

INFORME DE LA COMPARACIÓN SNC.P - 7 MPa EN EL ALCANCE DE MEDICIÓN DE 0,7 MPa A 7 MPa DE PRESIÓN NEUMÁTICA

Pablo Olvera Arana /Jorge C. Torres Guzmán. Centro Nacional de Metrología (CENAM).

RESUMEN

El CENAM organizó y piloteó una comparación nacional en presión neumática relativa en el alcance de medición de 7 MPa para laboratorios del Sistema Nacional de Calibraciones (SNC). El objetivo principal fue conocer el estado actual de los sistemas de medición, en el intervalo de la comparación, de los laboratorios de calibración en la magnitud presión que cuenten con sistemas de medición neumático. En la comparación participaron 14 laboratorios del SNC. DH Instruments prestó el patrón de transferencia, (PT), para esta comparación.

Este artículo es un resumen del informe final de la comparación 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.

INTRODUCCIÓN

La Especialidad de Presión y Vacío, de la División de Metrología de Fuerza y Presión, del CENAM, organizó y piloteó la “Comparación en presión neumática relativa a 7 MPa para laboratorios del SNC”, como parte de su programa anual para apoyo al Sistema Nacional de Calibraciones (SNC). La comparación se llevó a cabo del 21 de octubre al 25 de diciembre de 2004. En la comparación participaron 14 laboratorios del SNC, uno de estos laboratorios se retiró (CIATEQ) y se aceptó en su lugar a CVC de Occidente. El patrón de transferencia (PT) para esta comparación fue facilitado por DH Instruments.

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

El procedimiento de calibración del manómetro fue diseñado por CENAM y los laboratorios calibraron de acuerdo a este procedimiento. El procedimiento resumido consistió en realizar nueve mediciones distribuidas del 10 % al 90 % del alcance de medición del manómetro. Cada punto de medición se repitió tres veces en forma ascendente y tres en descendente.

1.2 PATRÓN DE TRANSFERENCIA

Se utilizó como patrón de transferencia, (PT), un manómetro marca DH Instruments, modelo RPM4 A7Ms/A7Ms, No. de serie 120, con 2 sensores de presión con alcance de medición de 0 MPa a 7 MPa cada uno. Cada laboratorio calibró el sensor de baja presión, (low pressure), del PT en sus propias instalaciones con su patrón de laboratorio, (PL). De acuerdo al protocolo técnico propuesto por CENAM se eliminó el punto de 7 MPa por seguridad, para no excederse de la presión límite.

1.3 LABORATORIOS PARTICIPANTES

Los laboratorios participantes, mostrados en la *Tabla 1*, utilizaron los instrumentos que tienen como patrones para dar el servicio en el alcance de medición propuesto para la comparación.

Tabla 1. Patrones de los laboratorios participantes.

<i>Laboratorio</i>	<i>Patrón</i>	<i>Incertidumbre (k = 2)</i>
CENAM	Balanza de presión, DH Instruments, modelo 7601, ensamble pistón cilindro tipo simple, alcance de medición 40 kPa a 7 MPa.	25×10^{-6}
INYMET	Balanza de presión, Pressurements, modelo T2700/3LP.	0,006 9 % L
TAMOXLAB	Manómetro digital, Krystal, Id. MN006.P.	1,38 kPa
LAPEM	Balanza de presión, DH Instruments, modelo 7601-200, ensamble pistón cilindro tipo simple, alcance de medición 40 kPa a 7 MPa.	30×10^{-6}
CALPRO	Balanza de presión, DH, alcance de medición, 0,2 MPa a 50 MPa.	50×10^{-6}
CALTECHNIX	Balanza de presión, DH, alcance de medición, 0,02 MPa a 8 MPa.	45×10^{-6}
CVC Occidente	Manómetro digital, Ametek, modelo EPC 2000.	0,28 kPa
METAS	Balanza de presión, Ametek, alcance de medición 50 psi - 1 000 psi	83×10^{-6}
CALMOC	Balanza de presión, DH Budernberg, alcance 0,7 MPa a 5,6 MPa.	100×10^{-6}
SIMCA	Balanza de presión, Ametek, alcance 68,9 kPa a 6 957 kPa.	100×10^{-6}
CIDESI	Balanza de presión, Pressurements, alcance 68 kPa a 6 894 kPa.	80×10^{-6}
IMP	Balanza de presión, Pressurements, modelo M-220/4.	100×10^{-6}
METROTECNIA	Manómetro digital, DH Instruments, modelo PPC2 A1000.	$\pm 0,56$ kPa

1.4 PROGRAMA DE LA COMPARACIÓN

La comparación se llevo a cabo en dos rondas de comparación, cada ronda incluyó mediciones iniciales y finales del laboratorio piloto (CENAM). Las rondas se realizaron buscando la mejor y más fácil movilización del patrón de comparación. La *Tabla 2* presenta el calendario de la comparación.

