



MANUAL GENERAL DE
MEDICIONES
DE MASAS

Por: Dr-Ing. Fidel Fernández



visite:
www.messen.com.ve

NOMBRE DEL CURSO: MEDICIONES DE MASA
ELABORADO POR: FIDEL FERNÁNDEZ

Copyright© Messen C.A. 2005

Autoedición

*Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización
escrita de MESSEN C.A.*

INDICE

| | |
|--|-----------|
| Introducción | 4 |
| Capítulo 1 | 5 |
| <i>CONCEPTOS Y DEFINICIONES</i> | 5 |
| <i>Concepto de Masa</i> | 5 |
| <i>Concepto de Peso</i> | 6 |
| <i>Determinación de la Masa en los Cuerpos</i> | 7 |
| <i>Empuje del Aire</i> | 8 |
| <i>Masa Convencional</i> | 8 |
| <i>Masa Aparente</i> | 8 |
| Capítulo 2 | 10 |
| <i>MEDIDAS MATERIALIZADAS DE MASA</i> | 10 |
| <i>Terminología</i> | 10 |
| <i>Características Físicas de las Pesas</i> | 13 |
| <i>CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS DE LAS PESAS</i> | 17 |
| <i>INCERTIDUMBRE (U)</i> | 18 |
| <i>CALIBRACIÓN DE PESAS</i> | 19 |
| <i>Procedimiento para la Calibración de Pesas</i> | 20 |
| Capítulo 3 | 23 |
| <i>INSTRUMENTOS DE PESAR</i> | 23 |
| <i>TERMINOLOGÍA</i> | 23 |
| <i>Instrumentos de Pesar No Automáticos</i> | 24 |
| Capítulo 4 | 28 |
| <i>MÉTODOS DE MEDICIÓN DE MASA</i> | 28 |
| Capítulo 5 | 29 |
| <i>USO CORRECTO DE BALANZAS ANALITICAS Y MICROBALANZAS</i> | 29 |
| <i>ELECCION DEL EMPLAZAMIENTO DE UNA BALANZA</i> | 29 |
| <i>MESA DE PESAR</i> | 31 |
| <i>MANEJO DE LA BALANZA</i> | 31 |
| <i>ERRORES DE PESADAS DEBIDOS A EFECTOS FISICOS</i> | 34 |
| Capítulo 6 | 37 |
| <i>ESQUEMA DE TRANSMISION DE LA UNIDAD DE MASA</i> | 37 |
| BIBLIOGRAFIA | 39 |

Introducción

Una de las magnitudes físicas fundamentales es la Masa. Desde los tiempos más remotos, el hombre sintió la necesidad de medir la masa de los cuerpos, fundamentalmente con vistas a las transacciones comerciales.

La masa de un cuerpo es una magnitud caracterizada alternativamente por: La fuerza que actúa sobre un cuerpo cuando este se encuentra en un campo gravitacional de intensidad dada, La aceleración que adquiere un cuerpo cuando actúa sobre él una fuerza determinada.

El desarrollo de la técnica y las necesidades de la producción y del comercio, han traído como consecuencia la creación de una gran diversidad de instrumentos de pesar desde las balanzas de brazos iguales hasta las modernas balanzas electrónicas que tenemos en la actualidad.

CONCEPTOS Y DEFINICIONES

La masa es una de las magnitudes físicas fundamentales de la mecánica. El concepto de masa, tal y como aparece en la mecánica clásica, fue introducido en la física por el físico-matemático inglés Isaac Newton en el año de 1687. Newton consideraba que la masa era una medida de la cantidad de materia en los cuerpos, y la definía como el producto de la densidad por el volumen. Esta definición, que reinó durante algún tiempo, fue anulada en tiempos posteriores, ya que la densidad es la relación entre la masa y el volumen.

Concepto de Masa

El concepto de masa, como el de cualquier otra magnitud física, puede establecerse estudiando las leyes generales y objetivas de las relaciones mutuas de esta magnitud con otras magnitudes físicas. Con respecto a la masa, una de estas relaciones mutuas la expresa la ley de la inercia. Hay que tener en cuenta al hablar de la inercia de los cuerpos, que estos se diferencian entre sí por cierta propiedad objetiva que se revela en la adquisición de diferentes aceleraciones, siendo iguales las acciones exteriores a que se someten. Esta propiedad inherente a todos los cuerpos la caracteriza una determinada magnitud física: **La Masa**.

Un contenido más amplio del concepto de masa se revela al examinar un conjunto de hechos. Uno de los fundamentales es la ley de la gravitación universal por Newton en 1687.

Partiendo de las leyes antes indicadas se puede dar la siguiente definición de la magnitud física de masa: **La masa caracteriza la cantidad de materia en los cuerpos y es una medida de las propiedades inerciales y gravitacionales de estos.**

Matemáticamente, el segundo principio de la mecánica se expresa:

$$F = m \cdot a$$

es decir, que la fuerza que actúa sobre un cuerpo es igual a la masa de este multiplicada por la aceleración que se le imprime.

De la expresión anterior resulta que

$$m = \frac{F}{a}$$

De esta se deduce que, conociendo el valor de la fuerza (F) que actúa sobre un cuerpo y el valor de la aceleración (a), podemos determinar su masa. Pero este procedimiento no es muy preciso.

La ley de gravitación universal se expresa por la relación:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Donde:

F = fuerza con que se atraen los cuerpos.

$m_1 \cdot m_2$ = producto de la masa de dos cuerpos diferentes.

r = distancia entre los dos cuerpos.

G = constante de gravitación universal.

Como podemos observar, la magnitud masa forma parte de dos leyes fundamentales e independientes una de otra: la segunda ley de Newton y la ley de gravitación universal.

En la segunda ley de Newton, la masa es la medida de las propiedades inerciales de los cuerpos. En la ley de gravitación universal, esta es una medida de la propiedad de los cuerpos que crea campos de gravitación y está sometida a la acción de estos campos.

Concepto de Peso

Una consecuencia inmediata de la gravitación universal, observada en la superficie de la tierra es el peso de los cuerpos. Se **denomina Peso de un cuerpo: a la fuerza con la cual es atraído por la Tierra**, presiona sobre el apoyo o “tracciona” del hilo del que este cuelga (en el caso en que el apoyo o colgante son inmóviles respecto a la tierra, el peso del cuerpo es igual a la fuerza de gravedad).

El peso, como cualquier otra fuerza, es una magnitud vectorial. La dirección de este vector es la dirección de la fuerza de gravedad, o sea, hacia el centro de la Tierra.

La fuerza de gravedad se puede expresar de la forma siguiente:

$$F = G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

Donde:

M = masa de la Tierra.

m = masa del cuerpo.

r = distancia del centro de gravedad del cuerpo al centro de la Tierra.

G = constante denominada, constante gravitacional.

De esta manera, la fuerza de gravedad de un mismo cuerpo es dependencia del lugar de la superficie terrestre donde este se encuentre, a causa de que la tierra, por su forma geométrica, se aproxima a un elipsoide de revolución, será diferente, disminuyendo a medida que se aleja de los polos hacia el Ecuador, ya que r respecto a los polos es menor que r respecto al Ecuador.

Determinación de la Masa en los Cuerpos

Los instrumentos de medir masa son medios que sirven para la determinación de la masa de los cuerpos y son muy solicitados; existe una gran variedad de tipos y formas constructivas de dichos instrumentos.

Para la comprensión más fácil se hará una descripción del más simple y más viejo de los aparatos para pesar: la balanza simple.

La balanza simple (fig. 1) tiene como partes esenciales la palanca o astil y el cuchillo (O) llamado cuchillo central, fijado en el centro de la palanca. A distancias iguales del vértice del cuchillo central se encuentran dos cuchillos (A y B), llamados cuchillos marginales. En los vértices de estos dos cuchillos están suspendidos los platos (2) de la balanza, por medio de unos tirantes de soporte (3) y de unas piezas llamadas bridas (4). Una aguja indicadora (5) unida con el astil, se desplaza delante de una escala graduada (6) que permite señalar su posición.

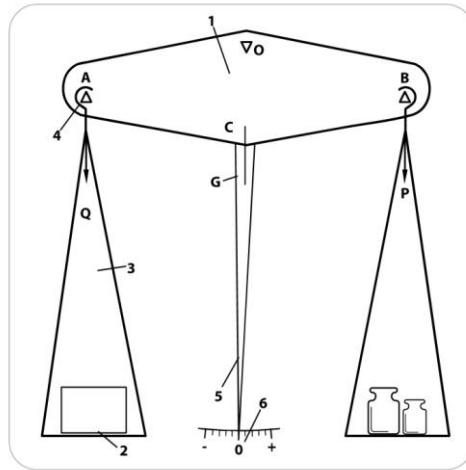


Fig.1 – Partes esenciales de una balanza simple

Otros instrumentos de pesar de mucha utilización son las básculas que tienen dos o más palancas. En una o dos de ellas (palancas receptoras de carga) se ubica el dispositivo receptor de carga, es decir, aquella parte del instrumento en la cual se carga el cuerpo cuya masa debe ser determinada.

