

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE MÉTODO DE CALIBRACIÓN PARA MEDIDORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL

Harley Montero Ramos, Mayckol Morales Castro

Instituto Nacional de Metrología de Colombia

RESUMEN

Se desarrolló y la validó un método de calibración para medidores de presión diferencial en el Laboratorio de Presión del Instituto Nacional de Metrología de Colombia - INM. El método desarrollado emplea un pistón como patrón principal y un segundo equipo en el cual se transfiere y monitorea la presión de línea establecida por el patrón principal. Para validar el método, se compararon los resultados de las calibraciones de un mismo ítem usando tres sistemas de medición diferentes. La validación incluyó el cálculo del error normalizado y el análisis del cociente Q , garantizando que la incertidumbre de la presión de referencia fuera adecuada.

INTRODUCCIÓN

La presión diferencial, definida como la diferencia entre dos valores de presión, es esencial en procesos industriales, destacando su importancia en la fabricación de medicamentos y dispositivos biomédicos. Diversos estudios han desarrollado métodos de calibración para medidores de presión diferencial, empleando sistemas con dos balanzas de presión, balanzas de presión gemelas o una balanza de presión absoluta con un monitor de referencia. Este trabajo busca desarrollar y validar un método de calibración que integre estas técnicas.

DETALLES EXPERIMENTALES

Se emplean tres sistemas de medición: una balanza de doble pistón Europascal EP-G25k-D, una balanza de presión absoluta DH Instruments PG7601 junto a monitor de presión de referencia - RPM (ver Figura 1) y un sistema compuesto por dos balanzas de presión similares (ver Figura 2). En cada sistema, la presión de línea P_L es generada por el pistón patrón principal y transferida a un segundo equipo, pistón o barómetro, donde se monitorea su estabilidad. Posteriormente, se generan presiones diferenciales al añadir masas al pistón principal ($P_H - P_L$).

