

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/327704634>

MEJORAS DE LA REPETIBILIDAD EN LA CALIBRACIÓN DE BARÓMETROS

Article · October 2017

CITATIONS

0

READS

168

3 authors, including:



Jorge C. Torres-Guzman

Centro Nacional de Metrología

110 PUBLICATIONS 185 CITATIONS

SEE PROFILE



Juan M López

Centro Nacional de Metrología

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Investigación y evaluación del efecto de la contaminación por ruido en viviendas de México. [Uso de aislamiento en base a vacío. [View project](#)



Industrial Dynamic Measurements - force and torque [View project](#)

MEJORAS DE LA REPETIBILIDAD EN LA CALIBRACIÓN DE BARÓMETROS

Edgar A. Manríquez, Jorge C. Torres, Juan M. López
 Centro Nacional de Metrología. km 4.5 Carretera a Los Cués, El Marqués, Querétaro, México
 Tel: (442) 2 11 05 00, emanriqu@cenam.mx, jtorres@cenam.mx, mlopez@cenam.mx

Resumen: Se presentan los resultados de la calibración de diferentes barómetros y se analiza el impacto en la incertidumbre debido a la repetibilidad al modificar los valores de referencia de presión durante el proceso de medición.

1. INTRODUCCIÓN

Los barómetros son instrumentos que miden la presión que ejerce la atmósfera sobre todos los objetos que se encuentran dentro de ella (presión atmosférica). Una de sus aplicaciones más importantes se relaciona con los sistemas de monitoreo de condiciones ambientales en los laboratorios de calibración primarios y secundarios.

En magnitudes como temperatura, humedad, masa, densidad y volumen, es indispensable conocer la presión atmosférica con una alta exactitud y con la menor incertidumbre posible ya que es una magnitud de influencia que impacta considerablemente en sus mediciones, y por lo tanto, es necesario establecer algunos criterios y cuidados específicos que se deben de considerar al momento de realizar la calibración de los barómetros, estas recomendaciones ayudan a disminuir la incertidumbre por repetibilidad.

2. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Para la calibración de los barómetros se utilizó un método de medición desarrollado por CENAM con la identificación 720-AC-P.201. El método consiste en conectar a una misma fuente de generación de presión, el instrumento bajo calibración (I. B. C.) y el equipo patrón, garantizando la hermeticidad del sistema. Los principales puntos a considerar son:

- Se seleccionaron diez puntos de medición de presión en el intervalo de 60 kPa a 110 kPa.
- Se realizaron cuatro mediciones para cada valor de presión, dos en sentido ascendente y dos en sentido descendente.
- Se realizó el cálculo del error de indicación y la estimación de la incertidumbre de medida.
- Se realizaron dos calibraciones a cada uno de los instrumentos bajo calibración (I. B. C.). En la primera calibración, los valores de referencia de presión fueron modificados en las cuatro mediciones y en la segunda los valores de referencia se mantuvieron similares entre sí, tanto en el ascenso como el descenso.

3. INSTRUMENTOS DE REFERENCIA

Los barómetros de referencia (instrumentos patrón) que se utilizaron en las calibraciones se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Instrumentos de Referencia.

	Patrón 1	Patrón 2
Descripción	Transductor de Presión Absoluta	Barómetro Digital
Marca	Paroscientific	Fluke
Modelo	245A-101	RPM4 BA100Ks
Incertidumbre (U)	4.0 Pa	2.1 Pa
Trazabilidad	CNM-CC-720-501/2015	CNM-CC-720-503/2015

4. INSTRUMENTOS BAJO CALIBRACIÓN

Los instrumentos que se utilizaron para realizar el estudio (IBC) se muestran en la tabla 2.

Tabla 2(a). Instrumentos Bajo Calibración.

I. B. C.	A - G	H	I
Descripción	Barómetro Digital	Barómetro Digital	Barómetro Digital
Marca	Mensor	Druck	Mensor
Modelo	CPG-2400	DPI141	CPG 2500
Clase de Exactitud	± 0.03 % de la A. del I.	± 0.025 % de la A. del I.	± 0.025 % de la A. del I.
Resolución	0.01 kPa	0.000 1 inHg	0.001 kPa
Intervalo de Medición	55 kPa a 117 kPa	16 inHg a 34 inHg	50 kPa a 110 kPa

Tabla 2(b). Instrumentos Bajo Calibración.

