

COMPARACIÓN EN PRESIÓN RELATIVA HIDRÁULICA HASTA 70 MPa ENTRE CENAM/MÉXICO-ENAER/CHILE

Torres Guzmán J., Santander Romero L., Aranzolo Suárez J., Palma Carrasco J.*, Argandoña R.*,
Centro Nacional de Metrología, km 4,5 carretera a Los Cués, El Marqués, Querétaro, México
Teléfono (52) 442 211 0572, fax (52) 442 211 0578, e-mail: jtorres@cenam.mx
*Laboratorio Custodio de Patrones Nacionales (LCPN-PRESION), Chile.
Empresa Nacional de Aeronáutica - ENAER, Av. José Miguel Carrera n° 11087.
Teléfono 56 (2) 383 1825, fax 56 (2) 528 2686, e-mail lcpnpress@enaer.cl

Resumen. Se realizó una comparación en presión relativa hidráulica entre el Centro Nacional de Metrología - CENAM (México) y el laboratorio Custodio de Patrones Nacionales de Presión (LCPN - Chile). La Empresa Nacional de Aeronáutica – ENAER, es oficialmente designada el laboratorio custodio del patrón nacional de presión en Chile.

Como patrón de comparación se utilizó un manómetro digital de sensor de cuarzo con alcance de medición de 70 MPa, clase de exactitud de 0,01% del alcance de medición y resolución de 0,01 kPa.

Este documento presenta los resultados de la comparación, con los valores utilizados como referencia y la declaración de conformidad.

1. INTRODUCCIÓN

La comparación de presión relativa hidráulica entre CENAM, México y ENAER, Chile, se realizó mediante el método indirecto¹ en el alcance de medición de 7 MPa a 70 MPa, para presión relativa utilizando aceite como fluido manométrico. La razón principal por la que se decidió por el método indirecto, es la dificultad de transportar los patrones de referencia (balanzas de presión) de un país a otro; además de que en los dos laboratorios se utilizaron patrones nacionales.

2. ALCANCE DE LA COMPARACIÓN

La publicación ISO "International Vocabulary of Basic and General Terms of Metrology" (VIM) [1], y el Sistema Internacional de Unidades [2], SI, se utilizaron para la comparación así como para este documento. Las recomendaciones establecidas en la "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" [3], se siguieron para la evaluación de incertidumbres.

¹ El método indirecto consiste en el uso de un patrón de comparación o transferencia. Se pueden utilizar diferentes tipos de instrumentos; la selección depende de la incertidumbre esperada en la comparación y de las condiciones de operación de la comparación (cercanía entre institutos, facilidad de manejo físico y aduanal, espacios disponibles, tiempo disponible, entre otros).

Para los lineamientos de la comparación y el procedimiento de ésta, se siguieron las recomendaciones de la referencias [4, 5] y se consideraron las experiencias de comparaciones internacionales previas, [6, 7, 8, 9]

2.1 Patrón de Comparación

El patrón de comparación utilizado fue un manómetro digital con un alcance máximo de medición de 70 MPa y con una exactitud de 0,01 % de la escala total (E. T.). Este manómetro fue prestado para la comparación por la empresa Consultoría Industrial Profesional (CIP). La *Tabla 1* muestra las características del manómetro digital utilizado para la comparación.

Tipo de Transductor	Oscilador de Cuarzo
Alcance de Medición	70 000 kPa
Unidad de Medición	kPa
Resolución	0,01 kPa
Clase de Exactitud	0,01 % E. T.
Marca	Paroscientific
Modelo	785-400 ^a -10K
Número de Serie	1168
Fluido de Trabajo	Aceite

Tabla 1. Patrón de comparación.

2.2 Rondas de la Comparación

La comparación se llevó a cabo con tres calibraciones. El CENAM, en funciones de laboratorio piloto, realizó 2 calibraciones una al inicio y la otra al final y ENAER realizó una calibración entre las del CENAM.

