

Documento Técnico: Indicaciones de las balanzas y masa

[Francisco García L.](#)

El objetivo del presente documento es explicar algunos aspectos básicos de las mediciones; en particular trata sobre el uso de las balanzas para la determinación de la masa de los objetos en actividades de laboratorio para las que se requiere de alta exactitud.

Las balanzas son instrumentos que actualmente han alcanzado un gran nivel de exactitud y es imposible pensar que un laboratorio pueda prescindir de ellas; sin embargo son pocos los usuarios que tienen presente que las balanzas no miden masa, sino de manera mucho más exacta una magnitud que se denomina “masa convencional” [1].

La diferencias entre los valores de masa y los indicados por las balanzas depende fundamentalmente de la densidad de los objetos cuya masa interesa determinar, siendo esta igual a 0 si la densidad del objeto es 8000 kg/m³ o un poco más de 0,1% si la densidad es igual a la del agua.

En caso que se esté trabajando con líquidos y otros objetos de densidad diferente a 8000 kg/m³ es recomendable evaluar la conveniencia de aplicar o no una fórmula para convertir los valores indicados por la balanza a masa.

Al hacer esta evaluación tenga presente que en muchos procedimientos especificados en las normas muy probablemente se asume que la masa es igual a la indicación de la balanza y así debe proceder para obtener resultados comparables. Le recomendamos que aplique éste documento solamente en aquellos casos en los que realmente requiera realizar mediciones de alta exactitud y explícitamente la norma de medición que utilice realiza la distinción entre “masa”, “masa convencional” e “indicación de la balanza”. Si no es así, muy probablemente no necesitará aplicar las indicaciones que aquí se entregan; en todo caso la conveniencia de considerar estas indicaciones quedan bajo su criterio y responsabilidad.

Masa e indicación de una balanza

A partir de la indicación de una balanza, i , el valor de masa se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$m = i \frac{\left(1 - \rho_o / \rho_c\right) \left(1 - \rho_a^B / \rho_B\right)}{\left(1 - \rho_a / \rho\right) \left(1 - \rho_o / \rho_B\right)} \quad (1)$$

Donde,

i es la indicación de la balanza para el objeto de masa m y densidad ρ [g]
 m es la masa del objeto [g]

- ρ es la densidad del objeto [g/cm³]
- ρ_o es la densidad del aire convencional que por definición es igual a 0,0012 g/cm³
- ρ_a es la densidad del aire durante la ejecución de las mediciones [g/cm³]. Comúnmente se determina en los laboratorios de calibración según lo indicado en el Anexo E.3 de [2]
- ρ_c es la densidad convencional que por definición es igual a 8 g/cm³
- ρ_B es la densidad de la pesa utilizada en el ajuste de la balanza [g/m³], ya sea interna o externa. El ajuste de la balanza es una operación a la típicamente los fabricantes de los equipos llama “autocalibración”, en todo caso, no se trata de una calibración, sino un ajuste.
- ρ_a^B es la densidad del aire durante el ajuste de la balanza [g/cm³]

Si se realiza el ajuste¹ de la balanza poco antes de las mediciones, podemos asumir que $\rho_a^B = \rho_a$ y así tendremos:

$$m = i \frac{\left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_c}\right) \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_B}\right)}{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho}\right) \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_B}\right)} \quad (2)$$

A modo de ejemplo si tomamos un objeto de densidad igual a 8 g/cm³, de masa 100 g y lo pesamos en una balanza que ha sido ajustada con una pesa de densidad igual a 8 g/cm³ con una densidad del aire igual a 0,001125 g/cm³, que corresponde aproximadamente a la densidad del aire en Santiago, tendremos:

$$m = 100 \frac{\left(1 - \frac{0,0012}{8}\right) \left(1 - \frac{0,001125}{8}\right)}{\left(1 - \frac{0,001125}{8}\right) \left(1 - \frac{0,0012}{8}\right)} = 100 \text{ g}$$

Mientras que si tomamos otro objeto de densidad igual a 0,7 g/cm³ (por ejemplo: un derivado del petróleo), de masa 100 g y lo medimos en las mismas condiciones tendremos:

$$m = 100 \frac{\left(1 - \frac{0,0012}{8}\right) \left(1 - \frac{0,001125}{8}\right)}{\left(1 - \frac{0,001125}{0,7}\right) \left(1 - \frac{0,0012}{8}\right)} = 100,1469 \text{ g}$$

¹ El ajuste de la balanza corresponde a la operación que típicamente se denomina en los manuales de los instrumentos como “auto-calibración”, para la cual se usa una pesa interna o externa. Tenga presente que no se trata de una calibración, sino de un ajuste de acuerdo al Vocabulario Internacional de Metrología.