La fuerza representada por el peso de este cuerpo, está generalmente reducida por las palancas receptoras de carga y transmitida a una palanca, llamada palanca de equilibrio, con la cual se equilibra la masa del cuerpo respectivo. Es decir, también en las básculas, instrumentos con varias palancas, la determinación de la masa de un cuerpo se hace al final en una sola palanca.

Todos los instrumentos para pesar con palancas determinan directamente la masa de los cuerpos.

Empuje del Aire

El aire es un fluido, como tal, ejerce una fuerza de empuje sobre todos los objetos que rodea actuando contra la atracción gravitacional.

El empuje del aire es consecuencia directa del principio de Arquímedes que dice que cualquier objeto inmerso en un fluido (aire en este caso), experimenta una pérdida de peso igual al peso del fluido que desplaza el objeto medido.

$$f = \rho_a \cdot V \cdot g$$

Por ejemplo: Una pesa de acero inoxidable de 1 kg con un volumen de 125 cm³, y una densidad de aire de 1,2 kg.m⁻³, se ejerce una fuerza de empuje 150 mg sobre la pesa de acero inoxidable y si la densidad de aire varía entre 1,1 kg.m⁻³ y 1,3 kg.m⁻³, es equivalente a un cambio de ± 12,5 mg en el peso de la pesa de acero inoxidable.

Masa Convencional

La recomendación internacional OIML D 28 esencialmente provee un conjunto de condiciones de referencia, las cuales definen la masa aparente, masa convencional o valor convencional del resultado del peso en el aire de una pesa, a 20 °C, como la masa “real” de una pesa de referencia de densidad 8 000 kg.m⁻³, que justamente se balancea cuando la densidad de aire es 1,2 kg.m⁻³ (aire de composición típica, exactamente a 20 °C, presión atmosférica de 1 013,25 hPa), y una humedad relativa de 50% hr). En la práctica estas condiciones no se realizarán exactamente y pequeñas correcciones matemáticas para temperatura, densidad del material y densidad del aire tendrán que ser aplicadas para presentar los resultados de manera hipotética con aire “normal” bajo condiciones “perfectas”.

Masa Aparente

La masa aparente de un objeto, es la masa que, a condiciones ambientales (20 °C, y densidad del aire de 1,2 kg.m⁻³), ejerce la misma fuerza sobre un instrumento para pesar como la misma de una masa de un material de referencia de densidad especificada. La densidad especificada son 8 000 kg.m⁻³ (aproximadamente la densidad del acero inoxidable), y 8 390,9 kg.m⁻³ (20 °C, aproximadamente la densidad del bronce) que corresponden a las dos escalas de masa en uso actual.

El bronce fue el material más común para las pesas de los laboratorios estableciendo la densidad de referencia de 8 400 kg.m⁻³, estableciendo una nueva densidad de referencia. En el mundo real, la densidad ideal de 8 000 kg.m⁻³ es raramente realizado. La mayoría de las pesas de acero inoxidable tienen densidades de 7 840 a 7 950 kg.m⁻³, aunque algunas de las nuevas pesas en el mercado están muy cercas a la densidad ideal de 8 000 kg.m⁻³.

La masa de un cuerpo relaciona la cantidad de materia que contiene, y no existe diferencia entre masa y masa real. La palabra “real” es algunas veces adheridos a la palabra masa donde es importante hacer claro que un valor particular de masa no es masa convencional y particularmente importante para evitar esta ambigüedad potencial.

Masa es una medida de la cantidad de materia que tiene un objeto, siendo directamente relacionado al número y tipo de átomo que se presentan en un objeto. La masa no cambia con la posición del cuerpo, movimiento o alteración de su forma al menos que material es adherido o removido.

MEDIDAS MATERIALIZADAS DE MASA

Las medidas materializadas de masa se dividen normalmente en dos categorías: **patrones y certificadas**. En este capítulo las medidas de masa serán denominadas en lo adelante pesas. Las pesas certificadas son aquellas que satisfacen ciertos requisitos legales referidos a sus características físicas y Metrológicas que nos permiten acotar sus errores dentro de ciertos límites especificados.

Los requisitos legales de la OIML (Organización Internacional de Metrología Legal) se establecen en las recomendaciones internacionales siguientes:

- RI No.111-1 (2004) Pesas de Clases de Precisión E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} Y M_3 . Requerimientos Técnicos y Metrológicos
- RI No. 111 -2 (2004) Pesas de Clases de Precisión E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} Y M_3 .

Requerimientos Técnicos y Metrológicos. Formato del Reporte de Prueba

- D-28. (2004). Valor Convencional del Pesado en aire.
- RI No.47 (1979). Pesas Patrones para la Calibración de instrumentos de gran capacidad.

Lo que veremos a continuación se refiere a las pesas certificadas con valor nominal de 1 mg a 50 kg; pero de manera excepcional hablaremos de pesas con valores nominales mayores que 50 kg.

Terminología

PESA: Medida materializada de masa, regulada de acuerdo a sus características físicas y metrológicas: forma, dimensiones, material, calidad de la superficie, valor nominal y error máximo permitido.

CLASE DE EXACTITUD DE LA PESAS: Clase de pesas que satisfacen determinados requisitos metrológicos que tienen como objetivo mantener los errores dentro de límites especificados.



JUEGO DE PESAS: Serie de pesas presentada generalmente en una caja con un arreglo tal que permita pesar todas las cargas entre la masa correspondiente a la pesa de menor valor nominal y la suma de las masas de todas las pesas con una progresión tal que la masa de la pesa de menor valor nominal constituya el peso mínimo de la serie.



MASA CONVENCIONAL: Valor convencional del resultado de la pesada en el aire. La masa convencional de una pesa a 20 °C, es la masa de una pesa de referencia de densidad 8 000 kg/m³ que ella equilibra en el aire de densidad 1,2 kg/m³.



Fig. 2.2.-Juego de Pesas

INCERTIDUMBRE DE MEDICION: Estimado que caracteriza al rango de valores en que se encuentra el valor verdadero de una medida

Clasificación y Uso de las Pesas

Las pesas se clasifican en siete (09) clases de exactitud, designadas como **E₁**, **E₂**, **F₁**, **F₂**, **M₁**, **M₁₋₂**, **M₂**, **M₂₋₃** y **M₃**. En la tabla 1 se muestran los valores de la desviación máxima permitida con respecto al valor nominal de las pesas. Para la incertidumbre de la determinación de la masa se exigen valores tres veces menores que los errores máximo permitidos.

En la tabla 1 puede verse que una pesa de valor nominal (m_o) 1 kg certificada según la clase **E₂** tiene una desviación máxima permitida (δm) de $\pm 1,6$ mg y le corresponde una incertidumbre (U) no mayor que 0,53 mg; lo que significa que su masa (m) satisface la condición.

