

CONFIABILIDAD METROLÓGICA DE UN MANÓMETRO TIPO BOURDON PARA APLICACIONES EN PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Leonardo Pérez M.¹, Fernando Pastor F.¹, Cristian Pedraza Y.¹, José Daniel H. Vásquez ^{2,3}, Iván Ibañez A.^{2,3}

¹Universidad del Atlántico, Facultad de Ingeniería - Programa de Ingeniería Mecánica

²Programa de Pós-Graduação em Metrologia, MQI/PUC-Rio

³Departamento de Engenharia Mecânica, DEM/PUC-Rio

(+57) 300 535 9991, leofdavinci@msn.com

Resumen: Este trabajo tiene como objetivo evaluar la confiabilidad metrológica de un manómetro tipo bourdon para aplicaciones en procesos de transferencia de calor. La metodología consiste en la aplicación del método de los mínimos cuadrados ordinarios para estimar un polinomio que mejor ajuste los datos experimentales. Los resultados confirmaron que es posible disminuir la incertidumbre asociada a la medición por medio de un polinomio de segundo grado. Finalmente, la confiabilidad metrológica del instrumento evaluado fue estimada en 2,41 PSI, para un nivel de confianza de 95%.

1. INTRODUCCIÓN

En diversos procesos de medición, garantizar la confiabilidad metrológica de todos los instrumentos asociados, es un anhelo para la industria y un desafío para la metrología. Por esta razón, especialistas del área han propuesto diferentes metodologías para evaluar y obtener menores incertidumbres asociadas a la medición.

En 2013, Bragantine [1] evaluó metrológicamente un banco dinamométrico para el ensayo de motores de combustión interna, mediante la aplicación del modelo Main Withney, que compara dos series de datos experimentales. Según el autor, fue posible validar para un nivel de confianza de 95%, los sensores de presión, temperatura, torque y fuerza que componen el sistema. En 2014, Hernández *et al.* [2], aplicando modelos paramétricos y no paramétricos, validaron un sistema de baterías estacionarias en una sub-estación de energía eléctrica localizada en Rio de Janeiro (Brasil), para 90, 95 y 99% de confianza.

En ese orden de ideas, el objetivo de este trabajo consistió en evaluar la confiabilidad metrológica de un manómetro tipo bourdon para aplicaciones en procesos de transferencia de calor.

2. APARATO EXPERIMENTAL

La Figura 1 ilustra el banco de prueba para el estudio del proceso de transferencia de calor por convección libre y forzada, localizado en el CELTI (Centro de Laboratorio y Talleres de Ingeniería) de la Universidad del Atlántico [3]. De igual forma, son ilustrados los instrumentos de medición en conexión

al aparato experimental, i.e.: controlador de presión, manómetro tipo bourdon (rango: 0 a 100 PSI; resolución: 2 PSI); sensor de temperatura, termómetro bimetálico (rango: 50 a 300 °F; resolución: 2 °F).

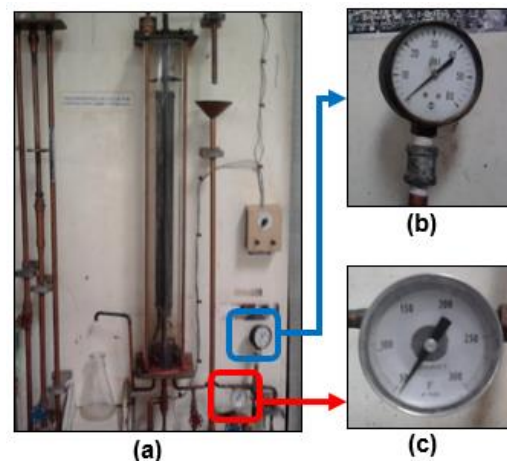


Fig. 1. (a) Aparato experimental; (b) Manómetro; (c) Termómetro bimetálico.

En términos específicos, este trabajo está centrado en evaluar la confiabilidad metrológica del manómetro tipo bourdon, que es utilizado para controlar y medir la presión manométrica del vapor en la entrada del sistema.

3. MÉTODO ESTADÍSTICO

El método de los mínimos cuadrados ordinarios (OLSM) es una de las técnicas de regresión numérica más utilizada en los procesos de calibración de instrumentos y sistemas de medición en diferentes

áreas de la industria [4]. En particular, este método consiste en estimar, un polinomio que mejor modele los datos experimentales, en función de la menor desviación media cuadrática (u_s):

$$u_s = \sum_{i=0}^n \frac{[y(x_i) - y_i]^2}{n - m - 1} \quad (1)$$

En esta expresión:

$y(x)$: variable representando el valor ajustado de la calibración; y_i : valor medido por el patrón durante la calibración; x_i : valor indicado por el instrumento durante la calibración; u_s : desviación media cuadrática; m : grado del polinomio de ajuste; n : número de puntos medidos.

