

NORMA Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-020-SE-2020, Pesas clases de exactitud de clase E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ y M₃.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- ECONOMÍA.- Secretaría de Economía.

NORMA OFICIAL MEXICANA DE EMERGENCIA NOM-EM-020-SE-2020, PESAS CLASES DE EXACTITUD DE CLASE E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ Y M₃

ALFONSO GUATI ROJO SÁNCHEZ, Director General de Normas y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Secretaría de Economía (CCONNSE), con fundamento en los artículos 34 fracciones II, XIII y XXXIII de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 39 fracción V, 40 fracción IV y 48 párrafos primero y tercero de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; y 36 fracciones I y IX del Reglamento Interior de la Secretaría de Economía, expide la NORMA OFICIAL MEXICANA DE EMERGENCIA NOM-EM-020-SE-2020, PESAS CLASES DE EXACTITUD DE CLASE E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ y M₃, y en términos de los artículos 43 y 48 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, ordena la publicación de la misma en el Diario Oficial de la Federación.

Ciudad de México, a 24 de abril de 2020.- El Director General de Normas y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Secretaría de Economía, **Alfonso Guati Rojo Sánchez**.- Rúbrica.

CONSIDERANDO

Que es responsabilidad del Estado procurar las medidas que sean necesarias para garantizar que los instrumentos de medición que se comercialicen en el territorio nacional sean seguros y exactos, con el propósito de que en su utilización tengan un desempeño adecuado conforme a sus cualidades metrológicas, y aseguren la exactitud de las mediciones que se realicen en las transacciones comerciales;

Que el intercambio de bienes y servicios que deriva en transacciones comerciales a nivel internacional, esto es, exportaciones e importaciones, exige la armonización de las regulaciones técnicas, así como los controles metrológicos aplicados por los servicios metrológicos nacionales;

Que derivado de los progresos tecnológicos que se han logrado en los últimos años y de las mejores prácticas internacionales, se exige cada vez mayor exactitud de las pesas utilizadas en los instrumentos para pesar, lo que implica contar con mejores controles metrológicos en los instrumentos de medición, y en la medida que aumenta la exactitud de un instrumento, se vuelve más importante la correcta calibración del mismo;

Que durante el primer trimestre del año 2020, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), registró que en marzo de este año, el valor de las exportaciones de mercancías fue de 38,399 millones de dólares, cifra que se integró por 37,159 millones de dólares de exportaciones no petroleras (agropecuarias, extractivas, manufactureras automotrices y manufactureras no automotrices) y por 1,240 millones de dólares de petroleras y el valor de las importaciones de mercancías en el tercer mes de este año se ubicó en 35,007 millones de dólares.¹;

Que en las transacciones comerciales, ya sea de mercancías para importaciones o exportaciones, la exactitud de la medición del peso y masa, mediante la utilización de pesas, por ejemplo, de productos agrícolas y pecuarios y hasta de los bienes manufacturados, como los automóviles, es fundamental e indispensable para la realización de las mediciones de las mismas, ya que los resultados de las mediciones están directamente relacionados con la determinación de los precios contra las cantidades de los bienes adquiridos o para determinar si una vía terrestre soporta el peso adecuado de los vehículos que transitan en ella para la seguridad de las personas;

Que se identificó que de los gastos que erogan las familias en nuestro país, la mayoría corresponden a alimentos, de los cuales, las frutas, verduras, legumbres, semillas, especias, granos y cereales, entre otros bienes que conforman la Canasta Básica de Alimentos, se adquieren mediante venta por peso, por lo que resulta indispensable para salvaguardar la economía de los hogares mexicanos mediante la disponibilidad de contar con pesas confiables que otorguen la confianza a los consumidores de estos productos, que el precio por el que pagan por los mismos, sea correspondiente al producto que ha sido pesado y adquirido;

Que en términos de lo previsto en el párrafo cuarto del artículo 51 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la notificación de la revisión quinquenal de la *Norma Oficial Mexicana NOM-038-SCFI-2000 Pesas de clases de exactitud E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₂ y M₃, que establece las características físicas y metrológicas así como los métodos de comparación y pruebas que deben cumplir las pesas, utilizadas en los*

¹ <https://www.inegi.org.mx/temas/balanza/>

instrumentos para pesar o para medir masa y que se usan también para la verificación de estos instrumentos y de otras pesas, que debió ser realizada el 25 de enero 2016; por ello y en cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 5to del *Acuerdo*², se determinó dejarla sin efectos, tal como se señala en el Transitorio quinto de la NOM-001-SCFI-2018 Aparatos electrónicos-Requisitos de seguridad. y métodos de prueba, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de septiembre de 2019;

Que ante la inminente afectación a las finalidades establecidas en el artículo 40, fracción I, de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, derivado de la omisión de la notificación del resultado de la revisión quinquenal de la *NOM-038-SCFI-2000 Pesas de clases de exactitud E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₂ y M₃*, citada en el párrafo anterior, frente a la necesidad de una regulación técnica que establezca la aprobación de modelo de las pesas que son comercializadas en el país (de fabricación nacional o importadas), para que cumplan con los requisitos técnicos y metrológicos de construcción y con ello mantener bajo control metrológico a los instrumentos para pesar (conocidas como básculas), resulta imprescindible emitir la norma oficial mexicana de emergencia que establezca dichas características metrológicas para dar certidumbre a las industrias usuarias de las pesas así como a los consumidores;

Que de conformidad con lo dispuesto en los artículos 39, fracción V, 40, fracción IV y 48 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y a efecto de garantizar la acción inmediata del Gobierno Federal y fortalecer las transacciones comerciales del país, corresponde a la Secretaría de Economía expedir una Norma Oficial Mexicana de Emergencia, que garantice certeza y seguridad en las pesas utilizadas en los instrumentos para pesar o para medir masa y que se usan también para la verificación de estos instrumentos, así como para la conservación de los prototipos nacionales de unidades de medida, metro y Kilogramo asignados por la Oficina Internacional de Pesas y Medidas a los Estados Unidos Mexicanos. Que establezca sus características físicas, métodos de medición, verificación, calibración y trazabilidad.

Prefacio

En la elaboración de la presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia, participaron las siguientes empresas e instituciones:

- CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA (CENAM)
- PROCURADURÍA FEDERAL DEL CONSUMIDOR
Laboratorio Nacional de Protección al Consumidor
- SECRETARÍA DE ECONOMÍA
Dirección General de Normas

ÍNDICE

1. Objetivo y campo de aplicación.
2. Referencias normativas.
3. Términos y definiciones.
4. Símbolos y abreviaturas.
5. Clasificación.
6. Unidades y Valores Nominales de las Pesas - Requisitos metrológicos.
7. Requisitos metrológicos.
8. Requisitos técnicos.
9. Construcción.
10. Material.
11. Magnetismo.
12. Densidad.
13. Condiciones Superficiales.
14. Ajuste.

² Acuerdo que fija los lineamientos que deberán ser observados por las Dependencias y Organismos descentralizados de la administración pública federal en cuanto a la emisión de los actos administrativos de carácter general a los que les resulta aplicable el artículo 69-H de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo", publicado el 8 de marzo de 2017 en el Diario Oficial de la Federación.

15. Marcado.
16. Presentación - Controles metrológicos.
17. Controles Metrológicos.
18. Marcas de Control.
19. Evaluación de la Conformidad.
20. Vigilancia
21. Concordancia con normas internacionales.
 - Apéndice A (Normativo) Ejemplos de las diferentes formas y dimensiones
 - Apéndice B (Normativo) Procedimientos de pruebas para las pesas
 - Apéndice C (Normativo) Calibración de pesas o juego de pesas
 - Apéndice D (Informativo) Control Estadístico
 - Apéndice E (Informativo) Fórmula del CIPM y una fórmula de aproximación
22. Bibliografía.

TRANSITORIOS

1. Objetivo y campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana de Emergencia especifica los requisitos técnicos y metrológicos para pesas utilizadas como:

- patrones para la verificación de instrumentos para pesar;
- patrones para la calibración y pruebas de instrumentos para pesar para otorgar la aprobación de modelo o prototipo;
- patrones para la verificación o calibración de pesas de una menor clase de exactitud;
- instrumentos para pesar.

