

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 1 de 33

CONTENIDO / CONTENTS

1	OBJETO / OBJECT	3
2	ALCANCE / SCOPE	3
3	DEFINICIONES / DEFINITIONS	3
4	GENERALIDADES / GENERALITIES.....	5
4.1	Abreviaturas y símbolos / Abbreviations and symbols	5
4.2	Método de calibración / Calibration method	7
5	DESCRIPCIÓN / DESCRIPTION	11
5.1	Equipos y materiales / Equipment and materials	11
5.1.1	Equipos Patrones / Standards.....	11
5.1.2	Instrumentos para control de condiciones ambientales / Instruments for the environmental conditions control.....	12
5.1.3	Equipos auxiliares / Auxiliary equipment.....	12
5.1.4	Materiales / Materials	13
5.2	Operaciones previas / Preliminary operations.....	13
5.3	Proceso de calibración / Process of calibration.....	14
5.4	Toma y tratamiento de datos / Data taking and handling.....	14
5.4.1	Tratamiento de datos/ Data handling	15
6	RESULTADOS / RESULTS	20
6.1	Presentación de resultados / Results display.....	20
6.2	Interpretación de resultados / Results interpretation	21
7	ESTIMACION DE LA INCERTIDUMBRE / UNCERTAINTY DETERMINATION.....	21
7.1	Componentes de incertidumbre: cuantificación y reducción/ Uncertainty components: quantify and reduction	21

Elaborado por/ Elaborated by: Nombre/Name: Carlos Porras P. Jorge García Álvaro Bermúdez Cargo/Charge: Jefe Laboratorios Metrología Responsable laboratorio Profesional Universitario Fecha/Date:	Revisado por/Reviewed by: Nombre/Name: María Teresa Pineda Cargo/Charge: Delegada para la Protección del Consumidor Fecha/Date: Firma/Signature: (original firmado)	Aprobado por/Approved by: Nombre/Name: Gustavo Valbuena Quiñones Cargo/Charge: Superintendente de Industria y Comercio Fecha/Date: Firma: Signature: (original firmado)
--	---	---

Cualquier copia impresa, electrónica o de reproducción de este documento sin la marca de agua o el sello de control de documentos, se constituye en copia no controlada / Any press, electronic or reproduced copy of this document without the water mark or the document control seal is a non-controlled copy

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 2 de 33

71.1	Masa convencional / Conventional mass	22
7.1.2	Estimación de la incertidumbre de la masa real/ Real mass uncertainty determination.....	26
7.2	Resumen de componentes de incertidumbre / Uncertainty components summary	27
7.3	Cálculo de la incertidumbre combinada / Combined uncertainty calculation.....	28
8	REFERENCIAS / REFERENCES	28
8.1.	Documentos utilizados en la elaboración / Documents of reference.....	28
8.2.	Documentos a utilizar conjuntamente con este documento / Documents to use jointly with this document.	29
9	ANEXOS / ANNEXES	29

CONTROLLED COPY

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 3 de 33

1 OBJETO / OBJECT

El presente procedimiento tiene por objeto dar a conocer el método de sustitución para la calibración de pesas con el fin de obtener tanto el valor de masa real como de masa convencional.

This procedure gives the weight calibration method by substitution to obtain both real and conventional mass values

2 ALCANCE / SCOPE

El presente procedimiento aplica para la calibración de masas y de pesas de valor nominal 1 mg a 200 kg, calibradas en un instrumento de pesaje mediante la aplicación del método de sustitución y el empleo de una masa de igual valor nominal.

This procedure applies for the mass and weights calibration with nominal value from 1 mg to 200 kg. For this calibration a weighted device is used with the substitution method application and the use of a same nominal value mass.

3 DEFINICIONES / DEFINITIONS

Balanza: Instrumento que indica la masa aparente de un cuerpo a partir de la fuerza neta ejercida sobre él, cuando se encuentra en el campo gravitatorio terrestre y existen además otras perturbaciones. La fuerza neta es la resultante de toda una serie de fuerzas que actúan sobre el cuerpo; entre otras, en mayor o menor cuantía, se pueden nombrar las siguientes fuerzas:

Balance: Instrument measures the body apparent mass from the net force on it, when it is in the earth gravity field and there are other perturbations. The net force is the composition of all series of forces that act on the body; between them are the followings:

Fuerza gravitatoria
Gravity force

$$\vec{F}_g = m \cdot \vec{g} \quad (1)$$

Fuerza del empuje del aire
Air buoyancy force

$$\vec{E} = -V \cdot \rho_a \cdot \vec{g} = -\frac{m}{\rho} \cdot \rho_a \cdot \vec{g} \quad (2)$$

Fuerzas magnéticas creadas entre el campo magnético existente en el entorno de la balanza y la pesa. No cuantificadas

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 4 de 33

Magnetic forces arise from the interaction between the magnetic field around the balance and the weight. These are no quantifiable forces.

Calibración de masa: Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones especificadas, la relación entre el valor de masa de una pesa de masa desconocida, objeto de la calibración, denominada “muestra”, y el valor de masa de una pesa de masa conocida denominada “patrón”.

Mass calibration: Set of operations that settle down, under specified conditions, the relationship among the mass value of an unknown mass weight, object of calibration called “sample”, and the mass value of a known mass weight mass called “standard”

Clase de exactitud de las pesas: Clase de pesas que satisface determinados requisitos metroológicos que tienen como objetivo mantener los errores dentro de límites especificados.

Weight accuracy class: Weights class satisfy determined metrological requisites having the deviations within specified limits

Densidad: La densidad de un cuerpo es el cociente entre la masa y el volumen del mismo.

Density: The body’s density is the ratio between its mass and its volume

Error de una masa: Desviación del valor de su masa respecto a su valor nominal.

Mass error: Difference between the mass value and its nominal value

Masa: Es una magnitud física que determina la cantidad de materia que tiene un cuerpo.

Mass: Is a physical quantity determines a body’s amount of matter

Masa de referencia: Masa o conjunto de masas utilizadas como referencia para determinar la masa de una u otras masas (pruebas) o instrumentos de pesas.

Reference mass: Mass o mass set used as reference standard to determine the mass of one or other masses (test ones) or weighted instruments.

Masa de prueba: masa objeto de la calibración.

Test mass: mass under calibration

Pesa: Medida materializada de masa, regulada de acuerdo a sus características físicas y metroológicas: forma, dimensiones, material, calidad de la superficie, valor nominal y error máximo permisible. [2]

Weight: Materialized mass measurement with physical and metrological requirements: form, dimensions, material, surface quality, nominal value and maximum permissible error. [2]

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 5 de 33

Pesa adicional: Pesa de valor nominal de masa pequeña comparada con la de la muestra y empleada para reducir las diferencias de indicación entre el patrón y la muestra. Se pueden colocar pesas adicionales tanto en el patrón, como en la muestra.

Additional weight: low mass nominal value weight with respect the test mass that it is used to reduce the differences indicated between the reference mass and the test mass. It is possible to put on additional weights both with the reference mass as well as with the test mass.

Valor convencional de masa: Para un cuerpo a 20 °C, la masa convencional o el valor convencional del resultado de pesaje en el aire es la masa de una pesa de referencia de densidad 8 000 kg·m⁻³ que la equilibra en un aire de densidad 1,2 kg·m⁻³. [3]

Mass conventional value: For a body at 20 °C, its conventional mass or the mass conventional value resulting from weighing in the air is the reference weight mass with a density of 8 000 kg·m⁻³ "in equilibrium" with it, into an air density of 1,2 kg·m⁻³. [3]

4 GENERALIDADES / GENERALITIES

4.1 Abreviaturas y símbolos / Abbreviations and symbols

d : resolución del instrumento / instrument resolution

$\vec{E}$: Empuje / buoyancy

e_{cp} : error de masa convencional de la prueba / conventional mass error of the test mass

e_{cr} : error de masa convencional de la pesa de referencia dado en su certificado de calibración / conventional mass error of the reference weight given by its certificate of calibration

e_p error de masa real de la prueba / real mass error of the test mass

e_r error de masa real de la pesa de referencia dado en su certificado de calibración / real mass error of the reference weight given by its certificate of calibration

$\vec{F}$: Fuerza / Force

$\vec{F}_g$: Fuerza gravitacional / Gravity force

$\vec{g}$: Aceleración de la gravedad / Gravity

k : factor de cobertura / factor of coverage

$\vec{K}$: Constante de proporcionalidad aproximada a la aceleración de la gravedad / Gravity's approximated proportionality constant

I_r : indicación del instrumento de pesaje al depositar sobre su dispositivo receptor de carga la pesa de referencia / Weighing device's indication by putting on it the reference weight

$\bar{I}_r$: media de las indicaciones de la pesa de referencia en un ciclo de medida / Average of the reference weight's readings on a measurement cycle

I_p : indicación del instrumento de pesaje al depositar sobre su dispositivo receptor de carga la pesa de prueba / Weighing device's indication by placing on it the test weight

$\bar{I}_p$: media de las indicaciones de la pesa de prueba en un ciclo de medida / Average of the test weight's readings on a measurement cycle