Tabla 2. Programa de la comparación

<i>Fecha</i>	<i>Laboratorio</i>	<i>Localización</i>	<i>Fluido manométrico del PL</i>
Oct. (21 a 22)	CENAM	Querétaro	N ₂
Nov. (4 a 6)	INYMET	D. F.	N ₂
Nov. (8 a 10)	CIP*	D. F.	N ₂
Nov. (11 a 13)	TAMOXLAB	Tampico	N ₂
Nov. (15 a 17)	LAPEM	Irapuato	N ₂
Nov. (18 a 20)	CENAM	Querétaro	N ₂
Nov. (22 a 24)	CALPRO	D. F.	Aceite/gas
Nov. (25 a 27)	CALTECHNIX	D. F.	Aceite/gas
Nov. 29 a 1 dic.	CVC Occidente	Zapopan	Aceite/gas
Dic. (2 a 4)	METAS	Cd. Guzmán	Aceite/gas
Dic. (6 a 8)	CALMOC	Guadalajara	Aceite/gas
Dic. (9 a 11)	SIMCA	D. F.	N ₂
Dic. (13 a 15)	CIDESI	Querétaro	Aceite/gas
Dic. (16 a 18)	IMP	D. F.	N ₂
Dic. (20 a 22)	METROTECNIA	D. F.	N ₂
Dic. (23 a 25)	CENAM	Querétaro	N ₂

2. RESULTADOS

2.1 ESTABILIDAD DEL PATRÓN DE TRANSFERENCIA

El PT se calibró en CENAM en tres ocasiones. La primera fue antes de iniciar la comparación, la segunda aproximadamente a la mitad y la tercera al final de la comparación. La *Figura 1* muestra la estabilidad del patrón de transferencia durante todo el proceso de las mediciones realizadas durante la comparación.

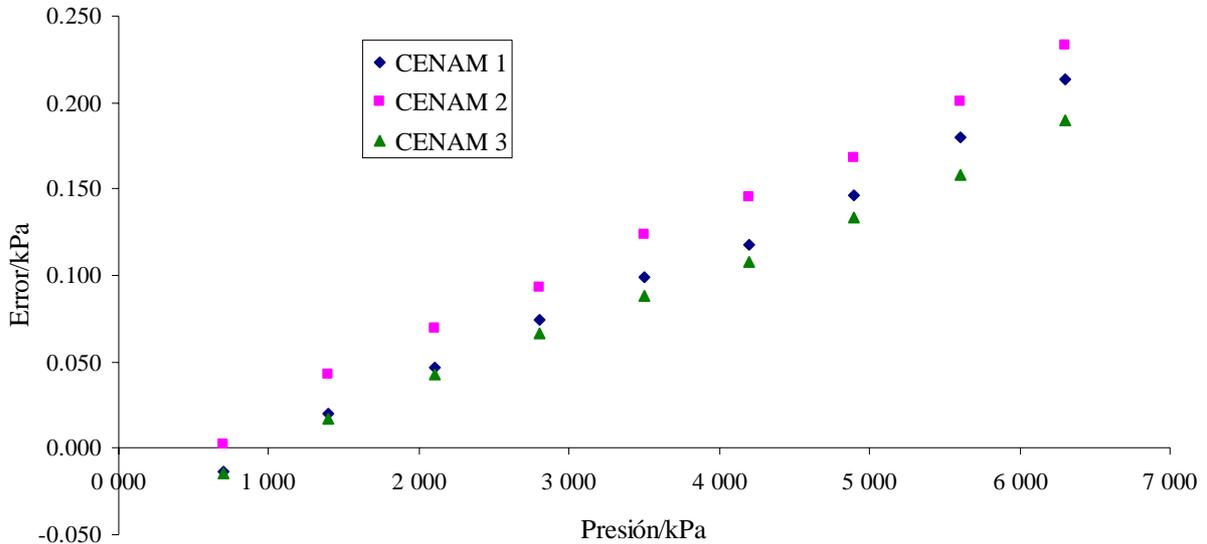


Figura 1. Estabilidad del patrón de transferencia.