Esta Norma Oficial Mexicana de Emergencia es aplicable a pesas con valores nominales de masa de 1 mg a 5 000 kg en las clases de exactitud E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ y M₃.

2. Referencias normativas

Los siguientes documentos referidos, sus modificaciones o los que los sustituyan son indispensables para la aplicación de esta Norma Oficial Mexicana de Emergencia:

2.1 Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida, fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación el 27 de noviembre de 2002.

2.2 Norma Mexicana NMX-Z-012/2-1987, Muestreo para la inspección por atributos-Parte 2: Métodos de muestreo, tablas y gráficas. (Esta norma cancela la NOM-Z-12/2-1975 y la NOM-Z-12/3-1975). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de octubre de 1987.

2.3 Norma Mexicana NMX-Z-055-IMNC-2009, Vocabulario Internacional de Metrología-Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de diciembre de 2009.

3. Términos y definiciones

Para propósitos de esta Norma Oficial Mexicana de Emergencia, se deben usar las definiciones establecidas en la Norma Mexicana NMX-Z-055-IMNC-2009 (Ver 2.3 Referencias normativas), VIM y VIML [Ver 21.1 y 21.2 Bibliografía], además de las siguientes:

3.1 instrumento para pesar

instrumento de medición que sirve para determinar la masa de un cuerpo utilizando la acción de la gravedad sobre este cuerpo, y adicionalmente, que es sensible a las siguientes fuerzas:

$$F_g = m \times g$$

Gravedad.

$$F_b = V \times \rho_a \times g = \frac{m}{\rho} \rho_a \times g$$

Empuje del aire igual al peso del aire desplazado.

$$F_z = \mu_0 \iiint_V (M + \chi H) \frac{\partial H}{\partial z} dV$$

Componente vertical de la interacción magnética entre la pesa y la instrumento para pesar y/o el entorno.

H y M son vectores, z es la coordenada cartesiana vertical.

Si los efectos magnéticos son despreciables, es decir, la magnetización permanente (M) de la pesa y la susceptibilidad magnética (χ) son suficientemente pequeñas y el instrumento para pesar es calibrado con pesas de referencia de masa bien conocida, la instrumento para pesar puede utilizarse para indicar la masa convencional m_c de un cuerpo bajo condiciones seleccionadas convencionalmente.

3.2 calibración

operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.

NOTA 1: Una calibración puede expresarse mediante una declaración, una función de calibración, un diagrama de calibración, una curva de calibración o una tabla de calibración. En algunos casos, puede consistir en una corrección aditiva o multiplicativa de la indicación con su incertidumbre correspondiente.

NOTA 2: Conviene no confundir la calibración con el ajuste de un sistema de medida, a menudo llamado incorrectamente "autocalibración", ni con una verificación de la calibración.

NOTA 3: Frecuentemente se interpreta que únicamente la primera etapa de esta definición corresponde a la calibración.

3.3 certificado (informe) de calibración

certificado emitido por el Centro Nacional de Metrología (CENAM) y los laboratorios acreditados y aprobados que registran los resultados de una calibración.

3.4 certificado de conformidad

documento proporcionado por el organismo de certificación acreditado y aprobado que indica la confianza que una pesa o juego de pesas identificado, o muestras de los mismos, está conforme a los requisitos pertinentes de esta Norma, identificando la categoría del producto.

3.5 clase de exactitud

designación de clase de una pesa o juego de pesas que cumple ciertos requisitos metrologógicos destinados a mantener los valores de masa dentro de los límites especificados.

3.6 comparación

método de medición basado en la comparación del valor de una magnitud a medir con un valor conocido de la misma magnitud.

3.7 densidad de un cuerpo

masa dividida por el volumen, dada por la fórmula $\rho = \frac{m}{V}$.

3.8 error máximo permitido (δm o EMP)

máximo valor absoluto de la diferencia permitida por las regulaciones nacionales, entre la masa convencional medida y el valor nominal de una pesa, determinada por las correspondientes pesas de referencias.

3.9 juego de pesas

serie o grupo de pesas, usualmente presentadas en un estuche y ordenadas de tal manera que sea posible cualquier pesaje de todas las cargas entre la masa de la pesa con el menor valor nominal y la suma de las masas de todas las pesas de la serie con una progresión en la cual la masa de la pesa del menor valor

nominal constituye el intervalo más pequeño de la serie. Las pesas tienen características metrológicas similares y los mismos o diferentes valores nominales definidos en 6.3 de esta Norma, y pertenecen a la misma clase de exactitud.

3.10 magnetismo

efecto que genera una fuerza de atracción o repulsión.

3.10.1 momento magnético dipolar (m_d)

parámetro de un dipolo magnético. La intensidad del campo magnético generado por un dipolo, también la fuerza entre el dipolo y la muestra magnetizada, es proporcional a este momento dipolar. La fuerza entre el dipolo y una muestra con susceptibilidad magnética, es proporcional al cuadrado del momento dipolar.

3.10.2 intensidad del campo magnético (H)

es la intensidad magnética local, generada por un material magnético, como un imán permanente, o por circuitos eléctricos.

3.10.3 fuerza magnética ($\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_a, \vec{F}_b, \vec{F}_{\max}$ y \vec{F}_z)

fuerza ejercida sobre material magnético o magnéticamente susceptible por campos magnéticos externos.

3.10.4 permeabilidad magnética (μ)

medida de la capacidad de un medio para modificar un campo magnético

3.10.5 constante magnética (permeabilidad magnética del vacío (μ_0))

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}.$$

3.10.6 susceptibilidad magnética (Volumen) (χ)

medida de la capacidad de un medio para modificar un campo magnético. Está relacionada a la permeabilidad magnética (μ) por la relación $\mu/\mu_0 = 1 + \chi$. La cantidad μ/μ_0 es referenciada algunas veces como permeabilidad relativa μ_r .

3.10.7 magnetización (permanente) (M)

parámetro que especifica el estado magnético de cuerpos materiales, como pesas, en ausencia de un campo magnético externo (generalmente, la magnetización es un vector cuya magnitud y dirección no son necesariamente constantes en el material). La magnetización de un cuerpo genera un campo magnético no homogéneo en el espacio y esto puede producir fuerzas magnéticas sobre otros materiales.

3.11 masa convencional (también llamado valor convencional de masa)

valor convencional del resultado de pesada en el aire. *Valor convencional del resultado de pesada en el aire* [3]. Para una pesa tomada a una temperatura de referencia (t_{ref}) de 20 °C, La masa convencional es la masa de una pesa de referencia de una densidad (ρ_{ref}) de 8 000 kg m⁻³ equilibrada en el aire de una densidad de referencia (ρ_0) de 1.2 kg m⁻³.

[Fuente: OIML D 28, ver 21.3 Bibliografía]

3.12 parámetro de rugosidad o parámetro R (R_{a0} o R_z)

parámetro que describe el perfil de rugosidad evaluado de una muestra. La letra R es indicativa del tipo de perfil evaluado, en este caso R por perfil de rugosidad. El perfil evaluado de una muestra puede estar en términos de los diferentes tipos de perfil: un perfil de rugosidad o parámetro R, un perfil primario o parámetro P, un perfil de ondulación o parámetro W [4].

3.13 patrón de verificación

patrón utilizado en un proceso de control estadístico para permitir una "verificación" a fin de asegurar que los patrones, procesos de medición y resultados estén dentro de los límites estadísticos aceptables.

3.14 pesa

medida materializada de masa, regulada respecto a sus características físicas y metrológicas: forma, dimensiones, material, calidad de superficie, valor nominal, densidad, propiedades magnéticas y error máximo permitido.

3.15 pesa bajo prueba (m_t)

Pesa que debe ser puesta a prueba de acuerdo con esta Norma.

3.16 pesa de sensibilidad

pesa que es utilizada para determinar la sensibilidad de un instrumento para pesar.

3.17 sensibilidad

para un determinado valor de la masa medida, el cociente del cambio " Δl ", de la variable observada " l ", y el correspondiente cambio " Δm ", de la masa medida o " m ".

$$s = \frac{\Delta l}{\Delta m} \quad (3.17-1)$$

3.18 peso de un cuerpo (F_g)

fuerza gravitacional con la que un cuerpo es atraído por la tierra. El término peso indica una magnitud de la misma naturaleza que una fuerza: el peso de un cuerpo es el producto de su masa y la aceleración debido a la gravedad.