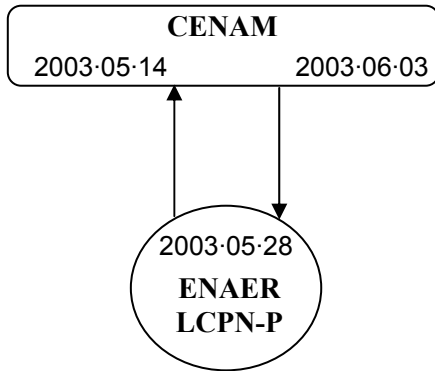


Figura 1. Ciclo de la comparación.

2.3 Guía General y Procedimiento

A continuación se resumen los aspectos más relevantes del protocolo de mediciones. Sin embargo, se elaboraron a detalle y están contenidos en los documentos "Guía General para: La Comparación de Patrones de Presión entre Chile y México (hidráulica a 70 MPa)" [10] e "Instrucciones de Medición para el: Calibrador Electrónico (oscilador de cuarzo) de Presión Relativa Hidráulica hasta 70 MPa" [11].

- Se recomendó que el patrón de comparación (manómetro) se conectara en el laboratorio con el patrón de referencia y que los valores de referencia del manómetro se ingresaran 24 horas antes de iniciar las mediciones, para obtener estabilización y calentamiento.
- Se estableciera el cero del manómetro antes de iniciar cada ciclo de medición. El cero inicial ajusta a la presión atmosférica local (como valor de presión de referencia) y los siguientes ceros permiten cuantificar la deriva de cero del manómetro.
- Las mediciones se realizaron en tres ciclos, cada ciclo con 2 series (una en ascenso y otra en descenso). Para cada serie se midieron 10 puntos, desde 7 MPa hasta 70 MPa, (en incrementos de 7 MPa). Se tomaron un total de 60 mediciones para cada calibración.
- El personal técnico de cada laboratorio es responsable de las mediciones en su laboratorio y del cumplimiento de los lineamientos de la comparación.

3. PATRONES DE LOS LABORATORIOS

Los dos laboratorios utilizaron balanzas de presión como patrón de referencia para la comparación.

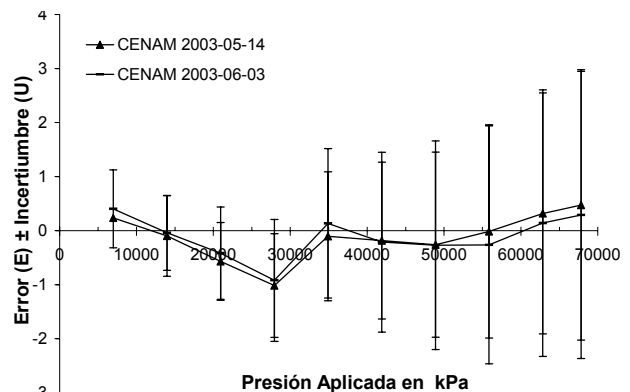
	CENAM	ENAER
Balanza de presión	DH-Budenberg Modelo 5300	Ruska Modelo 2485
Pistón cilindro	Tipo simple Carburo de tungsteno	Tipo simple Carburo de tungsteno
Alcance	100 MPa	100 MPa
Área efectiva, A_0	$9,80518 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$	$9,83222 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$
Incertidumbre relativa a la lectura ($k=2$)	$35 \cdot 10^{-6}$	$50 \cdot 10^{-6}$

Tabla 2. Patrones de los laboratorios.

4. RESULTADOS

Los resultados de las mediciones realizadas se ingresaron en una hoja de cálculo desarrollada para la comparación [12]. Las incertidumbres calculadas se basaron, principalmente, en: el patrón de referencia utilizado, la repetibilidad y la resolución del patrón de comparación. Cada laboratorio aplicó las correcciones a la presión medida e incluyó el efecto de las magnitudes de influencia en la evaluación de incertidumbre.

En la Gráfica 1 se muestran los resultados obtenidos por CENAM en términos de la diferencia entre las presiones, la presión indicada por el patrón de comparación y la del patrón de referencia, i. e. en términos del error del manómetro. La incertidumbre utilizada es la incertidumbre estándar combinada.



