

## **INFORME FINAL (DRAFT 1)**

### **Comparación Regional Suplementaria Presión Neumática Relativa de 700 kPa a 7 000 kPa SIM.M.P-S10**

Leonardo De la Cruz<sup>1</sup>, Jorge Torres<sup>2</sup>, Adrián Solano<sup>3</sup>, Marcial Espinoza<sup>4</sup>, Maria Neyra<sup>5</sup>,  
Pablo Constantino<sup>6</sup>, Jesús Aranzolo<sup>2</sup>, Ricardo Sánchez<sup>1</sup>

1 Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, INDECOPI

2 Centro Nacional de Metrología de México, CENAM

3 Laboratorio Costarricense de Metrología, LACOMET

4 Empresa Nacional de Aeronáutica, ENAER

5 Instituto Nacional de Metrología, INM

6 Laboratorio Tecnológico del Uruguay, LATU

#### **Resumen**

El presente informe muestra los resultados finales de la comparación suplementaria SIM.M.P-S10 en presión relativa neumática en el intervalo de medición de 700 kPa a 7 000 kPa. Esta comparación se desarrolló desde noviembre de 2014 a enero de 2015, utilizando un transductor de presión digital de clase de exactitud 0.008 % de la lectura como ítem de comparación. El valor de referencia para esta comparación fue proporcionado por el Centro Nacional de Metrología de México (CENAM, México).

#### **INDICE**

1. Introducción
2. Objetivo
3. Descripción del instrumento empleado en la comparación
4. Participantes, Programa de medición y Patrón Empleado
5. Procedimiento de medición
6. Resultados
7. Evaluación de resultados
8. Observaciones
9. Conclusiones y recomendaciones
10. Agradecimientos
11. Referencias

## **1. INTRODUCCIÓN.**

La presente comparación suplementaria tiene como finalidad confirmar y fortalecer las capacidades de medición y calibración (CMCs) en presión relativa neumática en el intervalo de medición de 700 kPa a 7 000 kPa, así mismo permite establecer el nivel de concordancia de los Institutos Nacionales de Metrología (INM) participantes respecto al valor de referencia proporcionado por el Centro Nacional de Metrología de México (CENAM). La comparación fue registrada dentro del Sistema Interamericano de Metrología con el código SIM.M.P-S10, la cual fue financiada por el proyecto fiduciario Perez-Guerrero para la Cooperación Económica y Técnica entre los Países en Desarrollo.

## **2. OBJETIVO.**

Determinar las diferencias en la calibración de transductores de presión relativa neumática en el intervalo de medición de 700 kPa a 7 000 kPa, con exactitud 0.008 % de la lectura, entre los errores con incertidumbres asociadas de cada INM participante y los valores de referencia proporcionados por el CENAM.

## **3. DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO EMPLEADO EN LA COMPARACIÓN.**

El instrumento empleado fue un transductor de presión con las siguientes características.

Intervalo de Indicación:	0 kPa a 7 000 kPa
Resolución:	0.001 kPa
Marca:	FLUKE
Modelo:	RPM4 A7Ms
Serie:	2261
Clase de Exactitud:	0.008 % de la lectura

## **4. PARTICIPANTES, PROGRAMA DE MEDICIÓN Y PATRÓN EMPLEADO.**

La tabla 1 muestra a los INM participantes en la presente comparación.

La ronda de medición se inició y finalizó en el Centro Nacional de Metrología de México (CENAM) tal como se indica en la figura 1. Los valores nominales de presión a comparar fueron: 700 kPa, 1 400 kPa, 2 100 kPa, 2 800 kPa, 3 500 kPa, 4 200 kPa, 4 900 kPa, 5 600 kPa, 6 300 kPa y 7 000 kPa.

Tabla 1. Participantes, Cronograma y Especificaciones Técnicas de los Patrones Empleados.

País	COLOMBIA	PERÚ	CHILE	COSTA RICA	URUGUAY	MÉXICO
INM	INM	INDECOPI	ENAER	LACOMET	LATU	CENAM
Fecha de medición	2014-11-11 al 2014-11-14	2014-11-18 al 2014-11-21	2014-11-25 al 2014-11-28	2014-12-03 al 2014-12-05	2014-12-10 al 2014-12-12	2014-11-04 al 2014-11-06 y 2015-01-28 al 2015-01-30
Contacto	Maria Neyra mneira@inm.gov.co	Leonardo De la cruz ldelacruz@indecopi.gob.pe ldelacruz@inacal.gob.pe	Marcial Espinoza mespinoza@enaer.cl	Fernando Andrés, Adrian Solano asolano@lacomet.go.cr	Pablo Constantino pconstan@latu.org.uy	Jorge Torres Guzmán jtorres@cenam.mx
Fluido	Nitrógeno	Nitrógeno	Nitrógeno	Nitrógeno	Nitrógeno	Nitrógeno
Patrón empleado	Balanza de Presión	Balanza de Presión	Balanza de Presión	Balanza de Presión	Balanza de Presión	Balanza de Presión
Marca	DH Instruments	DH Instruments	RUSKA	DH Instruments	DH Instruments	DH Instruments
Modelo	PG-7601	PG-7601	2465-A	PG-7601	PG - 7102	PG-7601
N° serie	584	Base: 716; Pistón: 1390	Base: 53860; Pistón: V-1518	Base: 583; Pistón: 1152	Base: 729; Pistón: 1426	Base: 107; Pistón: 228
Intervalo de indicaciones	40 kPa a 7 000 kPa	40 kPa a 7 000 kPa	14 kPa a 7 000 kPa	700 kPa a 7 000 kPa	7 000 kPa	40 kPa a 7 000 kPa
Clase de exactitud	0.002 %L	0.003 %L	0.005 %L	0.002 5 %L	0.003 %L	10 Pa ó 0.005 %L o mayor
Material del cilindro	Carburo de tungsteno	Carburo de tungsteno	Carburo de tungsteno	Carburo de tungsteno	Carburo de tungsteno	Carburo de tungsteno
Material del pistón	Carburo de tungsteno	Carburo de tungsteno	Carburo de tungsteno	Carburo de tungsteno	Carburo de tungsteno	Carburo de tungsteno
Área efectiva ( $A_0$ ) a presión cero en $m^2$	4.901899E-05	4.9019147E-05	8.38702E-06	4.90233E-05	4.90280E-05	4.90267E-05
Incertidumbre relativa de $A_0$ en $10^{-6}$	18	21	18	13.5	20	19
Coefficiente de deformación elástica $b$ en $Pa^{-1}$	-2.35E-12	-2.30E-13	1.20E-12	-2.35E-12	1.73E-12	2.10E-14
Incertidumbre de $b$ en $Pa^{-1}$	6E-13	5.4E-13	1.00E-12	5.4E-13	1.50E-12	4.90E-13
Trazabilidad	PTB -Alemania	CENAM - México	PTB -Alemania	CEM - España	CENAM - México	CENAM