$$m_o - (\delta m - U) \leq m_c \leq m_o + (\delta m - U)$$

| Nominal value* | Class E ₁ | Class E ₂ | Class F ₁ | Class F ₂ | Class M ₁ | Class M ₁₋₂ | Class M ₂ | Class M ₂₋₃ | Class M ₃ |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| 5 000 kg | | | 25 000 | 80 000 | 250 000 | 500 000 | 800 000 | 1 600 000 | 2 500 000 |
| 2 000 kg | | | 10 000 | 30 000 | 100 000 | 200 000 | 300 000 | 600 000 | 1 000 000 |
| 1 000 kg | | 1 600 | 5 000 | 16 000 | 50 000 | 100 000 | 160 000 | 300 000 | 500 000 |
| 500 kg | | 800 | 2 500 | 8 000 | 25 000 | 50 000 | 80 000 | 160 000 | 250 000 |
| 200 kg | | 300 | 1 000 | 3 000 | 10 000 | 20 000 | 30 000 | 60 000 | 100 000 |
| 100 kg | | 160 | 500 | 1 600 | 5 000 | 10 000 | 16 000 | 30 000 | 50 000 |
| 50 kg | 25 | 80 | 250 | 800 | 2 500 | 5 000 | 8 000 | 16 000 | 25 000 |
| 20 kg | 10 | 30 | 100 | 300 | 1 000 | | 3 000 | | 10 000 |
| 10 kg | 5.0 | 16 | 50 | 160 | 500 | | 1 600 | | 5 000 |
| 5 kg | 2.5 | 8.0 | 25 | 80 | 250 | | 800 | | 2 500 |
| 2 kg | 1.0 | 3.0 | 10 | 30 | 100 | | 300 | | 1 000 |
| 1 kg | 0.5 | 1.6 | 5.0 | 16 | 50 | | 160 | | 500 |
| 500 g | 0.25 | 0.8 | 2.5 | 8.0 | 25 | | 80 | | 250 |
| 200 g | 0.10 | 0.3 | 1.0 | 3.0 | 10 | | 30 | | 100 |
| 100 g | 0.05 | 0.16 | 0.5 | 1.6 | 5.0 | | 16 | | 50 |
| 50 g | 0.03 | 0.10 | 0.3 | 1.0 | 3.0 | | 10 | | 30 |
| 20 g | 0.025 | 0.08 | 0.25 | 0.8 | 2.5 | | 8.0 | | 25 |
| 10 g | 0.020 | 0.06 | 0.20 | 0.6 | 2.0 | | 6.0 | | 20 |
| 5 g | 0.016 | 0.05 | 0.16 | 0.5 | 1.6 | | 5.0 | | 16 |
| 2 g | 0.012 | 0.04 | 0.12 | 0.4 | 1.2 | | 4.0 | | 12 |
| 1 g | 0.010 | 0.03 | 0.10 | 0.3 | 1.0 | | 3.0 | | 10 |
| 500 mg | 0.008 | 0.025 | 0.08 | 0.25 | 0.8 | | 2.5 | | |
| 200 mg | 0.006 | 0.020 | 0.06 | 0.20 | 0.6 | | 2.0 | | |
| 100 mg | 0.005 | 0.016 | 0.05 | 0.16 | 0.5 | | 1.6 | | |
| 50 mg | 0.004 | 0.012 | 0.04 | 0.12 | 0.4 | | | | |
| 20 mg | 0.003 | 0.010 | 0.03 | 0.10 | 0.3 | | | | |
| 10 mg | 0.003 | 0.008 | 0.025 | 0.08 | 0.25 | | | | |
| 5 mg | 0.003 | 0.006 | 0.020 | 0.06 | 0.20 | | | | |
| 2 mg | 0.003 | 0.006 | 0.020 | 0.06 | 0.20 | | | | |
| 1 mg | 0.003 | 0.006 | 0.020 | 0.06 | 0.20 | | | | |

Tabla 1. Errores Máximos Permitidos para Masa ($\pm \delta m$ en mg)

USO

Las pesas pueden ser utilizadas:

Para la Calibración de instrumentos de Masa:

- Las pesas E_2 y F_1 son usadas para la calibración de balanzas **Clase I**.
- Las pesas F_2 y M_1 son usadas para la calibración de balanzas **Clase II**.
- Las pesas M_1 , M_{1-2} , M_2 y M_{2-3} son usadas para la calibración de balanzas **Clase III**.
- Las pesas M_3 son usadas para la calibración de balanzas **Clase IIII**.

La clase de exactitud de las pesas utilizadas para la calibración de los instrumentos de pesar se determina a partir de la exactitud de los instrumentos de pesar como veremos en los capítulos posteriores, siguiendo el criterio general para las mediciones de masa de relacionar la exactitud del patrón y el instrumento que se desea calibrar en el orden 1 a 3.

Para la Calibración de pesas de inferior clase de exactitud. Las pesas:

- E_1 son utilizadas para asegurar la trazabilidad entre los patrones nacionales de masa (con valores derivados del prototipo Internacional del kilogramo) y para la calibración de pesas E_2 .
- E_2 son utilizadas para la calibración de pesas F_1 .
- F_1 son utilizadas para la calibración de pesas F_2 .
- F_2 son utilizadas para la calibración de pesas M_1 y posiblemente M_2 .
- M_1 son utilizadas para la calibración de pesas M_2 .
- M_2 son utilizadas para la calibración de pesas M_3 .

Conjuntamente con los instrumentos de pesar.

E_2 y F_1 son utilizadas conjuntamente con instrumentos de pesaje clase I.

F_2 son utilizadas en transacciones comerciales importantes (oro, piedras preciosas) conjuntamente con los instrumentos de pesaje clase II.

M_1 son utilizadas conjuntamente con los instrumentos de pesaje clase II.

4. M_2 , M_{1-2} y M_{2-3} son utilizadas en transacciones comerciales corrientes conjuntamente con instrumentos de pesaje clase III.

5. M_3 son utilizadas conjuntamente con los instrumentos de pesaje Clase III.

Características Físicas de las Pesas

Forma de las Pesas

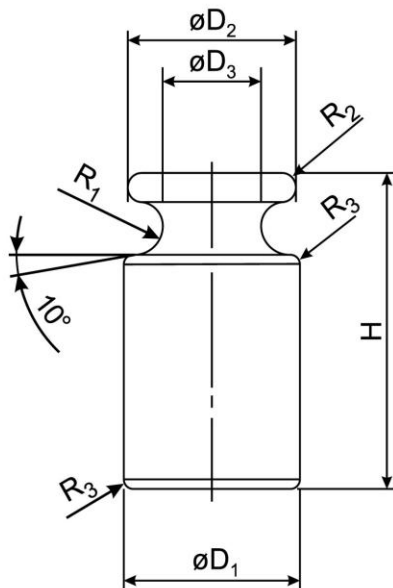
Las pesas deben tener una forma geométrica simple que facilite su fabricación, bordes redondeados para evitar deterioro y no deben tener huecos pronunciados. Las pesas de un juego dado, deben tener la misma forma excepto para las pesas de 1 g o menores.

PESAS MENORES O IGUALES A 1 g: deben ser láminas poligonales planas o alambres con formas apropiadas que permitan una fácil manipulación. Las formas deben indicar el valor nominal de las pesas (ver tabla 2).

| Valores Nominales (mg) | Láminas Poligonales | Alambres |
|------------------------|---------------------|-------------------------|
| 5, 50, 500 | pentágono | pentágono ó 5 segmentos |
| 2, 20, 200 | cuadrado | cuadrado ó 2 segmentos |
| 1, 10, 100, 1 000 | triángulo | triángulo ó 1 segmento |

PESAS 1g hasta 50 kg: Las pesas de 1 g pueden tener formas múltiples de 1 g de pesas o la forma de submúltiplo.

Las pesas pueden tener formas cilíndricas o ligeramente cónicas



La altura del cuerpo debe ser aproximadamente igual al diámetro medio; la altura debe estar entre $\frac{3}{4}$ y $\frac{5}{4}$ de ese diámetro. Estas pesas también pueden fabricarse con una cabeza de sujeción que tenga una altura entre el diámetro medio y la mitad del diámetro del cuerpo. Además de las formas anteriores, las pesas de 5 a 50 kg pueden tener una forma diferente adecuada al método de manipulación, en lugar de la cabeza de sujeción. Pueden tener dispositivos rígidos de manipulación integrados al cuerpo de la pesa, o sea, ejes, agarraderas o similares.

PESAS MAYORES O IGUALES A 50 kg: Las pesas mayores a 50 kg pueden tener formas ligeramente rectangulares y cilíndricas, pueden tener una forma diferente adecuada al método de manipulación, en lugar de la cabeza de sujeción. Pueden tener dispositivos rígidos de manipulación integrados al cuerpo de la pesa, o sea, ejes, agarraderas o similares.

CONSTRUCCIÓN

PESAS DE LAS CLASES E₁ Y E₂: Las pesas de 1 mg a 50 kg deben ser macizas y no deben tener cavidad abierta a la atmósfera. Deben tener una construcción integral, o sea, conformadas por una sola pieza de un mismo material. En las pesas mayores a 50 kg tiene cavidad de ajuste. El volumen de esta cavidad no excede a 1/1000 del volumen total de las pesas

PESAS DE LAS CLASES F₁ Y F₂: de 1 g a 50 kg pueden conformarse con una o dos piezas de un mismo material y pueden tener cavidad de ajuste, cuyo volumen no exceda de un cuarto del volumen total de la pesa y la cavidad se debe cerrar mediante una cabeza de sujeción u otro dispositivo adecuado. Las pesas mayores a 50 kg también consiste en una caja ensamblada de varias piezas pueden tener cavidad de ajuste, cuyo volumen no exceda de 1/20 del volumen total de la pesa y la cavidad se debe cerrar mediante una cabeza de sujeción u otro dispositivo adecuado

PESAS DE LA CLASE M₁: de 100 g a 50 kg son de tipo cilíndricas y deben tener cavidad de ajuste obligatoria. Para pesas de 1g a 50 g la cavidad es opcional pero se recomienda que las pesas de 1 g a 10 g se fabriquen sin cavidad de ajuste.