En el gráfico 1, a continuación, se resume la situación anterior para distintos valores de densidad del objeto.

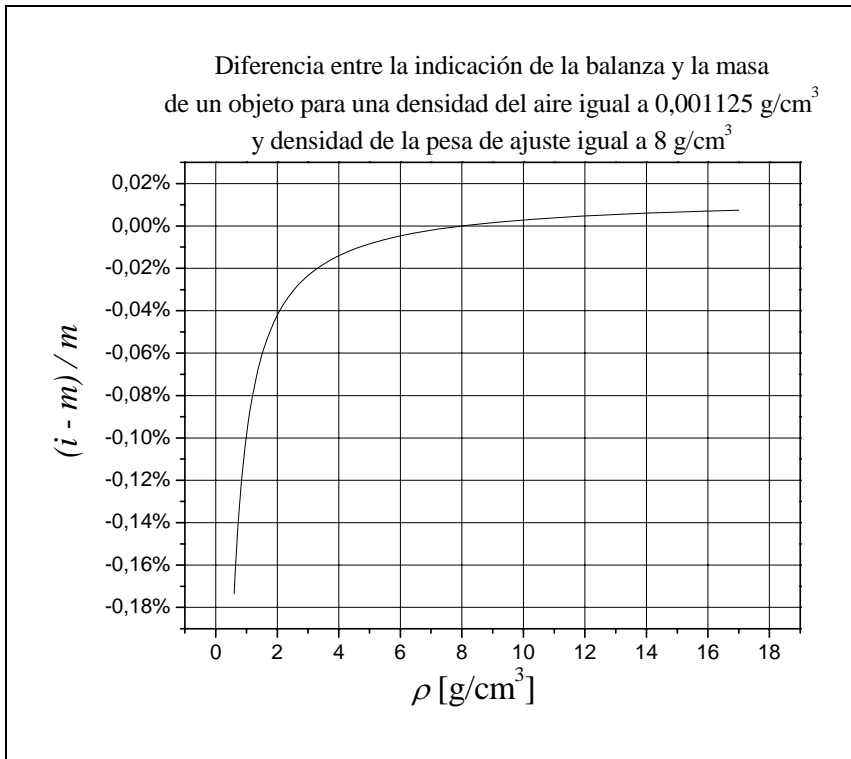


Gráfico 1

Masa convencional e indicación de una balanza

La relación entre la masa convencional, m_c , y la indicación de la balanza, i , está dada por la siguiente relación:

$$m_c = i \frac{\left(1 - \frac{\rho_o}{\rho}\right) \left(1 - \frac{\rho_a^B}{\rho_B}\right)}{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho}\right) \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_B}\right)} \quad (3)$$

Si se realiza el ajuste de la balanza poco antes de las mediciones, podemos asumir que $\rho_a^B = \rho_a$ y así se obtiene:

$$m_c = i \frac{\left(1 - \frac{\rho_o}{\rho}\right) \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_B}\right)}{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho}\right) \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_B}\right)} \quad (4)$$

El gráfico 2 muestra como el valor indicado por una balanza, por cada valor de densidad de un objeto, difiere muchísimo menos del valor de masa convencional que el de masa y esta es una de las principales razones por la cual las balanzas se calibran con patrones que se calibran en masa convencional.