I. B. C.	J	K y L
Descripción	Barómetro Digital	Transductor de Presión Absoluta
Marca	DH Instruments	CENAM
Modelo	RPM1 A00145	SP01
Clase de Exactitud	± 0.01 % de la A. del I.	± 0.4 hPa
Resolución	0.000 1 kPa	0.01 hPa
Intervalo de Medición	0 kPa a 103 kPa	750 hPa a 1 050 hPa

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la primera y segunda calibración se compararon entre sí y se analizó el impacto de la condición que se menciona en el inciso (d) del procedimiento de medición. Se utilizó el método del error normalizado para comprobar la compatibilidad de las mediciones de acuerdo a la ecuación 1.

$$E_n = \frac{x_{ACTUAL} - x_{ANTERIOR}}{\sqrt{U^2_{ACTUAL} + U^2_{ANTERIOR}}} \quad (1)$$

Donde:

E_n = Error normalizado, ($k = 2$).

X_{ACTUAL} = Error obtenido en 2^{da} calibración.

$X_{ANTERIOR}$ = Error obtenido en 1^{ra} calibración.

U_{ACTUAL} = Incertidumbre expandida, ($k = 2$), 2^{da}.

$U_{ANTERIOR}$ = Incertidumbre expandida, ($k = 2$), 1^{ra}.

CRITERIO DE APLICACIÓN

Satisfactorio: Calibración que obtenga un valor absoluto de error normalizado menor o igual a 1.
 No satisfactorio: Calibración que obtenga un valor absoluto de error normalizado mayor que 1.

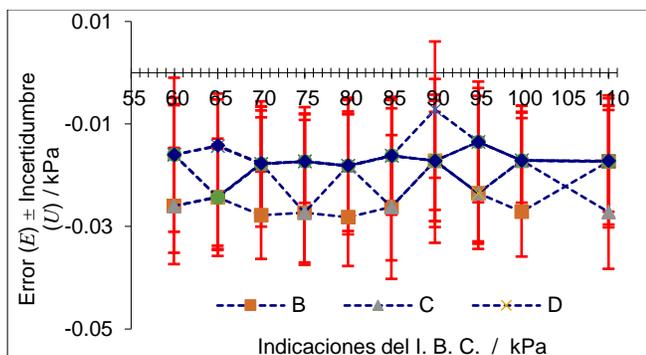
6. RESULTADOS

En la tabla 3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de la primera calibración de los equipos con las identificaciones A – G. Para esta calibración se utilizó el patrón 1 como instrumento de referencia.

Tabla 3. Resultados de 1^{ra} Calibración de A – G.

IDENTIFICACIÓN				
I.B.C.	A	B	C	D
Unidad		kPa	kPa	kPa
Repetibilidad		0.005 0	0.005 5	0.006 7
Histéresis		0.006 9	0.008 6	0.009 3
Error		-0.028 2	-0.027 3	-0.024 3
Incertidumbre Expandida		0.013	0.014	0.016
IDENTIFICACIÓN				
I.B.C.	E	F	G	
Unidad	kPa	kPa	kPa	
Repetibilidad	0.005 0	0.004 3	0.006 5	
Histéresis	0.008 8	0.012 7	0.004 6	
Error	-0.018 2	-0.024 3	-0.018 1	
Incertidumbre Expandida	0.013	0.013	0.015	

En las mediciones anteriores se colocó una diferencia máxima de 0.027 kPa entre los valores de referencia de presión de ascenso y descenso. En la gráfica 1 se observa el comportamiento de estos instrumentos.



Gráfica 1. Error e Incertidumbre de 1^{ra} Calibración de A – G.

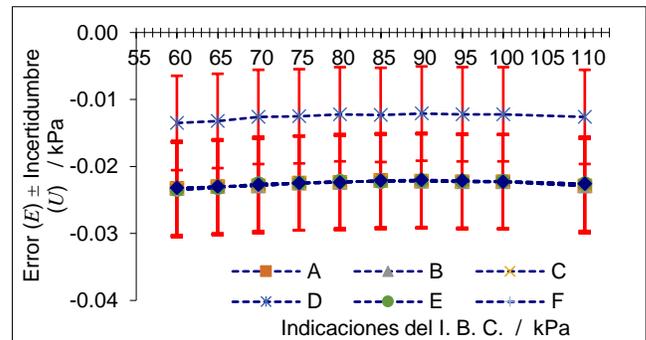
En la segunda calibración los valores de referencia de presión se seleccionaron con una diferencia máxima

de 0.000 5 kPa entre el ascenso y descenso, observando una disminución considerable de la incertidumbre por repetibilidad, tal y como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados de 2^{da} Calibración de A – G.

