

# FACTOR DE EMPUJE Y ACELERACIÓN DE GRAVEDAD: DOS PARÁMETROS CRÍTICOS EN LA CALIBRACIÓN DE BALANZAS

Carlos Rapalino G.<sup>1</sup>, Jorge Tapias M.<sup>1</sup>, Cristian Pedraza Y.<sup>1</sup>, José Daniel H. Vásquez <sup>2,3</sup>, Iván Ibañez A.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Atlántico, Facultad de Ingeniería - Programa de Ingeniería Mecánica

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Metrologia, PósMQI/PUC-Rio

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, DEM/PUC-Rio

(+57) 313 772 4978, carlos.rapalino@gmail.com

**Resumen:** La fundamentación de este trabajo se basa en un estudio experimental para mostrar la criticidad del factor de empuje (principio de Arquímedes) y la relación de aceleración de gravedad en el proceso de calibración de una balanza. Los resultados permitieron concluir que la consideración de estos factores, además de permitir obtener menores incertidumbres asociadas a la medición de masa, reducen en 80,28% errores sistemáticos asociados a la calibración.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Organización Internacional de Metrología Legal, en su recomendación R-76-1 (OIML R-76-1, 2006) [1], define las balanzas como instrumentos no automáticos de pesaje que requieren la intervención de un operador durante el proceso de pesaje, por ejemplo, para colocar o retirar de un reservorio una determinada masa de líquido permitiendo obtener el resultado de la medición. Para la calibración de esta tecnología se utilizan masas patrones que son clasificadas por la OIML R-111-1 (2004) [2] según su clase de exactitud, considerando el error máximo de la masa en función del valor nominal, i.e.: E1 (mayor exactitud), E2, F1, F2, M1, M2 e M3 (menor exactitud).

## 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. Relación de aceleración de gravedad (Rg)

Los instrumentos no automáticos de pesajes (balanzas) funcionan por el principio gravimétrico, es decir, el valor de la masa indicada por el instrumento depende, entre otros factores, de la aceleración de la gravedad local, que es definido en función de la latitud y altitud del local donde la medición será realizada. La Ecuación (1) presenta la expresión para el cálculo de Rg:

$$R_g = \left( \frac{g}{g_{ref}} \right) \quad (1)$$

En esta expresión, **g**: denota la aceleración de la gravedad del local de uso de la balanza; **g<sub>ref</sub>**: el valor de la aceleración de la gravedad de referencia (local de fabricación de la balanza).

### 2.2. Factor de empuje (FE)

Considerando que la masa de un objeto es determinada por un sistema localizado en un campo gravitacional dentro de una atmósfera envolvente, el resultado de la indicación de la masa es influenciado por el efecto de empuje del aire con relación a ese objeto (Figura 1) [3].

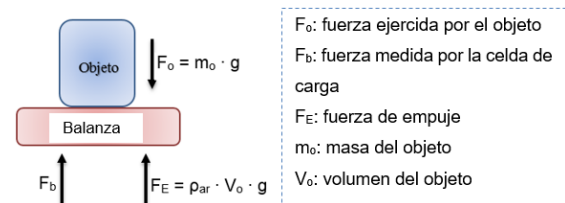


Fig. 1. Equilibrio de fuerza en una celda de carga

El factor de empuje (FE) puede ser calculado por la Ecuación (3):

$$FE = \left( 1 - \frac{\rho_{ar}}{\rho_o} \right) \quad (2)$$

### 2.3. Masa aparente

La masa aparente es definida como el valor que indica la balanza, considerando los factores debidos a la aceleración de la gravedad y del factor de empuje. Este valor es calculado dividiendo la fuerza (F), medida por la celda de carga, por el valor de la aceleración de la gravedad en el local de fabricación (**g<sub>ref</sub>**). La Ecuación (4) presenta la expresión para el cálculo de la masa aparente (**m<sub>ap</sub>**).

$$m_{ap} = \frac{F}{g_{ref}} = m_o \cdot \left( 1 - \frac{\rho_{ar}}{\rho_o} \right) \cdot \left( \frac{g}{g_{ref}} \right) \quad (4)$$

### 3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para analizar la influencia del FE y la R<sub>g</sub>, fue calibrada una balanza digital que es utilizada para investigaciones en la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad del Atlántico (Figura 2) [4].