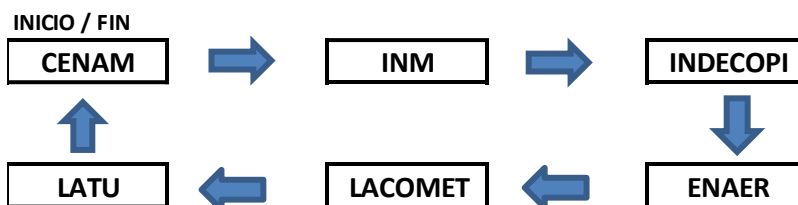


Figura 1. Ronda de medición de la comparación.

## 5. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.

Para esta comparación se utilizó como referencia a comparaciones internacionales, tanto del CIPM como del SIM [1, 2].

Para esta comparación el método de medición empleado fue el método de comparación directa, todos los INM participantes usaron una balanza de presión neumática como patrón de medición de referencia empleando sus propios procedimientos y cálculos para lograr los valores nominales de presión.

### **5.1 Error.**

El error de indicación fue determinado de acuerdo a la ecuación:

$$x_{lab} = P_{PT} - P_{PL}$$

Donde:

$x_{lab}$  = error obtenido por el laboratorio,

$P_{PT}$  = presión corregida, generada por el Patrón de Transferencia ( $P_{PT}$ ),

$P_{PL}$  = presión corregida, generada por el Patrón de Laboratorio ( $P_{PL}$ )

### **5.2 Incertidumbre.**

Para la evaluación de la incertidumbre los INM participantes consideraron las siguientes fuentes de incertidumbre:

- Incertidumbre del patrón del laboratorio, PL,
- Incertidumbre por repetibilidad de los datos,
- Incertidumbre por resolución,
- Incertidumbre por histéresis,
- Incertidumbre por deriva del cero.
- Incertidumbre por presión de columna.

Las incertidumbres de las mediciones fueron reportados con 2 dígitos significativos; un nivel de confianza de al menos 95 % y con el factor de cobertura correspondiente.

## **6. RESULTADOS.**

Con las calibraciones realizadas por el CENAM (al inicio y al final de la ronda de comparaciones) se puede encontrar la deriva del IBC. El IBC utilizado para la comparación mostró una deriva constante para todo el intervalo de medición. En la figura 2 se muestran las 2 calibraciones realizadas por el CENAM y la deriva constante (distancia entre las 2 calibraciones). En esta misma gráfica se muestran los valores de referencia utilizados por el CENAM para esta comparación. La deriva del IBC es menor a 20 kPa para todo el intervalo. En la Figura 2, la curva verde, CENAM, muestra los valores utilizados de referencia para la comparación. Las curvas CENAM 1 y CENAM 2 son la primera y segunda calibración realizadas por CENAM.

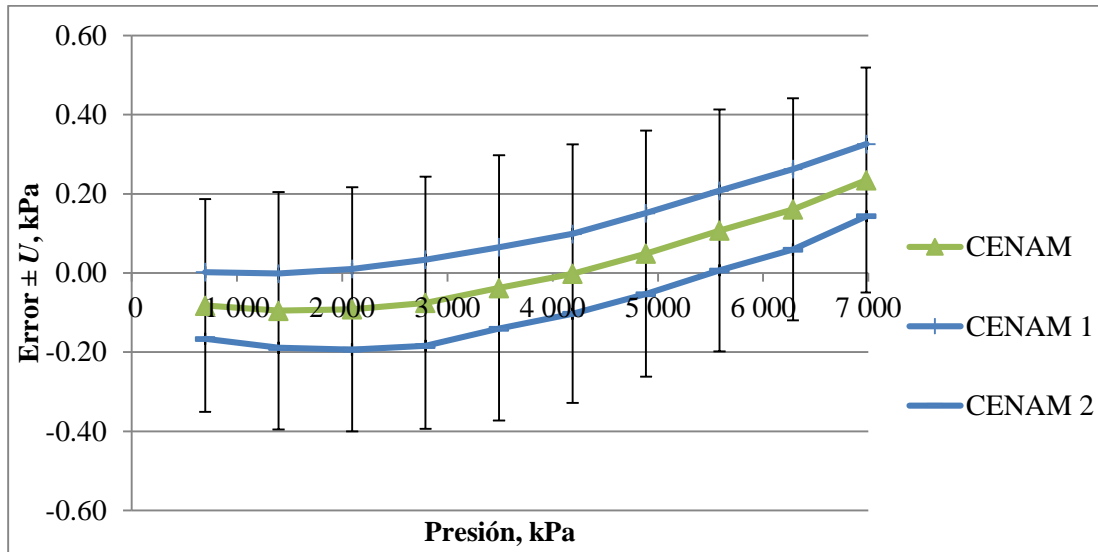


Figura 2. Calibraciones realizadas por el CENAM, mostrando la deriva del IBC y valores de referencia empleados para la comparación, de 700 kPa a 7 000 kPa.

La tabla 2 y las figuras de la 3 a la 14 muestran los errores e incertidumbres expandidas encontrados por cada INM participante.

Tabla 2. Resultados informados por los INM (error e incertidumbre expandida).