Gráfica 1. Calibraciones realizadas por el CENAM. Error e incertidumbre en kPa.

En la *Tabla 3* se presentan los resultados obtenidos por el CENAM. Los resultados presentados son el promedio de las 2 calibraciones realizadas por el CENAM.

Lectura del Patrón	Lectura del Calibrando x promedio	Error Promedio E	Incertidumbre Promedio Expandida $\pm U$ ($k = 2$)
kPa	kPa	kPa	kPa
6 981,87	6 982,19	0,320	0,73
13 963,59	13 963,52	-0,070	0,71
20 945,24	20 944,75	-0,493	0,91
27 926,81	27 925,85	-0,968	1,16
34 908,31	34 908,33	0,015	1,42
41 889,72	41 889,52	-0,199	1,69
48 871,05	48 870,79	-0,265	1,95
55 852,29	55 852,16	-0,138	2,22
62 833,46	62 833,69	0,229	2,48
67 819,96	67 820,34	0,383	2,67

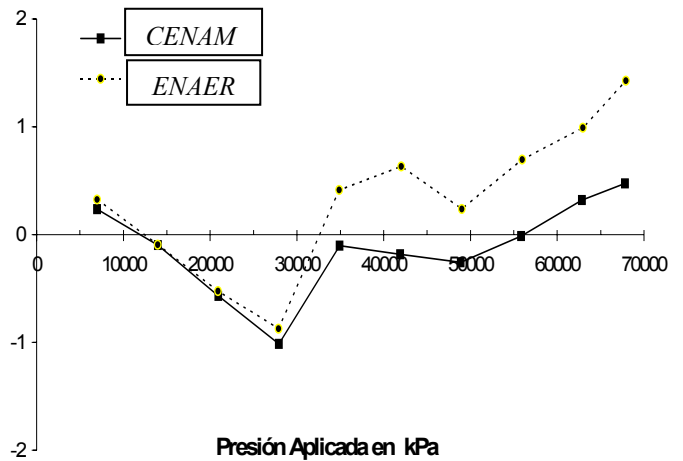
Tabla 3. Resultados del CENAM.

En la *Tabla 4* se presentan los resultados obtenidos por el ENAER en la calibración realizada para la comparación.

Lectura del Patrón	Lectura del Calibrando x	Error E	Incertidumbre Expandida $\pm U$ ($k = 2$)
kPa	kPa	kPa	kPa
6 971,89	6 972,22	0,324	0,89
13 943,88	13 943,78	-0,095	1,01
20 915,86	20 915,34	-0,525	1,24
27 887,69	27 886,82	-0,874	1,38
34 859,43	34 859,85	0,412	1,62
42 030,35	42 030,99	0,633	2,21
49 002,06	49 002,30	0,238	2,16
55 973,55	55 974,24	0,694	2,37
62 945,03	62 946,02	0,990	2,85
67 924,49	67 925,92	1,426	3,23

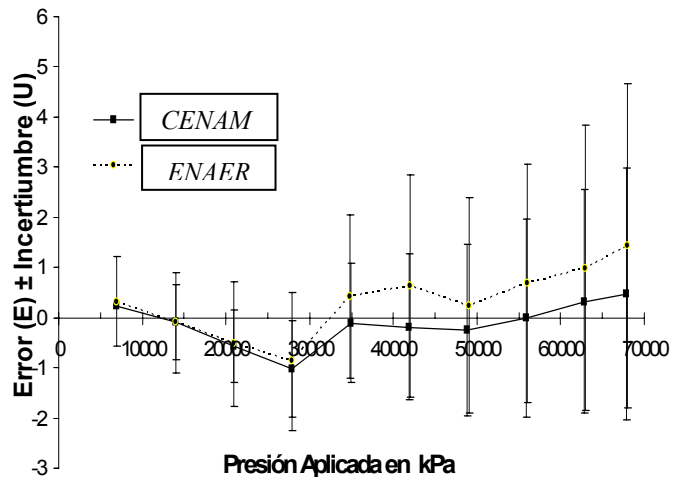
Tabla 4. Resultados del ENAER.