Las pesas de 5 kg a 50 kg con forma paralelepípedicas deben tener cavidad de ajuste y tienen que ser selladas mediante un tapón roscado con ranura para destornillador; su volumen no debe ser mayor de 1/5 del volumen total de la pesa.

PESAS DE LAS CLASES M₂ Y M₃: de 100 g a 50 kg deben tener cavidad de ajuste. Para las pesas de 20 g y 50 g la cavidad de ajuste es opcional y las menores a 10 g deben ser macizas sin cavidad de ajuste.

Las pesas de 5 kg a 50 kg con forma paralelepípedicas deben tener cavidad de ajuste y tienen que ser selladas mediante un tapón roscado con ranura para destornillador o moldeadas en el interior de uno de los extremos verticales de la pesa, abierta hacia un lado o hacia la cara superior.

Las pesas mayores a 50 kg no tienen ninguna cavidad que pueda causar rápida acumulación polvo o residuos. También consiste en una caja ensamblada de varias piezas pueden tener cavidad de ajuste, cuyo volumen no exceda de un decimo del volumen total de la pesa.

MATERIAL

Las pesas deben ser resistentes a la corrosión. La calidad del material debe ser tal que el cambio en la masa de las pesas sea despreciable con respecto a los errores máximos permitidos para su clase de exactitud en condiciones normales de uso.

PESAS DE LAS CLASES E₁ Y E₂: El metal o aleación deben ser prácticamente no magnéticos (susceptibilidad magnética que no exceda $K=0,01$ (E₁) y $K=0,03$ (E₂). La dureza del material y su resistencia al desgaste debe ser similar o mejor que la del acero austenítico.

PESAS DE LAS CLASES F₁ Y F₂: El metal o aleación deben ser prácticamente no magnéticos (susceptibilidad magnética que no exceda $K=0,05$. La dureza y fragilidad del material debe ser por lo menos igual a las del latón.

PESAS DE LAS CLASES M₁, M₂ Y M₃: El material usado para las pesas paralelepípedicas debe tener una resistencia a la corrosión y fragilidad por lo menos igual a la del hierro fundido.

DENSIDAD

La densidad del material usado para las pesas debe ser tal que una desviación del 10% alrededor de la densidad especificada del aire ($1,2 \text{ kg/m}^3$) no produzca un error que exceda de $\frac{1}{4}$ del valor absoluto del error máximo permitido

CONDICIONES DE SUPERFICIE

La superficie de las pesas debe ser lisa y sin poros con un acabado tal que no propicie la aparición de errores excesivos por depósitos de polvo y otras partículas en condiciones normales de uso.

Las pesas M₁, M₂ y M₃ deben tener un acabado superficial similar al hierro fundido moldeado en arena, sin poros ni grietas, lo que puede lograrse aplicando una pintura adecuada.

AJUSTE

PESAS DE CLASE E₁ Y E₂: se deben ajustar por abrasión, esmerilado u otro método apropiado. Al final del proceso se deben cumplir los requisitos para la superficie.

PESAS DE CLASE F₁ Y F₂: las piezas que son macizas se deben ajustar por abrasión, esmerilado u otro método apropiado que no altere la superficie. Las pesas con cavidad de ajuste se deben ajustar con el mismo material de fabricación o con latón, molibdeno o tungsteno.

PESAS DE CLASE M₁, M₂ Y M₃: las piezas paralelepípedicas se deben ajustar empleando materiales metálicos densos como los perdigones de plomo.

Las pesas cilíndricas de 1 g a 50 g sin cavidad de ajuste se deben ajustar removiendo el material o esmerilándolas.

Las pesas laminadas y alambres de 1 mg a 1 g se deben ajustar mediante corte, abrasión o esmerilado.

PRESENTACIÓN

Los valores nominales de la masa de las pesas deben ser iguales a 1×10^n kg; 1×10^n ó 5×10^n kg, donde n representa un número entero positivo, negativo o cero.

La secuencia de un juego de pesas debe tener una de las siguientes composiciones:

- (1; 1; 2, 5) x 10^n kg
- (1; 1; 1; 2; 5) x 10^n kg
- (1; 2; 2; 5) x 10^n kg
- (1; 1; 2; 5) x 10^n kg

Las pesas pertenecientes a un mismo juego deben ser de la misma clase de exactitud.

CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS DE LAS PESAS

La masa de las pesas se indica mediante tres valores: el valor nominal (m_o), la desviación con respecto al valor nominal (Δm) y la incertidumbre (U):

$$M = m_o + \Delta m + U$$

VALOR NOMINAL (m_o)

El valor nominal se indica como un número entero en el cuerpo de las pesas excepto para las E_1 y E_2 y ya vimos que la figura es un indicador del valor nominal de los submúltiplos de 1 g.

Las pesas que se duplican en un juego se marcan con un punto o un asterisco y los submúltiplos de 1 g en forma de alambre se marcan doblando sus extremos.

DESVIACION RESPECTO AL VALOR NOMINAL (Δm)

La desviación con respecto al valor nominal puede ser consecuencia del ajuste de la pesa, del desgaste durante el uso o la incorporación de partículas al cuerpo de la pesa incluso en forma de capas de adsorción.

Para evitar desgaste durante el uso hay que tomar todas las precauciones durante la manipulación. Las pesas de mayor exactitud se manipulan con guantes de algodón o con pinzas apropiadas. Por otra parte la limpieza de las pesas antes de su certificación permite

eliminar suciedades e incluso las capas de adsorción que pueden llegar a ser del orden de 10^{-7} (100 Δg en 1 kg).

INCERTIDUMBRE (U)

La incertidumbre en la determinación de la masa de la pesa se puede expresar en términos de la desviación típica de los resultados de las mediciones, de la combinación de las componentes aleatorias y sistemáticas del error (incertidumbre combinada) o como un producto de la incertidumbre combinada y un factor que depende del nivel de confianza utilizado (incertidumbre expandida).

Para las pesas certificadas la incertidumbre expandida (con factor de cobertura $K=2$; nivel de confianza del 95%) debe ser menor o igual que $1/3$ de la desviación máxima permitida.

La certificación de las pesas consiste en la determinación de la conformidad de sus características con los requisitos técnicos y metrológicos que hemos visto. Ello implica la determinación del valor de masa con la exactitud requerida de acuerdo a la clase para la que se concibe la pesa.

Las tres fuentes principales de incertidumbre en la certificación de las pesas son:

1. *Su ajuste.*
2. *Los patrones empleados.*
3. *El proceso de medición.*

Durante el ajuste de las pesas aparece un error que no puede eliminarse. El ajuste deja de realizarse cuando el error no excede de $1/3$ del error máximo permitido para la clase y valor nominal de que se trate. Por otra parte, el error en el valor de la masa de los patrones, que tampoco puede eliminarse, debe ser tres veces menor que el que se exige para la pesa que se desea certificar.

La otra tercera parte del error de la pesa que se certifica le corresponde al proceso de medición en el que intervienen los siguientes factores:

- a) *El instrumento de medición.*
- b) *El operador.*
- c) *El procedimiento de medición.*
- d) *Las condiciones ambientales.*

Las balanzas es el instrumento por excelencia para la certificación de las pesas. Cuando la balanza se emplea como comparador de masas, los errores de linealidad y de calibración son despreciables con respecto a su Repetibilidad. Por eso el factor más importante a tener en cuenta es su variabilidad máxima (V_{max}) que se establece como un múltiplo de su desviación típica. La balanza a emplear para la certificación de una pesa debe ser tal que su V_{max} sea menor o igual que $1/3$ del error de la pesa que se desea certificar.

La balanza debe operarse por personal adiestrado de modo que se minimicen los errores sistemáticos debidos a su intervención. Los comparadores modernos cuentan con dispositivos para la colocación automática de las pesas sobre el receptor de carga que permiten disminuir considerablemente los errores introducidos por el operador durante la carga y descarga manual.

Los procedimientos de medición que se emplean para la certificación de las pesas son: sustitución (Borda o Mendeleev) y transposición (Gauss). Ambos procedimientos permiten disminuir considerablemente los errores que afectan la repetibilidad de la balanza.

La variación de las condiciones ambientales influye de manera considerable en la balanza. La afectación en las pesas que se comparan deben tenerse en cuenta y corregirse. La temperatura, la presión atmosférica, la humedad y la composición del aire se incluyen en la corrección por empuje del aire. Los cambios de temperatura generan cambios en el sistema de pesar.

