*. NCSL International, Workshop and Symposium 2001, 3D National & International Comparisons. Washington, Estados Unidos de Norteamérica. Julio 2001.
- [5] Torres Guzmán J. C., Olvera Arana P., Forastieri J., Jungman D., *Comparación de Baja Presión entre México y Argentina*. Memorias de Segundo Congreso Internacional Metrocal. Concepción, Chile. Abril de 2001.
- [6] Olvera Arana P., Torres Guzmán J. C., *Informe de la Comparación SNC.P - 7 MPa en el alcance de medición de 0,7 MPa a 7 MPa de Presión Neumática*. Memorias del XX Congreso Nacional de Metrología,

Normalización y Certificación. Mérida, Yucatán, México. Octubre 2005.

- [7] Torres Guzmán J. C., Olvera Arana P., *Semblanza de una Década de Metrología Primaria de Presión y Vacío en México*. Simposio de Metrología 2004. Querétaro, México. Octubre 2004.