Presión Nominal kPa	ENAER		LACOMET		INM		LATU		INDECOPI		CENAM	
	Error	<i>U</i>	Error	<i>U</i>	Error	<i>U</i>	Error	<i>U</i>	Error	<i>U</i>	Error	<i>U</i>
	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
700	-0.17	0.08	-0.04	0.10	-0.11	0.08	-0.07	0.10	-0.10	0.12	-0.08	0.23
1400	-0.18	0.11	-0.04	0.13	-0.10	0.12	-0.10	0.13	-0.09	0.15	-0.10	0.26
2100	-0.17	0.14	-0.04	0.16	-0.10	0.14	-0.09	0.14	-0.09	0.16	-0.09	0.28
2800	-0.16	0.16	-0.04	0.18	-0.10	0.15	-0.07	0.15	-0.07	0.18	-0.08	0.29
3500	-0.15	0.17	-0.03	0.19	-0.08	0.16	-0.05	0.16	-0.04	0.20	-0.04	0.31
4200	-0.13	0.18	-0.01	0.20	-0.07	0.16	-0.01	0.17	0.00	0.18	0.00	0.30
4900	-0.09	0.18	0.02	0.21	-0.03	0.16	0.05	0.17	0.05	0.18	0.05	0.29
5600	-0.08	0.17	0.05	0.19	-0.01	0.15	0.11	0.17	0.10	0.16	0.11	0.27
6300	-0.04	0.18	0.08	0.19	0.02	0.15	0.17	0.17	0.14	0.15	0.16	0.25
7000	-0.01	0.19	0.12	0.19	0.07	0.15	0.25	0.18	0.23	0.15	0.23	0.24

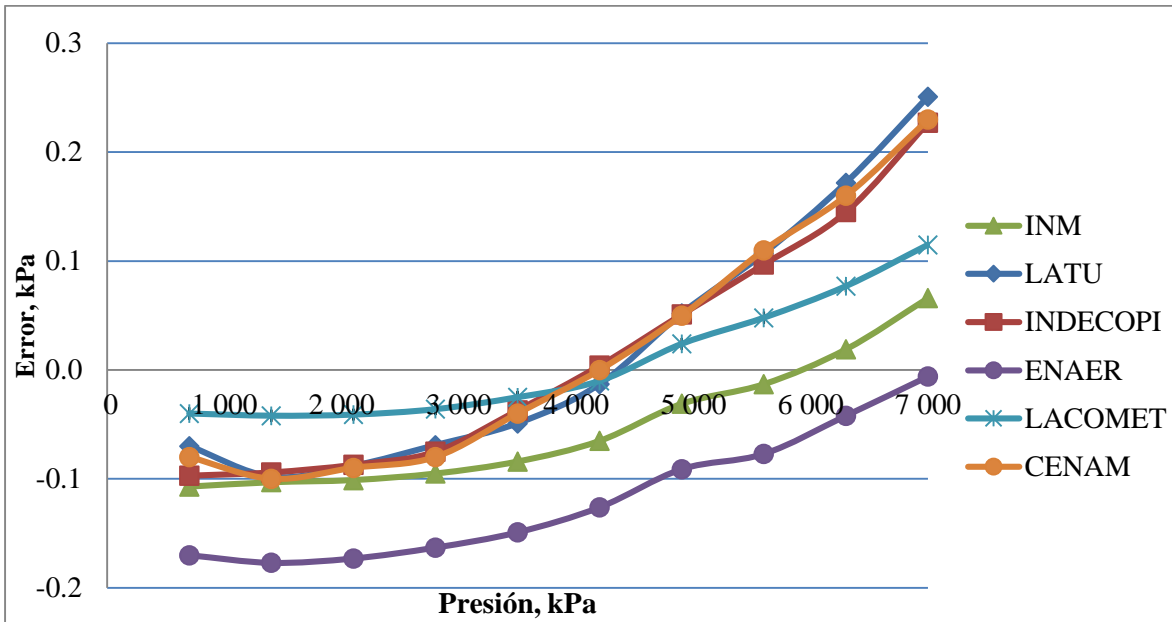


Figura 3. Curvas de error del IBC encontradas por los laboratorios participantes, de 700 kPa a 7 000 kPa.

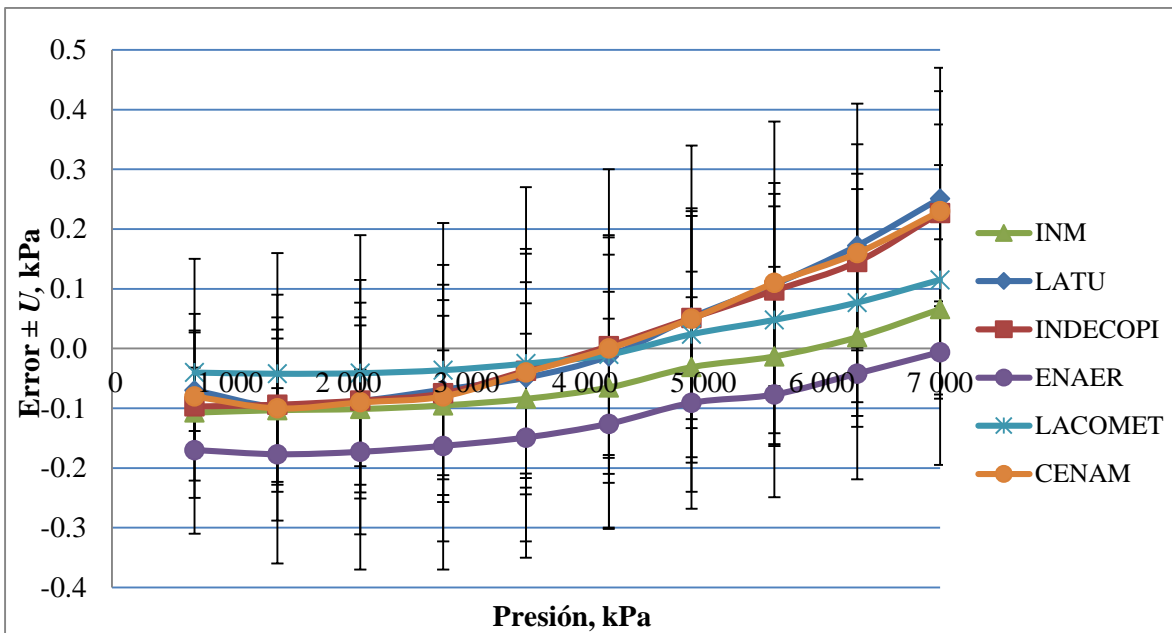


Figura 4. Curvas de error e incertidumbre expandida del IBC encontradas por los laboratorios participantes, 700 kPa a 7 000 kPa.