CALIBRACIÓN DE PESAS

MANIPULACIÓN DE LAS PESAS

La manipulación de las pesas de Alta Exactitud desde E1 a F2, debe hacerse solo con:

- Pinza con extremo de marfil, material sintético o plástico.
- Horquillas de madera
- Tela de limpieza sin pelusa y libre de grasas.
- Guantes de tela de color claro, preferiblemente blancos y guantes de látex.



Limpieza de las Pesas Patrones

Antes de la calibración y también de su uso, las pesas deben estar limpias y libres de polvo, los cuales se remueven con un paño de tela suave y/o pinceles.

Las manchas deberán en lo posible removerse con un algodón mojado en alcohol.

Ambientación de las Pesas Patrones

Antes de la calibración las pesas y los comparadores deben conservarse en condiciones ambientales controladas y en situación de extrema limpieza, además deben colocarse fuera

del alcance de campos magnéticos fuertes como transformadores, maquinas eléctricas o circuitos de potencia. Las manchas deberán en lo posible removerse con un algodón mojado en alcohol.

En la siguiente tabla se muestran los tiempos de estabilización después de ser limpiadas las pesas según OIML 111-1.

| Clases de Pesas | E ₁ | E ₂ | F ₁ | F ₂ a M ₃ |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| Después de limpiarlas con alcohol | 7-10 días | 3-6 días | 1-2 días | 1 hora |

Sin limpiar con alcohol

| Valor Nominal | Clase E ₂ (horas) | Clase F ₁ (horas) | Clase F ₂ (horas) | Clase M ₁ , M ₂ , M ₃ (horas) |
|---------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|
| 1 mg a 50 g | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 100 g a 500 g | 5 | 3 | 2 | 1 |
| 1 kg a 5 kg | -- | 5 | 2 | 1 |
| 10 kg a 20 kg | -- | -- | -- | 1 |

El ensayo deberá realizarse a una temperatura entre (18 y 27) °C con variaciones máximas en el área de medición de:

| Variación Máxima | Clase de Exactitud | | | |
|----------------------|--------------------|----------------|----------------|--|
| | E ₂ | F ₁ | F ₂ | M ₁ , M ₂ y M ₃ |
| Por pesa (1 hora) | ±1 °C | ±1,5 °C | ±2 °C | ±3,5 °C |
| Por juego (12 horas) | ± 2 °C | ± 3,5 °C | ± 5 °C | ± 6,5 °C |

La siguiente tabla muestra la variación Máxima de Humedad Relativa entre 40 y 60 % hr, con una variación máxima de ± 10 % hr en 12 horas

Procedimiento para la Calibración de Pesas

Examen exterior:

Compruebe que todas las piezas del juego estén completas, en caso contrario reporte en el formato de calibración las piezas faltantes.

Observe que las pesas estén libres de raspaduras, peladuras, puntos de oxidación y otros defectos que afecten su superficie. Observe que los grabados en la superficie (cuando existan) estén legibles.

NOTA: Cualquier anomalía encontrada se reporta en las observaciones del formato correspondiente a la calibración

Selección de Patrones y Equipos Auxiliares

Pesas Patrones: seleccionar el o los patrones, de manera que sea por lo menos de una clase de exactitud superior a la pesa o juego de pesas a calibrar; del mismo valor nominal o que contenga la sumatoria para su equivalencia (según Matriz de Referencia anexa para la Calibración de Pesas).

Comparador de masas: seleccionar una balanza o comparador cuya repetibilidad sea de menor que 1/3 del error máximo permitido de la pesa a calibrar (según Matriz de Referencia para la Calibración de Pesas).

Limpieza

Remover el polvo suavemente con un pincel, brocha o paño según el caso, en caso de tener manchas y/o sucio pegado, es necesario:

Para pesas cilíndricas, laminadas y alámbricas: Con un paño o pincel humedecido con alcohol, remover las manchas sobre la superficie de cada pieza (pesa), evitando que no queden residuos de pelusa. En el caso de que la mancha no salga deje en remojo la pieza durante unos minutos evitando que el solvente entre en contacto con la cavidad de ajuste (cuando exista), y luego limpie y seque la pesa.

Para la pesas paralelepípedicas: limpie con alcohol toda la superficie y retire los residuos de sucio.

Luego ambiente según la clase de exactitud

Métodos a Utilizar:

El método consiste en determinar la diferencia entre las Pesa Patrón y la pesa a calibrar; se colocan una o varias pesas patrones (A) sobre el plato de la balanza de igual valor nominal a la pesa a calibrar (B) con la finalidad de obtener una diferencia de lecturas entre ambas pesas. Las balanzas presentan una deriva a corto plazo (corrimiento del cero) cuyo efecto se disminuye, con el uso de las secuencia de calibración descritas.

A continuación se define el número de ciclos y secuencia a seguir según la clase de exactitud de la(s) pesas a calibrar:

| Clase de Exactitud | Número de Ciclos Mínimos | Tipo de Secuencia | Ejemplo |
|--------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|
| E_2 | 3 | ABBA | Patrón-Pesa-Pesa-Patrón |
| F_1/F_2 | 1 | ABBA | Patrón-Pesa-Pesa-Patrón |
| $M_1/M_2/M_3$ | 1 | ABA | Patrón-Pesa -Patrón |

Consideraciones Preliminares

Verifique que los valores de las condiciones ambientales se mantengan dentro de los valores establecidos. Tome nota de la presión atmosférica al inicio de la calibración y regístrelo en el formato respectivo [en unidad: Pa (Pascal)].

Tome nota del valor de la Temperatura Ambiente y la Humedad Relativa al inicio y al finalizar los ciclos para la calibración de cada pesa, así como indicar el material de construcción de la misma en el formato respectivo.

Cuando existan pesas del mismo valor nominal, asegúrese de que estén visualmente diferenciadas

INSTRUMENTOS DE PESAR

En la historia, los primeros instrumentos de pesar fueron balanzas de un solo brazo; le siguieron las balanzas romanas y luego las básculas de plataforma, aéreas, de deflexión, resorte y muchos otros tipos de instrumentos mecánicos que fueron perfeccionándose hasta la aparición de las balanzas electromecánicas y electrónicas que conocemos hoy con diferentes tipos de celda de pesar incorporadas.

Si tenemos en cuenta el modo de operación, la gran variedad de instrumentos de pesar que conocemos, estos podemos agruparlos en dos grandes categorías:

1. Instrumentos automáticos.
2. Instrumentos no-automáticos.

Los automáticos son aquellos que no requieren de la intervención del operador durante la pesada; ejemplo: instrumentos que controlan automáticamente el contenido neto en una línea de pre-ensados; mientras que los no automáticos son los que durante la pesada, se requiere del operador ya sea para colocar o retirar la carga o para obtener el resultado de la pesada; ejemplo: una balanza de mostrador para la venta al público.

TERMINOLOGÍA

INSTRUMENTO DE PESAR: son instrumentos que sirven para determinar la masa de un cuerpo, por la acción de la gravedad sobre ese cuerpo. También son usados para determinar otros parámetros o características como una función de masa.

UNIDAD DE MEDICIÓN: La unidad de medición básica para las masas es el kilogramo (símbolo kg) y las unidades de medición de masa generalmente empleadas son: el gramo (g), el miligramo (mg) y la tonelada (t).

CARGA MÁXIMA (C_{max}): es la capacidad máxima de pesada, sin tomar en cuenta la capacidad aditiva de la tara; también suele llamársele Límite Superior de Pesada.

ESCALÓN (d): es el valor expresado en unidades de masa de la diferencia entre los valores correspondientes a dos marcas de la escala consecutivas; es decir la división más pequeña de la escala. También suele llamársele Valor de división. En los instrumentos de indicación discontinua el escalón se denota con el símbolo (dd).

NÚMERO DE ESCALONES (n): es el cociente entre la carga máxima (Cmax) y el valor del escalón (d o dd) correspondiente.

$$n = \frac{C_{\max}}{e}$$

ESCALÓN DE VERIFICACIÓN (e): es el valor expresado en unidades de masa, usado para la clasificación, verificación ó calibración de instrumentos de pesar. Este valor deberá ser suministrado por el fabricante; para balanzas clase III y IIII, el escalón de verificación es igual a valor de división (d) y en la mayoría de los casos para balanzas clase I y II este difiere del valor de división (d).

CARGA MÍNIMA (Cmin): es el valor de la carga por debajo del cual los resultados de las pesadas pueden estar sujetos a un excesivo error relativo; también suele llamársele Límite Inferior de Pesada. El valor de la carga mínima será determinado al momento de clasificar la balanza.

Instrumentos de Pesar No Automáticos

Los conceptos fundamentales relacionados con los instrumentos no automáticos, Así como de los requisitos metrológicos que se establecen a nivel internacional por la OIML, pueden ser encontrados en la Recomendación Internacional N° 76 de la O.I.M.L.(Instrumentos de pesar).