4. RESULTADOS

La Tabla 1 presenta las indicaciones del patrón y del instrumento (manómetro). Adicionalmente, se presenta el valor de presión ajustada para cada grado del polinomio evaluado.

Tabla 1. Presión ajustada para cada polinomio

Puntos experimentales	Unidad (PSI)		Presión ajustada para cada polinomio (PSI)			
	Patrón	Instrumento	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4
1	0,00	0,0	-0,3	-0,2	0,0	0,0
2	5,75	6,0	5,8	5,9	5,8	5,8
3	11,90	12,0	11,9	11,9	11,8	11,8
4	17,85	18,0	18,0	18,0	17,8	17,9
5	23,95	24,0	24,1	24,0	23,9	24,0
6	30,12	30,0	30,2	30,1	30,0	30,1
7	36,20	36,0	36,2	36,2	36,0	36,2
8	42,42	42,0	42,3	42,3	42,1	42,2
9	48,45	48,0	48,4	48,4	48,0	48,2
10	54,58	54,0	54,5	54,6	53,9	54,1
11	60,53	60,0	60,6	60,7	59,6	59,9

La Tabla 2 presenta el cálculo de la desviación media cuadrática. La Tabla 3 muestra la incertidumbre expandida, para 95% de confianza.

Tabla 2. Desviación media cuadrática

Desviación media cuadrática (PSI)			
Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4
0,0066	0,0059	0,0943	0,0456

Tabla 3. Cálculo de incertidumbre de ajuste

ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE (PSI)						
Patrón	Instrumento	Desv. Med. Cuadrática	Combinada	Parámetro t-student	Expandida	Grado de confiabilidad
u_p	u_{ins}	u_s	u	t	U	%
0,050	1,155	0,0059	1,16	2,09	2,41	95,0

Finalmente, la Figura 2 ilustra la curva de calibración para el controlador de presión evaluado. Adicionalmente, se puede observar el polinomio de ajuste estimado a partir de los datos experimentales de calibración.

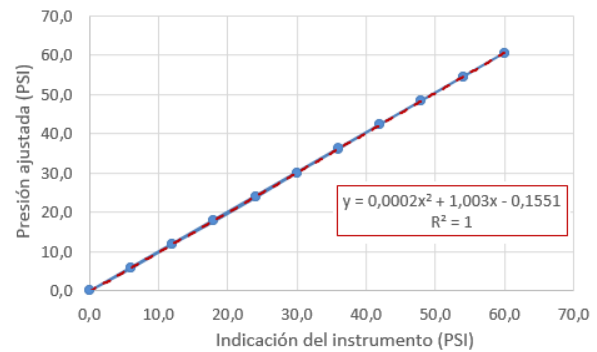


Fig. 2. Curva de calibración

5. CONCLUSIONES

Este trabajo evaluó en 2,41 PSI (Tabla 3) la confiabilidad metroológica de un manómetro tipo bourdon para aplicaciones en procesos de transferencia de calor. Los resultados fueron validados para un nivel de confianza de 95%. Adicionalmente, a partir de la aplicación del método de los mínimos cuadrados, los resultados permitieron confirmar una disminución de la incertidumbre asociada a la medición de presión, por medio del uso de una ecuación de segundo grado. Lo anterior, confirma que el mejor ajuste no necesariamente, corresponde a una ecuación de primer grado. Por lo tanto, se torna imprescindible realizar un análisis metroológico detallado, conforme descrito en este trabajo, en aras de obtener las menores incertidumbres en un proceso de calibración y medición.

REFERENCIAS

- [1] Bragantine, S. Confiabilidade metrologica de banco de dinamometrico para ensaio de motores. 2013. Dissertação de Mestrado. PósMQI. PUC-Rio, Brasil.
- [2] Hernandez, J.; Rangel, G.; Frota, M. Remote measurements of electrical quantities: a Strategy for real time monitoring of stationary Batteries. XXI IMEKO World Congress "Measurement in Research and Industry", Prague, Czech Republic, 2015.
- [3] Pérez, L.; Pastor, F. Caracterización metroológica de los bancos de pruebas en el CELTI de la Universidad del Atlántico. Trabajo de Grado en fase de conclusión. Universidad del Atlántico, Facultad de Ingeniería - Programa de Ingeniería Mecánica. 2016.
- [4] De Souza, S. V.; Junqueira, R. G. A procedure to assess linearity by ordinary least squares method. Analytica Chimica Acta, v. 552, n. 1, p. 25-35, 2005. ISSN 0003-2670.