

Relacionando Masas de Balanzas de Presión con Pesas de Clase OIML

Benjamín Soriano, Manuel Segura

MetAs & Metrólogos Asociados
 Jalisco 313, Centro, 49000, Jalisco, México.
 metas@metas.com.mx

RESUMEN

La balanza de presión (a menudo llamada balanza de pesos muertos) utiliza un principio de medición basado en la fuerza gravitacional de cada masa cargada, sobre un pistón de área conocida, para generar una presión dentro de un sistema hidráulico o neumático en la calibración de instrumentos de medición de presión. Cuando una balanza de presión se calibra por el método de la determinación de área efectiva, las masas deben ser calibradas para la determinación de la presión generada en la balanza de presión, en los laboratorios de calibración de pesas. Estos laboratorios son acreditados en la magnitud de masa convencional; y sus alcances están relacionados con la clasificación de pesas de OIML (Organización Internacional de Metrología Legal) entre otras. Convenientemente una relación entre las masas de las balanzas de presión y las pesas de OIML R 111-1 se puede aplicar en un procedimiento de calibración de pesas.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta la obtención de la relación entre las masas de las balanzas de presión y las pesas de OIML R 111-1, descrita en la Tabla 1 en [1].

El propósito de este trabajo es, particularmente cuando se esta estructurando la calibración, dar una guía de como determinar una relación entre las masas de las balanzas de presión y las pesas de OIML R 111-1.

En la calibración de una balanza de presión, por lo común, se utiliza el método de flotación cruzada, como se muestra en la Fig. 1.

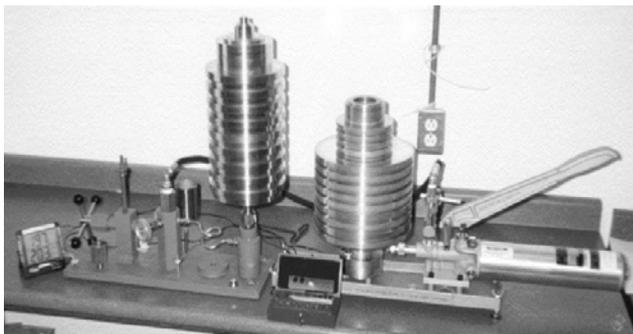


Fig. 1. Método de Flotación Cruzada.

De manera sistemática se cargan las masas sobre un sistema pistón-cilindro de área conocida de la balanza de presión, a ser calibrada, para diferentes puntos de presión. Posteriormente se ajusta la presión dentro del sistema hidráulico o neumático y enseguida se realiza un ajuste con masas

pequeñas, hasta que la condición de equilibrio de ambas balanzas de presión se logre.

En este tipo de calibración, para calcular la presión generada, es necesario conocer tres parámetros: el valor de masa del pistón con el porta masas y el de las masas individuales, el valor local de la aceleración de la gravedad y el área efectiva del ensamble pistón-cilindro. Estos parámetros invocan las dimensiones de longitud, masa y tiempo. Las tres magnitudes base del SI, de las cuales la presión es derivada, como se muestra en la Fig. 2.

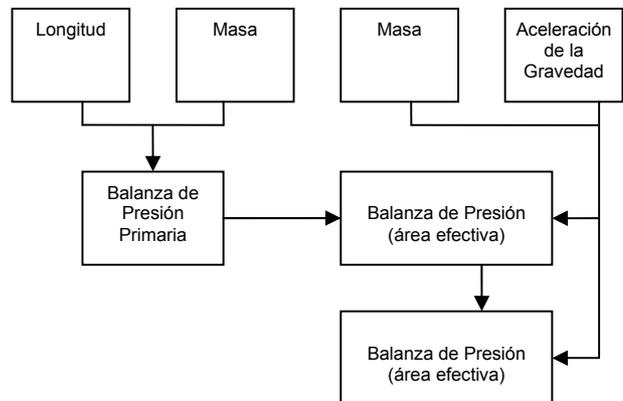


Fig. 2. Trazabilidad en Calibración por el Método de Flotación Cruzada.

Cuando una balanza de presión se calibra por el método de la determinación de área efectiva, las masas deben ser calibradas para la determinación de la presión generada en la balanza de presión, en los laboratorios de calibración de pesas.

Convenientemente las masas de las balanzas de presión pueden ser relacionadas con las pesas de OIML R 111-1, para el proceso de la selección de las pesas patrón y de los instrumentos para pesar, en el procedimiento de calibración de pesas, mediante el método de comparación por sustitución.