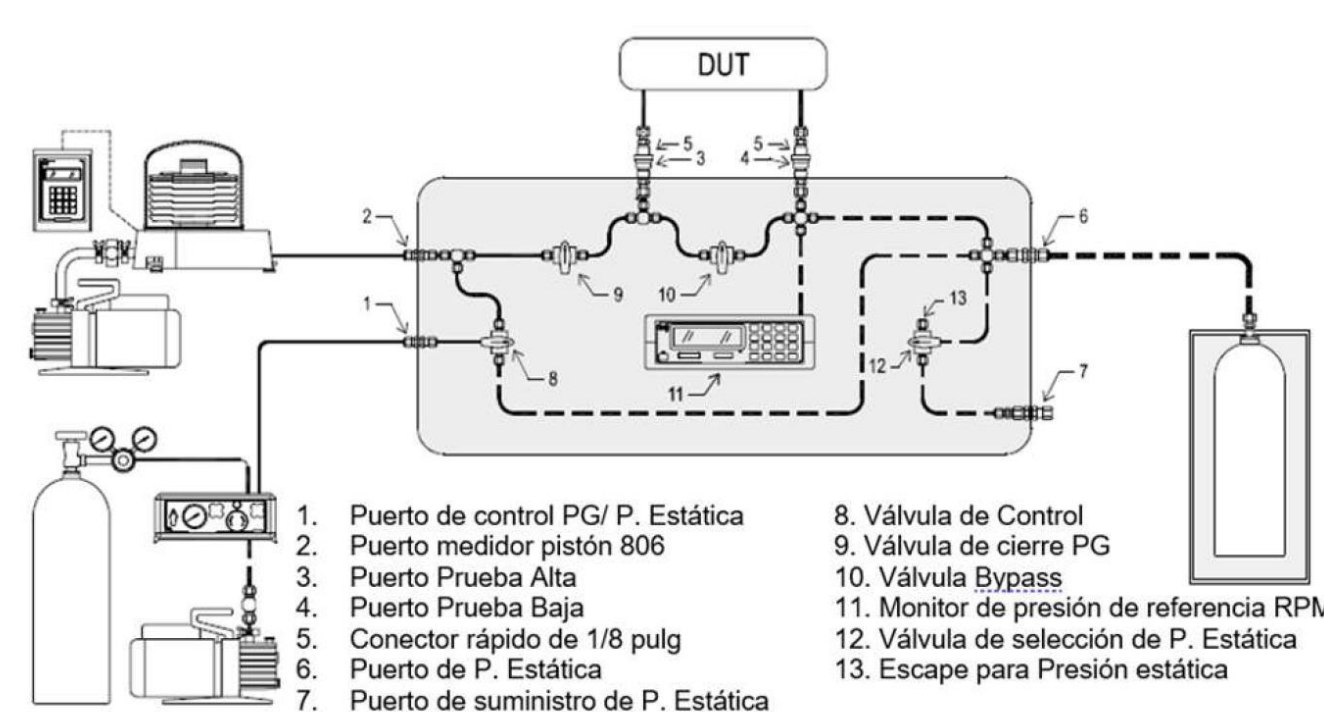


Fig. 1. Esquema para medición en modo diferencial con balanza PG7601. (Delajoud & Girard, 1999)

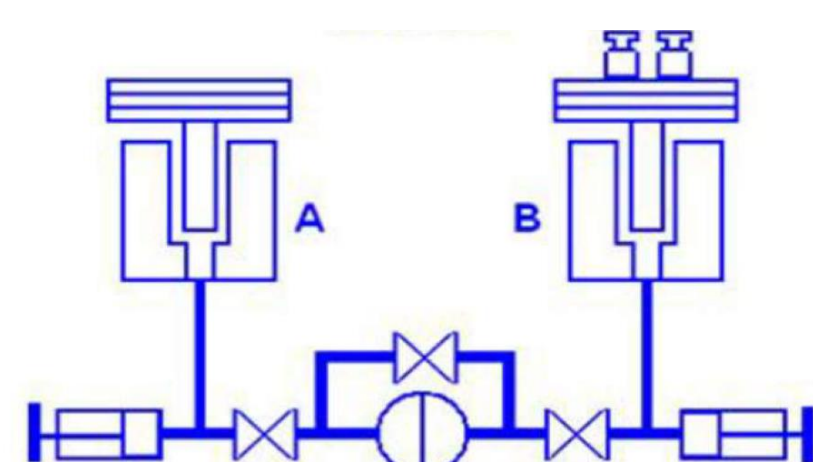


Fig. 2. Sistema de medición usando dos balanzas de presión. (Zuñiga et al., 2008)

Modelo Matemático y Estimación de Incertidumbre:

- El mensurando de la calibración es el Error de la medición (E):

$$E = P_{ind} - P_{Ref} + \delta p_{desv0} + \delta p_{rep} + \delta p_{hist}, \quad (1)$$

- La presión de referencia generada por el sistema de medición, P_{Ref} :

$$P_{Ref} = (P_H - P_L) + \delta P_{Ah} + \delta P_{\mu} + \delta P_H + \delta P_L, \quad (2)$$

- Valor de la presión debido a la masa añadida Δm cuando se usa un pistón con patrón:

$$P_H = \frac{\sum \Delta m g_l \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right)}{A_0 [1 + \alpha(t - t_0)] (1 + \lambda P_n)}, \quad (3)$$

- Incertidumbre de la presión de referencia:

$$u_{P_{Ref}} = \sqrt{u_{P_H}^2 + u_{\delta P_{Ah}}^2 + u_{\delta P_{\mu}}^2 + u_{\delta P_H}^2 + u_{P_L}^2 + u_{\delta P_L}^2} \quad (4)$$

- Incertidumbre combinada del error de la medición:

$$u_{\Delta p} = \sqrt{u_{P_{Ref}}^2 + u_{P_{ind}}^2 + u_{\delta p_{desv0}}^2 + u_{\delta p_{rep}}^2 + u_{\delta p_{hist}}^2} \quad (5)$$

METODOLOGÍA

Para validar el método de calibración se utilizó un transmisor de presión diferencial (IBC) con un alcance de 6 kPa y un Error Máximo Permissible (EMP) de 0.05 %FS. Se realizaron cuatro calibraciones al mismo ítem, comparando los resultados obtenidos con los tres sistemas de medición frente a un método estandarizado en presión manométrica, dejando el puerto de baja del IBC al aire. El análisis se basa en el cálculo del Error Normalizado (E_n). Adicionalmente, se evaluó la incertidumbre de la presión de referencia mediante el cociente Q , definido como la relación entre la incertidumbre pretendida (u_{pret}) y la incertidumbre de la presión de referencia ($u_{P_{Ref}}$), sin tener en cuenta la $u_{\delta P_{Ah}}$ porque no depende del método, lo que asegura que las contribuciones de incertidumbre del patrón y el método son adecuadas para la calibración.