IDENTIFICACIÓN				
I.B.C.	A	B	C	D
Unidad	kPa	kPa	kPa	kPa
Repetibilidad	0.000 2	0.000 2	0.000 2	0.000 2
Histéresis	0.000 5	0.000 5	0.000 5	0.000 5
Error	-0.023 3	-0.023 3	-0.023 3	-0.013 5
Incertidumbre Expandida	0.007	0.007	0.007	0.007
IDENTIFICACIÓN				
I.B.C.	E	F	G	
Unidad	kPa	kPa	kPa	
Repetibilidad	0.000 2	0.000 2	0.000 2	
Histéresis	0.000 5	0.000 5	0.000 4	
Error	-0.023 5	-0.023 5	-0.023 2	
Incertidumbre Expandida	0.007	0.007	0.007	

En la gráfica 2, se observa claramente cómo se mejoraron los resultados de la calibración.



Gráfica 2. Error e Incertidumbre de 2^{da} Calibración de A – G.

Se analizó la compatibilidad de las mediciones entre la primera y segunda calibración utilizando la técnica del error normalizado, obteniendo los resultados de la tabla 5.

Tabla 5. Error Normalizado de A – G.

PRESIÓN NOMINAL, (kPa)	A	B	C	D	E	F	G
	E_n						
60		0.23	0.20	0.21	-0.63	-0.57	-0.43
65		0.11	0.10	0.89	-0.72	0.08	-0.77
70		0.44	-0.39	0.39	-0.42	-0.34	-0.40
75		0.40	0.39	0.41	-0.45	-0.41	-0.49
80		0.49	-0.34	0.49	-0.33	-0.27	-0.29
85		0.33	0.26	0.29	-0.47	-0.47	-0.51
90		-0.34	-0.36	0.29	-0.99	-0.36	-0.40
95		0.10	0.10	0.87	-0.69	-0.63	-0.75
100		0.43	-0.41	0.42	-0.44	-0.40	-0.48
110		-0.38	0.33	0.36	-0.41	-0.37	-0.44

Para los equipos con la identificación H, I y J los cuales fueron calibrados con el patrón 2, la tabla 6 muestra los resultados obtenidos en la primera calibración.

Tabla 6. Resultados de 1ª Calibración de H, I y J.

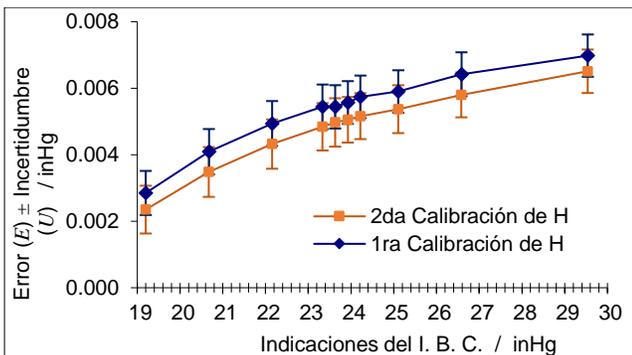
I.B.C.	IDENTIFICACIÓN		
	H	I	J
Unidad	inHg	Pa	kPa
Repetibilidad	0.000 13	0.78	0.001 5
Histéresis	0.000 17	1.82	0.003 4
Error	0.006 98	-66.22	-0.014 0
Incertidumbre Expandida	0.000 68	2.9	0.004 2

En las mediciones anteriores se colocó una diferencia máxima de 0.006 3 kPa entre los valores de referencia de presión de ascenso y descenso. Para la segunda calibración, la diferencia máxima fue de 0.000 9 kPa entre los valores de referencia de presión de ascenso y descenso, obteniendo los siguientes resultados.

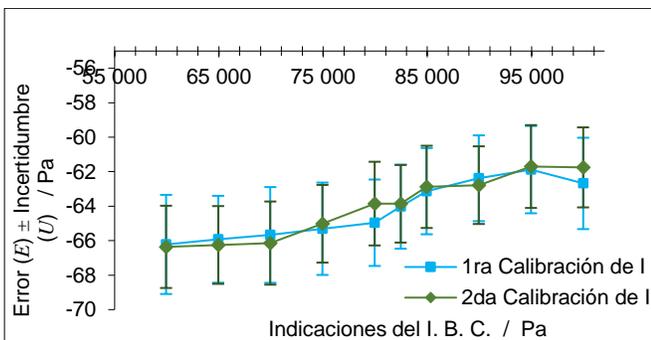
Tabla 7. Resultados de 2ª Calibración de H, I y J.