2.2 RESULTADOS DE LOS PARTICIPANTES

Todos los laboratorios entregaron sus resultados, excepto CIPSA, debido a que no tuvieron equipo para controlar la presión. La *Figura 2* muestra los resultados de las mediciones de cada laboratorio participante, presión contra la desviación respecto al CENAM.

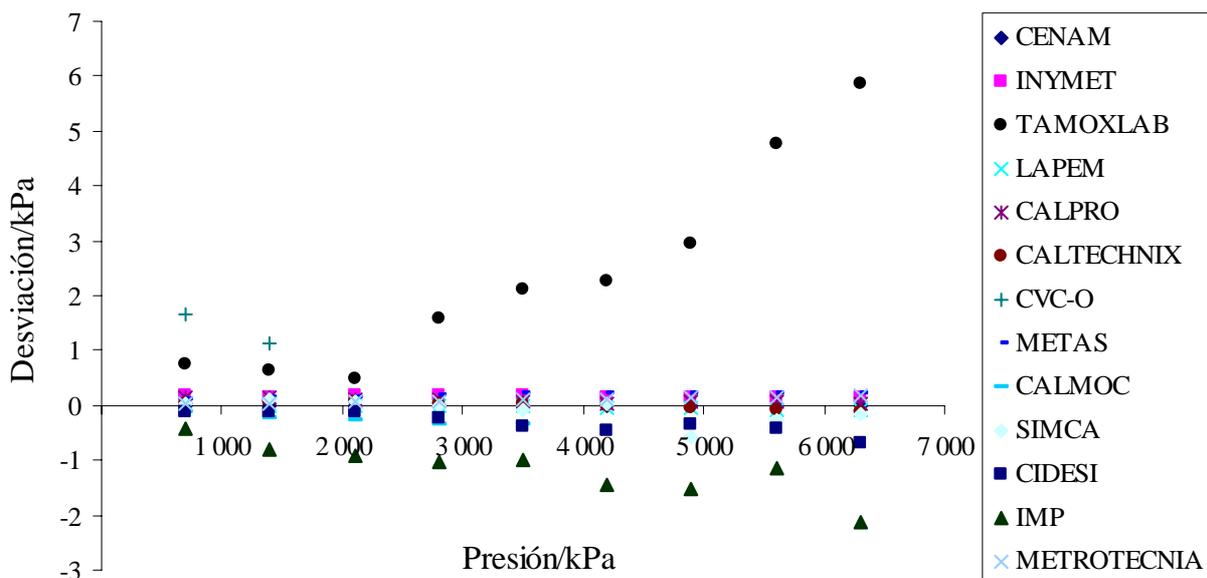


Figura 2. Desviación de cada laboratorio contra valor de presión de referencia (CENAM).

En las Tablas 3 y 4 se incluyen los resultados de las mediciones realizadas por los laboratorios participantes.

Tabla 3. Resultados de las mediciones realizadas por cada laboratorio participante, error promedio del PT para cada punto de medición.

Presión kPa	Error promedio CENAM kPa	Error promedio INYMET kPa	Error promedio TAMOXLAB kPa	Error promedio LAPEM kPa	Error promedio CALPRO kPa	Error promedio CALTECHNIX kPa	Error promedio CVC-O kPa	Error promedio METAS kPa	Error promedio CALMOC kPa	Error promedio SIMCA kPa	Error promedio CIDESI kPa	Error promedio IMP kPa	Error promedio METROTECNIA kPa
700	-0,008	0,163	0,753	0,023	0,129	0,033	1,645	0,089	-0,138	0,024	-0,122	-0,441	0,021
1 400	0,027	0,172	0,661	0,031	0,160	0,077	1,148	0,154	-0,190	0,141	-0,089	-0,768	0,042
2 100	0,053	0,225	0,531	0,052	0,159	0,115		0,202	-0,233	0,127	-0,064	-0,876	0,125
2 800	0,078	0,244	1,670	0,065	0,189	0,125		0,244	-0,256	0,082	-0,172	-0,959	0,152
3 500	0,104	0,271	2,207	0,082	0,160	0,135		0,305	-0,238	0,037	-0,272	-0,893	0,191
4 200	0,124	0,279	2,399	0,096	0,173	0,124		0,330		0,149	-0,335	-1,339	0,233
4 900	0,149	0,304	3,114	0,092	0,218	0,122		0,379		-0,437	-0,198	-1,366	0,291
5 600	0,180	0,323	4,929	0,113	0,253	0,106		0,401		-0,091	-0,261	-0,965	0,332
6 300	0,212	0,346	6,087	0,130	0,254	0,104		0,430		0,055	-0,472	-1,912	0,403