CLASIFICACION DE LOS INSTRUMENTOS DE PESAR NO AUTOMATICOS

SEGÚN LA NATURALEZA DE SU FUNCIONAMIENTO: los instrumentos de pesar No automáticos se dividen en:

Automáticos: son aquellos en los cuales la posición de equilibrio se logra sin la intervención del operador (ej.: balanza de resorte). El operador solo interviene para colocar la carga en el plato.



Fig. 3.1.- Instrumento de Pesar de funcionamiento Automático

No Automáticos: son aquellos en los cuales la posición de equilibrio es buscada por el operador, (ej: balanza Romana). El operador solo interviene para colocar la carga en el plato y desplazar los contrapesos en una escala.



Fig. 3.2.- Instrumento de Pesar de funcionamiento No Automático

Semi-Automáticos: son aquellos que presentan una extensión de pesada de equilibrio automático y en la cual el operador interviene para aumentar esos límites (ej: balanza de cuadrante).



Fig. 3.3.- Instrumento de Pesar de funcionamiento Semi-Automático

SEGÚN EL GRADO DE EXACTITUD: los instrumentos se clasifican en cuatro Clases de exactitud, cuya denominación y representación es la siguiente:

- | | |
|----------------|-------------------------------------|
| a) Clase I. | <i>Precisión Especial.</i> |
| b) Clase II. | <i>Precisión Alta o Fina.</i> |
| c) Clase III. | <i>Precisión Media o Comercial.</i> |
| d) Clase IIII. | <i>Precisión Ordinaria.</i> |

La clase Especial agrupa a los instrumentos de mayor exactitud, mientras que algunas balanzas analíticas y de laboratorio, así como los instrumentos usados para la comercialización de metales y piedras preciosas se agrupan en la clase Alta. El resto de los instrumentos que se usan normalmente en el comercio se agrupan en la clase media mientras que los de menor exactitud se agrupan en la clase ordinaria.

Los dispositivos auxiliares de indicación se utilizan únicamente en los instrumentos de las clases I y II. Los más comunes son:

| Tipo de Instrumento | Valor de división |
|---|-----------------------------------|
| Graduado sin dispositivo auxiliar de indicación | $e = d$ |
| Graduado con dispositivo auxiliar de indicación | e se selecciona por el fabricante |
| No Graduado | e se selecciona por el fabricante |

- a. Los jinetillos.
- b. Los interpoladores de lectura.
- c. Los dispositivos de indicación complementaria y
- d. Los dispositivos con d diferenciado.

Para los instrumentos con dispositivo auxiliar de indicación (fig.3.4) el valor de (e) se determina teniendo en cuenta lo siguiente:

$$d \leq e \leq 10 d$$



Fig. 3.4.- Dispositivo auxiliar de indicación

En la tabla 6 se muestra un ejemplo de selección de (e) para diferentes valores de (d) en el caso de instrumentos con dispositivos auxiliares de indicación.

Tabla 6

| | | | |
|----------|-----------|----------|----------|
| d | 0,1 g | 0,2 g | 0,5 g |
| e | 1 g | 1 g | 1 g |
| | $e = 10d$ | $e = 5d$ | $e = 2d$ |

Tabla 7

| Clase de Exactitud | Escalón de Verificación (e) | Número de divisiones $n = C_{max} / e$ | | Carga Mínima C_{min} |
|--------------------|--|--|---------|------------------------|
| | | min | max | |
| Especial I | $0,001 \text{ g} \leq e$ | 50 000 | ----- | 100 e |
| Alta II | $0,001 \text{ g} \leq e \leq 0,05 \text{ g}$ | 100 | 100 000 | 20 e |
| | $0,1 \text{ g} \leq e$ | 5 000 | 100 000 | 50 e |
| Media III | $0,1 \text{ g} \leq e \leq 2 \text{ g}$ | 100 | 10 000 | 20 e |
| | $5 \text{ g} \leq e$ | 500 | 10 000 | 20 e |
| Ordinaria IIII | $5 \text{ g} \leq e$ | 100 | 1 000 | 10 e |

El escalón de verificación representa la exactitud absoluta de los instrumentos mientras que el número de divisiones ($n = \max/e$), representa la precisión relativa.

Para calcular el número de divisiones de verificación de un instrumento se divide la carga máxima por el valor de división, por ejemplo: un instrumento con $\text{Max} = 60 \text{ t}$ y $d = 20 \text{ kg}$ tiene 3 000 divisiones. Nótese que en la tabla 7, la carga mínima se da en valores de división como un límite mínimo.

Existen casos particulares de instrumentos que poseen varios rangos de la escala (de 0 a max) y por lo tanto, varios rangos de pesar (de min a max), cada uno de los cuales posee valores de d , e , C_{min} y C_{max} diferentes. Esos instrumentos se denominan multirango.

Los valores parciales de e en los instrumentos multirango deben ser tales que satisfagan la condición ($e_1 < e_2 \dots < e_n$); donde n es el número de rangos. Para los efectos legales, cada rango se puede considerar como un instrumento particular.

También existen instrumentos de intervalos múltiples, que cuentan con un solo rango de la escala (de 0 a C_{max}) que se divide automáticamente en dos o más rangos parciales durante el ascenso o descenso de la carga, cada uno con diferente e , C_{min} , C_{max} .

MÉTODOS DE MEDICIÓN DE MASA

Medición simple de Masa

La medición de masa de un cuerpo con la ayuda de una balanza simple se puede ejecutar ubicando, en uno de los platillos de la balanza, el cuerpo al que se le va a medir la masa y en el otro, las masas de trabajo, hasta que la balanza llegue a tomar la posición normal de equilibrio.

Errores en la Medición de Masa

Es un hecho bien conocido que por más exacta que pueda ser una medición, ella siempre está afectada por un error mayor o menor. Como cualquier medición, la medición de masa está acompañada inevitablemente de errores.

El conocimiento de las causas que determinan los errores hace posible su eliminación, o por lo menos, la disminución de sus influencias sobre los resultados de la medición.

En la medición de masa de los cuerpos, como cualquier medición, pueden aparecer errores sistemáticos, errores casuales y errores groseros (equivocaciones).

- a) Los errores sistemáticos que pueden aparecer en el proceso de la medición de masa, son:
- a.1.- Los errores sistemáticos instrumentales se deben a las imperfecciones constructivas de instrumentos de medir.
 - a.2.- Los errores sistemáticos relacionados con el medio exterior se deben a las variaciones de temperatura, presión, contenido de polvos, humedad, como también del modo de instalación del medio de medición. También aquí pueden incluirse los errores que intervienen en las mediciones de masa en aire; en las mediciones precisas se les tiene en cuenta. En especial en la comparación de los patrones es necesario tener en cuenta el hecho de que la masa de los cuerpos y de las medidas de masa en el aire se diferencian del establecido en el vacío.
 - a.3.- Los errores sistemáticos relacionados con el operador.
- b) Los errores casuales aparecen a menudo en la repetición, aun en las mismas condiciones de las mediciones.
- c) Las equivocaciones constituyen errores groseros en las escalas de los instrumentos de medir masa, registros equivocados, etc.

USO CORRECTO DE BALANZAS ANALITICAS Y MICROBALANZAS

Técnica de Pesada

Quién trabaja con balanzas mecánicas micro, semimicro o analíticas, sabe el cuidado que hay que tener en el manejo de la balanza para conseguir resultados fiables. Por una parte, las balanzas electrónicas se han simplificado mucho bajo el punto de vista del manejo, y por otra, son capaces también de soportar ciertos efectos ambientales perturbadores. En algunos casos estos hechos han sido la causa de que los usuarios de balanzas electrónicas micro, semimicro o analíticas no operen ya con el debido cuidado.

Con la presente información queremos referirnos a los puntos más importantes que deben tenerse en cuenta cuando se trabaja con este tipo de medios de medición de masa.

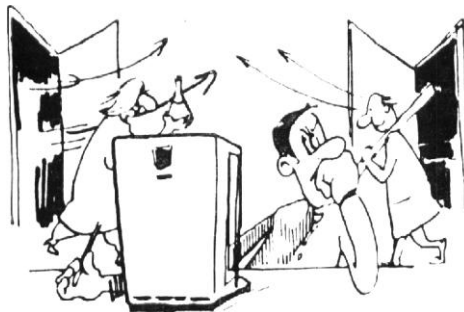
El tema está dividido en los apartados siguientes:

- a) Elección del emplazamiento de una balanza.
- b) Mesa de pesar.
- c) Manejo de la balanza.
- d) Errores de pesada debido a efectos físicos.