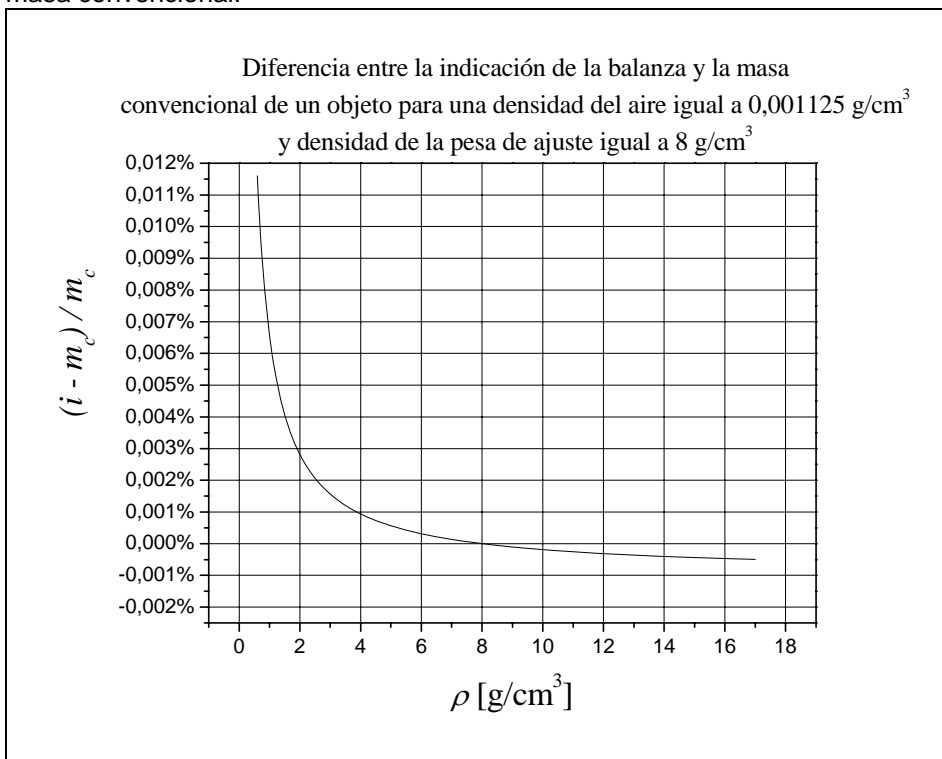


Gráfico 2

Por otra parte las determinaciones de masa convencional con balanzas no son tan afectadas por distintos valores de densidad del aire, como si ocurre en el caso de masa.

Masa y masa convencional

Si realiza el cuociente entre las ecuaciones (1) y (3) es posible obtener la relación a partir de la cual se define la masa convencional (5):

$$\begin{aligned}
 \frac{m_c}{m} &= \frac{i \frac{\left(1 - \frac{\rho_o}{\rho}\right) \left(1 - \frac{\rho_a^B}{\rho_B}\right)}{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho}\right) \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_B}\right)}}{i \frac{\left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_c}\right) \left(1 - \frac{\rho_a^B}{\rho_B}\right)}{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho}\right) \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_B}\right)}} = \frac{\left(1 - \frac{\rho_o}{\rho}\right)}{\left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_c}\right)} \\
 m_c &= \frac{\left(1 - \frac{\rho_o}{\rho}\right)}{\left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_c}\right)} m \quad (5)
 \end{aligned}$$

La definición de masa convencional es la siguiente: La masa convencional de un cuerpo, m_c , es igual a la masa m de un patrón de densidad $\rho_c = 8 \text{ g/cm}^3$ que equilibra en el aire a dicho cuerpo en condiciones tales que la temperatura del aire es $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y su densidad $\rho_o = 0,0012 \text{ g/cm}^3$

Esta definición ha sido fundamental para un comercio internacional sin controversias por pesajes realizados bajo distintas condiciones de densidad del aire y densidad de los objetos. Si se pretendiera que las balanzas midan masa, sería necesario contar con patrones de masa de la misma densidad que los objetos cuya masa interese determinar, lo que no es práctico.

Finalmente, en el archivo [balanzas_y_masa.xls](#) se entregan algunas herramientas de cálculo (los datos se introducen en las celdas amarillas, el resto de las celdas corresponde a texto, constantes o fórmulas).

- Hoja 1: Ecuación (2).
- Hoja 2: Gráficos de ecuaciones (2) y (4).
- Hoja 3: Densidad del aire y su incertidumbre de acuerdo a Anexo E.3 de [2]
- Hoja 4: Ecuación (2) e incertidumbre a partir de los parámetros que son relevantes medir en el laboratorio.

Referencias

- [1] [OIML D 28: 2004 \(E\) Conventional value of the result of weighing in air](#)
- [2] [OIML R 111-1: 2004 \(E\) Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 and M3 Part 1: Metrological and technical requirements](#)