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 6 de 33

I_{p-r} : diferencia entre el valor medio de la prueba y la referencia / Difference between the test average value and the reference's one

$\bar{I}_{p-r}$: valor medio de las diferencias de indicación entre la referencia y la prueba = $\overline{\Delta m}$ / Average value of the differences between the reference and the test readings = $\overline{\Delta m}$

I_T : indicación del instrumento de pesaje al depositar sobre su dispositivo receptor de carga la pesa de testigo / Weighing device's indication by placing on it the witness weight

$\bar{I}_{T-r}$: valor medio de las diferencias de indicación entre la referencia y el testigo / Average value of the differences between the reference and the witness readings

MEP: máximo error permitido / maximum permissible error

m_{cp} : valor de masa convencional de la prueba / test conventional mass value

m_{cT} : valor de masa convencional del testigo prueba / witness conventional mass value

m_N : valor nominal / nominal value

m_r : valor de masa real de la referencia / reference real mass value

m_p : valor de masa real de la prueba / test real mass value

m_s : masa de sensibilidad / sensitivity mass

m_T : valor de masa real del testigo / witness real mass value

n : número de ciclos / cycles number

S : sensibilidad / sensitivity

s_p : desviación típica evaluada en el instrumento bajo control estadístico a partir de un número grande de medidas / instrument's standard deviation from a large number of measurements

$s(\overline{\Delta m})$: desviación típica de las diferencias de indicación entre la referencia y la muestra para un número n de ciclos / standard deviation of the differences between the reference and the test readings for a number n of cycles

$u(d)$: incertidumbre debida a la resolución del instrumento de pesaje / uncertainty from weighing instrument's resolution

$u(e_{cp})$: incertidumbre típica combinada del error de la masa convencional de la prueba / combined standard uncertainty from the test conventional mass error

$U(I_r)$: incertidumbre expandida debida a las lectura para la referencia / expanded uncertainty from the reference reading

$U(I_p)$: incertidumbre expandida debida a las lectura para la prueba / expanded uncertainty from the test reading

$u(m_n)$: incertidumbre típica del valor nominal de una masa / mass nominal value's standard uncertainty

$u(m_r)$: incertidumbre típica combinada de la masa real de la referencia / reference real mass 's combined standard uncertainty

$u(m_p)$: incertidumbre típica combinada de la masa real de la prueba / test real mass 's combined standard uncertainty

$U(m_{cp})$: incertidumbre expandida de la masa convencional de la prueba / test conventional mass 's expanded uncertainty

$U(m_r)$: incertidumbre expandida de la masa real de la pesa de referencia / reference weight real mass 's expanded uncertainty

$U(m_p)$: incertidumbre expandida de la masa real de la prueba / test real mass 's expanded uncertainty

$u(V_p)$: incertidumbre típica combinada del volumen de la prueba / test volume's combined standard uncertainty

$u(V_r)$: incertidumbre típica combinada del volumen de la pesa de referencia / reference weight

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01 Revisión: Versión 5 Página 7 de 33
---	---	---

volume's combined standard uncertainty

$U(V_r)$: incertidumbre expandida del volumen de la pesa de referencia / reference weight volume's expanded uncertainty

$U(V_p)$: incertidumbre expandida del volumen de la prueba / test volume's expanded uncertainty

$U(V_p)_f$: incertidumbre expandida del volumen de la prueba dado por el fabricante / test volume's expanded uncertainty given by the manufacturer

$u(\Delta m)$: componente de incertidumbre de las diferencias de indicación / uncertainty component from the differences between readings

$u(\rho_a)$: incertidumbre típica combinada de la densidad del aire / Air density's combined standard uncertainty

$u(\rho_p)$: incertidumbre típica combinada de la densidad de la pesa prueba / test weight density's combined standard uncertainty

$U(\delta m_r)$: componente de incertidumbre expandida debida a la deriva de la pesa de referencia / expanded uncertainty component from reference weight's drift

V : Volumen / Volume

V_r : volumen del patrón o referencia / Standard or reference volume

V_p : volumen de la prueba / test volumen

$r(\bar{l}_p; \bar{l}_r)$: coeficiente de correlación entre la indicación media de la prueba y la referencia / correlation coefficient between the test and the reference's average reading

δ_{exc} : error de excentricidad del instrumento de pesaje / weighing device's eccentricity error

δm_r : deriva de la masa real de la pesa de referencia / reference weight's real mass drift

θ_c : Unidades de lectura de la balanza / Balance's units of reading

ρ_a : densidad del aire durante la calibración / Air density during the calibration

ρ_0 : densidad de referencia para el aire igual a $1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ / reference air density = $1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

ρ_p : densidad de la prueba / test density

$\rho_{p \text{ máx}}$: valor máximo del intervalo donde se espera encontrar la densidad de la muestra / maximum interval value for the test density

$\rho_{p \text{ mín}}$: valor mínimo del intervalo donde se espera encontrar la densidad de la muestra / minimum interval value for the test density

ρ_{ref} : densidad de referencia igual a $8\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ / reference density = $8\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

σ : Varianza / variance

Δm : valor medio de las diferencias de indicación entre la referencia y la prueba / Average value of the differences between the reference mass and the test mass readings

4.2 Método de calibración / Calibration method

Para la calibración de masas se seguirá el método de sustitución en el que se comparan dos masa de igual valor nominal. Una de ella hace de referencia (A) y otra de prueba (B), con el fin de obtener el valor desconocido, partiendo del valor de referencia. Las secuencias a seguir son distintas según el tipo de instrumento de pesaje utilizado. En todas ellas se trata de colocar de forma correlativa las masas A y B sobre el plato de la balanza de manera que se anule el error de deriva de la balanza a lo largo del ciclo. En lo sucesivo cuando se mencione la masa de referencia o la masa prueba, puede que se refiera a una pesa siempre que la masa esté normalizada.

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 8 de 33

- En las balanzas monoplato la secuencia a seguir es de doble sustitución conocido como A/B/B/A, en algunos casos el ciclo puede incluir una pesa testigo, por lo que el ciclo queda: A/B/B/T/A. La pesa testigo solo se usa para calibraciones de alta exactitud.
- En los comparadores de masa automáticos la secuencia a seguir puede ser el (a) o bien $A_1/B_1/A_2/B_2/\dots A_n/B_n/A_{n+1}$
- En la balanza de brazos iguales se utiliza una masa de sensibilidad m_s que se agrega al plato al final del ciclo sin retirar la masa de referencia y la secuencia a seguir es A/B/B/A/A+ m_s . De igual manera también se puede introducir una pesa testigo: A/B/B/T/A/A+ m_s . La pesa testigo solo se usa para calibraciones de alta exactitud.

The substitution method is followed for the mass calibration. This method compares two masses with equal nominal value. One mass is the reference (A) and the other one is the test (B), in order to get the unknown value from the reference value. The steps to follow are different in according to the weighing device used. In every one step is intended to put on the balance's plate in a correlative way the masses A and B so the balance drift error is cancel along cycle. Henceforth, when the reference mass or the test mass is called, it is possible that a weight is called, ever that the mass is standardized.

- For the mono-plate balances the sequence to follow is the double substitution known as A/B/B/A, some times, the cycle can include a witness weight, so the cycle is: A/B/B/T/A. The witness weight is only used to high accuracy calibrations.*
- For the automatic mass comparators, the sequence to follow can be the sequence (a) or as well as $A_1/B_1/A_2/B_2/\dots A_n/B_n/A_{n+1}$*
- For the equal arms balance, a mass with sensitivity m_s is added at the cycle end without remove the reference mass and the sequence to follow is A/B/B/A/A+ m_s . In a similar way, a witness weight can be introduced: A/B/B/T/A/A+ m_s . The witness weight is only used to high accuracy calibrations.*

El principio físico del método, usado en la determinación de la masa, consiste en comparar la fuerza gravitacional (F_1) que ejerce, sobre el plato receptor de carga de una balanza, una masa de prueba (objeto de calibración) con la fuerza ejercida en el mismo sentido por una masa de valor conocido (referencia) del mismo valor nominal; en el resultado de dicha comparación intervienen otras $\sum \vec{F}_i$ debido al conjunto de interacciones eléctricas, magnéticas o cualquier otro origen que se creen en la masa por causas diversas, estas interacciones deben ser, generalmente, menores que el resto de los términos en varios ordenes de magnitud por lo que se pueden despreciar en las calibraciones habituales, salvo en las calibraciones de máxima exactitud o siempre y cuando se tenga la certeza de que su orden de magnitud no las hace despreciable.

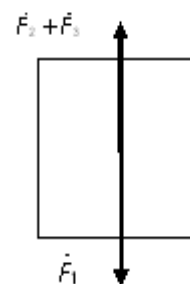


Figura 1

Figure 1

The mass determination's physical principle is to compare the gravity force (F_1) exerted by a test mass (object of calibration) on the balance's load receptor plate with the force exerted on the same sense by a known value mass (reference) with the same nominal value; For this comparison, other forces take part: $\sum \vec{F}_i$ from the electric, magnetic or other any source interactions with the mass. Generally, these interactions should be lower in several orders than the other ones so they can be neglected in

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01 Revisión: Versión 5 Página 9 de 33
---	---	---

the every day calibrations, otherwise with the maximum accuracy calibrations or if, it is certain that their order is not neglected.