2. CLASE DE EXACTITUD DE LA BALANZA DE PRESIÓN

En OIML R 110 [2], las clases de exactitud de una balanza de presión son clasificadas en: (0,005), (0,01), (0,02), (0,05), (0,1) y (0,2), como son mostradas en la siguiente Tabla 1.

Los errores máximos permisibles en el intervalo de medición principal están expresados en porcentaje de la presión medida; y en el intervalo de medición suplementario en porcentaje del límite más bajo del intervalo de medida principal (0,1 *P*_{max}), si existe.

Tabla 1. Clase de Exactitud de la Balanza de Presión.

Clase de Exactitud de Balanza de Presión	Errores Máximos Permisibles	
	En todo el intervalo de medición principal (en porcentaje de la presión medida)	En todo el intervalo de medición suplementario, si existe (en porcentaje de 0,1 <i>P</i> _{max})
5·10 ⁻⁵	0,005	0,005
1·10 ⁻⁴	0,01	0,01
2·10 ⁻⁴	0,02	0,02
5·10 ⁻⁴	0,05	0,05
1·10 ⁻³	0,1	0,1
2·10 ⁻³	0,2	0,2

Probablemente un laboratorio de calibración puede tener una balanza de presión entre una clase de exactitud de 5·10⁻⁵ (0,005 % ó 50 ppm) y 1·10⁻⁴ (0,01 % ó 100 ppm).

Entonces, si el laboratorio tiene una balanza de presión de 5·10⁻⁵ y solicita una calibración de sus masas, con la más baja incertidumbre de un laboratorio de calibración de pesas, como puede ser la clase E2 de OIML R 111-1. La incertidumbre proporcionada es de 0,5·10⁻⁶ (0,000 5 % ó 0,5 ppm). Este valor en porcentaje es el 1 % de la clase de exactitud de la balanza de presión de 5·10⁻⁵ (0,005 % ó 50 ppm).

El valor de incertidumbre del 1 % es un buen valor, pero es muy difícil mantener los valores de masa dentro de este valor. Principalmente, es necesario tener cuidado con el manejo de las masas de las balanzas de presión, como si estas fueran pesas de clase E2 de OIML R 111-1.

Básicamente la incertidumbre en la determinación de medición de presión puede dividirse en el siguiente grupo de incertidumbres:

- Incertidumbre de la determinación del área efectiva (coeficiente de deformación, temperatura del área, fricción entre el pistón y el cilindro).
- Incertidumbre del valor de masa de las masas de la balanza de presión.
- Incertidumbre resultante de otras magnitudes de influencia (aceleración de la gravedad, desviación vertical, niveles de referencia, densidad del medio de presión y sensibilidad de la flotación cruzada).

Entonces el límite de exactitud de las balanzas de presión proviene especialmente de la incertidumbre de la determinación del área efectiva.

Por lo tanto, un 10 %, de la clase de exactitud de la balanza de presión, es favorablemente mejor que 1 %, porque el manejo de las masas de las balanzas de presión es más fácil.

3. RELACIÓN ENTRE MASAS DE BALANZA DE PRESIÓN Y PESAS DE CLASE OIML

En OIML R 111-1 [3], las clases de exactitud de pesas son clasificadas en: E2, F1, F2 hasta M3, con los errores máximos permisibles (en miligramos), como son mostradas en la Tabla 2.

Tabla 2. Errores Máximos Permisibles OIML R 111-1 en miligramos.

Clase de Pesas	Errores Máximos Permisibles (mg)				
	10 kg	5 kg	1 kg	100 g	10 g
E2	16	8	1,6	0,16	0,06
F1	50	25	5	0,5	0,2
F2	160	80	16	1,6	0,6
M1	500	250	50	5	2
M2	1 600		160	16	6
M3	5 000	2500	500	50	20

Alternativamente en la Tabla 3, son mostradas las clases de exactitud de las pesas E2, F1, F2 hasta

M3, con los errores máximos permisibles (en relativo del valor nominal).

Tabla 3. Errores Máximos Permisibles OIML R 111-1 en relativo del valor nominal.