3.19 Prueba (ensayo)

determinación de una o más características de un objeto de evaluación de la conformidad de acuerdo con un procedimiento.

3.20 Temperatura (t)

en grados Celsius, es relacionada a la escala de temperatura termodinámica absoluta, llamada la escala Kelvin, mediante $t = T - 273.15$ K.

3.21 Tipo

Modelo definido de pesa o juego de pesas que cumple con el mismo.

3.21.1 Tipo de evaluación

examen y evaluación sistemáticos del desempeño de un tipo de pesas o juegos de pesas en relación a los requisitos documentados en esta Norma y los resultados están contenidos en un certificado de calibración.

3.21.2 Tipo de aprobación

proceso mediante el cual la Autoridad Competente toma la decisión, basándose en la revisión de un Certificado de Conformidad y un Certificado de Calibración para el tipo de pesas o juego de pesas y un criterio profesional, de que el tipo está en conformidad con los requisitos obligatorios de esta Norma para aplicaciones legales.

3.22 verificación

constatación ocular o comprobación mediante muestreo, medición, pruebas de laboratorio, o examen de documentos que se realizan para evaluar la conformidad en un momento determinado.

3.23 verificación inicial

la verificación que, por primera ocasión y antes de su utilización para transacciones comerciales o para determinar la tarifa de un servicio, debe realizarse respecto de las propiedades de funcionamiento y uso de los instrumentos de medición, para determinar si operan de conformidad con las características metrológicas establecidas en las normas oficiales mexicanas y aplicables, siendo responsabilidad de los usuarios de los mismos.

3.23.1 verificación periódica

la verificación que, una vez concluida la vigencia de la Inicial, se debe realizar en los intervalos de tiempo que determine la Secretaría de Economía, respecto de las propiedades de funcionamiento y uso de las pesas y/o los instrumentos de medición para determinar si operan de conformidad con las características metrológicas establecidas en las normas oficiales mexicanas y normas mexicanas aplicables, siendo responsabilidad de los usuarios de los mismos.

3.23.2 verificación extraordinaria

la verificación que no siendo inicial o periódica, se realiza respecto de las propiedades de funcionamiento y uso de los instrumentos de medición para determinar si operan de conformidad con las características metrológicas establecidas en las normas oficiales mexicanas y normas mexicanas aplicables, cuando lo soliciten los usuarios de los mismos, cuando pierdan su condición de instrumento verificado o cuando así lo determine la autoridad competente.

3.24 precisión de medida

proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas.

4. Símbolos y abreviaturas

Símbolo	Unidad	Definición
A	m ²	Área.
B	T	Inducción magnética en el área.
B_E	T	Lectura del gaussímetro del campo magnético ambiental sin la pesa.
B_0	T	Inducción magnética en vacío.
C	-	Factor de corrección por empuje del aire.
C_a	-	Factor de corrección por empuje del aire para la densidad del aire durante el ciclo de pesaje en el aire.
C_{al}	-	Factor de corrección por empuje del aire para la densidad del aire durante el ciclo de pesaje en el líquido.
C_s	-	Factor de corrección por empuje del aire para la densidad de la pesa de sensibilidad.
D	kg	Diferencia de lecturas del instrumento para pesar entre el valor mínimo y máximo de la prueba de excentricidad.
d	kg	Intervalo de escala
F_1	N	Fuerza promedio calculada utilizando el cambio de masa promedio en el comparador de masa para el primer grupo de lecturas.
F_2	N	Fuerza promedio calculada utilizando el cambio de masa promedio en el comparador de masa para el segundo grupo de lecturas.
F_a	N	Fuerza promedio utilizada para la susceptibilidad magnética.
F_b	N	Fuerza promedio utilizada para la magnetización.
F_g	N	Fuerza de gravedad.
F_{max}	N	Fuerza máxima utilizada para la susceptibilidad magnética.
F_z	N	Fuerza magnética entre el comparador de masa y una pesa en dirección vertical o dirección z.
g	m s ⁻²	Aceleración gravitacional.
h	mm o m	Altura
H	A m ⁻¹	Intensidad de campo magnético.
H_{EZ}	A m ⁻¹	Componente vertical de la intensidad del campo magnético de la tierra.
hr	%	Humedad relativa
ΔI	kg	Diferencia de la indicación del instrumento para pesar donde: $\Delta I = I_t - I_r$
ΔI_a	kg	Diferencia de la indicación en el aire del instrumento para pesar donde: $\Delta I_a = I_{ta} - I_{ra}$
ΔI_l	kg	Diferencia de la indicación en el aire del instrumento para pesar donde: $\Delta I_l = I_{tl} - I_{rl}$
ΔI_s	kg	Cambio en la indicación del instrumento para pesar debido a la pesa de sensibilidad.
I	kg	Indicación del instrumento para pesar (división de escala).
I_a	-	Factor de corrección geométrico (Ver 21.6)
I_b	-	Factor de corrección geométrico (Ver 21.6)
I_{dl}	-	Indicación del instrumento para pesar para la diferencia del líquido desplazado.
I_l	-	Indicación del instrumento para pesar para el recipiente y el líquido contenido.
I_{l+t}	-	Indicación del instrumento para pesar para el recipiente, el líquido contenido y la pesa.
I_{ta}	-	Indicación del instrumento para pesar para la prueba de pesada en el aire (después de tarar)
I_{tl}	-	Indicación del instrumento para pesar para la prueba de pesada en el líquido (después de tarar)
j	-	Subíndice para el número de pesas bajo prueba o el número de series de medición.
k	-	Factor de cobertura, típicamente 2 o 3 (Guía para la expresión de la incertidumbre de medición (Ver 21.7))
m	kg	Masa de un cuerpo rígido (pesa).
M	A m ⁻¹	Magnetización permanente (Ver también $\mu_0 M$).
M_V	kg mol ⁻¹	Masa molar del agua (ecuación E.1)
M_a	kg mol ⁻¹	Masa molar del aire seco.
m_c	kg	Masa convencional de la pesa.
m_{cr}	kg	Masa convencional de la pesa de referencia.
m_{ct}	kg	Masa convencional de la pesa bajo prueba.