La fuerza de influencia más significativa y que en la mayoría de los casos no es despreciable, es la debida al empuje del aire o fuerza de flotación (F_2), (esta fuerza está en función del volumen de la pesa y de la densidad del aire).

El equilibrio se logra cuando actúan sobre el cuerpo las fuerzas $\vec{F}_1$ (peso), $\vec{F}_2$ (empuje del aire) y $\vec{F}_3$ fuerza de reacción normal del platillo de la balanza, según muestra la figura 1.

The most significant influence force and usually is not neglected is the air's buoyancy (F_2), (this force depends on the weight volume and on the air density).

The equilibrium is achieved as the forces on the body are: $\vec{F}_1$ (weight), $\vec{F}_2$ (air buoyancy) and $\vec{F}_3$ normal force from the balance's plate, as shown the figure 1.

La ecuación de equilibrio se describe de la siguiente manera:

The equilibrium equation is gived by:

$$\vec{F}_1 - (\vec{F}_2 + \vec{F}_3) = 0 \quad (4a)$$

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_1 - \vec{F}_2 \quad (4b)$$

Donde,

Where,

$$\vec{F}_1 = mg \quad (5)$$

$$\vec{F}_2 = \rho_A V \vec{g} \quad (6)$$

$$\vec{F}_3 = \vec{K} \theta_c \quad (7)$$

$\vec{K}$: es una constante de proporcionalidad que representa el valor de la aceleración de la gravedad en el lugar de ubicación del instrumento de calibración. $\vec{K} \cong \vec{g}$

Proportionality constant represents the local gravity value. $\vec{K} \cong \vec{g}$

ρ_c : es la respuesta de la balanza en unidades de la balanza, I . Cuando no se determina la sensibilidad de la balanza, estos valores se consideran como unidades de masa.

Balance's reading in balance's units I These values are taken as mass values as the balance's sensitivity is not determined

Sustituyendo las expresiones para las fuerzas en la ecuación (4b) se obtiene:

By substitution for the forces in equation (4b):

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE	Código/Code: LM01-MA-P01
	DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Revisión: Versión 5
		Página 10 de 33

$$\vec{m}\vec{g} - \rho_a V \vec{g} = \vec{K}\theta_C \quad (8a)$$

$$(m - \rho_a V)\vec{g} = \vec{K}\theta_C \quad (8b)$$

$$(m - \rho_a V)\vec{g} = \vec{g}\theta_C \quad (8c)$$

$$(m - \rho_a V) = \theta_C \quad (9)$$

$$(m - \rho_a V) = I \quad (10)$$

La ecuación (10) constituye la ecuación básica de pesada.

Equation (10) is the basic weighing equation.

$$(m_p - \rho_{ap} V_p)\vec{g} = (m_r - \rho_{ar} V_r)\vec{g} + \Delta\vec{F}_{pr} \quad (11)$$

En el momento de la comparación ρ_{ap} y ρ_{ar} se considera igual a ρ_a

For the comparison time: ρ_{ap} and ρ_{ar} are equal to ρ_a

Donde $\Delta\vec{F}_{pr}$ es una pequeña fuerza adicional para compensar las dos fuerzas de la gravedad sobre las masas que son comparadas. Esta fuerza es una función de la diferencia de indicación $\Delta I = I_p - I_r$ de las lecturas de la balanza y el valor de la gravedad. La relación es: $\Delta\vec{F}_{pr} = f \cdot \Delta I \cdot \vec{g}$. El factor de proporcionalidad f , es el coeficiente inverso de sensibilidad de la balanza y es un factor de escala que convierte los valores de indicación en valores de masa.

Where, $\Delta\vec{F}_{pr}$ is an additional small force needed to compensate both gravity forces exerted on the compared masses. This force depends on the reading difference $\Delta I = I_p - I_r$ between the balance and the gravity value. The equation is: $\Delta\vec{F}_{pr} = f \cdot \Delta I \cdot \vec{g}$. The proportionality factor f , is the inverse of the balance's sensitivity coefficient and is a factor to convert the readings values into mass values.

$$\Delta\vec{F}_{pr} = f \cdot \Delta I \cdot \vec{g} = \frac{m_s - \rho_{as} V_s}{\Delta I_s} \cdot \Delta I \cdot \vec{g} \quad (12)$$

Siendo m_s el valor de la masa de la pesa de sensibilidad. V_s el volumen de la pesa de sensibilidad. ΔI_s la variación de la lectura de la balanza al poner la pesa de sensibilidad.

Where, m_s is the sensitivity weight's mass value. V_s is the sensitivity weight's volume. ΔI_s is the balance reading's variance as the sensitivity weight is put on it.

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01 Revisión: Versión 5 Página 11 de 33
---	---	--

Asumiendo que las masas que se comparan son aproximadamente iguales al valor nominal, el factor de sensibilidad sería el mismo para ambas masas, normalmente f es igual a 1 (En las calibraciones de máxima exactitud se comprueba continuamente a lo largo de la calibración).

By assuming that the masses under comparison are nearly equal to the nominal mass value the sensitivity factor would be the same for both masses, generally f equals 1 (For maximum accuracy calibrations, this is continuously checked).

Comparando las fuerzas que actúan sobre m_r y m_p , quedaría la relación.

Esta fuerza es una función de la diferencia de indicación ΔI de la balanza ($\Delta I = I_p - I_r$)

By comparing the forces act on m_r y m_p , the equation would be.

This force depends on the balance's reading difference ΔI ($\Delta I = I_p - I_r$)

$$m_p - \rho_a V_p - (m_r - \rho_a V_r) = I_p - I_r \quad (13)$$

$$m_p - m_r + \rho_a (V_r - V_p) = I_p - I_r \quad (14)$$

El lado derecho de las ecuaciones (13) y (14) es la diferencia en masa que existe entre la masa de prueba respecto a la pesa patrón (referencia).

El procedimiento de calibración de pesas mediante el método de sustitución permite calcular la masa de una prueba por comparación directa de una pesa patrón, mediante una secuencia de pesaje establecida y la repetición de un número de ciclos, n .

The right hand of the equations (13) and (14) is the mass difference between the test mass and the standard weight (reference)

The weights calibration procedure by substitution method allows to calculate the test mass by direct comparison with a standard weight, by means of an established weighted sequence and the repetition of a number of n cycles.

5 DESCRIPCIÓN / DESCRIPTION

5.1 Equipos y materiales / Equipment and materials

5.1.1 Equipos Patrones / Standards

- Equipos de comparación / Comparison equipment

Se hará uso de los distintos instrumentos de pesaje, descritos en el inventario del laboratorio de masa, según el rango de medida y la exactitud de los mismos dependiendo del valor nominal de las pesas a calibrar y la incertidumbre requerida. Verificar que estén perfectamente nivelados y en ausencia de vibraciones, evitando influencias externas que creen interacciones que perturben a la lectura.

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 12 de 33

Several weighing devices will be used, they are described in the Mass Laboratory's inventory, according to their measurement range and accuracy and the nominal value of the weights to be calibrated and the required uncertainty. It is needed to verify that they are perfectly levelness and that there are no vibrations, avoiding external influences that produce interactions disturb the reading.

▪ Patrones de masa / *Mass standards*

Los patrones de masa utilizados deben estar debidamente calibrados y con el certificado de calibración actualizado.

Juego de patrones de masa calibrados descritos en el inventario del laboratorio de masa de clase exactitud superior a la de las masas a calibrar y de valores nominales adecuados para hacer una comparación directa. La deriva de un patrón nunca deberá ser mayor que la incertidumbre asociada a dicho patrón.

Los requisitos metroológicos y características físicas de los patrones conviene que sean los especificados en la recomendación OIML R 111-1 [1].

The mass standards must be properly calibrated and their updated certificate of calibration

Mass standards set described in the Mass Laboratory's inventory with accuracy class higher than the masses to be calibrated 's one and with the suitable nominal values to make a direct comparison. The standard's drift must never be higher than the standard's uncertainty.

The standard's metrological requirements and physical characteristics must be the ones that are described in the OIML Recommendation R 111-1 [1].

5.1.2 Instrumentos para control de condiciones ambientales / *Instruments for the environmental conditions control*

Se usan los instrumentos climáticos, descritos en el inventario del laboratorio de masa, para la medida de la temperatura presión y humedad (o bien temperatura del punto de rocío), necesarios para la determinación de la densidad del aire. Ver instrucción Técnica: Cálculo de la densidad del aire (**LM01-MA-105**).