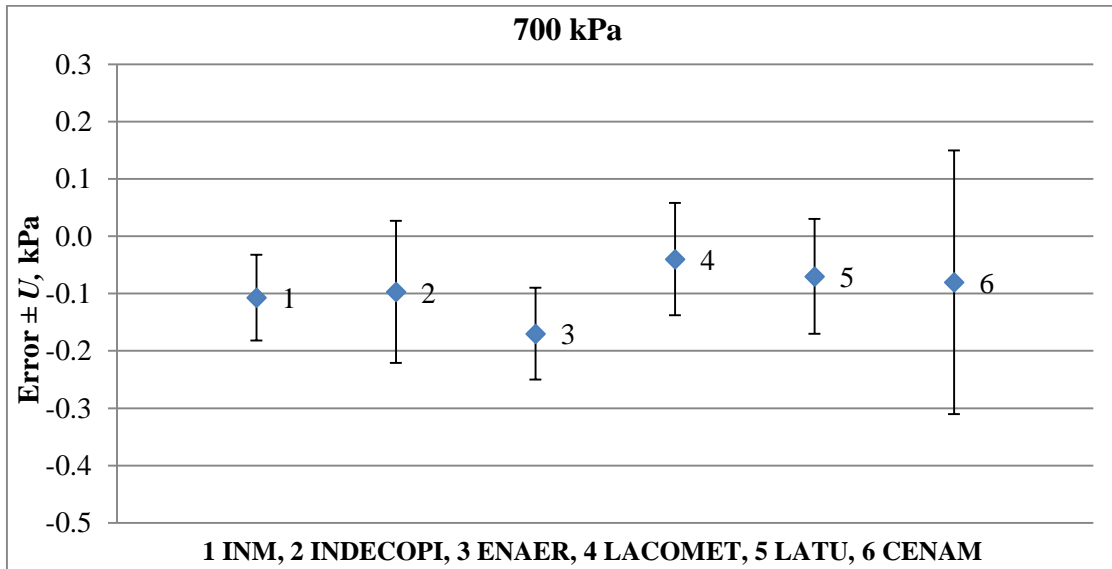


Figura 5. Error e incertidumbre del IBC encontrado por cada laboratorio participante a 700 kPa.

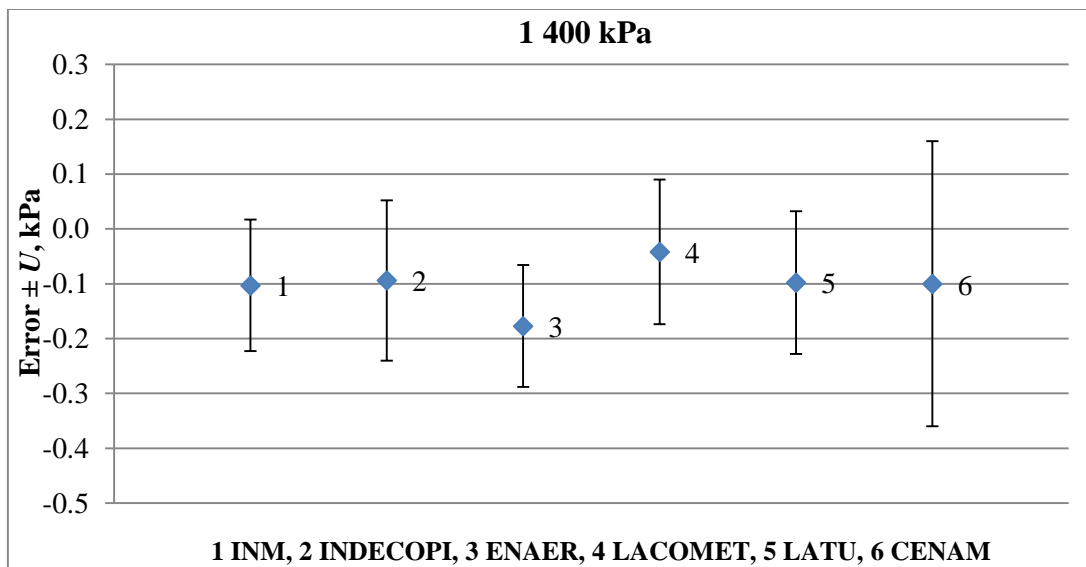


Figura 6. Error e incertidumbre del IBC encontrado por cada laboratorio participante a 1 400 kPa.