$\overline{\Delta m_c}$	-	Diferencia promedio de la pesada observada entre la pesa bajo prueba y la pesa de referencia y la densidad de la pesa de referencia ρ_{ref} .
m_d	A m ²	Momento magnético (del imán usado en el susceptómetro).
m_0	kg	Masa, valor nominal de una pesa (por ejemplo 1 kg).
m_r	kg	Masa de la pesa de referencia para comparar contra la pesa de prueba ambas en el aire o ambas sumergidas en un líquido.
m_{ra}	kg	Masa de la pesa de referencia para comparar contra la pesa de prueba, ambas en el aire.
m_{rl}	kg	Masa de la combinación de pesas de referencias para comparar contra la pesa de prueba, patrones en el aire y pesas bajo prueba en el líquido.
m_s	kg	Masa de la pesa de sensibilidad.
m_t	kg	Masa de la pesa de prueba.
m_{wa}	kg	Masa de la pesa en el aire.
m_{wl}	kg	Masa de la pesa en el líquido.
Δm	kg	Diferencia en masa, generalmente entre la pesa de prueba y la pesa de referencia.
$\overline{\Delta m}$	kg	Valor promedio de una serie de mediciones, que comprenden un número idéntico de ciclos de pesadas, o un número de series, teniendo aproximadamente la misma desviación estándar.
Δm_c	kg	Diferencia de masa convencional.
n	-	Subíndice para el número de mediciones subsecuentes.
p	Pa o hPa	Presión.
p_{sv}	Pa	Presión de vapor saturado del aire húmedo.
R	J/(mol K)	Constante molar de los gases.
R_a	μm	Altura promedio del perfil de rugosidad (parámetro R) (Ver clausula 13)
R_z	μm	Máxima altura del perfil de rugosidad (parámetro R) (Ver clausula 13)
r	-	Subíndice para la pesa de referencia
s	kg	Desviación estándar.
S	-	Subíndice de la pesa de sensibilidad.
T	K	Temperatura termodinámica usada en la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90).
T	-	Subíndice para la pesa de prueba.
t	°C	Temperatura en grados Celsius, donde $t = T - 273,15$ K.
t_{ref}	°C	Temperatura de referencia.
U	kg	Incertidumbre, incertidumbre expandida.
u	kg	Incertidumbre, incertidumbre estándar.
$u(m_r)$	kg	Incertidumbre de la pesa de referencia.
u_b	kg	Incertidumbre por la corrección del empuje del aire.
u_{ba}	kg	Incertidumbre debido a la instrumento para pesar.
$u_{ba}(\overline{\Delta m_c})$	kg	Incertidumbre estándar combinada del instrumento para pesar.
u_c	kg	Incertidumbre estándar combinada.
u_d	kg	Incertidumbre debido a la resolución del indicador de una instrumento para pesar digital.
u_E	kg	Incertidumbre debido a la excentricidad.
u_{inest}	kg	Incertidumbre debido a la inestabilidad de la pesa de referencia.
u_{ma}	kg	Incertidumbre debido al magnetismo.
u_s	kg	Incertidumbre debido a la sensibilidad del instrumento para pesar.
u_w	kg	Incertidumbre debido al proceso de pesada.
V	m ³	Volumen de un cuerpo sólido (pesa).
V_{rli}	m ³	Volumen de la pesa i de referencia de una combinación de pesas.
x_v	-	Fración molar del vapor de agua.
Z	-	Factor de compresibilidad.
Z_1	mm	Distancia de la parte superior de la pesa al centro del imán (Ver Figura B1).
Z_0	mm	Distancia del centro del imán permanente a la base de la pesa (Ver Figura B1).
ρ_a	kg m ⁻³	Densidad del aire húmedo.
ρ_0	kg m ⁻³	Densidad del aire como valor de referencia igual a 1.2 kg m ⁻³ .
ρ_r	kg m ⁻³	Densidad de una pesa de referencia con masa m_r .
ρ_{ra}	kg m ⁻³	Densidad de una pesa de referencia con masa m_{ra} .
ρ_{ref}	kg m ⁻³	Densidad de referencia (por ejemplo 8 000 kg m ⁻³).
ρ_{rl}	kg m ⁻³	Densidad de una pesa de referencia con masa m_{rl} .
ρ_s	kg m ⁻³	Densidad de la pesa de sensibilidad.

ρ_t	kg m ⁻³	Densidad de la pesa bajo prueba.
ρ_x	kg m ⁻³	Densidad de una aleación (x).
ρ_y	kg m ⁻³	Densidad de una aleación (y)
$\delta m/m_0$	-	Error relativo máximo permitido en las pesas.
μ	N A ⁻²	Permeabilidad magnética.
μ_r	-	Permeabilidad magnética relativa μ/μ_0
μ_0	N A ⁻²	Constante magnética (permeabilidad magnética del vacío) $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ N A ⁻²
$\mu_0 M$	T	Polarización magnética.
χ	-	Susceptibilidad magnética (volumen).

5. Clasificación

5.1 Clase de exactitud mínima de pesas.

La clase de exactitud para pesas utilizadas como patrones para la verificación o calibración de pesas y/o instrumentos para pesar, debe estar acorde a los requisitos siguientes:

La clase de las pesas de esta Norma, están definidas como sigue:

- Clase E₁:** Pesas destinadas para asegurar la trazabilidad entre los patrones nacionales de masa (con valores derivados del Prototipo Internacional del kilogramo) y pesas de clase E₂ e inferiores.
- Clase E₂:** Pesas destinadas para ser utilizadas en la verificación o calibración de pesas de clase F₁ y para su uso con instrumentos para pesar de clase de exactitud especial I. Estas pueden utilizarse como pesas de clase E₁ si cumplen con los requisitos de rugosidad superficial, susceptibilidad magnética y magnetización de las pesas de clase E₁, y si su certificado de calibración proporciona los datos apropiados especificados en 17.3.2.1.
- Clase F₁:** Pesas destinadas para ser utilizadas en la verificación o calibración de pesas de clase F₂ y para su uso con instrumentos para pesar de clase de exactitud especial I y clase de exactitud Fina II.
- Clase F₂:** Pesas destinadas para ser utilizadas en la verificación o calibración de pesas de clase M₁ y posiblemente pesas clase M₂. También para ser utilizadas en transacciones comerciales importantes (por ejemplo: metales y piedras preciosas) en instrumentos para pesar de clase de exactitud Fina II.
- Clase M₁:** Pesas destinadas para ser utilizadas en la verificación o calibración de pesas de clase M₂ y para su uso con instrumentos para pesar de clase de exactitud Media III.
- Clase M₂:** Pesas destinadas para ser utilizadas en la verificación o calibración de pesas de clase M₃ y para su uso en transacciones comerciales generales y con instrumentos para pesar de clase de exactitud Media III.
- Clase M₃:** Pesas destinadas para ser utilizadas con instrumentos para pesar de clase de exactitud Media III y clase de exactitud Ordinaria IIII.
- Clase M₁₋₂, y M₂₋₃:** Pesas de 50 kg a 5 000 kg de menor exactitud destinada para ser utilizada con instrumentos para pesar de clase de exactitud Media III.

NOTA 1: El error en una pesa utilizada para la verificación o calibración de un instrumento para pesar se requiere que no exceda el 1/3 del error máximo permitido para dicho instrumento. Estos valores son mencionados en el numeral 5.7.1 de la NOM-010-SCFI-1994 (ver 21.44 Bibliografía). Las pesas o juego de pesas de todas las clase deben ir acompañadas de un certificado de calibración, (Ver el numeral 17.3.2.1 de esta norma).

NOTA 2: Nótese que las denominaciones de clase de exactitud de los instrumentos para pesar utilizadas en esta norma no incluyen el óvalo alrededor del número para mayor claridad del texto.

6. Unidades y Valores Nominales de las Pesas - Requisitos metrológicos

6.1 Unidades

Las unidades utilizadas son:

- Para masa, el miligramo (mg), el gramo (g) y el kilogramo (kg).
- Para la densidad el kilogramo por metro cúbico (kg m⁻³).

6.2 Valores nominales

El valor nominal de la masa de una pesa o un juego de pesas debe ser igual a 1×10^n kg, 2×10^n kg o 5×10^n kg, donde "n" representa un número entero positivo, negativo o cero.

6.3 Secuencias de pesas

6.3.1 Un juego de pesas puede consistir de diferentes secuencias de valores nominales. Si es utilizada una secuencia de pesas en un juego de pesas, debe emplearse las secuencias de pesas individuales siguientes:

(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; 2; 5) x 10^n kg;

Donde "n" representa un número entero positivo, negativo o cero.

6.3.2 Un juego de pesas puede consistir de varias pesas, de las cuales todas tienen el mismo valor nominal (por ejemplo: 10 piezas o componentes del juego, cada pieza o componente tienen una capacidad de 5×10^n kg).

7 Requisitos metrológicos

7.1 Errores Máximos Permitidos en verificación - Requisitos técnicos

7.1.1 Errores máximos permitidos en verificación inicial, periódica y extraordinaria.

7.1.1.1 Los errores máximos permitidos para verificación inicial de pesas individuales son dados en la Tabla 1, relacionados a la masa convencional.

7.1.1.2 Los errores máximos permitidos para verificaciones periódicas y extraordinarias son los mismos que se establecen para la verificación inicial.

7.1.1.3 Las pesas que no cumplan con los requisitos de la clase que tengan designada podrán reclasificarse en una clase inferior siempre que cumplan con los requisitos de esa clase.

Las pesas pueden ser reclasificadas por el propio usuario, no siendo necesaria una nueva aprobación de modelo cuando es reclasificada; siempre y cuando, el usuario presente ante la autoridad competente y/o la entidad de acreditación autorizada, la documentación correspondiente a los controles metrológicos de la Tabla 9.

7.2 Incertidumbre expandida

Para cada pesa la incertidumbre expandida U , para $k = 2$, de la masa convencional, debe ser menor o igual a un tercio del error máximo permitido en la Tabla 1.

$$U \leq 1/3 \delta m \quad (7.2-1)$$

NOTA 1: Este valor de Incertidumbre expandida está únicamente relacionada al índice de capacidad de medición, y no es el valor de incertidumbre declarado en el certificado de calibración.