**Fig. 2.** Balanza digital (Cap.: 1500 g; Res.: 0,01 g)

En el curso de los experimentos [4] fueron tomados 11 puntos de carga ascendente y descendente (se realizaron 10 repeticiones para cada punto), utilizando masas patrones de clase de exactitud E1

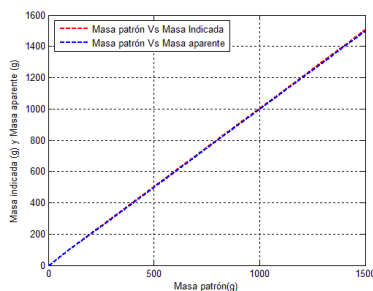
### 4. RESULTADOS

La Tabla 1 presenta los datos experimentales:

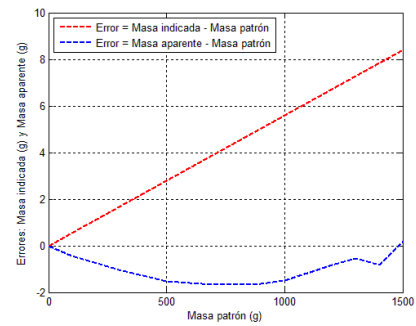
**Tabla 1.** Datos experimentales de calibración

Puntos	Patrón		Balanza		Errores	
	Masa patrón	Masa aparente	Masa indicada	Masa aparente - Masa Patrón	Masa indicada - Masa Patrón	
	g	g	g	g	g	g
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	100	99,56	100,56	-0,44	0,56	
3	300	298,95	301,68	-1,05	1,68	
4	500	498,47	502,80	-1,53	2,80	
5	700	698,32	703,92	-1,68	3,92	
6	900	898,38	905,03	-1,62	5,03	
7	1000	998,52	1005,59	-1,48	5,59	
8	1200	1199,17	1206,71	-0,83	6,71	
9	1300	1299,45	1307,27	-0,55	7,27	
10	1400	1399,18	1407,83	-0,82	7,83	
11	1500	1500,18	1508,39	0,18	8,39	
Promedio de errores absolutos (g)				0,89	4,53	
Reducción de errores (%)				80,28%		

La Figura 3 ilustra la curva de calibración de los datos experimentales. La Figura 4 ilustra la curva de errores para las dos situaciones analizadas, i.e.: considerando e ignorando el FE y la R<sub>g</sub>.



**Fig. 3.** Curva de calibración



**Fig. 4.** Curva de errores sistemáticos

Puede ser observado en los gráficos anteriores que la aplicación del FE y la R<sub>g</sub> en la calibración de balanza, reducen la formación de indeseables errores sistemáticos.

### 5. CONCLUSIONES

Este trabajo analizó la influencia del factor de empuje y la relación de gravedad en la calibración de una balanza. Los resultados permitieron confirmar una reducción hasta en 80,28% en los errores sistemáticos inherentes a la calibración, para la situación en que estos parámetros son considerados en el tratamiento estadístico de los datos. En función de lo anterior, afirmase que: (i) para mediciones de alta precisión, estos efectos (FE y R<sub>g</sub>) deben ser considerados para evitar la introducción de un indeseable error sistemático en el proceso de medición; (ii) Estos parámetro poseen mayor impacto en los instrumentos y procesos de medición que requieren alta confiabilidad metrológica (i.e.: bajas incertidumbres asociada a la medición de masa).

### REFERENCIAS

- [1] OIML R-76-1. Non-automatic weighing instruments, 2006.
- [2] OIML R-111-1. Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1–2, M2, M2–3 and M3. Part 1: Metrological and technical requirements, 2004.
- [3] ENGEL, R.; BAADE, H. J. Water density determination in high-accuracy flowmeter calibration - Measurement uncertainties and practical aspects. Flow Measurement and Instrumentation, v. 25, p. 40-53, Jun 2012. ISSN 0955-5986.
- [4] RAPALINO, C.; TAPIAS, J. Evaluación de la confiabilidad metrológica de los instrumentos no automáticos de pesaje en los laboratorios de la Universidad del Atlántico. Trabajo de Grado en fase de conclusión. Universidad del Atlántico, Facultad de Ingeniería - Programa de Ingeniería Mecánica. 2016.