*Climatic instruments that are described in the Mass Laboratory's inventory are used to measure the temperature, the pressure and the air humidity (or the dew point temperature) in order to determine the air density. See technical instruction: Calculation of the air density (**LM01-MA-105**).*

5.1.3 Equipos auxiliares / *Auxiliary equipment*

- Termómetros de vidrio calibrados, descritos en el inventario.
- Computadores asociados a los comparadores de masas y a los climáticos, descritos en el inventario.
 - o *Calibrated Liquid-in-Glass thermometers described in the Mass Laboratory's inventory.*
 - o *Computers associated to the mass comparators and to the weather instruments described in the Mass Laboratory's inventory.*

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 13 de 33

5.1.4 Materiales / Materials

- Pinzas para manipulación de pesas / Clamps to the weight handling
- Guantes blancos de tela / White cloth gloves
- Bayetilla para limpieza (tela que no se desmote) / Cleaning cloth
- Bayetilla y papel filtro para colocar las pesas / Claning cloth and filter paper
- Perilla para soplar – pincel / Blowing pear
- Blusa, zapatones y gorro / Dressing gown, big shoes and hat
- Documentos y formatos para toma de datos de medición / Documents and formats to taking measurement data

5.2 Operaciones previas / Preliminary operations

De acuerdo con el rango del juego de pesas que se desee calibrar se seleccionan los equipos de comparación (comparadores de masa o balanzas). Los equipos de comparación siempre deben estar conectados a la red de suministro de energía eléctrica por lo menos 24 horas antes. Antes de iniciar el proceso de calibración se debe verificar que no exista polvillo o partículas sobre el platillo, por tanto se debe hacer una limpieza soplando aire con la perilla o limpiando con un pincel.

The comparison equipment (mass comparators or balances) are selected according to the mass set to be calibrated. The comparison equipment must be connected to the electric energy power supply at least 24 hours before the calibration. Before the start of the calibration process, verify that there is no dust on the plate, so must do a cleaning by blowing air with the air pear or cleaning with a paintbrush.

Antes de la calibración, el juego de pesas o la pesa se deben someter a una inspección con el fin de determinar la presencia de impurezas, en caso de que haya impurezas fáciles de remover se hará una limpieza superficial. Ver instrucción técnica **LM01-MA-IO2** Si se observara presencia de partículas en el transcurso de los intercambios de pesas se soplará con la perilla.

*Before the calibration, the weight set or the weight must be checked in order to determine if there are impurities, if so of easy removing, it will do a surface cleaning. See technical instructive **LM01-MA-IO2**. If the presence of particles is detected during the weight changes, it will blow with the air pear.*

Durante la comparación la pesa referencia se ubicará en un portaobjetos de color verde y la pesa de prueba en un portaobjetos de color rojo, esto cuando la comparación se realiza de manera manual. No aplica para el comparador de masas ya que el proceso de comparación es automático.

During the comparison the reference weight will be let on a green plate and the test weight on a red plate, this for the non automatic comparison. It does not apply for the mass comparator because the comparison process is automatic.

Diligenciar el formato con los datos de identificación de la pesa de prueba, los patrones y las condiciones ambientales. Cuando se emplean los comparadores esta información se realiza directamente en las casillas que trae el software para tal fin.

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 14 de 33

Se registran las condiciones ambientales, para la determinación de la densidad del aire, entre ciclos de medición en el caso de pesa de alta exactitud y al comienzo y al final de la calibración para las pesas de menor exactitud

To record the test weight, the standards and the environmental conditions data. These data are directly recorded within the mass comparators' software.

The environmental conditions are recorded to determine the air density, between each measurement cycle in the case of high accuracy weight and only at the beginning and at the end of the calibration in the case of lower accuracy weights.

5.3 Proceso de calibración / Process of calibration

Secuencia de las operaciones objeto del procedimiento

- Toma de datos de las condiciones ambientales al principio y al final del ciclo de medición o principio y fin de calibración dependiendo de la clase de exactitud.
- Realización de un ciclo de pesada según la secuencia dada en el método de calibración (Numeral 4.2 y 5.4)
- Repetición del ciclo de pesada n veces
- Estimación del valor de masa real y/o masa convencional de las masas a calibrar y estimación de sus incertidumbres asociadas.

Operations sequence

- Environmental conditions data taking, at beginning and at the end for each measurement cycle or at beginning and the end of the calibration depending on the accuracy class*
- Weighing cycle realization according the sequence of the calibration method (items 4.2 and 5.4)*
- n -weighing cycles repetition*
- Real mass value or conventional mass value estimation of the mass under calibration and estimation of their associated uncertainties.*

5.4 Toma y tratamiento de datos / Data taking and handling

Para la calibración de pesas se debe utilizar el formato **LM01-MA-F01** o **LM01-MA-F04**, cuando el registro se hace manual. Una vez se hayan registrado las condiciones ambientales y/o la hora de inicio de la rutina de calibración se realizan por lo menos cuatro (4) prepesadas con la pesa de prueba, estos datos no se registran. Las pesas deben colocarse de manera suave sin golpear el platillo.

*The registers **LM01-MA-F01** or **LM01-MA-F04** must be used to the calibration in the case of data taking by hand. Once upon the environmental conditions and/or the start time of the calibration are recorded, at least four (4) pre-weighing are made by using the test weight, these data are not recorded. The weights must be let in a softly way without hit the plate.*

Una vez puesta, sobre el plato de la balanza, la pesa patrón (referencia) se espera que se establezca la lectura, se registra la lectura I_{r1} , se retira la pesa y luego se ubica la pesa de prueba, se espera que se establezca la lectura, se registra el dato I_{p1} ; se retira y ubica nuevamente la pesa de prueba y se registra la lectura I_{p2} . Para

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 15 de 33

cerrar el ciclo se ubica nuevamente la pesa patrón y se registra la lectura I_{r2} . Para pesas de mayor exactitud, el ciclo terminaría con la lectura de pesa testigo I_T . Durante la realización de un ciclo no se debe ajustar la balanza, esto se puede hacer entre ciclos.

It is needed to wait to the reading stabilization when the (reference) standard weight is put on the balance's plate. The reading I_{r1} is recorded, to withdraw the weight and then the test weight is put on, wait for reading stabilization, the data I_{p1} is recorded; to withdraw and put on again the test weight and the reading I_{p2} is recorded. To close the cycle, again put the standard weight and the reading I_{r2} is recorded. For higher accuracy weights, the cycle ends with the witness weight reading I_T . It must no adjust the balance during a cycle. This adjustment can be done between cycles.

El ciclo se repite cinco veces para la calibración de pesas clase E_2 , cuatro veces para la calibración de pesas F_1 , tres veces para la calibración de pesas F_2 y dos para pesas M_1 e inferiores. Lo anteriormente indica como mínimo el número de ciclos, lo cual no implica que eventualmente se aplique un número mayor.

For the calibration of weights Class E_2 repeat five-times the cycle, four-times for the calibration of weights Class F_1 , three-times for the calibration of weights Class F_2 and two ones for the calibration of weights Class M_1 and lower ones. This indicates the minimum number of cycles, which no excludes that a greater number of cycles can eventually be applied.

Para el caso de las balanzas de brazos iguales, en el platillo izquierdo se coloca una contrapesa de igual valor nominal a la pesa que se quiere calibrar y al valor de referencia. En el platillo derecho se coloca la pesa patrón (referencia), se espera que se estabilice la lectura, se registra la lectura L_{N1} , se retira la pesa y luego se ubica la pesa de prueba, se espera que se estabilice la lectura, se registra el dato L_{P1} ; se retira y ubica nuevamente la pesa de prueba y se registra la lectura L_{P2} , se ubica nuevamente la pesa de referencia y se registra la lectura I_{r2} . Para cerrar el ciclo, sin bloquear la balanza se coloca la pesa de sensibilidad (valor nominal mayor que la división de escala) y se toma la lectura, I_{r2+ms}

For the case of the equal arms balances, a counter-weight with the same nominal value of the weight to be calibrated and the standard weight is put on the left plate. The standard weight is put on the right plate, wait for the reading stabilization, the reading L_{N1} is recorded, the standard weight is withdrawn, and then the test weight is put, wait for the reading stabilization, the reading L_{P1} is recorded; to withdraw and put on again the test weight and the reading L_{P2} is recorded; the test weight is withdraw, again put the standard weight and the reading I_{r2} is recorded. To close the cycle, without blocking the balance, the sensitivity weight (with its nominal value greater than the balance's division of scale) is put and the reading I_{r2+ms} is recorded.

Durante la calibración se debe comprobar que las condiciones ambientales se mantienen en el intervalo señalado en el manual técnico y que las desviaciones típicas no deben ser mayores que la desviación típica poblacional.

It must be checked that the environmental conditions are within the tolerance indicated in the technical manual and that the standard deviations are not greater than population's standard deviation.

5.4.1 Tratamiento de datos/ Data handling

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 16 de 33

Para cada ciclo se obtiene una diferencia entre la pesa de prueba y la pesa patrón, I_{p-r} , que se determina de la siguiente forma:

A partir de los valores de lectura o indicación de la balanza para cada pesa se obtienen en primera instancia las lecturas medias.