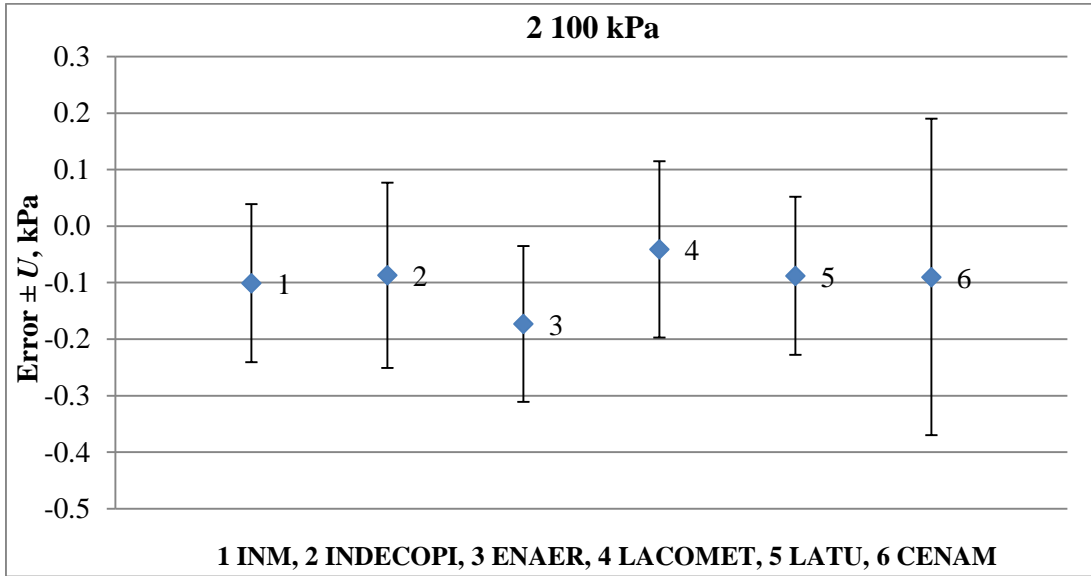


Figura 7. Error e incertidumbre del IBC encontrado por cada laboratorio participante a 2 100 kPa.

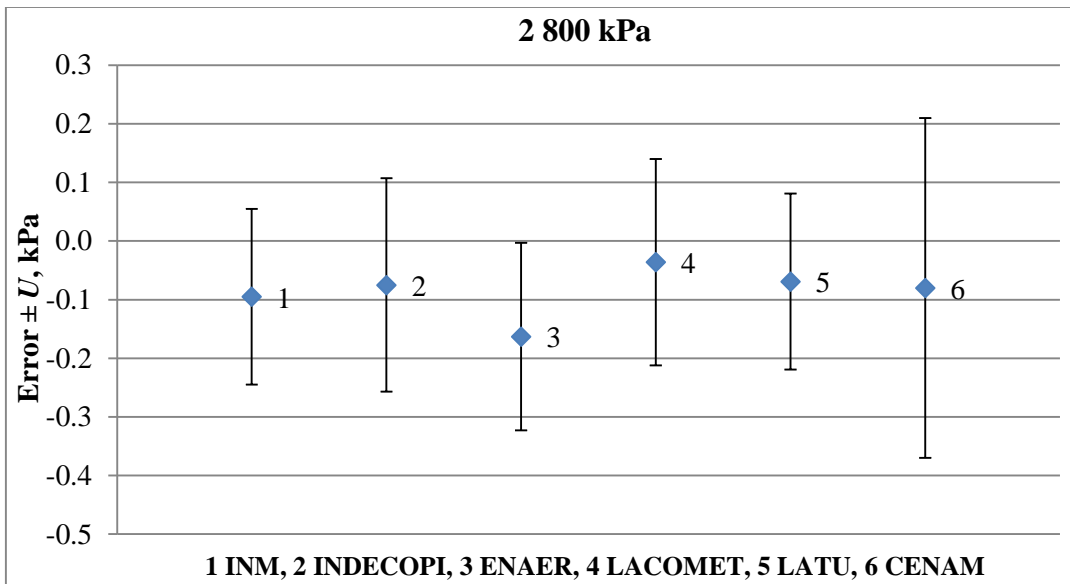


Figura 8. Error e incertidumbre del IBC encontrado por cada laboratorio participante a 2 800 kPa.



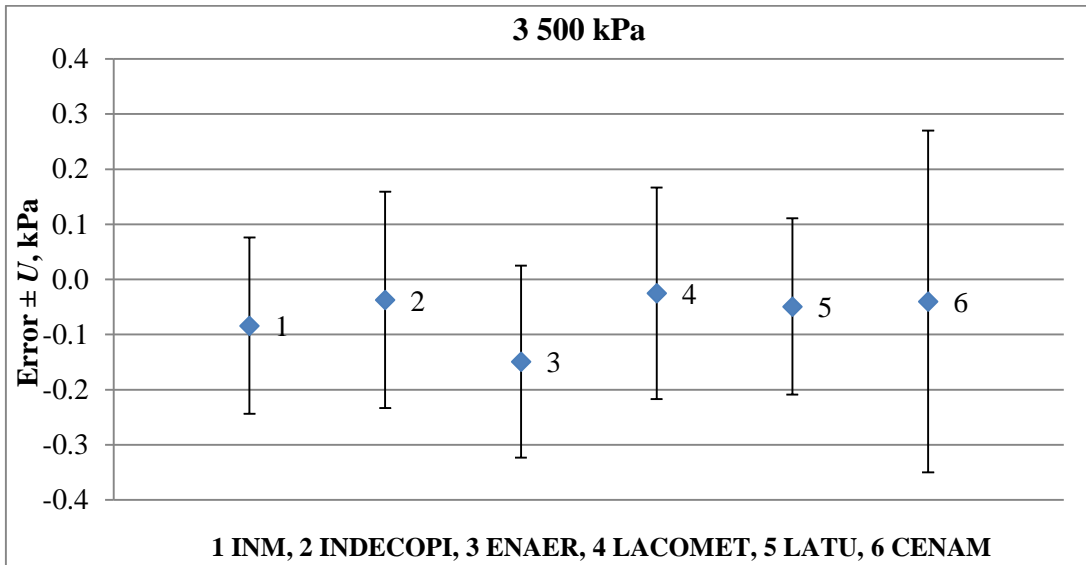


Figura 9. Error e incertidumbre del IBC encontrado por cada laboratorio participante a 3 500 kPa.