A continuación se presenta, en la *Gráfica 2*, el comportamiento del patrón de comparación encontrado por cada laboratorio, curva de error, para cada punto de medición de presión.



Gráfica 2. Curvas de error (en kPa) del patrón de comparación. Para cada laboratorio.

En la *Gráfica 3*, adicionalmente al error, se incluye la incertidumbre declarada por cada laboratorio para el patrón de comparación.



Gráfica 3. Resultados obtenidos por los laboratorios, error e incertidumbre, en kPa.

5. DISCUSIÓN

De las 2 calibraciones realizadas por el CENAM, se puede observar en la *Gráfica 1* que no existe una tendencia dependiente del tiempo, esto es, no existe deriva. Adicionalmente, las diferencias entre los errores encontrados en el patrón de comparación en las 2 calibraciones realizadas son despreciables; siendo la máxima de 0,25 Pa en 35 MPa, esto es $7,1 \cdot 10^{-9}$ en unidades relativas a la presión medida, muy por debajo de la incertidumbre declarada en ese mismo punto.

Observando la *Gráfica 2*, las curvas de error encontradas por cada laboratorio conservan una tendencia similar (i. e. el comportamiento del patrón de comparación presentado por cada laboratorio es similar), aunque para el alcance alto de presión la desviación entre los laboratorios es mayor. Es aquí donde la *Gráfica 3* es muy útil, ya que permite ver el traslape que existe en el alcance alto de presión en las incertidumbres estimadas por cada laboratorio.

Para esta comparación, se consideraron los valores encontrados por el CENAM como los valores de referencia². El método para analizar la concordancia de las mediciones realizadas por el ENAER con las del CENAM fue el error normalizado. La ecuación utilizada se presenta a continuación.

$$e_n = \frac{e_{ENAER} - e_{ref}}{\sqrt{U_{ENAER}^2 + U_{ref}^2}} \quad (1)$$

- Donde, e_n - error normalizado
- e_{ENAER} - error estimado por el ENAER
- e_{ref} - error de referencia (error promedio del CENAM)
- U_{ENAER} - incertidumbre del ENAER
- U_{ref} - incertidumbre de referencia (incertidumbre promedio, CENAM)

Con la ecuación anterior, se obtuvo el error normalizado para el ENAER considerando 2 casos, incertidumbre expandida ($k = 2$) e incertidumbre estándar. La *Tabla 4* contiene los resultados.

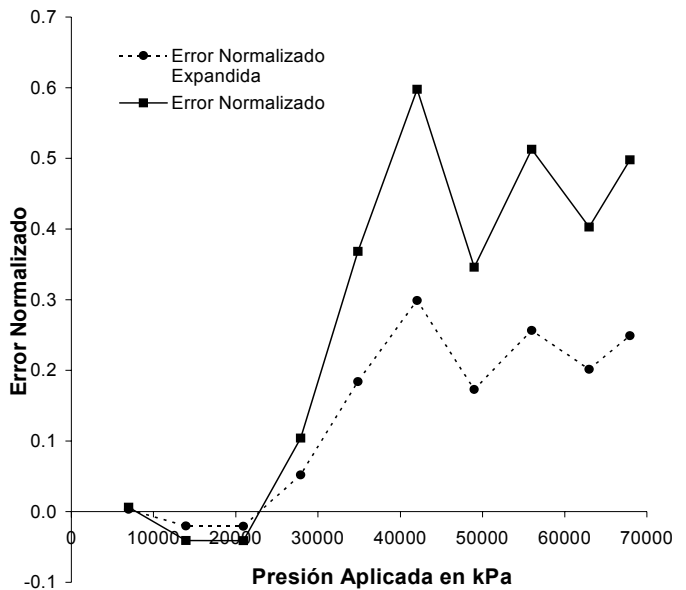
Error Normalizado (expandida)	Error Normalizado
0,00	0,01
-0,02	-0,04
-0,02	-0,04
0,05	0,10
0,18	0,37
0,30	0,60
0,17	0,35
0,26	0,51
0,20	0,40
0,25	0,50

Tabla 4. Resultados del error normalizado. Utilizando incertidumbre estándar e incertidumbre expandida.