$$E_n = \frac{|E_{dif} - E_{man}|}{\sqrt{U_{dif}^2 + U_{man}^2}} \quad (6)$$

Si $E_n < 1$, la prueba se considera satisfactoria.
Si $E_n \geq 1$, la prueba se considera no satisfactoria

$$Q = \frac{EMP/\sqrt{3}}{u_{P_{Ref}}} \quad (7)$$

Si $Q > 3$, la calibración se considera aceptable.
Si $Q \leq 3$, indica que el patrón o el método de medición contribuyen con incertidumbres elevadas

RESULTADOS

La gráfica de la Figura 3 ilustra los resultados de la calibración del transmisor de presión diferencial obtenidos para cada uno de los sistemas de medición evaluados, junto con los resultados de la calibración en presión manométrica.

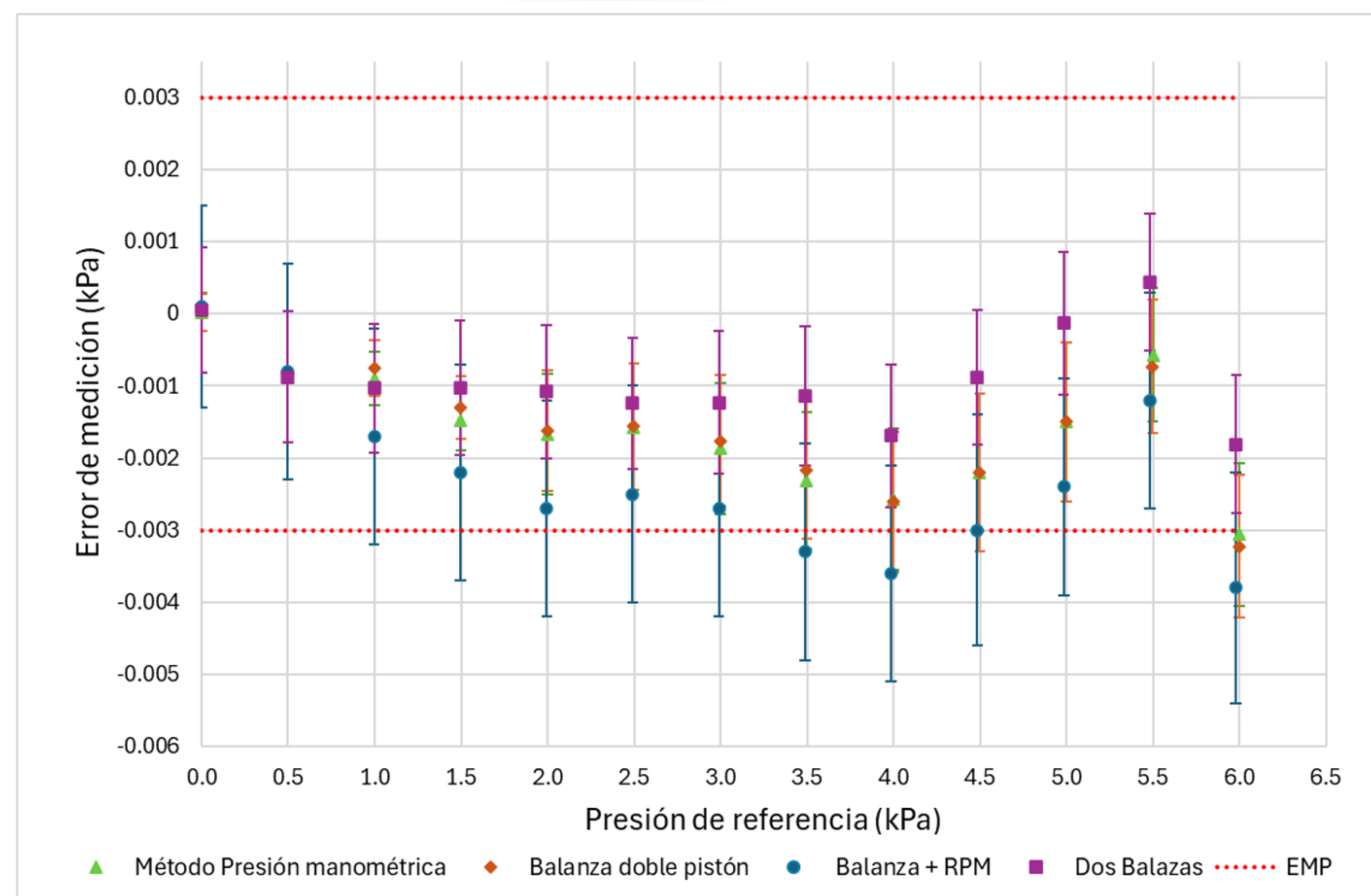


Fig. 3. Resultados de las calibraciones

Los valores de error normalizado en la Tabla 1 muestran que el sistema de balanza de doble pistón tiene el mejor desempeño, con errores consistentemente bajos, el sistema balanza + RPM presentó buenos resultados, pero gracias a una mayor incertidumbre debido a la presión de referencia. El sistema de dos balanzas mostró mayores desviaciones a partir de 3.5 kPa, pero sus resultados fueron satisfactorios. En cuanto al factor Q , tanto la balanza de doble pistón como el sistema de dos balanzas cumplieron el criterio $Q > 3$, mientras que el sistema balanza + RPM no alcanzó este valor debido al bajo alcance del IBC, 6 kPa, comparado con el alcance del pistón patrón, 350 kPa. Lo que indica que este sistema no es adecuado para presiones diferenciales bajas.

Error normalizado			
Presión Nominal (kPa)	Balanza doble pistón	Balanza + RPM	Dos balanzas
0.00	0.027	0.056	0.033
1.00	0.279	0.518	0.135
1.50	0.276	0.468	0.429
2.00	0.042	0.599	0.471
2.50	0.008	0.535	0.261
3.00	0.085	0.473	0.476