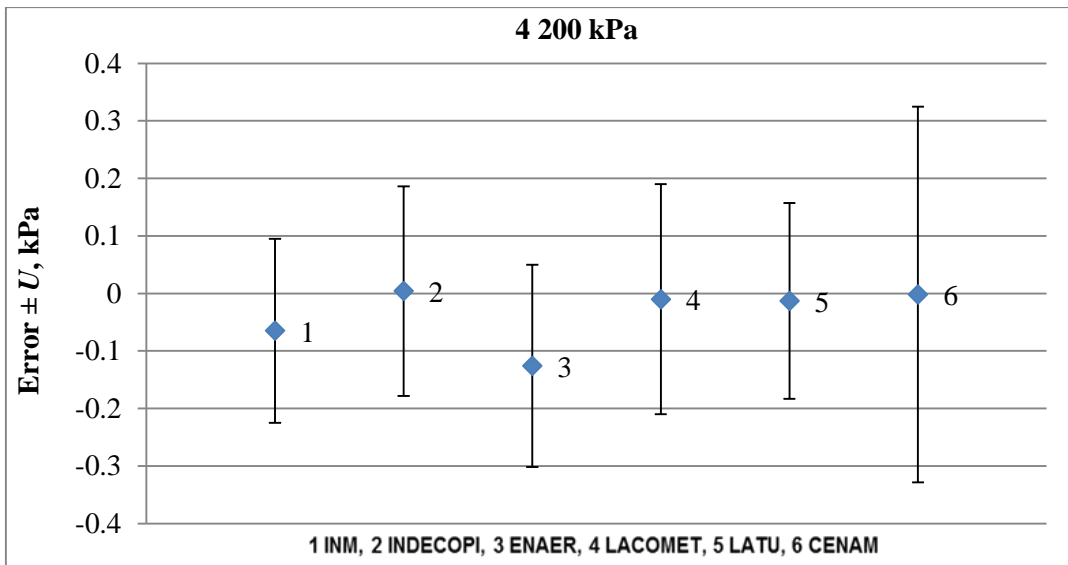


Figura 10. Error e incertidumbre del IBC encontrado por cada laboratorio participante a 4 200 kPa.

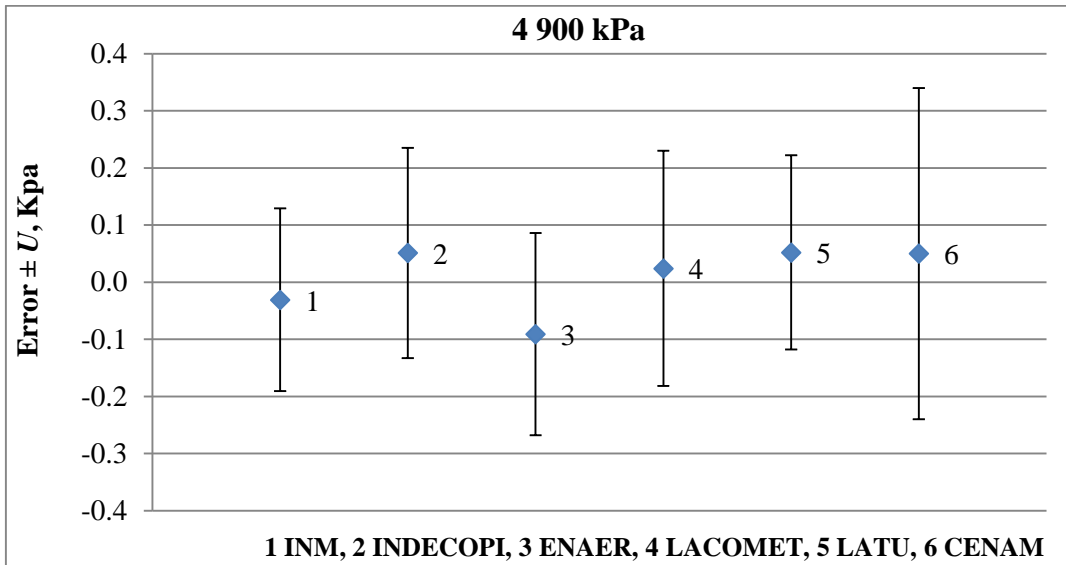


Figura 11. Error e incertidumbre del IBC encontrado por cada laboratorio participante a 4 900 kPa.

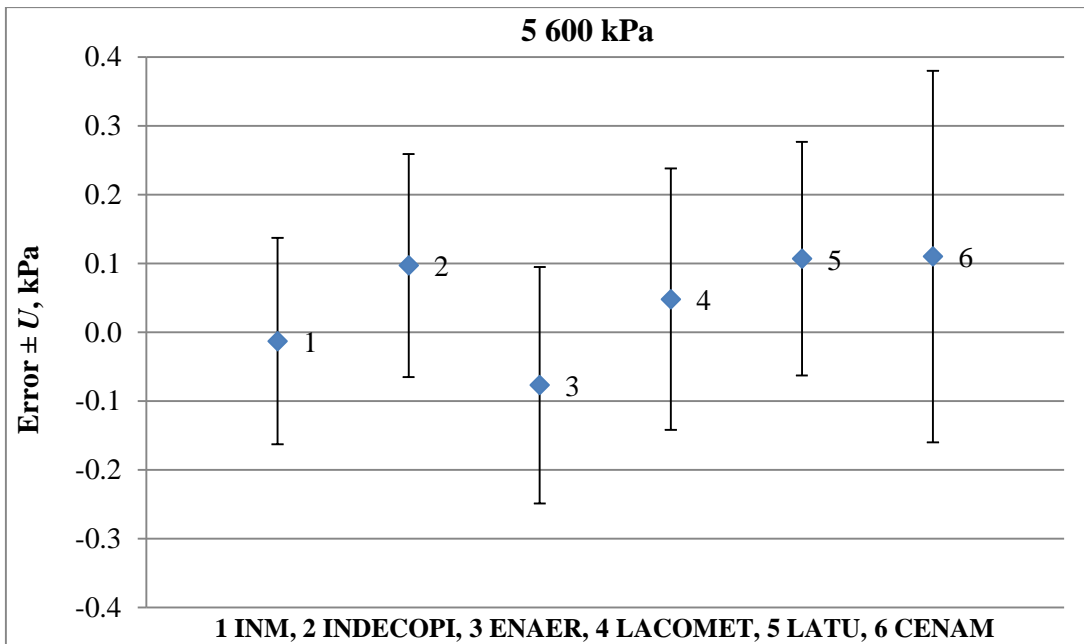


Figura 12. Error e incertidumbre del IBC encontrado por cada laboratorio participante a 5 600 kPa.