ELECCION DEL EMPLAZAMIENTO DE UNA BALANZA

La exactitud de los resultados de pesada depende no solo de un trabajo de medida preciso, también guarda estrecha relación con el emplazamiento de la balanza. Por ello, para configurar un puesto de pesada óptimo hay que aclarar previamente los puntos siguientes y las consecuencias que de ellos se derivan:

1. Siempre que sea posible, la habitación en donde se monta la balanza sólo debe tener un acceso para que no pueda usarse como habitación de paso. Como puesto de trabajo son particularmente idóneos los rincones de una habitación que son, dentro de un edificio, los lugares más firmes con las menores vibraciones.



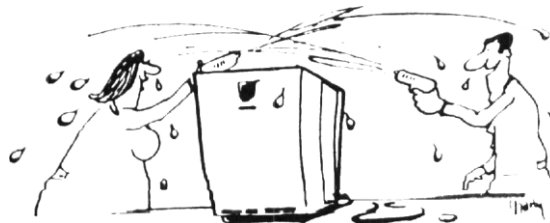
Nunca deben instalarse las balanzas cerca de ventanas, pues existe el peligro de que los rayos solares directos la calienten irregularmente. Lo mismo ocurre con los radiadores próximos que, además de la radiación térmica directa, suelen producir corrientes de aire bastantes fuertes. La balanza no debe montarse cerca de acondicionadores de aire, ni de ventiladores, los cuales producen turbulencias del aire.



2. Variación de la temperatura. Cuando cambia la temperatura en la habitación, cambia también con algún retraso la temperatura del interior de la balanza. Ella se traduce en un desplazamiento de la indicación de la balanza. Cuando se trabaja con balanzas semimicros y micros la temperatura de la habitación debe mantenerse constante por medio de termostatos.



3. Humedad atmosférica. Cuanto mayor sea la precisión de indicación de una balanza, más importantes son las diferencias en la humedad atmosférica, por lo que es preciso controlarla o mantenerla constante. Se recomienda mantenerla entre 45 y 60 %.



4. Iluminación. Lo más conveniente es una iluminación artificial en una habitación sin ventanas. Los aparatos de iluminación deben estar instalados a suficiente distancia de la mesa de pesar. Para evitar radiación térmica perturbadora, no deben instalarse lámparas de gran potencia, son recomendables tubos fluorescentes.

MESA DE PESAR

Los resultados de pesada de balanzas semimicros, micros o analíticas tienen la misma calidad que la mesa de pesar. Por ello, a la hora de elegir ésta debe prestarse atención a los puntos siguientes:

1. *No debe estar sometida a excesivas oscilaciones y vibraciones.*
2. *No deben ceder cuando se trabaja sobre ella.*
3. *Deben ser de material antimagnético.*
4. *Debe estar protegida contra la carga estática.*

No es conveniente la sujeción simultánea a pared y suelo, pues las trepidaciones del uno se transmiten al otro. La mesa tampoco debe usarse para depositar objetos pesados. Su superficie no debe estar recubierta de placas de plástico, vidrio o metal a fin de evitar errores de pesada.



MANEJO DE LA BALANZA

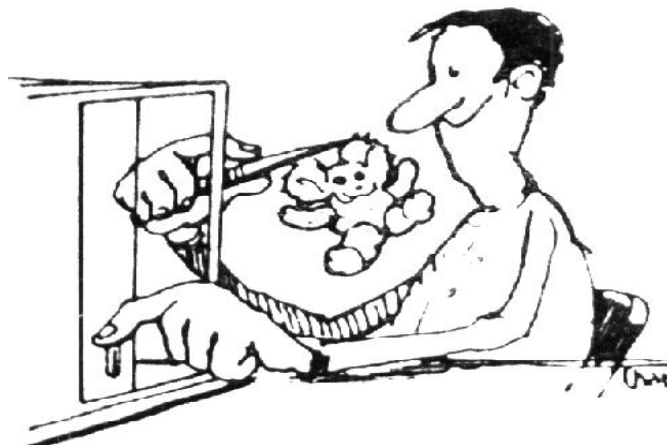
Las balanzas micro, semimicro y analíticas son instrumentos de medida de máxima precisión. Por este motivo, cuando se trabaja con ellas una regla general es: hacer la pesada con cuidado y tener en cuenta las exigencias reseñadas a continuación, aplicables al objeto y al manejo de la balanza, pero tardando el menor tiempo posible en la pesada.

Exigencias detalladas que han de tenerse en cuenta:

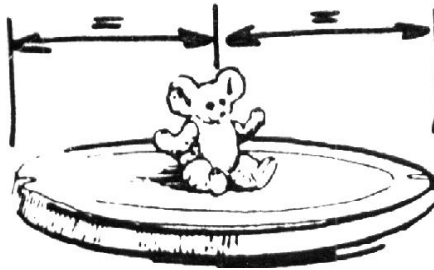
1. Conecte la balanza por lo menos 30 minutos antes de la primera pesada. Mejor aún, siempre que sea posible, deje la balanza conectada de modo permanente; así se eliminan las posibles derivas del cero y de sensibilidad, producidas por la fase de calentamiento de la balanza. Este tiempo de calentamiento se suprime, siempre que no se separen de la red por cortes de corriente eléctrica.



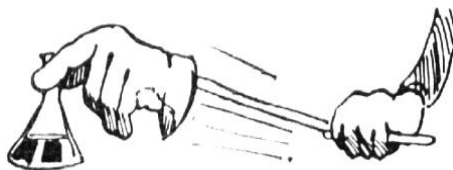
2. Antes de abrir la cámara de pesada, vea si la balanza señala exactamente cero; en otro caso, pueden introducirse errores del cero en su pesada.
3. No toque con los dedos el recipiente de tara ni la carga. Utilice pinzas largas o algo parecido; con el contacto puede variar la temperatura, así como la humedad del recipiente de tara y de la carga.
4. No abra la ventanilla de la cámara de pesada más que para poner el recipiente de tara y la carga sobre el platillo y sólo lo necesario para colocarlas cómodamente sobre el platillo; cada vez que se abre la cámara de pesada pueden originarse cambios de temperatura y turbulencias de aire.



- Coloque su carga en el centro del platillo; así evita usted posibles errores por carga descentrada.



- Tampoco meta las manos en la cámara de pesada, utilice pinzas largas o algo parecido. Puede usted cambiar la temperatura y la humedad de la cámara.



- Cierre la cámara de pesada inmediatamente después de colocar el recipiente de tara o la carga en el platillo; cuanto más tiempo se mantenga abierta la cámara de pesada, mayor peligro hay de que varíe su temperatura, humedad y se originen turbulencias de aire.
- Haga la lectura en cuanto el resultado de la pesada sea estable; su carga puede ceder o absorber humedad y así podría cambiar el peso.
- Retire la carga del platillo en cuanto termine la pesada y cierre la cámara; la carga podría absorber calor y humedad de la cámara de pesada.
- Mantenga limpios la cámara de pesada y el platillo. Utilice para pesar exclusivamente recipientes de tara limpios; el peso de cuerpos extraños y la suciedad pueden falsear su resultado de pesada.



- No use recipientes de plástico, ni tampoco de vidrio, si la humedad del aire es inferior a 30-40%; se corre el riesgo de que el recipiente de tara se cargue electrostáticamente.
- Utilice en cualquier caso, el menor recipiente de tara que pueda.



13. Tenga en cuenta los posibles efectos de las películas acuosas; por esta razón, siempre que sea posible, no pese hasta que la carga no haya alcanzado la temperatura ambiente. Cualquier objeto tiene una película acuosa, que depende de la humedad del aire. El grosor de esta película depende a su vez de la temperatura del objeto con respecto a la del entorno, es decir, cuanto más baja es la temperatura del objeto frente a la temperatura ambiente, más gruesa es la película acuosa. Por ello un objeto frío parece tener más peso, mientras que uno caliente, parece tener menos.
14. Tenga presentes los posibles efectos de la humedad sobre su carga. Seque primero las sustancias higroscópicas en un secador y procure enfriar la sustancia en un recipiente cerrado. Evite además que la sustancia pueda absorber humedad ambiental otra vez cuando se lleva al platillo. Cuando pesa usted una sustancia húmeda, la proporción de humedad influye en el resultado de pesada; es decir, la sustancia parece tener demasiado peso. Las sustancias higroscópicas pueden cambiar también su peso durante la pesada. Lo manifiestan en el indicador de la balanza, que no puede equilibrarse en un valor estable.
15. Tenga en cuenta que una balanza electrónica micro, semimicro o analítica es un aparato de compensación de fuerzas, el cual ha de ser calibrado en su lugar de instalación. Deje su aparato conectado por lo menos una hora antes de la calibración. La calibración debe repetirse también periódicamente. La fuerza requerida para compensar una masa dada depende principalmente de la situación geográfica, por un lado, y de la altura sobre el mar, por otro. Si un instrumento de este tipo no se calibra o se calibra mal en su lugar de instalación, pueden aparecer serios errores de sensibilidad.