Tabla 4. Incertidumbre estándar combinada de las mediciones de los laboratorios participantes para cada punto de medición.

Presión kPa	incertidumbre estándar CENAM kPa	incertidumbre estándar INYMET kPa	incertidumbre estándar TAMOXLAB kPa	incertidumbre estándar LAPEM kPa	incertidumbre estándar CALPRO kPa	incertidumbre estándar CALTECHNIX kPa	incertidumbre estándar CVC-O kPa	incertidumbre estándar METAS kPa	incertidumbre estándar CALMOC kPa	incertidumbre estándar SIMCA kPa	incertidumbre estándar CIDESI kPa	incertidumbre estándar IMP kPa	incertidumbre estándar METROTECNIA kPa
700	0,026	0,056	0,860	0,023	0,035	0,026	0,277	0,075	0,024	0,038	0,075	0,028	0,290
1 400	0,033	0,101	0,881	0,034	0,062	0,051	0,277	0,129	0,044	0,075	0,142	0,054	0,290
2 100	0,040	0,149	0,870	0,055	0,066	0,076		0,181	0,067	0,113	0,211	0,081	0,290
2 800	0,048	0,196	0,976	0,067	0,082	0,101		0,237	0,094	0,150	0,291	0,108	0,290
3 500	0,053	0,244	1,366	0,080	0,107	0,126		0,292	0,126	0,186	0,351	0,135	0,290
4 200	0,058	0,291	1,590	0,094	0,107	0,151		0,349		0,225	0,418	0,096	0,290
4 900	0,060	0,338	4,552	0,104	0,131	0,176		0,408		0,262	0,483	0,112	0,290
5 600	0,063	0,386	18,207	0,116	0,146	0,201		0,470		0,300	0,552	0,128	0,290
6 300	0,066	0,433	7,463	0,129	0,158	0,225		0,517		0,337	0,619	0,144	0,290

Las Figuras 3 y 4 ilustran la desviación relativa de los laboratorios con respecto al valor de referencia de CENAM y la incertidumbre expandida ($k = 2$) de cada laboratorio. El valor de referencia de CENAM es el promedio de las 3 mediciones realizadas, la incertidumbre de referencia es la máxima de las tres calibraciones combinada con la desviación estándar de los valores de cada calibración. Se presentan solo 2 ejemplos de las 9 gráficas construidas para cada presión medida, según el procedimiento de la comparación.