I.B.C.	IDENTIFICACIÓN		
	H	I	J
Unidad	inHg	Pa	kPa
Repetibilidad	0.000 18	0.45	0.000 9
Histéresis	0.000 34	0.99	0.002 4
Error	0.006 51	-66.36	-0.013 0
Incertidumbre expandida	0.000 75	2.4	0.003 1

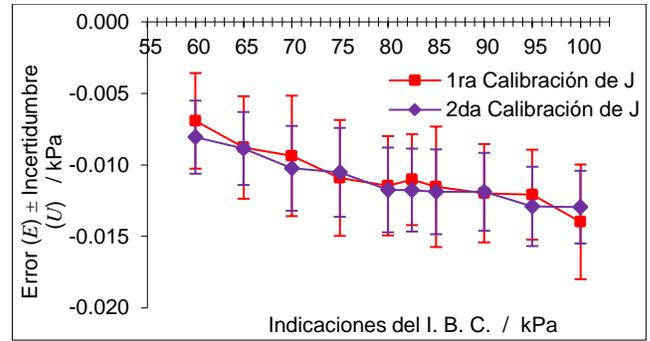
En las gráficas 3, 4 y 5, se muestran los resultados de las dos calibraciones de los instrumentos H, I y J.



Gráfica 3. Error e Incertidumbre de H.



Gráfica 4. Error e Incertidumbre de I.



Gráfica 5. Error e Incertidumbre de J.

Analizando las 3 gráficas anteriores y los resultados del error normalizado de la tabla 8, se observa que no hay una diferencia considerable que ponga en duda la calidad de los resultados de la primera calibración.

Tabla 8. Error Normalizado de H, I y J.

Punto		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H	En	-0.51	-0.6	-0.62	-0.6	-0.48	-0.6	-0.62	-0.55	-0.66	-0.52
	En	-0.04	-0.1	-0.13	0.08	0.32	0.05	0.07	-0.12	0.05	0.26
J	En	-0.27	-0.02	-0.17	0.08	-0.06	-0.2	-0.07	0.02	-0.2	0.22

En la tabla anterior no se hace referencia a una presión nominal ya que las unidades de calibración fueron diferentes para cada instrumento.

Para el caso de los equipos con la identificación K y L, calibrados con el patrón 1, los resultados de la primera calibración se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados de 1ª Calibración de K y L.

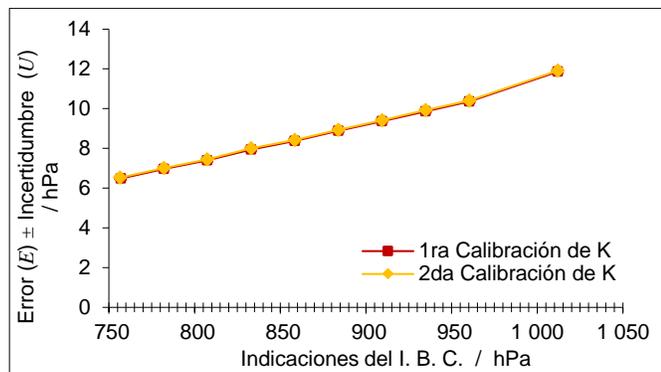
I.B.C.	IDENTIFICACIÓN	
	K	L
Unidad	hPa	hPa
Repetibilidad	0.026	0.090
Histéresis	0.022	0.151
Error	11.858	17.808
Incertidumbre Expandida	0.068	0.204

En estas mediciones se colocó una diferencia máxima de 0.001 7 kPa entre los valores de referencia de presión de ascenso y descenso. Para la segunda calibración la diferencia máxima fue de 0.000 4 kPa, obteniendo los resultados de la tabla 10.