For each cycle, it has a difference between the test weight and the standard weigh, I_{p-r} , which one is determined by the following:

From the balance's readings values for every weight are firstly obtained the mean readings.

$$\bar{I}_p = \frac{I_{p1} + I_{p2}}{2} \quad (15)$$

$$\bar{I}_r = \frac{I_{r1} + I_{r2}}{2} \quad (15a)$$

Se halla la diferencia entre el valor medio de la lectura para la pesa de prueba y el valor medio de la lectura para la pesa de referencia (patrón)

Find out the difference between the test and standard weights readings mean values

$$I_{p-r} = \bar{I}_p - \bar{I}_r \quad (16)$$

Como el proceso se repite n veces de acuerdo con la clase de exactitud de la pesa de prueba la diferencia media entre las lecturas de la pesa de prueba y las lecturas de la pesa patrón se obtiene a partir de la media aritmética de las diferencias de los n ciclos.

According to the test weight's accuracy class and as the process is n -times repeated then the mean difference between the test and standard weights readings is obtained from the arithmetic mean of the n cycles differences.

$$\bar{I}_{p-r} = \frac{\sum_{i=1}^n (I_{p-r})_i}{n} \quad (17)$$

Cuando se emplea el metodo ABA el valor de la media se obtiene de la siguiente manera:

As the ABA method is used, the mean value is obtained by the following equation:

$$\bar{I}_{p-r} = \frac{\sum_i^n \left(I_{p_i} - \frac{I_{r_i} + I_{r_{i+1}}}{2} \right)}{n} \quad (18)$$

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 17 de 33

La calibración se puede realizar para la determinar del valor de la masa real o el valor de la masa convencional. Se puede realizar la calibración por el método de sustitución determinando directamente el valor de masa convencional de la prueba o bien determinando su valor de masa real y a partir de este la masa convencional.

The calibration determines the real mass value or the conventional mass value. The calibration is performed by the substitution method directly determining the test conventional mass value or rather its real mass value and from this the conventional mass value.

5.4.1.1 Determinación de la masa real / Real mass determination

Aplicando la ecuación (14) en el conjunto de los ciclos de calibración se obtiene el valor de la masa real de la prueba, conociendo la masa real de la referencia, su volumen y el de la prueba, así como la densidad del aire en el momento de la calibración, como muestra la ecuación (19). Teniendo en cuenta la deriva de la referencia el valor de masa en el momento de calibración debería incluir no solo su error con respecto al valor nominal, sino la deriva que ha tenido desde la última calibración; así mismo el valor de la diferencia de indicación media habrá que corregirlo por la excentricidad δe que tiene el instrumento de pesaje, ecuación (20). Usualmente estos valores, deriva del patrón de referencia y excentricidad se considera cero en cuanto a corrección, no así en cuanto a incertidumbre.

By applying the equation (14) to the calibration cycles set, the test real mass value is obtained, since the reference real mass value, its volume and the test volume are known, as well as the air density at the calibration time as shown the equation (19). Taking into account the reference's drift, so for the calibration time, the mass value should include in addition to the nominal value error, the drift from the last calibration. Also, the mean reading difference value must be corrected by the weighing instrument's eccentricity δe , equation (20). As commonly, these values: standard's drift and eccentricity are taken zero as corrections, but non zero as uncertainty components

Todos los tratamientos de resultados aplicados a la pesa de prueba se realizan para el patrón testigo en el caso que se incluya en el proceso de calibración, es decir que en la ecuación 19 se reemplaza m_p por m_t y la diferencia de indicación por $\bar{I}_{t-r}$. Para efectos de control solo se observa que se conserve la diferencia histórica entre el patrón testigo y el patrón de referencia.

En valores de masa cuando se habla del error de un patrón se refiere a la desviación de su valor al nominal, ecuación (21).

The same test weight's mathematical treatment is applied to the witness standard when it is included in the calibration process. So, replace m_p by m_t and the reading difference by $\bar{I}_{t-r}$. For control issues must be observed that the historical difference between the witness standard and the reference standard is maintained.

In terms of mass values, a standard's error denotes to the nominal value deviation, equation (21)

$$m_p - m_r + \rho_a(V_r - V_p) = \bar{I}_{p-r} \quad (19)$$

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE	Código/Code: LM01-MA-P01
	DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Revisión: Versión 5
		Página 18 de 33

$$m_p = m_{nr} + e_r + \delta m_r + \rho_a (V_p - V_r) + \bar{l}_{p-r} + \delta e \quad (20)$$

$$m_p = m_n + e_p \quad (21)$$

5.4.1.2 Determinación de la masa convencional a partir de la masa real / Conventional mass determination from real mass

El documento OIML D – 28: 2004 define la masa convencional de la siguiente manera:

The Document OIML D – 28: 2004 defines the conventional mass in the following way:

$$m_c \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_{ref}} \right) = m \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) \quad (22)$$

Para el caso de este laboratorio se debe tener cuidado al aplicar este modelo ya que la densidad del aire difiere en más del 10% del valor de referencia 1,2 kg·m⁻³, por lo que se debe hacer la corrección propuesta en la OIML R111-1:2004 y que se describe en el numeral 5.4.1.3, en donde se incluye la densidad del aire medida en el laboratorio

In the case of this Laboratory, it must be careful with this model application because the air density differs more than 10% of the reference value 1,2 kg·m⁻³, therefore, the proposed correction in the document OIML R111-1:2004 must be done, see numeral 5.4.1.3, where the air density measured in the Mass Laboratory is included.

5.4.1.3 Determinación de la masa convencional de la prueba a partir de la masa convencional de la referencia / Determination of the test's conventional mass from reference's conventional mass

Para realizar una calibración en masa convencional se determina la diferencia de la masa convencional m_{cp} de la pesa de prueba, cuyo volumen es V_p , con el valor de la masa convencional m_{cr} de la pesa de referencia, cuyo volumen es V_r .

De las ecuaciones (14) y (22) se deduce que la diferencia en masa convencional es:

To perform a conventional mass calibration for a test weight (whose volume is V_p), must be determined the difference between the test weight conventional mass m_{cp} and the reference weight conventional mass m_{cr} . The reference weight volume is V_r .

From equations (14) and (22), the conventional mass difference is:

$$\Delta m_c = f \cdot (l_p - l_r) + m_{cr} \left(\frac{1}{\rho_r} - \frac{1}{\rho_p} \right) \cdot (\rho_a - \rho_p) \quad (23)$$

Con $f=1$

With $f=1$

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 19 de 33

$$m_{cp} = \bar{l}_{p-r} + m_{cr} + m_{cr} \underbrace{\left(\frac{1}{\rho_r} - \frac{1}{\rho_p} \right) \cdot (\rho_a - \rho_0)}_{\substack{\text{corrección por empuje del aire} \\ \text{air buoyancy correction}}} = \bar{l}_{p-r} + m_{cr} \left(1 + \underbrace{\left(\frac{1}{\rho_r} - \frac{1}{\rho_p} \right) \cdot (\rho_a - \rho_0)}_C \right) = \bar{l}_{p-r} + m_{cr} (1+C) \quad (24)$$

Los valores m_{cp} y m_{cr} incluyen el error, es decir $m_{cp} = m_n + e_{cp}$ y $m_{cr} = m_n + e_{cr}$.

Teniendo en cuenta los efectos de sensibilidad, excentricidad, susceptibilidad magnética y deriva del patrón en el tiempo, se obtiene el modelo matemático para la determinación de la masa convencional de una pesa prueba.

Los factores no se tienen en cuenta como corrección efectiva, pero si como componentes de incertidumbre.

The values m_{cp} y m_{cr} includes the error, ie $m_{cp} = m_n + e_{cp}$ and $m_{cr} = m_n + e_{cr}$.

Taking into account, the effects from sensitivity, eccentricity, magnetic susceptibility and standard's drift, results the mathematical model for the test weight conventional mass determination.

The factors are no taken as effective correction factors, but uncertainty components.

$$m_{cp} = \bar{l}_{p-r} + \underbrace{\delta l_{ba} + \delta_e + \delta_{ma}}_{\delta m_{ba}} + \underbrace{(m_{cr} + \delta m_{cr})}_{\substack{\text{masa convencion} \\ \text{del patron} \\ \text{corregida}}} \cdot (1+C) \quad (25a)$$

$$m_{cp} = m_{cr} + \bar{l}_{p-r} + m_{cr} \cdot C + \delta m_r + \delta m_{ba} \quad (25b)$$

$$m_{cp} = m_{cr} + \bar{l}_{p-r} + \delta m_{em} + \delta m_r + \delta m_{ba} \quad (25c)$$

El valor de la corrección por empuje corresponde a $\delta m_{em} = (m_{cr} + \delta m_{cr}) \cdot C \cong m_{cr} \cdot C$; sin embargo el valor de deriva de masa se va a tener en cuenta en el cálculo de incertidumbres.

El valor de C se hará despreciable [2] siempre y cuando se cumpla que:

The buoyancy correction is $\delta m_{em} = (m_{cr} + \delta m_{cr}) \cdot C \cong m_{cr} \cdot C$; however, he mass drift value will be taken for the uncertainty calculation.

The C value will be neglected [2] if:

$$|C| \leq \frac{1}{3} \frac{U(m_{cp})}{m_n} \quad (26)$$

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 20 de 33

Los valores de $U(m_{cp})$ se obtienen de las tablas de los máximos errores permitidos en la OIML R 111-1:2004. Esta relación se puede tener en cuenta, siempre y cuando el valor de la incertidumbre que se le asigne a la masa convencional sea para un $k=2$.