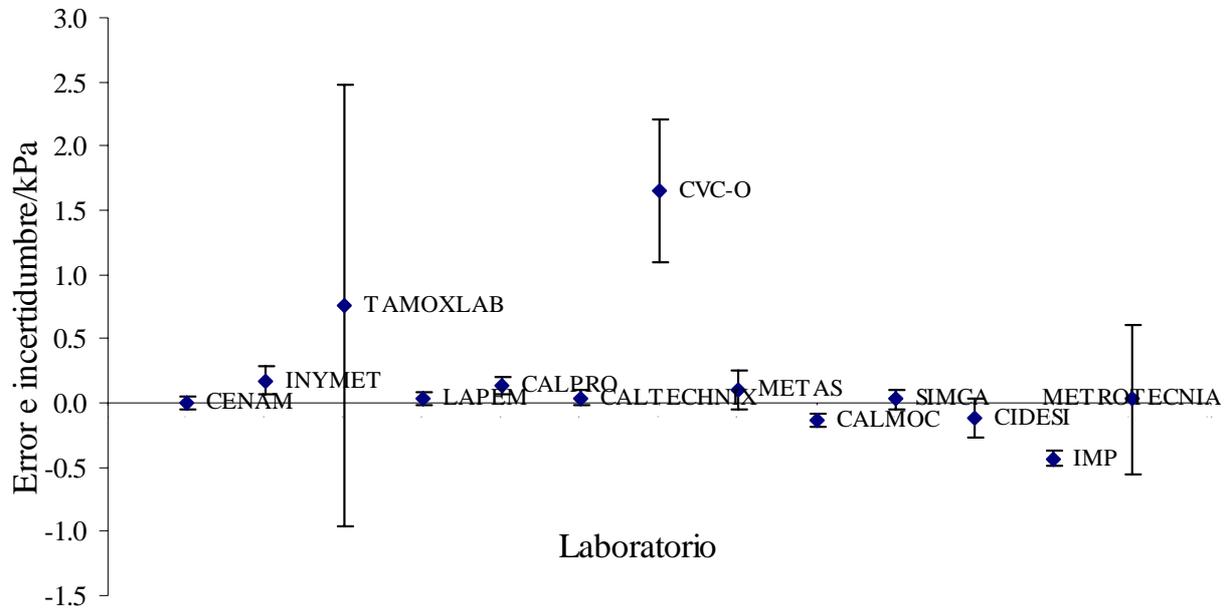


Figura 3. Desviación relativa de los participantes respecto al valor de referencia con la incertidumbre expandida ($k = 2$) de cada laboratorio para una presión de 700 kPa.

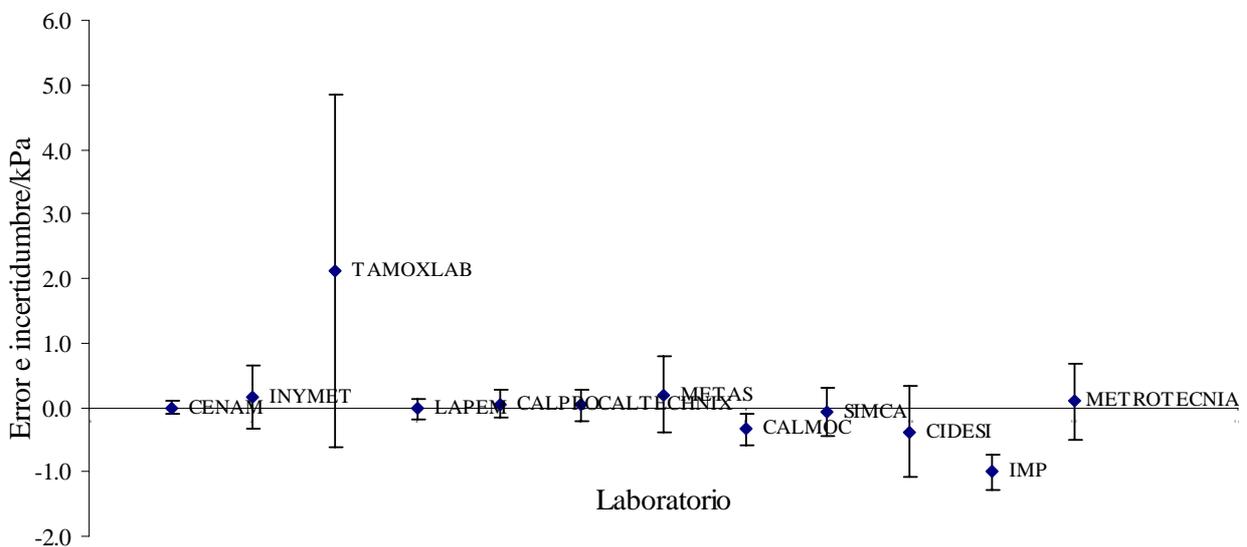


Figura 4. Desviación relativa de los participantes respecto al valor de referencia y la incertidumbre expandida ($k = 2$) de cada laboratorio para una presión de 3 500 kPa.

Debido a que la incertidumbre de Tamoxlab y de CVC-O es mucho mayor que la de los demás laboratorios participantes, los resultados en las Figuras 3 y 4 se ven enmascarados. Con objeto de poder analizar los resultados con mayor detalle, las Figuras 5 y 6 muestran las mismas gráficas sin estos dos laboratorios.