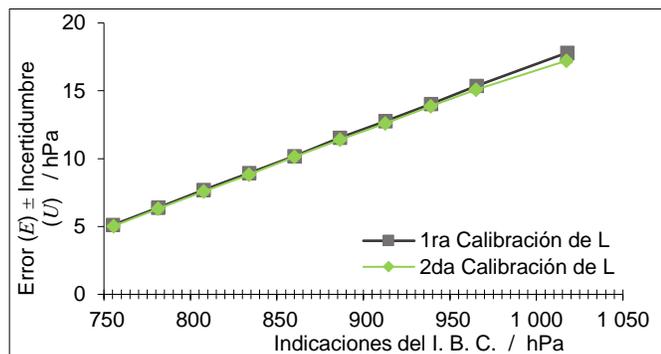
Tabla 10. Resultados de 2ª Calibración de K y L.

I.B.C.	IDENTIFICACIÓN	
	K	L
Unidad	hPa	hPa
Repetibilidad	0.002	0.056
Histéresis	0.004	0.131
Error	11.907	17.210
Incertidumbre Expandida	0.041	0.141

Finalmente en las gráficas 6 y 7, se muestra los resultados de las dos calibraciones de los instrumentos K y L.



Gráfica 6. Error e Incertidumbre de K.



Gráfica 7. Error e Incertidumbre de L.

La tabla 11 muestra los resultados del análisis del error normalizado y se confirma que la primera calibración de instrumentos K y L es confiable.

Tabla 11. Error Normalizado de H, I y J.

	K	L
PRESIÓN NOMINAL, (hPa)	E_n	E_n
750	0.70	-0.47
775	0.90	-0.41
800	0.80	-0.63
825	0.87	-0.67
850	0.79	-0.40
875	0.85	-0.67
900	0.84	-0.81
925	0.85	-0.82
950	0.99	-1.87
1 000	0.83	-3.97

Para el caso de los puntos de 950 hPa y 1 000 hPa del instrumento L, se observa que el resultado del error normalizado es no satisfactorio, pero de acuerdo al comportamiento del instrumento durante las calibraciones este suceso es inherente al equipo e indica una posible deriva.

7. CONCLUSIONES

En la calibración de barómetros con clase de exactitud igual o mayor a $\pm 0.03\%$ de la A. del I., y con una resolución superior a 0.01 kPa (10 Pa), diferencias de 0.027 kPa (27 Pa) en los valores de referencia de presión, si afectan de manera considerable la

estimación de la incertidumbre por repetibilidad, histéresis y la linealidad del instrumento.

Para los barómetros con clase de exactitud igual o menor a $\pm 0.025\%$ de la A. del I. y con resoluciones de 0.001 kPa y 0.000 1 kPa (1 Pa y 0.1 Pa), diferencias entre los valores de referencia de presión de 0.006 3 kPa (6.3 Pa), no afectan de manera significativa la estimación de la incertidumbre por repetibilidad e histéresis, en lo que se refiere a la linealidad del instrumento, está sigue siendo la misma.

En el caso de los barómetros con clase de exactitud de ± 0.40 hPa (40 Pa) y con resolución de 0.01 hPa (1 Pa), diferencias máximas en los valores de referencia de presión de 0.001 7 kPa (1.7 Pa), afectan de manera mínima la estimación de la incertidumbre por repetibilidad e histéresis, el comportamiento del instrumento sigue siendo el mismo.

Para la calibración de barómetros, independientemente de su clase de exactitud y su aplicación, se recomienda lo siguiente:

- a) Establecer correctamente los puntos de calibración.
- b) Seguir rigurosamente cada uno de los pasos del método de medición utilizado en la calibración.
- c) Al momento de realizar la medición de un punto de calibración, esperar el tiempo necesario para que la lectura del instrumento patrón y del instrumento bajo calibración se establezcan o las fluctuaciones sean mínimas, y así disminuir el impacto de la incertidumbre por repetibilidad dentro de la calibración.
- d) Colocar los valores de referencia de presión en cada una de las series de medición (ascensos, descensos) los más idénticos entre sí. Al realizar esta acción se asegura que la estimación de la incertidumbre por repetibilidad en el I. B. C. sea mínima.

8. REFERENCIAS

1. CENAM (2017). Curso “Metrología Básica de Presión”.
2. CENAM (2017). Curso “Introducción a la Metrología y a la Estimación de Incertidumbre de la Medición”.
3. NMX-EC-17043-IMNC-2010. Evaluación de la Conformidad — Requisitos Generales para los Ensayos de Aptitud.
4. OIML R 97. Recomendación Internacional. Barómetros.
5. 720-AC-P.201. Calibración de Manómetros (CENAM).