Reordenando los términos de la ecuación (24), el valor de masa convencional en función de los volúmenes, se obtiene en una buena aproximación:

The values of $U(m_{cp})$ are taken from the OIML R 111-1:2004 permissible maximum errors tables. This is valid if the uncertainty value assigned to the conventional mass be for $k=2$.

Rearrange the equation (24) terms, the conventional mass value as a function of the volumes is given in a good approximation by:

$$m_{cp} = m_{cr} + \bar{I}_{p-r} + (\rho_a - \rho_0)(V_p - V_r) + \delta m_r + \delta m_{ba} \quad (27a)$$

$$m_{cp} = m_{cr} + \bar{I}_{p-r} + \delta m_{em} + \delta m_r + \delta m_{ba} \quad (27b)$$

En donde la corrección por empuje $\delta m_{em} = (\rho_a - \rho_0)(V_p - V_r)$

Este modelo matemático (25b) o (27b) es el que se aplica en las plantillas, calibración de pesas comparador balanzas, calibración pesas comparador discos y calibración pesas en balanzas.

Where the buoyancy correction is: $\delta m_{em} = (\rho_a - \rho_0)(V_p - V_r)$

This mathematical model (25b) or (27b) is in the spreadsheets, weights calibration balances comparators, weights calibration discs comparators and weights calibration in balances.

6 RESULTADOS / RESULTS

6.1 Presentación de resultados / Results display

Los resultados se reportan indicando el valor de masa nominal más el error, que puede ser referido a masa real o masa convencional y la incertidumbre expandida.

The results are reported indicating the nominal mass value plus its error, this one can be related to real mass or conventional mass, and the expanded uncertainty.

$$e_p = m_p - m_n \quad (28)$$

$$e_{cp} = m_{cp} - m_n \quad (29)$$

$$m_p = m_n + e_p \pm U \quad (30)$$

$$m_{cp} = m_n + e_{cp} \pm U \quad (31)$$

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 21 de 33

6.2 Interpretación de resultados / Results interpretation

El resultado obtenido en la calibración se expresa en el certificado de calibración, en este se consigna adicionalmente las características de la pesa calibrada como fabricante, marcación, forma, material, densidad, condiciones ambientales durante la calibración y los datos de las pesas o pesas de referencia con su trazabilidad al SI.

En la tabla de resultados se expresara la masa real y la masa convencional desglosadas en masa nominal y error, la incertidumbre expandida con un factor $k = 2$ que da un nivel de confiabilidad del 95,45%. (Teniendo en cuenta el teorema del límite central y lo señalado en la GUM numeral 6.3 [7]).

Para la clasificación de las pesas según la OIML se tendrá en cuenta: la forma, acabado superficial, marcación, error, la incertidumbre y la combinación del error con la incertidumbre asociada tal como se describe en el numeral 5.3.1 de la OIML R 111-1 [2] (Anexo 2 LM01-MA--01)

The calibration result is expressed in the certificate of calibration. The calibrated weight' characteristics as manufacturer, labels, form, material, density, environmental conditions during the calibration and the reference weights' SI traceability data are recorded, too.

The results table shows the real mass and the conventional mass displayed as nominal mass and error, the expanded uncertainty with a coverage factor of $k = 2$ for a level of confidence of 95,45%. (Assuming the Central Limit Theorem, see GUM numeral 6.3 [7]).

It will have into account the following factors to classify the weights as OIML weights: form, surface finish, labeled, error, uncertainty, and the error and uncertainty combination as described OIML R 111-1, numeral 5.3.1. [2] (Annex 2 LM01-MA-P01)

7 ESTIMACION DE LA INCERTIDUMBRE / UNCERTAINTY DETERMINATION

7.1 Componentes de incertidumbre: cuantificación y reducción/ Uncertainty components: quantify and reduction

For the uncertainty of measurement calculation, the following documents are the references: Guide EA-4/02 (it corresponds DKD-3) [6], Recommendation OIML R 111 - 1: 2004 and the Colombian Technical Guide GT 51: 1997 – ICONTEC (corresponds GUM [7]).

Partiendo de la ecuación (25b) se considera las siguientes fuentes de incertidumbre:

- ✓ Patrón de referencia
- ✓ Variación del patrón de referencia en el tiempo
- ✓ Medio de comparación (balanzas o comparador de masa)
- ✓ Proceso de comparación
- ✓ Corrección por empuje

From equation (25), the following uncertainties sources are considered:

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 22 de 33

- ✓ Reference standard
- ✓ Reference standard's time variation
- ✓ Comparison mean (balances or mass comparator)
- ✓ Comparison process
- ✓ Buoyancy correction

71.1 Masa convencional / Conventional mass

Aplicando la ley de propagación de incertidumbres a la ecuación (25b) y considerando que no hay una correlación significativa entre las componentes se tiene:

Applying the uncertainties propagation law to equation (25) and assuming that there is not a significant correlation between the uncertainty components:

$$u^2(m_{cp}) = u^2(m_{cr}) + u^2(\delta m_r) + u^2(\delta m_{em}) + u^2(\bar{l}_{p-r}) + u^2(\delta m_{ba}) \quad (32)$$

Se analizan cada una de las contribuciones de incertidumbre de la ecuación (32)

Each equation (32) 's uncertainty source is analyzed.

7.1.1.1 La incertidumbre de la masa del patrón de referencia, $u(m_r)$, se obtendrá de la incertidumbre dada en su certificado de calibración, $U(m_r)$, para el factor de cobertura correspondiente k .

7.1.1.1 The reference standard's mass uncertainty, $u(m_r)$, is taken from its certificate of calibration, $U(m_r)$, with the appropriate coverage factor k .

$$u(m_{cr}) = \frac{U(m_{cr})}{k} \quad (33)$$

En el caso de realizar la calibración con varios patrones que estén correlacionados, (por ejemplo si han sido calibrados por el mismo laboratorio con el mismo instrumento o con los mismos patrones):

In case of carries out the calibration with some standards which are correlated, (e.g. if they have been calibrated by the same laboratory using the same equipment or the same standards):

$$u(m_{cr}) = \sum (u(m_{cr})_i) \quad (34)$$

7.1.1.2 La incertidumbre debida a la deriva del patrón, $u(lm_r)$, se calcula de la siguiente manera:

Partiendo del histórico de calibraciones sucesivas del patrón, se estima una variación de su masa, Δm_r , que viene dada por la diferencia máxima de masa entre dos recalibraciones sucesivas. La incertidumbre debida a la deriva será:

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 23 de 33

7.1.1.2 The standard's drift uncertainty, $u(\delta m_r)$, is calculated as follows:

From the standard's successive calibrations, a standard's mass variation Δm_r is calculated. This is the maximum mass difference between two successive calibrations. The drift uncertainty is:

$$u(\delta m_r) = \frac{\delta m_r}{\sqrt{3}} \quad (35)$$

Si no se tiene un histórico de las recalibraciones sucesivas del patrón, la incertidumbre debida a la deriva máxima puede darse como:

If there is no a historic record of the standard's successive calibrations, the maximum drift uncertainty is given by:

$$u(\delta m_r) = \frac{u(m_r)}{\sqrt{3}} \quad (36)$$

7.1.1.3 Incertidumbre debido a la corrección por empuje del aire / *Uncertainty from air buoyancy correction*

Se calcula de acuerdo con la ecuación propuesta en la OIML R111 -1:2004 [2] y [8]

From the proposed equation in OIML R111-1:2004 [2] y [8]:

$$u(\delta m_{em}) = \sqrt{\left[m_{cr} \frac{(\rho_p - \rho_r)}{\rho_p \rho_r} u(\rho_a) \right]^2 + [m_{cr} (\rho_a - \rho_0)]^2 \frac{u^2(\rho_p)}{\rho_p^4} + m_{cr} (\rho_a - \rho_0) [(\rho_a - \rho_0) - 2(\rho_{a1} - \rho_0)] \frac{u^2(\rho_r)}{\rho_r^4}} \quad (37)$$

La incertidumbre para la densidad del aire se calcula según lo descrito en la instrucción técnica **LM01-MA-I05 - Cálculo de la densidad del aire**, considerando los valores de incertidumbre de los instrumentos climáticos con los que se tomaron las condiciones ambientales.