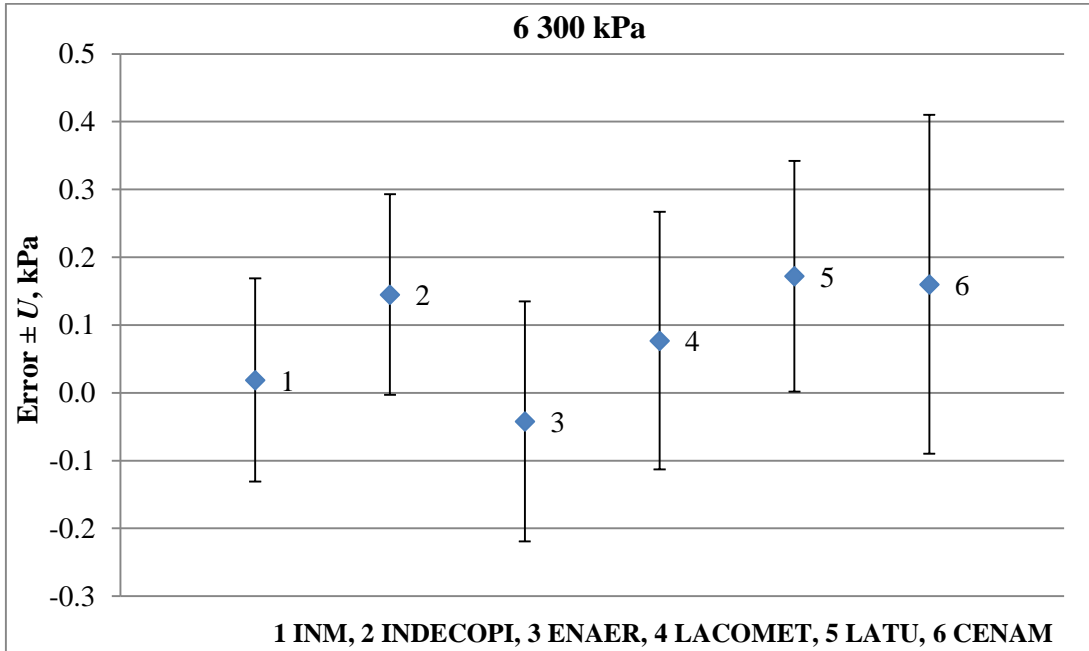


Figura 13. Error e incertidumbre del IBC encontrado por cada laboratorio participante a 6 300 kPa.

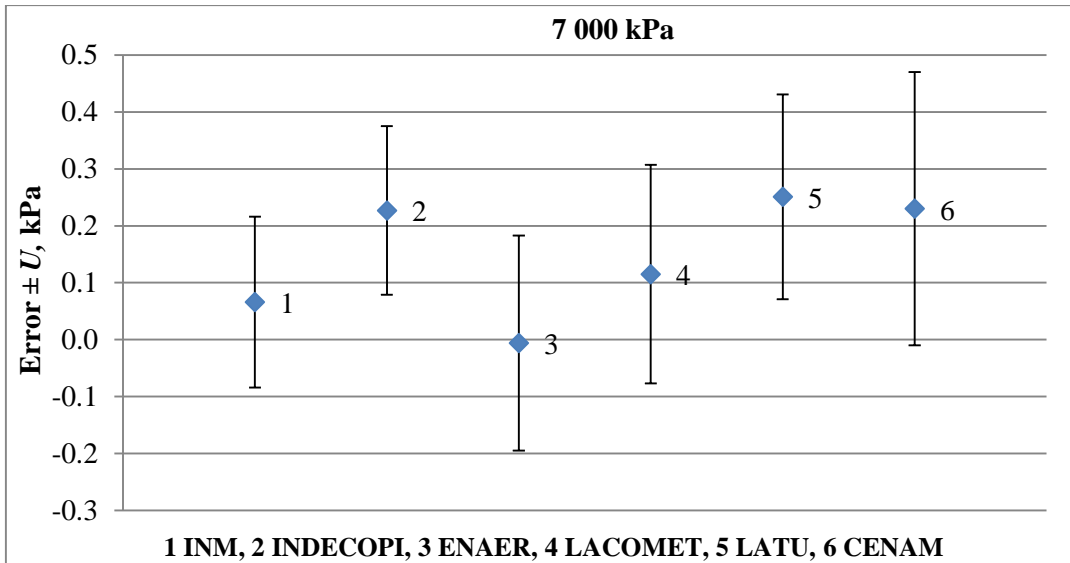


Figura 14. Error e incertidumbre del IBC encontrado por cada laboratorio participante a 7 000 kPa.

## 7. EVALUACION DE RESULTADOS.

Para realizar la evaluación del desempeño de los INM participantes se empleó el criterio del error normalizado ( $E_n$ ), de acuerdo a la ecuación siguiente [3]:

$$E_n = \frac{\bar{e} - \bar{E}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

Donde:

$E_n$ : Error normalizado.

$\bar{e}$ : Error promedio del laboratorio participante.

$\bar{E}$ : Error promedio del CENAM.

$U_{lab}$ : Incertidumbre expandida del resultado del laboratorio participante.

$U_{ref}$ : Incertidumbre expandida de referencia asignada por el CENAM (incertidumbre combinada de las 2 calibraciones realizadas por el CENAM con la deriva del ítem de comparación en cada presión).

El error normalizado determina el desempeño de acuerdo a los valores obtenidos donde:

$$|E_n| \leq 1.0 \text{ Resultado satisfactorio.}$$

$$|E_n| > 1.0 \text{ Resultado NO satisfactorio.}$$

Con los valores obtenidos por los laboratorios y los valores de referencia proporcionados por el CENAM, se puede emplear la ecuación del Error Normalizado para evaluar la concordancia de los resultados de los laboratorios.

La tabla 3 y la figura 15 muestran los valores del error normalizado para los laboratorios participantes.

Tabla 3. Valores del error normalizado de los participantes respecto a los valores de referencia proporcionados por el CENAM.