3.50	0.104	0.558	0.862
4.00	0.029	0.575	0.632
4.50	0.000	0.412	0.912
5.00	0.000	0.484	0.926
5.50	0.122	0.357	0.760
6.00	0.121	0.393	0.906

Tabla 1. Error normalizado de cada sistema

Factor de selección de patrón Q			
Presión Nominal (kPa)	Balanza doble pistón	Balanza + RPM	Dos balanzas
0.00	14	3	4
1.00	10	3	4
1.50	8	2	4
2.00	7	2	4
2.50	6	2	4
3.00	6	3	4
3.50	5	3	4
4.00	5	3	4
4.50	4	2	4
5.00	4	2	4
5.50	4	2	4
6.00	4	2	4

Tabla 2. Factor Q para cada sistema

CONCLUSIONES

Se validó un método de calibración para medidores de presión diferencial, utilizando tres sistemas de medición. El sistema de balanza de doble pistón EP-G25k-D demostró alta confiabilidad para pequeñas presiones diferenciales, mientras que el sistema de dos balanzas mostró baja incertidumbre y versatilidad. Aunque el sistema de balanza absoluta con RPM requiere ajustes para bajas presiones, es efectivo en presiones más altas y diferenciales negativas. El método desarrollado se considera válido y listo para su implementación.

REFERENCIAS

- [1] Kojima, M., Saitou, K., & Kobata, T. (2007). *International Conference on Pressure Measurement 2007*, 77-82.
- [2] Rosendahl, M., Nazareth, R. S., Magalhaes, M. R., Silva, W. S., Ferreira, P. L. S., Gouveia, J. M., Farias, M. H., Oliveira, J. S., & Couto, P. R. G. (2018). *Journal of Physics: Conference Series*, 1044(1).
- [3] Delajoud, P., & Girard, M. (1999). Technical Note 940TN02. *DH Instruments, Inc*
- [4] Yan-hua, L., & Jun-feng, S. (2012). *Acta Metrologica Sinica*, 33(6), 528-531.
- [5] Sabuga, W., Ott, O., Durgut, Y., Šetina, J., Otal, P., Medina, N., & Altintas, A. (2019). EURAMET CG 17.
- [6] Zuñiga, S., Olvera, P., & Torres, J. (2008).. *Simposio de Metrología 2008*