Clase de Pesas	Errores Máximos Permisibles (en relativo del valor nominal, g/g)	
	10 kg, 5 kg, 1 kg, 100 g	10 g
E2	$0,16 \cdot 10^{-5}$	$0,6 \cdot 10^{-5}$
F1	$0,5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
F2	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$
M1	$5 \cdot 10^{-5}$	$20 \cdot 10^{-5}$
M2	$16 \cdot 10^{-5}$	$60 \cdot 10^{-5}$
M3	$50 \cdot 10^{-5}$	$200 \cdot 10^{-5}$

Los valores nominales típicos de las masas de las balanzas de presión son valores como: 10 kg, 5 kg, 1 kg, 100 g y 10 g.

Para analizar la relación de las masas de balanzas de presión con las pesas de clase de OIML, como ejemplo, se toma una pesa, de un valor nominal, de 1 kg de clase F2 de OIML R 111-1, que coincide con un valor típico de las masas de las balanzas de presión.

En las Tablas 2 y 3, se describe que la pesa de 1 kg de clase F2, tiene un error máximo permisible de 16 mg ó $1,6 \cdot 10^{-5}$ (0,001 6 % ó 16 ppm).

Por otra parte, la incertidumbre expandida de la pesa de 1 kg de clase F2, debe ser menor que o igual a 1/3 de su error máximo permisible, como esta descrita en [3].

Entonces su incertidumbre expandida debe ser menor que o igual a $0,53 \cdot 10^{-5}$ (0,000 53 % ó 5,3 ppm), esto representa el 10% del valor de exactitud de la balanza de presión de $5 \cdot 10^{-5}$, mencionada anteriormente.

3.1. OIML R 111-1 y OIML R 110

En OIML R 110 [2], los errores máximos permisibles, en relativo del valor nominal, de las masas de las balanzas de presión, son mostrados en la Tabla 4. Estos errores máximos permisibles son aproximadamente el 10 % de la clase de exactitud.

Relacionando los errores máximos permisibles de las Tablas 3 y 4, se forma la siguiente Tabla 5.

Tabla 4. Errores Máximos Permisibles de las Masas, OIML R 110.

Clase de Exactitud de Balanza de Presión	Errores Máximos Permisibles (en relativo del valor nominal, g/g) clase para el ajuste de las masas de la balanza de presión (OIML R 110)
$5 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$
$1 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$
$1 \cdot 10^{-3}$	$16 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^{-3}$	$16 \cdot 10^{-5}$

Tabla 5. Relación entre OIML R 111-1 y OIML R 110.

Clase de Exactitud de Balanza de Presión	Errores Máximos Permisibles (en relativo del valor nominal, g/g) clase para el ajuste de las masas de la balanza de Presión (OIML R 110)	Clase de Pesas OIML R 111-1	Errores Máximos Permisibles (en relativo del valor nominal, g/g)
$5 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$	F1	$0,5 \cdot 10^{-5}$
$1 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	F2	$1,6 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	F2	$1,6 \cdot 10^{-5}$
$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	M1	$5 \cdot 10^{-5}$
$1 \cdot 10^{-3}$	$16 \cdot 10^{-5}$	M2	$16 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^{-3}$	$16 \cdot 10^{-5}$	M2	$16 \cdot 10^{-5}$

En la Tabla 5, el ejemplo de la pesa de 1 kg de clase F2 de OIML R 111-1, tiene una relación con las balanzas de presión con una clase de exactitud de $1 \cdot 10^{-4}$ (0,01 % ó 100 ppm).

Debido a que su error máximo permisible de $1,6 \cdot 10^{-5}$ (0,001 6 % ó 16 ppm), es muy aproximado al error máximo permisible de $1,5 \cdot 10^{-5}$ (0,001 5 % ó 15 ppm) en OIML R 110.

En la edición de OIML R 111-1 de 1994, el valor de $1,6 \cdot 10^{-5}$ (0,001 6 % ó 16 ppm) fue $1,5 \cdot 10^{-5}$ (0,001 5 % ó 15 ppm).

3.2. OIML R 111-1 y EAL-G26

En EAL-G26 (Cooperación Europea para la acreditación de Laboratorios) [4], la incertidumbre relativa en la determinación de masa no debe usualmente exceder el 20 % de la incertidumbre de medición total de la balanza de presión.

En OIML R 111-1 [3], para cada pesa, su incertidumbre expandida de masa convencional, debe ser menor que o igual a 1/3 de su error máximo permisible.

Entonces, el error máximo permisible de las masas de las balanzas de presión con relación a las pesas de OIML R 111-1, es igual a:

$$Error_{MáxPermisible} = 3 * IncertTotal_{Bal\ Pr\ esión} * 0,2 \quad (1)$$

Y en OIML R 110 [2], la incertidumbre de medición total de la balanza de presión no debe exceder la mitad del error máximo permisible.