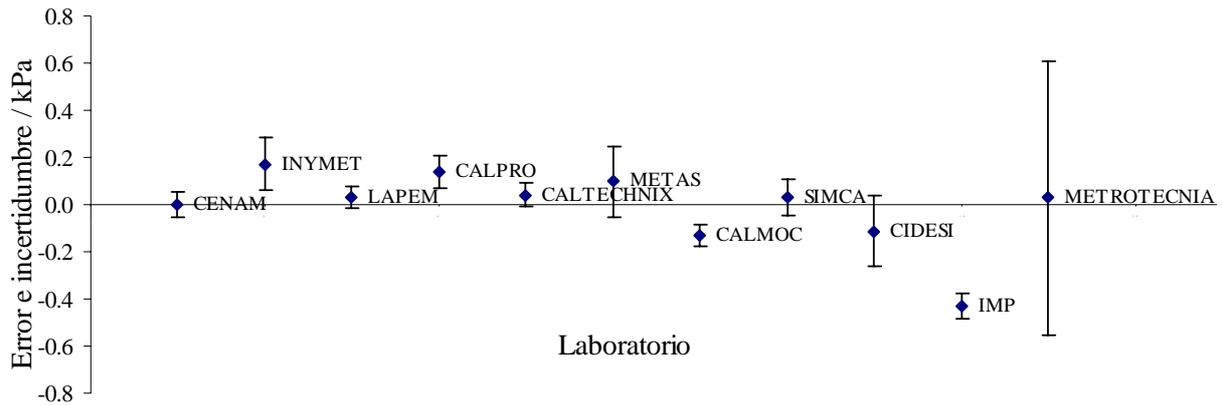


Figura 5. Desviación relativa de los participantes respecto al valor de referencia y la incertidumbre expandida ($k = 2$) de cada laboratorio para una presión de 700 kPa.

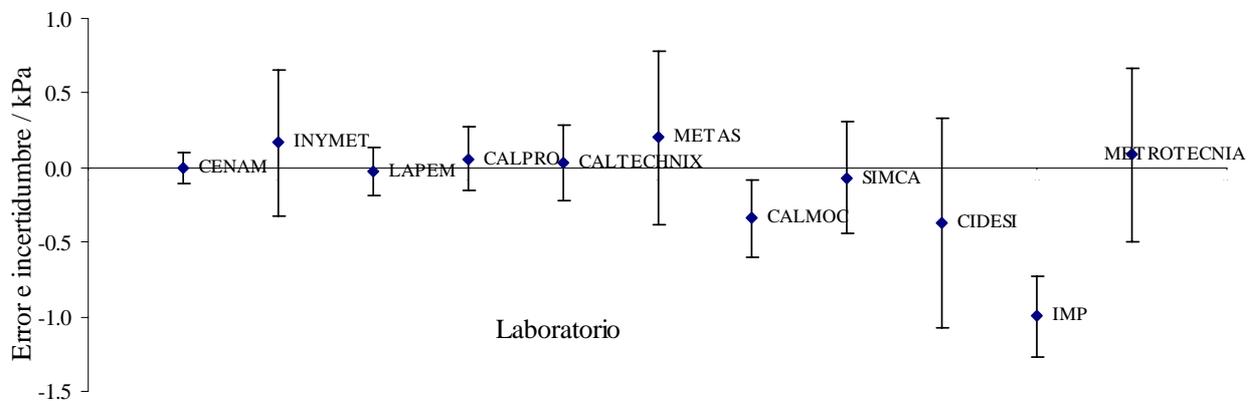


Figura 6. Desviación relativa de los participantes respecto al valor de referencia y la incertidumbre expandida ($k = 2$) de cada laboratorio para una presión de 3 500 kPa.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la *Tabla 5* se presentan los valores del error normalizado, con $k = 2$, relativo al valor de referencia de CENAM, de los laboratorios participantes de acuerdo a la *Ecuación 1*.

$$E_N = \frac{(E_L - E_R)}{\sqrt{U_L^2 + U_R^2}} \quad (1)$$

Donde:

E_N Error normalizado, ($k = 2$),

E_L Error del laboratorio,

E_R Error de referencia. Promedio de los errores de las 3 calibraciones del CENAM.