*The air density uncertainty is calculate from the technical instructive **LM01-MA-I05 - Air density calculation**, taking into account the uncertainty of climatic instruments used in the measurements.*

Los valores de densidad de las pesas de prueba y su incertidumbre se obtienen de certificados de calibraciones de densidad o volumen; de lo contrario se tendrán en cuenta datos del fabricante o valores tabulados de la densidad, en función del material (Anexo 3 LM01-MA-P01). Si se tiene de un intervalo en donde se espera encontrar el valor de la densidad, $[\rho_{p \max}; \rho_{p \min}]$, a partir de ese intervalo se estimará la incertidumbre como:

The values of test weights ' density and their uncertainty are getting from the certificates of calibration for density or volume; otherwise from the manufacturer's specifications or from the tabulated density values for the weight material (Annex 3 LM01-MA-P01). If there is a values interval where it is possible to found the density value, $[\rho_{p \max}; \rho_{p \min}]$, the uncertainty is estimated from this interval as follows:

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE	Código/Code: LM01-MA-P01
	DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Revisión: Versión 5
		Página 24 de 33

$$u(\rho_p) = \frac{[\rho_{p \max} - \rho_{p \min}]}{\sqrt{12}} \quad (38)$$

Siempre que se tome como valor de ρ_p como

If ρ_p is given by:

$$\rho_p = \frac{\rho_{p \max} + \rho_{p \min}}{2} \quad (39)$$

La incertidumbre debida a la dilatación del volumen por la variación de temperatura se considera despreciable.

- Valores e incertidumbre en la densidad de las pesas de referencia, estos valores están consignados en los certificados de calibración, para el factor de cobertura k correspondiente.

The volume expansion uncertainty due the temperature variation is neglected.

- From the certificates of calibration, reference weights' values and their uncertainties of density, for the corresponding coverage factor.

$$u(\rho_r) = \frac{U(\rho_r)}{k} \quad (40)$$

7.1.1.4 Incertidumbre debida a la diferencia de indicación, $u(\bar{I}_{p-r})$. Componente de incertidumbre tipo A.

Se considera como componente de incertidumbre de tipo A, la obtenida mediante la estimación de la varianza poblacional, s_p^2 , evaluada en el instrumento bajo control estadístico a partir de un número grande de ensayos. Este parámetro caracteriza mejor la dispersión que la desviación típica estimada a partir de un número limitado de observaciones, $s(\bar{I}_{p-r}) = s(\Delta m)$. En ese caso:

7.1.1.4 Difference of reading $u(\bar{I}_{p-r})$ uncertainty. Uncertainty component type A.

The uncertainty component obtained from the estimation of the population variance s_p^2 for an instrument under statistical control and for a large number of essays is considered of the type A. This parameter characterizes the dispersion better than the standard deviation from a limited number of observations, $s(\bar{I}_{p-r}) = s(\Delta m)$. In this case:

$$u(\bar{I}_{p-r}) = \frac{s_p}{\sqrt{n}} \quad (41)$$

siempre y cuando $s(\bar{I}_{p-r}) < s_p$

if $s(\bar{I}_{p-r}) < s_p$

y siendo

where

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 25 de 33

$$s(\bar{I}_{p-r}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(I_{p-r})_i - \bar{I}_{p-r}]^2}{n-1}} \quad (42)$$

En donde n es el número de ciclos de acuerdo como se describe en el numeral 5.4. Si no se conoce s_p se tomará en su lugar el valor de $s(\bar{I}_{p-r})$.

Where, n is the number of cycles as it is described in the numeral 5.4. If s_p is unknown then it will be taken the value of $s(\bar{I}_{p-r})$ instead.

7.1.1.5. Componente de incertidumbre debido al instrumento de comparación (balanza o comparador de masa)

Aplicando la ley de propagación de incertidumbres a la ecuación (16) y considerando que las variables I_p e I_r están correlacionadas al estar tomadas con el mismo instrumento, la componente de incertidumbre será:

7.1.1.5. Uncertainty component due to the comparison instrument (balance or mass comparator)

Applying the propagation of uncertainties law to equation (16) and considering that the variables I_p and I_r are correlated since they are taken by the same instrument, the uncertainty component will be:

$$u^2(\delta m_{ba}) = u_B^2(I_p) + u_B^2(I_r) - 2u_B(I_p)u_B(I_r) \cdot r((I_p);(I_r)) \quad (43)$$

Las incertidumbres $u_B(I_p)$ y $u_B(I_r)$ tienen, fundamentalmente, tres componentes, una debida a la resolución del instrumento, $u(d)$, otra debido a los efectos de excentricidad y otra debido a los efectos de magnetismo. Los efectos de excentricidad se consideran poco significativos debido a que los comparadores de masa tienen sistemas de centrado automático o no aplica el efecto de excentricidad; en el caso de que sea una contribución significativa frente a los demás deberá tenerse en cuenta. De igual manera se considera que el efecto sobre magnetismo no aplica ya que en general se cuenta con pesas normalizadas que cumplen con los requisitos de magnetismo. (Podrían considerarse que su efecto se encuentra evaluado dentro de la desviación típica). La covarianza entre $u_B(I_p)$ y $u_B(I_r)$ hace doble la componente debida a la resolución del instrumento y anula la debida a las demás componentes de la calibración del instrumento. Por lo tanto queda así:

The uncertainties $u_B(I_p)$ and $u_B(I_r)$ have mainly three components, one component due to the instrument's resolution, $u(d)$, other component due to eccentricity effects and other component due to the magnetic effects. The eccentricity effect are considered small significant since the mass comparators have automatic centered systems or the eccentricity effect is no applicable; otherwise, this component must be taken into account. In a similar way, the magnetic effect is no considered because standardized weights are used and they satisfy the magnetic requisites. (It may be considered that its effect is included within the standard deviation.) The covariance between $u_B(I_p)$

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 26 de 33

and $u_B(I_r)$ duplicates the instrument's resolution uncertainty component and nulls the other uncertainty components for the instrument's calibration. Therefore:

$$u^2(\delta m_{ba}) = 2 \cdot u^2(d) \quad (43)$$

Para calcular $u(d)$, consideramos una distribución rectangular de amplitud d .

To calculate $u(d)$, a rectangular distribution with amplitude d is taken.

$$u(d) = \frac{d}{\sqrt{12}} \quad (44)$$

Por tanto:

Hence:

$$u(\delta m_{ba}) = \frac{d}{\sqrt{6}} \quad (45)$$

7.1.2 Estimación de la incertidumbre de la masa real/ Real mass uncertainty determination

Para el caso de la masa real, las componentes por deriva del patrón, $u(\delta m_r)$, por la balanza o comparador de masas, $u(\delta m_{ba})$ y por la diferencia de la indicación $u(\bar{I}_{p-r})$ no cambian, en tanto que para el patrón se debe tomar la incertidumbre de la masa real $u(m_r)$ en lugar de la incertidumbre de la masa convencional $u(m_{cr})$.

Para el caso del empuje se tiene la siguiente ecuación:

For the real mass case, the drift components of the standard, $u(\delta m_r)$, of the balance or mass comparator, $u(\delta m_{ba})$ and of the reading difference $u(\bar{I}_{p-r})$ do not change, meanwhile for the standard must be take the real mass uncertainty $u(m_r)$ instead of the conventional mass uncertainty $u(m_{cr})$.

For the buoyancy, it is taken the equation:

$$u(\delta m_{em}) = \sqrt{(V_p - V_r)^2 u^2(\rho_a) + \rho_a^2 (u^2(V_p) - u^2(V_r))} \quad (46)$$

La incertidumbre debida al volumen de la prueba, $u(V_p)$, Se obtiene del certificado de Calibración, $U(V_p)$, para el factor de cobertura correspondiente k .

The test volume uncertainty component $u(V_p)$ is taken from the certificate of calibration, $U(V_p)$, with the appropriate coverage factor k .

(47)

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 27 de 33

$$u(V_p) = \frac{U(V_p)}{k}$$

Incertidumbre debida al volumen del patrón, $u(V_r)$. Se obtiene del Certificado de Calibración, $U(V_r)$, para el factor de cobertura correspondiente k .

The standard volume uncertainty component $u(V_r)$ is taken from the certificate of calibration, $U(V_r)$, with the appropriate coverage factor k

$$u(V_r) = \frac{U(V_r)}{k} \quad (48)$$

Para cualquier caso se considera despreciable la incertidumbre debida a la dilatación del volumen por la variación de temperatura.

For any case, the uncertainty associated to the volume expansion by temperature variation is neglected.

7.2 Resumen de componentes de incertidumbre / Uncertainty components summary

The following mathematical model is applied once the uncertainties sources are identified. The data are replaced in the model to get the combined uncertainty.

$$u^2(m_{cp}) = u^2(m_{cr}) + u^2(\delta m_r) + u^2(\delta m_{em}) + \frac{s_p^2}{n} + \frac{d^2}{6} \quad (49)$$

COMPONENTE component x_i	ESTIMADO estimated x_i	INCERTIDUMBRE ESTANDAR Standard uncertainty $u(x_i)$	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD Probability distribution	COEFICIENTE DE SENCIBILIDAD Sensitivity coefficient	CONTRIBUCIÓN contribution $u(y)$	CONTRIBUCIÓN CUADRÁTICA Square contribution $u(y)$
PATRON Standard (m_{cr})			normal	1		
VARIACION DEL PATRON Standard's drift (δm_r)			rectangular	1		
EMPUJE (em)			normal	1		
COMPARACION Comparison (S_p)			normal	1		
MEDIO DE COMPARACION Comparison mean (d)			rectangular	1		

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE	Código/Code: LM01-MA-P01
	DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Revisión: Versión 5
		Página 28 de 33

COMPONENTE component X_i	ESTIMADO estimated x_i	INCERTIDUMBRE ESTANDAR Standard uncertainty $u(x_i)$	DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD Probability distribution	COEFICIENTE DE SENCIBILIDAD Sensitivity coefficient	CONTRIBUCIÓN contribution $u(y)$	CONTRIBUCIÓN CUADRÁTICA Square contribution $u(y)$
PRUEBA test						

7.3 Cálculo de la incertidumbre combinada / Combined uncertainty calculation

$$u(e_{cp}) = u(m_{cp}) \quad (50)$$

Ya que incertidumbre debida al valor nominal, $u(m_n)$, es nula por tratarse de un valor constante.