NOTA 2: Para fines del Certificado (informe) de Calibración se debe declarar la incertidumbre expandida igual a un tercio del EMP.

7.3 Masa convencional

7.3.1 Para cada pesa, la masa convencional m_c (determinada con una incertidumbre U), de acuerdo a 7.2 no se permite ser diferente del valor nominal de la pesa m_0 , por más que el error máximo permitido δm , menos la incertidumbre expandida:

$$m_0 - (\delta m - U) \leq m_c \leq m_0 + (\delta m - U) \quad (7.3-1)$$

7.3.2 Para clases de pesas E1 y E2, que siempre van acompañadas de certificados de calibración que proporcionan los datos apropiados (especificados en 17.2.1), el usuario debe tomar en cuenta la desviación con respecto al valor nominal $m_c - m_0$.

Tabla 1-Errores máximos permitidos para pesas ($\pm\delta m$ en mg)

Valor nominal*	Clase E ₁	Clase E ₂	Clase F ₁	Clase F ₂	Clase M ₁	Clase M ₁₋₂	Clase M ₂	Clase M ₂₋₃	Clase 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				

NOTA 3: El valor nominal de las pesas en la Tabla 1, especifica la pesa más pequeña y la más grande permitidas en cualquier clase de exactitud; los errores máximos permitidos y denominaciones no se permite extrapolarse a valores superiores o inferiores. Por ejemplo, el valor nominal más pequeño para una pesa de clase M₂ es 100 mg mientras que el más grande es 5 000 kg. Una pesa de 50 mg no es aceptada como una pesa clase M₂ y sin embargo debe cumplir con los errores máximos permitidos y los otros requisitos para M₁ (por ejemplo forma y marcaje) para esta clase de pesa. De lo contrario no se puede describir que la pesa cumple con la presente regulación.

8. Requisitos técnicos

8.1 Forma

8.1.1 Generalidades

8.1.1.1 Las pesas deben tener una forma geométrica simple que facilite su manufactura. No se permite tener bordes o ángulos filosos para evitar su deterioro, ni orificios pronunciados para evitar depósitos (por ejemplo polvo) en su superficie.

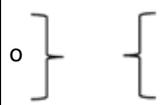
8.1.1.2 Las pesas de un determinado juego de pesas deben tener la misma forma, excepto las pesas de 1 g o menores.

8.2 Pesas menores o iguales a 1 g

8.2.1 Las pesas menores que 1 g deben ser de lámina plana poligonal o de alambre, con formas de acuerdo a la Tabla 2, que permitan un fácil manejo.

8.2.2 Las pesas de 1 g deben ser de lámina plana poligonal o de alambre (Ver 8.3.1). La forma de las pesas no marcadas con su valor nominal, deben cumplir con los valores dados en la Tabla 2.

Tabla 2-Formas de las pesas de 1 g o menores

Valores nominales	Forma poligonal	Alambres		
5, 50, 500 mg	Pentágono	Pentágono		5 segmentos
2, 20, 200 mg	Cuadrado	Cuadrado		4 segmentos
1, 10, 100, 1 000 mg	Triángulo	Triángulo		3 segmentos

8.2.3 Un juego de pesas puede ser compuesto de más de una secuencia de formas, diferenciando una secuencia de otra. Sin embargo, en una serie de secuencias, una secuencia de pesas de una forma diferente no se permite ser insertada entre dos secuencias que tienen la misma forma.

8.3 Pesas de 1 g hasta 50 kg

8.3.1 Una pesa de 1 g puede tener la forma de múltiplos de pesas de 1 g o la forma de submúltiplos de la pesa de 1 g.

8.3.2 Las pesas de valores nominales de 1 g a 50 kg pueden tener las dimensiones externas mostradas en las figuras y tablas del Apéndice A (Normativo).

8.3.2.1 Estas pesas también pueden tener un cuerpo cilíndrico o cónico (Ver ejemplo en la Figura A.1). La altura del cuerpo debe estar entre 0.75 y 1.25 veces el valor de su diámetro medio.

8.3.2.2 Estas pesas también pueden estar provistas con un botón de sujeción que tenga una altura de entre 0.5 y 1 veces el valor del diámetro medio del cuerpo.

8.3.3 Además de las formas antes mencionadas (8.3.2), las pesas de 5 kg a 50 kg pueden tener una forma diferente, adecuada para su método de manipulación. En vez de un botón de sujeción, pueden tener dispositivos de manipulación rígidos incorporados con las pesas, tales como ejes, agarraderas, ganchos u ojales, etc.

8.3.4 Las pesas de clase M con valores nominales de 5 kg a 50 kg también pueden tener la forma de un paralelepípedo rectangular con bordes redondeados y una agarradera rígida. En las Figuras A.2 y A.3, se muestran ejemplos típicos de las dimensiones para estas pesas.

8.4 Pesas mayores o iguales a 50 kg

8.4.1 Las pesas mayores o iguales a 50 kg pueden ser de forma cilíndrica, rectangular u otra forma adecuada. La forma debe prever un almacenamiento y manipulación segura.

8.4.1.1 Las pesas de 50 kg a 5 000 kg utilizadas para pruebas en instrumentos para pesar clases de exactitud Media III y Ordinaria III, pueden tener una forma diferente, propia de su sistema para asirla. En lugar del botón o asa y pueden disponer de dispositivos de sujeción incorporados con las pesas, tales como ejes, agarraderas o dispositivos similares.

8.4.1.2 Las pesas clases M de valor nominal de 50 kg a 5 000 kg para pruebas de instrumentos para pesar clases de exactitud Media III y Ordinaria IIII, pueden tener también forma de un paralelepípedo rectangular u otra figura con ángulos redondeados, con agarradera rígida como se muestra en la Figura A.4

8.4.2 Las pesas mayores o iguales a 50 kg pueden estar provistas de dispositivos de manipulación rígidos, tales como ejes, agarraderas, ganchos, ojales, etc. Siempre y cuando éstos dispositivos no sean separables.

8.4.3 Si las pesas de clase M son previstas para correr sobre el piso plano (o sobre rieles), deben estar equipadas con pistas de rodaduras o ranuras de área limitada.

8.5 Los ejemplos de los tipos, las dimensiones y tolerancias para las pesas de clases M de 50 kg a 5 000 kg para pruebas de instrumentos para pesar clases de exactitud Media III y Ordinaria IIII de alto alcance, se indican en el Apéndice A (Normativo).

9. Construcción

9.1 Pesas de clase E

9.1.1 Pesas de Clase E de 1 mg a 50 kg

Las pesas de clase E de 1 mg a 50 kg deben ser sólidas y no se permite tener cavidades abiertas a la atmosfera. Deben consistir de una sola pieza del material.

9.1.2 Pesas de Clase E₂ mayores a 50 kg

Las pesas de clase E₂ mayores a 50 kg pueden tener una cavidad de ajuste. El volumen de esta cavidad se requiere que no exceda de 1/1 000 del volumen total de la pesa. La cavidad debe ser sellable, impermeable y hermética (por ejemplo, mediante una junta). Un tapón roscado con una ranura para destornillador o un dispositivo de manipulación, por ejemplo, un botón, agarradera, ojal, etc. deben cerrar la cavidad de ajuste. El material del tapón debe ser el mismo que el del cuerpo de la pesa y debe cumplir con los requisitos de superficie de la clase E₂.

9.1.2.1 Después del ajuste inicial, aproximadamente 1/2 del volumen total de la cavidad de ajuste debe estar vacío.

9.2 Pesas de clase F

Las pesas de clase F pueden consistir de una o más piezas manufacturadas del mismo material.

9.2.1 Pesas de clase F de 1 g a 50 kg

9.2.1.1 Las pesas de clase F de 1 g a 50 kg pueden tener una cavidad de ajuste. El volumen de esta cavidad de ajuste se requiere que no exceda de 1/4 del volumen total de la pesa. La cavidad debe estar cerrada ya sea mediante un botón de sujeción o mediante cualquier otro dispositivo adecuado.