Entonces, el error máximo permisible de las masas de las balanzas de presión en función de su clase de exactitud, es igual a:

$$Error_{MáxPermisible} = 3 * \frac{ClaseExactitud_{Bal\ Pr\ esión}}{2} * 0,2 \quad (2)$$

Los errores máximos permisibles, en relativo del valor nominal, de las masas de las balanzas de presión, aplicando la ecuación (2), son mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6. Errores Máximos Permisibles de las Masas, EAL-G26.

Clase de Exactitud de Balanza de Presión	Errores Máximos Permisibles $3 * (Cl.Exact./2) * 0,2$ (EAL-G26)
$5 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
$1 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$
$5 \cdot 10^{-4}$	$15 \cdot 10^{-5}$
$1 \cdot 10^{-3}$	$30 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^{-3}$	$60 \cdot 10^{-5}$

Relacionando los errores máximos permisibles de las Tablas 3 y 6, se forma la Tabla 7, en la que el ejemplo de la pesa de 1 kg de clase F2 de OIML R 111-1, tiene una relación con las balanzas de

presión con una clase de exactitud de $1 \cdot 10^{-4}$ (0,01 % ó 100 ppm).

Debido a que su error máximo permisible de $1,6 \cdot 10^{-5}$ (0,0016 % ó 16 ppm), es un valor menor que el error máximo permisible de $3 \cdot 10^{-5}$ (0,0030 % ó 30 ppm) en EAL-G26.

Tabla 7. Relación entre OIML R 111-1 y EAL-G26.

Clase de Exactitud de Balanza de Presión	Errores Máximos Permisibles $3 * (Cl.Exact./2) * 0,2$ (EAL-G26)	Clase de Pesas OIML R 111-1	Errores Máximos Permisibles (en relativo del valor nominal, g/g)
$5 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	F2	$1,6 \cdot 10^{-5}$
$1 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	F2	$1,6 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	M1	$5 \cdot 10^{-5}$
$5 \cdot 10^{-4}$	$15 \cdot 10^{-5}$	M2	$16 \cdot 10^{-5}$
$1 \cdot 10^{-3}$	$30 \cdot 10^{-5}$	M2	$16 \cdot 10^{-5}$
$2 \cdot 10^{-3}$	$60 \cdot 10^{-5}$	M3	$50 \cdot 10^{-5}$

4. DIFERENCIAS ENTRE OIML R 110 y EAL-G26

En la serie de datos con marcador en estilo de triángulo en la Fig. 3, se muestra que los errores máximos permisibles de OIML R 110, están de acuerdo con los errores máximos permisibles, de las pesas de 100 g a 10 kg de OIML R 111-1.

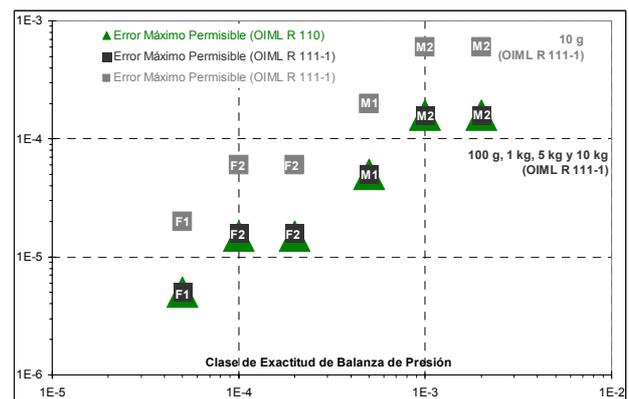


Fig. 3. Errores Máximos Permisibles OIML R 111-1 y OIML R 110.

Y en la mejor clase de balanza de presión como $5 \cdot 10^{-5}$ (0,005 % ó 50 ppm), sus masas deben tener un error máximo permisible clase F1 de OIML R 111-1.

Con respecto a los errores máximos permisibles, en relativo del valor nominal, de la pesa de 10 g, se muestra que, son más grandes que los de las pesas de 100 g a 10 kg.

Prácticamente esta diferencia no es un problema importante, porque el total de masas cargadas sobre el pistón de la balanza de presión es mucho mayor que 10 g.

En la serie de datos con marcador en estilo de triángulo en la Fig. 4, se muestra que los errores máximos permisibles de EAL-G26, están de acuerdo con 4 de 6 errores máximos permisibles, de las pesas de 100 g a 10 kg de OIML R 111-1.