Cálculo de la incertidumbre expandida,

The nominal value uncertainty is null, $u(m_n)$, because it is a constant. value.

Expanded uncertainty calculation

$$U(m_{cp}) = k \cdot u(m_{cp}) \quad (51)$$

$k = 2$ for a level of confidence of 95,45%, [2]

Si el valor de incertidumbre para la masa real del patrón no difiere de manera significativa del valor de incertidumbre para la masa convencional, se considera que el valor de incertidumbre de masa y masa real para la prueba no varía de manera significativa y por tanto se expresa el mismo valor, pues el resto de los términos resultan no hacen que cambie de manera sensible. [9]

If the uncertainty value for the standard's real mass is no significantly different from the uncertainty value for the conventional mass, it is considered that the test's mass uncertainty value and the real mass no significantly change and hence the same value is expressed, because the other terms do not produce significant changes. [9]

$$U(m_p) \approx U(m_{cp}) \quad (52)$$

8 REFERENCIAS / REFERENCES

8.1. Documentos utilizados en la elaboración / Documents of reference

- [1] Vocabulario Internacional de términos básicos y generales de metrología (VIM) - Año 2000
- [2] O.I.M.L. Recomendación Internacional R 111. Pesas de clases E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ y M₃. Parte 1 Edición 2004

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 29 de 33

- [3] O.I.M.L. Documento Internacional D 28. Valor Convencional del resultado de pesaje en el aire; Edición 2004
- [4] Giacomo; P. "Equation for the Determination of the Density of Moist Air"; 1982; Metrología 18; 33-40.
- [5] B.I.P.M., Formule pour la determination de la masse volumique de l'air humide (1981) Rapport BIPM-81/1. Oct 1981.
- [6] Guía EA-4/02. Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. European Cooperation for Accreditation (EA). December 1999.
- [7] Guide to the expression of uncertainty in measurement; GUM; 1995.
- [8] Gläser M. "Covariances in the determination of conventional mass"; 2000; Metrologia 37; 249 – 251
- [9] M. Kochsiek, M. Gläser. Comprehensive Mass Metrology Ed. Wiley - VCH

8.2. Documentos a utilizar conjuntamente con este documento / *Documents to use jointly with this document*

- (1) Instrucción Técnica: Cálculo de la densidad del aire (**LM01-MA-I05**).
Technical instructive: air density calculation (**LM01-MA-I05**).
- (2) **LM01-MA-F01** Formato calibración manual de pesas / Manual Calibration of weights
- (3) Plantilla calibración pesas comparador – balanza/ Spreadsheet weights calibration comparator - balance
- (4) Plantilla calibración pesas comparador (discos) – balanza/ Spreadsheet weights calibration comparator (discs) - balance
- (5) Plantilla calibración pesas en balanza/ Spreadsheet weights calibration in balance
- (6) Documento de definiciones Tomos I y II/ Definitions document. Volumes I and II
- (7) **LM01-MA-F04** Calibración de pesas no normalizadas/ Non-standard weights calibration.

9 ANEXOS / ANNEXES

- [1] Anexo 1 LM01 –MA-P01: Tabla para periodos de estabilización de las pesas/ Table for weights stabilization times

	PROCEDIMIENTO /PROCEDURE DETERMINACIÓN DE LA MASA REAL Y MASA CONVENCIONAL POR EL MÉTODO DE SUSTITUCIÓN/ REAL AND CONVENTIONAL MASS DETERMINATION BY SUBSTITUTION METHOD	Código/Code: LM01-MA-P01
		Revisión: Versión 5
		Página 30 de 33

[2] Anexo 2 LM01 –MA-P01: Tabla de errores máximos permitidos para pesas / Table maximum permissible errors for weights

[3] Anexo 3 LM01 –MA-P01: Densidad de materiales comúnmente usados para pesas/ Density of materials most commonly used for weights.

CONTROLLED COPY

Anexo 1 / Annex 1

Table B.2 [11] Thermal stabilization in hours

ΔT^*	Nominal value	Class E ₁	Class E ₂	Class F ₁	Class F ₂
$\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	79	5
	100, 200, 500 kg	-	70	33	4
	10, 20, 50 kg	45	27	12	3
	1, 2, 5 kg	18	12	6	2
	100, 200, 500 g	8	5	3	1
	10, 20, 50 g	2	2	1	1
	< 10 g	1			0.5
$\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	1	1
	100, 200, 500 kg	-	40	2	1
	10, 20, 50 kg	36	18	4	1
	1, 2, 5 kg	15	8	3	1
	100, 200, 500 g	6	4	2	0.5
	10, 20, 50 g	2	1	1	0.5
	< 10 g	0.5			

ΔT^*	Nominal value	Class E ₁	Class E ₂	Class F ₁	Class F ₂
$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	1	0.5
	100, 200, 500 kg	-	16	1	0.5
	10, 20, 50 kg	27	10	1	0.5
	1, 2, 5 kg	12	5	1	0.5
	100, 200, 500 g	5	3	1	0.5
	< 100 g	2	1		0.5
$\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	-	-
	100, 200, 500 kg	-	1	0.5	0.5
	10, 20, 50 kg	11	1	0.5	0.5
	1, 2, 5 kg	7	1	0.5	0.5
	100, 200, 500 g	3	1	0.5	0.5
	< 100 g	1	0.5		

* ΔT = Initial difference between weight temperature and laboratory temperature.

Anexo 2 / Annex 2

Table 1. Maximum permissible errors for weights ($\pm \delta w$ in mg)

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				

* The nominal weight values in Table 1 specify the smallest and largest weight permitted in any class of R 111 and the maximum permissible errors and denominations shall not be extrapolated to higher or lower values. For example, the smallest nominal value for a weight in class M₃ is 100 mg while the largest is 5 000 kg. A 50 mg weight would not be accepted as an R 111 class M₃ weight and instead should meet class M₁ maximum permissible errors and other requirements (e.g. shape or markings) for that class of weight. Otherwise the weight cannot be described as complying with R 111.

Anexo 3 / Annex 3

Table 5 Minimum and maximum limits for density ($\rho_{\min}$, $\rho_{\max}$)

Nominal value	$\rho_{\min}, \rho_{\max}$ (10^3 kg m^{-3})							
	Class of weight (for class M_3 , no value is specified)							
	E_1	E_2	F_1	F_2	M_1	M_{1-2}	M_2	M_{2-3}
$\geq 100 \text{ g}$	7.934 – 8.067	7.81 – 8.21	7.39 – 8.73	6.4 – 10.7	≥ 4.4	> 3.0	≥ 2.3	≥ 1.5
50 g	7.92 – 8.08	7.74 – 8.28	7.27 – 8.89	6.0 – 12.0	≥ 4.0			
20 g	7.84 – 8.17	7.50 – 8.57	6.6 – 10.1	4.8 – 24.0	≥ 2.6			
10 g	7.74 – 8.28	7.27 – 8.89	6.0 – 12.0	≥ 4.0	≥ 2.0			
5 g	7.62 – 8.42	6.9 – 9.6	5.3 – 16.0	≥ 3.0				
2 g	7.27 – 8.89	6.0 – 12.0	≥ 4.0	≥ 2.0				
1 g	6.9 – 9.6	5.3 – 16.0	≥ 3.0					
500 mg	6.3 – 10.9	≥ 4.4	≥ 2.2					
200 mg	5.3 – 16.0	≥ 3.0						
100 mg	≥ 4.4							
50 mg	≥ 3.4							
20 mg	≥ 2.3							

Table B.7 Method F2 - List of alloys most commonly used for weights

Alloy/material	Assumed density	Uncertainty ($k = 2$)
Platinum	21 400 kg m^{-3}	$\pm 150 \text{ kg m}^{-3}$
Nickel silver	8 600 kg m^{-3}	$\pm 170 \text{ kg m}^{-3}$
Brass	8 400 kg m^{-3}	$\pm 170 \text{ kg m}^{-3}$
Stainless steel	7 950 kg m^{-3}	$\pm 140 \text{ kg m}^{-3}$
Carbon steel	7 700 kg m^{-3}	$\pm 200 \text{ kg m}^{-3}$
Iron	7 800 kg m^{-3}	$\pm 200 \text{ kg m}^{-3}$
Cast iron (white)	7 700 kg m^{-3}	$\pm 400 \text{ kg m}^{-3}$
Cast iron (grey)	7 100 kg m^{-3}	$\pm 600 \text{ kg m}^{-3}$
Aluminum	2 700 kg m^{-3}	$\pm 130 \text{ kg m}^{-3}$