² Los valores de referencia son los valores promedio de las 2 calibraciones realizadas.

Los datos de la *Tabla 4* se presentan en la *Gráfica 4*, de esta forma se puede observar detalladamente el resultado de la aplicación del método del error normalizado.

El punto de presión donde se presenta la diferencia más grande es en 40 MPa; sin embargo, para este punto el error normalizado (considerando una incertidumbre estándar) es de 0,60, muy por debajo de 1,00 que sería el límite del criterio de aceptación de acuerdo a los documentos de referencia.



Gráfica 4. Resultados de la aplicación del método del error normalizado.

6. CONCLUSIONES

Dos laboratorios nacionales compararon las mediciones realizadas con sus patrones de presión mediante un transductor electrónico, al cual no le habían realizado mediciones preliminares antes de la comparación.

Los resultados obtenidos de la comparación demostraron concordancia en las mediciones entre los dos laboratorios, para todo el alcance de medición. Esta concordancia se presenta tanto en el comportamiento encontrado del patrón de comparación como en los niveles de incertidumbre estimados en la calibración de éste.

Los resultados de la aplicación del método del error normalizado permiten declarar conformidad en las mediciones de ambos laboratorios en esta comparación.

RECONOCIMIENTOS

Al departamento de Cooperación Técnica para América Latina del Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania por el apoyo financiero y de logística otorgados para realizar esta comparación y en lo particular al Dr. Alexis Valqui.

Al Ing. Fernando Hernández Cervantes de la empresa Consultoría Industrial Profesional (CIP), por el préstamo del instrumento que sirvió como patrón de comparación.

REFERENCIAS

- [1] International Vocabulary of Basic and General Terms of Metrology. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML; 1993.
- [2] The International System of Units. Bureau International des poids et mesures 7° edition, 1998. ISBN 92-822-2154-7.
- [3] Guide to the Expression of uncertainty in measurement ISO TAG 4 WG3. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, OIML; 1995.
- [4] Torres Guzmán J. C., Comparaciones de Patrones de Medición, IV Congreso Internacional y XVI Nacional de Metrología y Normalización. Guadalajara. Octubre 2000.
- [5] Torres Guzmán J. C., Guía y Lineamientos Generales para Comparaciones de Patrones de Medición, Memorias del Segundo Congreso Internacional Metrocal. Chile. 2001.
- [6] Torres Guzmán J. C., Soriano Cardona J. B., Jöger J., Pressure Standards Comparison between Germany and Mexico (Primary and Secondary Laboratories). NCSL International, Workshop and Symposium 2002, 6E Pressure III. San Diego, USA. Agosto 2002.
- [7] Idrovo Calderón R., Neira Catalina, Torres Guzmán J. C., Comparación de Patrones de Presión en el SIM/ANDIMET. Simposio de Metrología 2002. México. 2002.
- [8] Torres Guzmán J. C., Soriano Cardona B., Couto P. R., Pressure Standards Comparison Within the Interamerican Metrology System (SIM), up to 100 MPa. NCSL International, Workshop and Symposium 3D National & International Comparisons. USA. 2001.
- [9] Torres Guzmán J. C., Olvera Arana P., Forastieri J., Jungman D., Comparación de Baja Presión entre México y Argentina. Memorias del Segundo Congreso Internacional Metrocal. Concepción, Chile. 2001.
- [10] Torres Guzmán J. C., Santander Romero L. A., *Guía General para: La Comparación de Patrones de Presión entre Chile y México* (hidráulica a 70 MPa). CENAM, México. 2003.
- [11] Torres Guzmán J. C., Santander Romero L. A., *Instrucciones de Medición para el: Calibrador Electrónico (oscilador de cuarzo) de Presión Relativa Hidráulica hasta 70 MPa*. CENAM, México. 2003.
- [12] Torres Guzmán J. C., Santander Romero L. A., Formato 1: Hoja de Cálculo. Toma de datos y evaluación. Archivo Excel. División de Fuerza y Presión del CENAM, México. 2003.