9.2.1.2 Después del ajuste inicial, aproximadamente 1/2 del volumen total de la cavidad de ajuste debe estar vacío.

9.2.2 Pesas de clase F mayores a 50 kg

Las pesas mayores de 50 kg también pueden consistir de una caja formada de varias piezas, cerrada, soldada, impermeable y hermética. El contenido de la caja puede consistir de un material diferente al de la caja y debe cumplir con los requisitos de las propiedades magnéticas de clase F₁ y F₂. Las paredes de la caja deben ser lo suficientemente rígidas para que no se produzcan deformaciones debido a cambios en la presión del aire del medio ambiente, la manipulación, golpes, etc. La relación entre la masa y el volumen debe cumplir con los requisitos de densidad de la Tabla 6.

9.2.2.1 Las pesas de clase F mayores de 50 kg pueden tener cavidad de ajuste. El volumen de esta cavidad se requiere que no exceda de 1/20 del volumen total de la pesa. La cavidad de ajuste debe ser sellable, impermeable y hermética (por ejemplo mediante una junta). La cavidad debe cerrarse con un tapón roscado con una ranura para destornillador o un dispositivo de manipulación, como un botón, una agarradera, un ojal, etc.

9.2.2.2 Después del ajuste inicial, aproximadamente 1/2 del volumen total de la cavidad de ajuste debe estar vacío.

9.3 Pesas de clase M

9.3.1 Pesas de clase M₁, M₂, y M₃ desde 1 g hasta 50 kg

9.3.1.1 Las pesas de clase M₁, M₂, y M₃ de 1 g a 10 g deben ser sólidas, sin cavidad de ajuste. Una cavidad de ajuste es opcional para las pesas de clase M₁, M₂, y M₃ de 20 g a 50 g. Las pesas de clase M₁, M₂, y M₃ de 100 g a 50 kg deben tener una cavidad de ajuste. Sin embargo, la cavidad de ajuste es opcional

para pesas de clase M_1 y M_2 de 20 g a 200 g hechas de acero inoxidable. La cavidad de ajuste debe ser diseñada para prevenir la acumulación de material extraño o desechos, permitir el cierre seguro de la cavidad y permitir la apertura de la cavidad para ajustes adicionales. El volumen de la cavidad de ajuste se requiere que no sea mayor a 1/4 del volumen total de la pesa.

9.3.1.2 Después del ajuste inicial, aproximadamente 1/2 del total del volumen de la cavidad de ajuste debe estar vacío.

9.3.2 Las pesas de clase M_1 , M_2 , y M_3 de 100 g a 50 kg del tipo cilíndrica (Ver Figura A.1) deben tener una cavidad de ajuste coaxial con el eje vertical de la pesa, abriéndose en la cara superior del botón e incluyendo un ensanchamiento del diámetro en la entrada. La cavidad debe ser cerrada mediante un tapón roscado con una ranura para destornillador (Ver Figura A.1, variante 1) o por un disco con agujero central de manipulación (Ver Figura A.1 variante 2). El tapón o disco debe ser de bronce u otro material metálico apropiado y debe ser sellado por una pasta de plomo u otro material similar introducido en una ranura interna circular provista en la parte ensanchada del diámetro.

9.3.3 Las pesas de clase M_1 , M_2 , y M_3 de 5 kg a 50 kg con forma de paralelepípedo rectangular deben tener una cavidad de ajuste formada por el interior de la agarradera tubular, o si la agarradera es sólida la cavidad de ajuste debe ser fundida dentro de uno de los soportes de la pesa, abriéndose por uno de los lados o la cara superior de la pesa (Ver Figura A.2 y A.3)

9.3.3.1 Si la cavidad de ajuste está en una agarradera tubular (Ver Figura A.2), la cavidad de ajuste debe ser cerrada mediante un tapón roscado con una ranura para destornillador o mediante un disco con un agujero central de manipulación. El tapón o disco debe ser de bronce u otro material metálico apropiado y debe ser sellado por una pasta de plomo u otro material similar introducido en una ranura interna circular o dentro de la rosca del tubo.

9.3.3.2 Si la cavidad de ajuste esta moldeada dentro de la parte superior y abre por el costado o está en la cara superior del soporte (Ver Figura A.3), la cavidad debe ser cerrada por una placa hecha de acero dulce o de otro material apropiado, sellada por una pasta de plomo u otro material similar introducido en una cubierta con una sección cónica.

9.3.4 Pesas de clase M mayores o iguales a 50 kg

En las pesas no se permite tener cavidades que puedan causar una acumulación rápida de polvo o desechos.

9.3.4.1 Las pesas deben incluir una o más cavidades de ajuste. El volumen total de las cavidades de ajuste, se requiere que no sea mayor a 1/10 del volumen total de la pesa. Las cavidades deben ser sellables, impermeables y herméticas (por ejemplo mediante una junta). Las cavidades deben sellarse utilizando un tapón roscado con una ranura para destornillador o un dispositivo de manipulación (por ejemplo un botón o agarradera).

9.3.4.2 Después del ajuste inicial, por lo menos 1/3 del volumen total de la cavidad de ajuste debe estar vacío.

9.4 Hermeticidad de las pesas clase M

Todas las pesas paralelepipedas de 5 kg hasta 5 000 kg clase M, deben someterse a una prueba de hermeticidad para garantizar la estabilidad del valor de masa convencional. Las pesas que son fabricadas a través de fundición de hierro gris podrán someterse a una prueba de inmersión en agua y las pesas que son fabricadas a través de láminas y soldadura podrán someterse a una prueba de ultrasonido para la detección de fallas o fisuras.

10. Material

10.1 Generalidades

Las pesas deben ser resistentes a la corrosión. La calidad del material debe ser tal que los cambios en masa de las pesas deben ser despreciables en relación de los errores máximos permitidos en su clase de exactitud (Ver Tabla 1) bajo condiciones normales de uso y para el propósito para el cual se están utilizando.

10.2 Pesas de clase E_1 y E_2

10.2.1 Para pesas iguales o mayores a 1 g, la dureza del material y su resistencia al desgaste debe ser similar o mejor al acero inoxidable austenítico.

10.3 Pesas de clase F

La superficie de las pesas de clase F mayores o iguales a 1 g pueden ser tratadas con un recubrimiento metálico adecuado para mejorar la resistencia a la corrosión y dureza.

10.3.1 Para las pesas de clase F, mayores o iguales a 1 g, la dureza y la fragilidad del material usado debe ser al menos iguales a las del bronce estirado.

10.3.2 Para las pesas de clase F, mayores o iguales a 50 kg, la dureza y fragilidad del material usado para todo el cuerpo o para las superficies externas deben ser al menos iguales a las del acero inoxidable.

10.4 Pesas de clase M₁, M₂, y M₃ de 50 kg o menos

La superficie de las pesas iguales o mayores de 1 g pueden ser tratadas con un recubrimiento adecuado para mejorar su resistencia a la corrosión o dureza.

10.4.1 Las pesas de clase M menores a 1 g deben ser hechas de material que sea lo suficientemente resistente a la corrosión y la oxidación.

10.4.2 Las pesas cilíndricas de clase M₁ menores de 5 kg y las pesas de clase M₂ y M₃ menores de 100 g deben ser hechas de bronce o un material cuya dureza y resistencia a la corrosión son similares o mejores a la del bronce. Otras pesas cilíndricas de clase M₁, M₂ y M₃ de 50 kg o menores deben ser de hierro fundido gris o de otro material con fragilidad y resistencia a la corrosión que sea similar o mejor a la del hierro fundido gris.

10.4.3 Las pesas de forma de paralelepípedo rectangular de 5 kg a 50 kg deben ser hechas de un material que su resistencia a la corrosión sea al menos igual a la del hierro fundido gris. Se requiere que su fragilidad no exceda a la del hierro fundido gris.

10.4.4 Las agarraderas de pesas de forma de paralelepípedo rectangular deben ser hechas de un tubo de acero sin costura o deben ser de hierro fundido, integradas al cuerpo de la pesa.

10.5 Pesas de clase M de 20 kg a 5 000 kg

10.5.1 La superficie de las pesas deben ser tratadas con un recubrimiento adecuado para mejorar su resistencia a la corrosión. Este recubrimiento debe soportar los golpes y las condiciones ambientales exteriores.