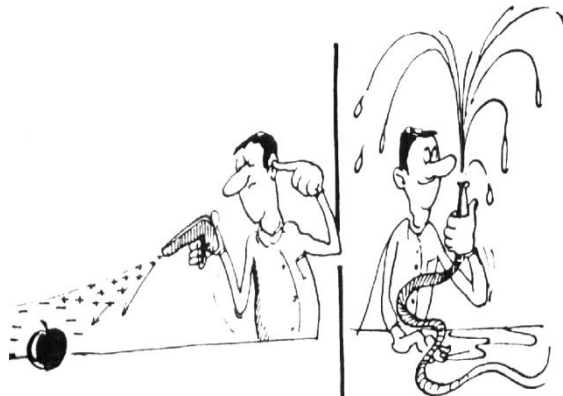
ERRORES DE PESADAS DEBIDOS A EFECTOS FISICOS

1. Efectos Electrostáticos: los materiales de alto grado de aislamiento eléctrico (por ejemplo: el plástico, el vidrio, etc.) pueden cargarse electrostáticamente. Este proceso de carga es debido fundamentalmente a fricciones durante la manipulación o el transporte de los materiales (especialmente de polvos, granulados, etc.). Cuando se pesa el material cargado electrostáticamente, pueden surgir graves errores de pesada, producidos precisamente por las fuerzas electrostáticas que se originan entre estos materiales y su entorno (por ejemplo: caja de la balanza, cámara de pesada, etc.). Cuando el material y su entorno presentan la misma carga, las cargas de ambas

se repelen. Pero si las cargas son diferentes, material y entorno se atraen. Por ello es puro azar el que el peso de un material cargado electrostáticamente sea demasiado alto o demasiado bajo.

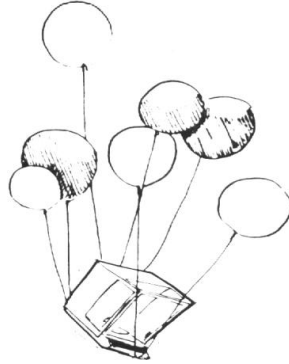
Corrección: Es posible reducir en gran parte el efecto de fuerzas electrostáticas sobre el resultado de la pesada con precauciones como:

- .- Disparar sobre el material con pistola antiestática.*
- .-Poner a tierra el platillo.*
- .-Aumentar la humedad del aire.*
- .-Evitar que el personal operador lleve ropa de nylon.*



2. Empuje del aire: tomando por base la ley de Arquímedes, un cuerpo pierde un peso equivalente al medio que desplaza. Puesto que un metro cúbico de aire a 20 °C corresponde un peso de 1,2 mg, pueden producirse errores, sobre todo en el caso de cuerpos con peso específico bajo.

Corrección: Después de la pesada, el peso del aire desplazado se agrega al resultado. Dicho peso del aire desplazado se calcula multiplicando el volumen del material por el peso del aire (unos 1,2 miligramos por centímetros cúbicos). Con pesos más altos se recomienda una determinación más precisa de la densidad del aire, que depende de la presión atmosférica y de la temperatura, así como, en cierto grado, de la humedad.



3. Efectos magnéticos: Las balanzas electrónicas micro, semimicro y analíticas son instrumentos de máxima resolución. Por esta razón la pesada de piezas magnéticas será siempre problemática, pues debido a las partes ferromagnéticas próximas (caja de la balanza, armaduras de la mesa, etc.) se originan fuerzas magnéticas que influyen sobre el resultado de la pesada.

Corrección: Desmagnetización de la pieza o blindaje completo en micrometal de grosor adecuado.

ESQUEMA DE TRANSMISION DE LA UNIDAD DE MASA

Trazabilidad de la Unidad de Masa

Hablar de la trazabilidad de una unidad, significa que es posible transmitir sucesivamente su valor desde al más alto nivel de exactitud hasta los instrumentos ordinarios, a través de una cadena eslabonada de patrones.

Veamos como desde la creación del patrón internacional se fue formando la cadena de patrones que ha hecho posible lograr la trazabilidad de la unidad.

El prototipo internacional del kilogramo fue seleccionado en 1883 de tres prototipos similares designados K1, K2 y K3. Los otros dos prototipos que no fueron seleccionados acompañan al prototipo internacional en calidad de testigos. Además de los tres iniciales, se construyeron posteriormente otros cuarenta cilindros similares de platino-iridio, numerados del 1 al 40, de los cuales seis permanecieron en el BIPM en calidad de patrones primarios y 34 fueron distribuidos a los países firmantes de la Convención del metro. Por ejemplo Rusia, Suiza y Suecia poseen los prototipos No. 12, 38 y 40 respectivamente. En los países los prototipos recibidos se conservan como patrones nacionales.

Después de 1920 y hasta 1974 se han construido otros 23 prototipos, numerados del 41 al 63, que se mantienen en posesión de otros países en calidad de patrones nacionales. Alemania, por ejemplo posee el prototipo No. 52, en tanto México recibió recientemente uno de los últimos.

La trazabilidad de la unidad de masa se logra mediante la comparación del kilogramo prototipo internacional con los patrones primarios del BIPM y luego éstos con los prototipos nacionales.

Los prototipos nacionales se conectan entonces a nivel nacional con los patrones primarios, secundarios, de referencia y de trabajo de 1 kg, construidos de acero inoxidable u otros materiales no magnéticos y estos con los instrumentos hasta llegar a los ordinarios.

La trazabilidad de la unidad mediante la comparación exclusiva de patrones de 1 kg no satisface las determinaciones de masa en el rango de 0,1 ng a 1 Gg que nos interesa. Es necesario representar también como medidas materializadas a los diferentes múltiplos y submúltiplos del kilogramo. Ello se logra utilizando un número reducido de representaciones en cada década (se emplea la serie 1, 2, 5), de modo tal que la combinación entre ellas permita representar todos los valores posibles. Por ejemplo en la década de 100 g a 1 kg es suficiente construir solo 4 patrones de 100, 200, 200 y 500 g.

La trazabilidad desde el patrón de 1 kg hasta sus múltiplos y submúltiplos, en el nivel correspondiente a la primera comparación, se logra aplicando los esquemas de subdivisión (descendiendo hacia los submúltiplos) o multiplicando (ascendiendo hacia los múltiplos) de 1 kg. Un ejemplo de esquema de subdivisión puede ser el que se muestra a continuación con 5 patrones desconocidos y 5 comparaciones de masa en la década de 1 kg a 100 g:

| Comparaciones | 1 kg | 500 g | 200 g | 200 g | 100 g | 100 ^{II} g |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| x 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| x 2 | 0 | -1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| x 3 | 0 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0 |
| x 4 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 | 1 |
| x 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 1 |

Partiendo de que la masa de 1 kg es un valor conocido y que se desconoce el resto de las masas que participan, el esquema conforma un sistema de ecuaciones lineales con 5 ecuaciones y 5 incógnitas cuyas soluciones corresponden precisamente a los valores de las masas desconocidas.

La primera ecuación del sistema corresponde a la comparación de 1 kg con una suma de múltiplos y submúltiplos que resulte igual a 1 kg y puede escribirse como:

$$x_1 = -1 \text{ kg} + (500 \text{ g} + 200 \text{ g} + 200 \text{ g} + 100 \text{ g})$$

El resto de las ecuaciones se pueden escribir por analogía y las soluciones se encuentran resolviendo el sistema.

En el cuadro anterior, se representan los resultados de las pesadas de comparación, el cero significa que la masa no participa y los signos, que las masas del mismo signo se cargan en el mismo plato de la balanza al mismo tiempo.

BIBLIOGRAFIA

- Organización Internacional de Pesas de Clases E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₂ y M₃. 1994 Metrología Legal (OIML)
- H. Beens, Physikalisch Balanzas. (1990). Technische Bundesanstalt
- Norma Covenin N° 2550-8. Instrumentos de Pesar. (1988)
- Norma Covenin N° 2960-92. Pesas Paralelepipedicas. (1992)
- Norma Covenin N° 2961-92. Pesas Cilíndricas. (1992)
- Organización Internacional de Reglamento para Instrumentos de Pesaje. (1987). Metrología Legal (OIML)
- Physikalisch Technische Bundesanstalt. (1990). Reglamento de Verificación de balanzas.