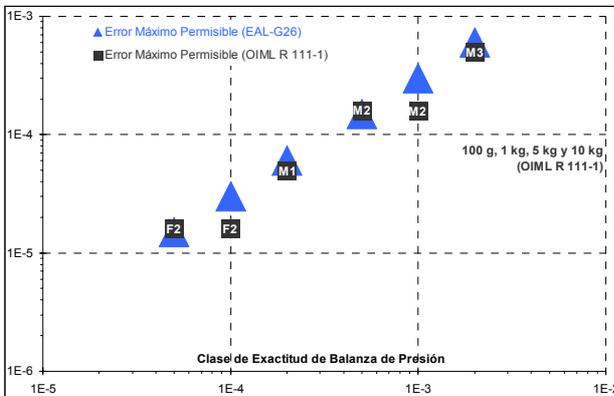


Fig. 4. Errores Máximos Permisibles OIML R 111-1 y EAL-G26.

Y en la mejor clase de balanza de presión como $5 \cdot 10^{-5}$ (0,005 % ó 50 ppm), sus masas deben tener un error máximo permisible clase F2 de OIML R 111-1.

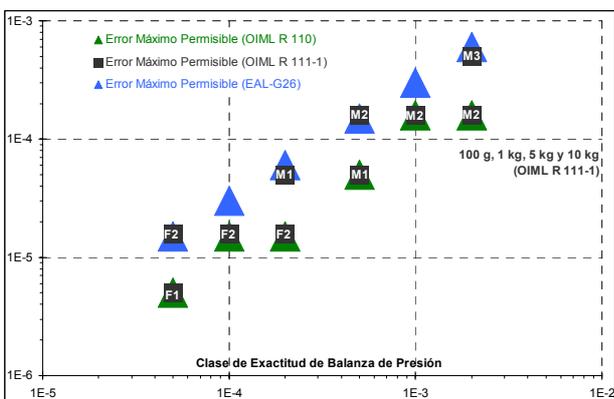


Fig. 5. Errores Máximos Permisibles OIML R 111-1, OIML R 110 y EAL-G26.

En la Fig. 5, los errores máximos permisibles en EAL-G26 son mayores que los de OIML R 110, debido a que considera un porcentaje mayor de incertidumbre de la masa en la incertidumbre de medición total de la balanza de presión, mientras en OIML R 110 es un porcentaje menor.

El documento [5] tiene los mismos requerimientos que OIML R 110, con los errores máximos permisibles de las masas de las balanzas de presión.

5. CONCLUSIONES

Las clases F1, F2, M1, M2 y M3 de pesas de OIML R 111-1 están de acuerdo con el error máximo permisible de las balanzas de presión.

Las Tablas 5 y 7 se pueden emplear para relacionar entre las masas de las balanzas de presión y las pesas de OIML R 111-1. Considerando, el porcentaje de la incertidumbre de la masa con respecto a la incertidumbre de medición total de la balanza de presión llega a ser diferente y el límite de exactitud de las balanzas de presión proviene especialmente de la incertidumbre de la determinación del área efectiva.

Conceptualmente es útil relacionar la incertidumbre de determinación de las masas de la balanza de presión con las declaradas en OIML R 111-1 en función de la clase de exactitud de las balanzas de presión. No así en todos los casos relacionado con la exactitud, dado que la OIML R 110 en su apartado 4.8 aclara que para las balanzas de presión de máxima exactitud no necesariamente se debe cumplir con los errores máximos permisibles de las masas, mostrados en la Tabla 4, si se utiliza los valores de masa para calcular la presión generada.

Las masas con un error máximo permisible clase F1 y F2 de OIML R 111-1 son las más utilizadas en las balanzas de presión con mayor clase de exactitud de la Tabla 1.

REFERENCIAS

[1] Soriano, Benjamín, Segura, Manuel, *Considerations in Mass Calibration of Pressure Balance Weights*, IMEKO 20th TC3, 3rd TC16 and 1st TC22 International Conference, 27th to 30th November, 2007. Mérida, Mexico.

[2] OIML R 110, *Pressure Balance, International Organization of Legal Metrology*, (1994).

- [3] 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, International Organization of Legal Metrology*, (2004).
- [4] EAL-G26, *Calibration of Pressure Balances, European Cooperation of Accreditation of Laboratories*, (1997).
- [5] NT-MECH-009, *Pressure Balances*, Nordtest Method, (1987).