LABORATORIO	700 kPa	1 400 kPa	2 100 kPa	2 800 kPa	3 500 kPa	4 200 kPa	4 900 kPa	5 600 kPa	6 300 kPa	7 000 kPa
INM	-0.11	-0.01	-0.04	-0.05	-0.13	-0.19	-0.24	-0.40	-0.48	-0.58
INDECOPI	-0.07	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-0.04	-0.05	-0.01
ENAER	-0.37	-0.27	-0.27	-0.25	-0.31	-0.36	-0.80	-0.58	-0.66	-0.77
LACOMET	0.16	0.20	0.15	0.13	0.04	-0.03	-0.13	-0.19	-0.26	-0.37
LATU	0.04	0.01	0.01	0.03	-0.03	-0.04	0.01	-0.01	0.04	0.07

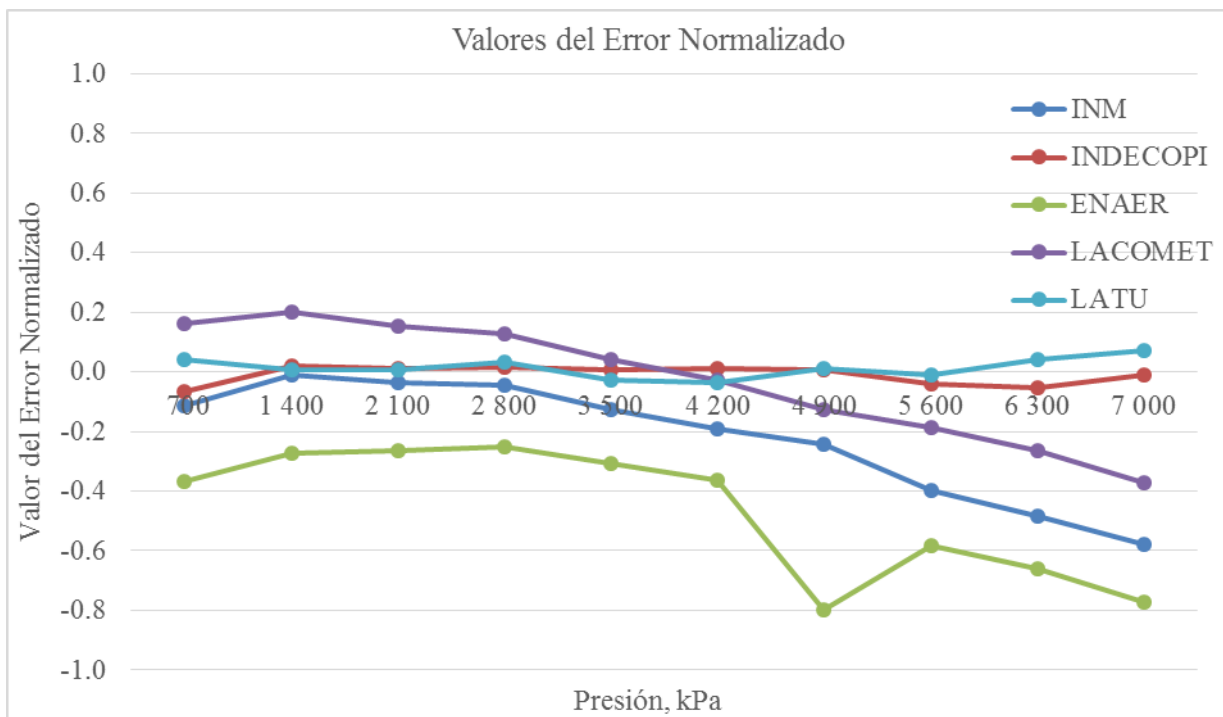


Figura 15. Resultados del error normalizado de los laboratorios participantes, de 700 kPa a 7 000 kPa.

## 8. OBSERVACIONES.

El ítem de la comparación tuvo una deriva, que aunque notoria no afecta los resultados de la comparación. El ítem de la comparación fue adecuado para los fines de ésta.

La incertidumbre expandida de referencia asignada por el CENAM, se obtuvo de la incertidumbre combinada de las 2 calibraciones realizadas por el CENAM con la deriva del ítem de comparación en cada presión; esto es:

$$U_{cenam} = \sqrt{U_{cal1}^2 + U_{cal2}^2 + U_{deriva}^2}$$

Donde, para cada presión aplicada:

$U_{cal1}$ : Incertidumbre expandida de la primera calibración del CENAM.

$U_{cal2}$ : Incertidumbre expandida de la segunda calibración del CENAM.

$U_{deriva}$ : Incertidumbre expandida de la deriva del ítem de comparación, obtenida como la diferencia de la primera lectura con la segunda lectura realizada por el CENAM.

El análisis de compatibilidad de resultados se realizó con incertidumbre expandida ( $k = 2$ ).

## **9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

La comparación se realizó sin contratiempos y el programa de actividades se llevó a cabo de acuerdo a lo establecido.

Los resultados de compatibilidad encontrados mediante el análisis del error normalizado muestran que existe una buena compatibilidad entre los laboratorios participantes en la calibración de un manómetro neumático digital de alta exactitud para presión relativa en el intervalo de 700 kPa hasta 7 000 kPa.

Las diferencias más grandes en los valores de error son del laboratorio ENAER (de Chile), que con la incertidumbre asignada por ENAER al ítem de comparación hace que sus resultados sean compatibles con los valores de referencia y con los de los demás participantes.

En conclusión los resultados de todos los laboratorios participantes son compatibles con los valores establecidos como referencia para la comparación.

## **10. AGRADECIMIENTOS.**

Un agradecimiento especial al Centro Nacional de Metrología de México (CENAM) por la colaboración para llevar con éxito esta comparación. De igual modo, a todos los INM participantes, en especial a los metrologos que realizaron las mediciones y cálculos.

## **11. 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., Olvera 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.
- [3] Remarks on the  $En$  - criterion used in measurement; Wöger, W. PTB-Mitteilungen 109, 24-27 (1999).