10.5.2 Las pesas deben ser hechas de uno o más materiales que tengan una resistencia a la corrosión igual o mejor que el del hierro fundido gris.

10.5.3 El material debe tener tal dureza y resistencia que soporte las cargas y golpes que puedan ocurrir bajo condiciones normales de uso.

10.5.4 Las agarraderas de las pesas con forma de paralelepípedo rectangular deben ser hechas de un tubo de acero sin costura o deben ser de hierro fundido, integradas al cuerpo de la pesa.

10.5.5 El cuerpo de las pesas rectangulares para pruebas de instrumentos para pesar clases de exactitud Media III y Ordinaria III, deben estar fabricadas de hierro fundido gris o placa soldada o de cualquier otro material cuya calidad sea similar o mejor que la del hierro fundido gris.

El material de relleno de las pesas de placa soldada se requiere que no sea higroscópico y la pesa y su cavidad de ajuste deben ser herméticas.

10.5.6 En pesas para pruebas de instrumentos para pesar clases de exactitud Media III y Ordinaria III, el material utilizado debe tener una durabilidad y solidez tal que resista los esfuerzos y los golpes que pueda tener en las condiciones normales de uso.

En el caso de las pesas de placa soldada, debe cumplir con los calibres y espesores mínimos de la lámina, como se especifica en la Tabla 3.

Tabla 3-Espesores mínimos de la lámina

Valor nominal (kg)	Espesor mínimo de la lámina (mm)
20	3.00
50	4.76
100	6.35
200	6.35

500	6.35
1 000	6.35
2 000	9.52
5 000	9.52

11. Magnetismo

11.1 Límites de polarización

La magnetización M , expresada en términos de la polarización $\mu_0 M$, no se permite exceder los valores dados en la Tabla 4.

Tabla 4-Polarización máxima $\mu_0 M$ (μT)

Clases de pesas	E ₁	E ₂	F ₁	F ₂	M ₁	M ₁₋₂	M ₂	M ₂₋₃	M ₃
Polarización máxima $\mu_0 M$ (μT)	2.5	8	25	80	250	500	800	1 600	2 500

11.2 Límites de susceptibilidad magnética

La susceptibilidad de una pesa no se permite que exceda los valores dados en la Tabla 5.

Tabla 5-Susceptibilidad máxima χ

Clases de pesas	E ₁	E ₂	F ₁	F ₂
$m \leq 1 \text{ g}$	0.25	0.9	10	-
$2 \text{ g} \leq m \leq 10 \text{ g}$	0.06	0.18	0.7	4
$20 \text{ g} \leq m$	0.02	0.07	0.2	0.8

11.3 Si el valor de todas las mediciones locales de magnetización y susceptibilidad son menores que estos límites, entonces se puede asumir que los componentes de incertidumbre debidas al magnetismo de la pesa son despreciables. La máxima magnetización permanente y susceptibilidad magnética dadas en las Tablas 4 y 5 son tales que, en campos magnéticos y en los gradientes de los campos magnéticos posiblemente presentes en el receptor de carga del instrumento para pesar, producen un cambio en la masa convencional menor que 1/10 del error máximo permitido de la pesa bajo prueba (Ver 21.8 y 21.9).

12. Densidad

12.1 Generalidades

La densidad del material usado para la fabricación de pesas, es especificado en la Tabla 6 y debe ser tal que una desviación del 10 % con respecto a la densidad del aire especificado (1.2 kg m^{-3}), no produzca un error que sea mayor a un cuarto del valor absoluto del error máximo permitido dado en la Tabla 1.

Tabla 6-Límites máximos y mínimos para la densidad (ρ_{min} , ρ_{max})

Valor nominal	ρ_{min} , ρ_{max} (10^3 kg m^{-3})							
	Clase de pesa (no está especificado un valor para la clase M ₃)							
	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							

NOTA 1: Regla referente a la densidad de las pesas. Como $\delta m/m_0$ es el valor del error máximo relativo permitido en las pesas. La densidad ρ de las pesas debe cumplir las siguientes condiciones:

$$8\,000 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{1}{1 + 10^5 \left(\frac{\delta m/m_0}{6}\right)} \leq \rho \leq 8\,000 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{1}{1 - 10^5 \left(\frac{\delta m/m_0}{6}\right)} \quad (12.1-1)$$

si $\delta m/m_0 < 6 \times 10^{-5}$

$$8\,000 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{1}{1 + 10^5 \left(\frac{\delta m/m_0}{6}\right)} \leq \rho \quad (12.1-2)$$

si $\delta m/m_0 \geq 6 \times 10^{-5}$

NOTA 2: Independientemente de los requisitos referentes a la densidad de la pesas, es conveniente obtener, especialmente para pesas de referencia o las de un valor nominal alto, una densidad de $8\,000 \text{ kg m}^{-3}$. Por ejemplo, puede utilizarse un cuerpo de hierro fundido, que incorpore una cavidad especial en la cual el centro de plomo puede ser fundida, con una masa de aproximadamente 30 % de la masa nominal del patrón.

12.2 Correcciones por la desviación de la densidad del aire

12.2.1 Si la densidad del aire ρ_a , se desvía con respecto a $\rho_0 = 1.2 \text{ kg m}^{-3}$ en más de $\pm 10\%$ y la densidad de la pesa debajo prueba ρ_t , se desvía con respecto a la densidad de la pesa de referencia ρ_r , la masa convencional puede ser corregida por el término C como sigue:

$$m_{ct} = m_{cr}(1 + C) + \overline{\Delta m_c} \quad (12.2-1)$$

Con:

$$C = (\rho_a - \rho_0) \left[\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_r} \right] \quad (12.2-2)$$

Dónde:

$\overline{\Delta m_c}$ es la diferencia promedio de la pesada observada entre la pesa bajo prueba y la pesa de referencia.

ρ_r es la densidad de la pesa de referencia.

m_{ct} y m_{cr} son las masas convencionales de las pesas bajo prueba y la pesa de referencia, respectivamente.

12.2.2 Pesas utilizadas para la calibración/verificación de instrumentos para pesar.

La altitud y los correspondientes cambios en la densidad del aire pueden afectar el error de medición cuando se usa la masa convencional de las pesas, por lo tanto, la corrección por empuje de 12.2.1 debe usarse, lo cual requiere que la densidad de la pesa sea conocida. Si las pesas de clase E son utilizadas arriba de 330 m sobre el nivel del mar, se debe proporcionar la densidad de las pesas con su incertidumbre asociada. Para pesas de clase F₁, se aplica lo mismo por encima de los 800 m. De lo contrario el fabricante debe considerar el efecto de la disminución del empuje del aire a mayor altitud cuando especifique la clase de la pesa para patrones de masa convencional.

13. Condiciones Superficiales

13.1 Generalidades

Bajo condiciones normales de uso, la calidad de la superficie debe ser tal que cualquier alteración de la masa de las pesas sea insignificante con respecto al error máximo permitido.

13.1.1 La superficie de las pesas (incluyendo la base y los ángulos) debe ser lisa y los bordes deben ser redondeados.

13.1.2 La superficie de las pesas de clases E y F no se admite que sea porosa y debe presentar una apariencia brillante cuando se examina visualmente. Un examen visual puede ser suficiente, excepto en caso de duda o discrepancia. En este caso, deben ser usados los valores dados en la Tabla 7. La rugosidad máxima superficial permitida para pesas mayores a 50 kg debe ser el doble de los valores especificados en la Tabla 7.

Tabla 7-Valores máximos de la rugosidad superficial

Clase	E ₁	E ₂	F ₁	F ₂
R_z (µm)	0.5	1	2	5
R_a (µm)	0.1	0.2	0.4	1

13.1.3 La superficie de las pesas cilíndricas de las clases M₁, M₂ y M₃ de 1 g a 50 kg debe ser lisa y no se permite que sea porosa cuando se examina visualmente. El acabado de las pesas fundidas de clase M₁, M₂ y M₃ de 100 g a 50 kg y todas las pesas de clase M mayores de 50 kg debe ser similar al de hierro fundición gris vaciado cuidadosamente en un molde de arena fina. Esto puede ser obtenido por métodos apropiados de protección de la superficie.