U_L Incertidumbre expandida, ($k = 2$), del laboratorio,

U_R Incertidumbre de referencia. Incertidumbre más grande de las 3 calibraciones realizadas por el CENAM combinada con la desviación estándar de los valores de presión de las 3 calibraciones.

Tabla 5. Error normalizado de los laboratorios participantes, ($k = 2$).

Presión kPa	INYMET	TAMOXLAB	LAPEM	CALPRO	CALTECHNIX	CVC-O
700	1,4	0,4	0,4	1,6	0,6	3,0
1400	0,7	0,4	0,0	1,0	0,4	2,0
2100	0,6	0,3	0,0	0,7	0,4	
2800	0,4	0,8	0,1	0,6	0,2	
3500	0,3	0,8	0,1	0,2	0,1	
4200	0,3	0,7	0,1	0,2	0,0	
4900	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	
5600	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	
6300	0,2	0,4	0,3	0,1	0,2	

Presión kPa	CALMOC	SIMCA	CIDESI	IMP	METROTECNIA	METAS
700	1,8	0,4	0,7	5,7	0,1	0,6
1400	2,0	0,7	0,4	6,3	0,0	0,5
2100	1,8	0,3	0,3	5,1	0,1	0,4
2800	1,6	0,0	0,4	4,4	0,1	0,3
3500	1,3	0,2	0,5	3,4	0,1	0,3
4200		0,1	0,5	6,5	0,2	0,3
4900		1,1	0,4	6,0	0,2	0,3
5600		0,4	0,4	4,0	0,3	0,2
6300		0,2	0,5	6,7	0,3	0,2

5. CONCLUSIONES

El estudio realizado para la estabilidad del patrón de transferencia muestra que no tiene una deriva determinable en el periodo de la comparación. La máxima diferencia entre las tres calibraciones en CENAM fue del 0,005 % L, lo que está dentro de la exactitud declarada de este instrumento, por lo que se concluye que el patrón de transferencia fue adecuado para la comparación.

De los resultados obtenidos, se puede observar que existen algunos laboratorios que no consideran los errores de medición de su instrumento utilizado como patrón. Adicionalmente, se observa que algunos laboratorios al estimar la incertidumbre de medición de su sistema de calibración, no consideran todas las fuentes de influencia de su modelo para la determinación de la incertidumbre de calibración.

Los resultados de esta comparación son un indicativo de la calidad del sistema de medición pero no de la calidad de los servicios metrológicos que normalmente realizan los laboratorios, estén o no acreditados; debido a que el patrón de transferencia utilizado no es un instrumento normalmente calibrado por un laboratorio secundario.

Los laboratorios que utilizaron la incertidumbre correcta y obtuvieron error en el instrumento de comparación dentro de los límites del valor de referencia demuestran una buena declaración de su mejor capacidad de medición.

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

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la compañía DH Instruments en Estados Unidos, en especial a Jeff Grossman, por la disposición de facilitar el equipo que se utilizó como patrón de comparación. Finalmente, agradecemos a todos los laboratorios participantes por el esfuerzo y dedicación realizados para llevar a cabo esta comparación.

REFERENCIAS

- [1] Sabuga W., Bergoglio M., Rabault T., Waller B., Torres Guzman J. C., Olson D.A., Agarwal A., Kobata T., Bandyopadhyay A.K. [PTB, IMG, 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.
- [2] Torres Guzmán J. C., Aranzolo Suárez J., Palma Carrasco J., Argandoña R. *Comparación en presión relativa neumática hasta 34,5 MPa entre CENAM/México-ENAER/Chile*. Simposio de Metrología 2004. Querétaro, México. Octubre 2004.
- [3] Torres Guzmán J. C., Jöger J., Soriano J., *Pressure Standards Comparison between Germany and Mexico (Primary and Secondary Laboratories)*. NCSL International, Workshop and Symposium 2002, 6E Pressure III. San Diego, Estados Unidos de Norteamérica. Agosto, 2002.
- [4] Torres Guzmán J. C., Olvera Arana P. *Comparación de Baja Presión entre México y Argentina*, Memorias del Segundo Congreso Internacional Metrocal, 2001. Concepción, Chile. 2001.
- [5] Torres Guzmán J. C., *Guía y Lineamientos Generales para Comparaciones de Patrones de Medición*, Memorias del Segundo Congreso Internacional Metrocal. Concepción, Chile. Abril 2001.
- [6] 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.