14. Ajuste

Una pesa de un valor nominal dado debe ser ajustada de tal manera que el resultado de la pesada en el aire de la masa convencional en esta pesa sea igual al valor nominal dado, dentro de los límites del error máximo permitido fijados para la clase de exactitud a la que pertenece la prueba. Se deben aplicar los requisitos de incertidumbre de 7.3.1.

14.1 Pesas de clase E

Las pesas deben ser ajustadas por abrasión, rectificado o algún otro método apropiado. Los requisitos de superficie deben cumplirse al término del proceso. Las pesas mayores a 50 kg con cavidad de ajuste deben ajustarse con el mismo material del cual están hechas.

14.2 Pesas clase F

Las pesas sólidas deben ser ajustadas por abrasión, rectificado o algún otro método apropiado que no altere la superficie. Las pesas con cavidad de ajuste deben ser ajustadas con el mismo material del cual están hechas o con acero inoxidable, bronce, estaño, molibdeno o tungsteno.

14.3 Pesas de clase M

14.3.1 Las pesas de lámina delgada y de alambre de 1 mg a 1 g pueden ser ajustadas por corte, abrasión o rectificado.

14.3.2 Las pesas cilíndricas que no tienen cavidades deben ser ajustadas por rectificado.

14.3.3 Las pesas que tienen una cavidad de ajuste deben ajustarse agregando o quitando material metálico denso como perdigones de plomo. Si no se puede remover más material, pueden ser ajustadas por rectificado.

14.4 Condiciones de referencia

Las condiciones de referencia aplicables al ajuste de pesas patrón son las siguientes:

- Densidad de referencia del patrón: 8 000 kg m⁻³.
- Densidad del aire ambiental: 1.2 kg m⁻³.
- Equilibrio en el aire a 20 °C, sin corrección por empuje del aire.

15. Marcado

15.1 Generalidades

Con excepción de las pesas de clase E y las pesas de 1 g descritas en 8.2.2, las pesas de 1 g y sus múltiplos deben ser marcadas claramente para indicar su valor nominal siempre que la calidad de la superficie y la estabilidad de la pesa no sea afectada por las marcas o por el proceso usado para marcar la pesa.

15.1.1 Los números que indican el valor nominal de la masa de las pesas deben representar:

- Kilogramo, para masas de 1 kg y mayores
- Gramo, para masas de 1 g a 500 g

15.1.2 Las pesas duplicadas o triplicadas en un juego de pesas deben ser claramente distinguidas por uno o dos asteriscos o puntos en el centro de la superficie, con excepción de las pesas de alambre las cuales deben ser distinguidas por uno o dos ganchos.

15.2 Pesas de clase E

La clase debe ser indicada en la cubierta del estuche (Ver 16.1) para las pesas de clase E, las pesas de clase E no deben ser marcadas a menos que la marca sea para distinguirla de otra pesa de clase E, siempre que la calidad de la superficie y la estabilidad de la pesa no sea afectada por las marcas o por el proceso usado para marcar la pesa.

Las pesas de clase E₂ pueden llevar un punto fuera del centro sobre la superficie superior para distinguirla de las pesas de clase E₁.

15.3 Pesas de clase F

Las pesas iguales o mayores a 1 g deben llevar, por bruñido o grabado, la indicación de su valor nominal expresado de acuerdo con 15.1 (no seguida del nombre o el símbolo de la unidad)

15.3.1 Las pesas de clase F₁ no deben llevar referencia de la clase.

15.3.2 Las pesas de clase F₂ iguales o mayores a 1 g deben llevar su referencia de la clase con la forma "F" junto con la indicación de su valor nominal.

15.4 Pesas de clase M

15.4.1 Las pesas rectangulares de 5 kg a 5 000 kg deben llevar el valor nominal de la pesa, seguido por el símbolo de "kg" en bajo o alto relieve sobre el cuerpo de la pesa, como se muestra en las Figuras A.2 y A.3.

15.4.2 Las pesas cilíndricas de 1 g a 5 000 kg deben indicar el valor nominal de la pesa, seguido por el símbolo de "g" o "kg", en bajo o alto relieve como se muestra en la Figura A.1. En las pesas cilíndricas de 500 g a 5 000 kg la indicación puede ser reproducida en la superficie cilíndrica del cuerpo de la pesa.

15.4.3 Las pesas de clase M₁ deben llevar el signo de "M₁" o "M", en bajo o alto relieve, junto con la indicación del valor nominal en la posición mostrada en la Figuras A.2 y A.3. Las pesas M₁ de forma paralelepípeda rectangular de 5 kg a 5 000 kg deben llevar la marca del fabricante en bajo o alto relieve en la parte central de las pesas, como se muestra en las Figuras A.2, A.3 y A.4.

15.4.4 Las pesas rectangulares de 5 kg a 5 000 kg de clase M₂ deben llevar una indicación del valor nominal y también deben llevar el signo "M₂" en bajo o alto relieve como se muestra en las Figuras A.2, A.3 y A.4.

15.4.5 Las pesas rectangulares de 5 kg a 5 000 kg de clase M₃ deben llevar el signo "M₃" o "X" en bajo o alto en relieve, junto con la indicación del valor nominal en la posición mostrada en las Figuras A.2, A.3 y A.4.

15.4.6 Las pesas de 5 kg a 5 000 kg de clase M₂ y M₃ deben llevar la marca del fabricante en bajo o alto relieve:

- En la parte central de las pesas rectangulares, o
- En la cara superior del botón de las pesas cilíndricas, o
- En la cara superior del cilindro para las pesas cilíndricas de clase M₃ las cuales están provistas de una agarradera.

Como es mostrado en las Figuras A.1, A.2, A.3 y A.4.

15.5 Pesas de clase M₁₋₂, y M₂₋₃

Las pesas de clase M₁₋₂ deben llevar el signo "M₁₋₂" y las de clase M₂₋₃ deben llevar el signo "M₂₋₃" en bajo o alto relieve, junto con el valor nominal seguido del símbolo "kg". Las pesas de clase M₁₋₂ y M₂₋₃ deben llevar la marca del fabricante en bajo o alto relieve en la cara superior de la superficie y de tamaño similar a la mostrada en las Figuras A.1, A.2, A.3 y A.4.

15.6 Marcas para el usuario

Es una buena práctica que el usuario identifique las pesas individuales, puesto que ayuda a relacionar una pesa a su certificado de calibración o documento de verificación.

En la Tabla 8 se establece el máximo número de marcas, y especificaciones que deben ser utilizados.

Tabla 8-Número máximo de marcas para el usuario

Clase	Valor nominal	Altura del rotulado	Máximo número de signos, numerales o letras
E, F, M ₁ y M ₂	< 1 g	1 mm	2
E ₁	≥ 1 g	2 mm	3
E ₂ ,	≥ 1 g	3 mm	5
F ₁ a M ₂	1 g a 100 g	3 mm	5
F ₁ a M ₂	200 g a 10 kg	5 mm	5
F ₁ a M ₂	≥ 20 kg	7 mm	5
M (Rectangulares)	≥ 5 kg	≥ 7 mm *	15 *

Las marcas para el usuario deben consistir de signos, número o letras de tal forma que no haya confusión con cualquier indicación del valor nominal o clase.

* De conformidad con el punto 15.1, referente a la calidad de la superficie y a la estabilidad de la pesa.

16. Presentación-Controles metrológicos

16.1 Generalidades

Con excepción de las pesas de clase M_{1-2} , M_2 M_{2-3} y M_3 , las pesas deben ser presentadas de acuerdo con los siguientes requisitos.

16.1.1 La tapa del estuche que contiene a las pesas deben ser marcadas para indicar su clase en la forma de "E₁", "E₂", "F₁", "F₂" o "M₁".

16.1.2 Las pesas que pertenecen al mismo juego deben ser de la misma clase de exactitud.

16.2 Pesas de clase E y F

16.2.1 Las pesas individuales y los juegos de pesas deben ser protegidas del deterioro o daño debido a golpes o vibraciones. Deben estar contenidos en estuches de madera, plástico o cualquier material apropiado que tenga compartimientos individuales.

16.2.2 El dispositivo de manipulación de las pesas de clase E y F debe estar construido de tal manera que no raye o cambie la superficie de la pesa.

16.3 Pesas de clase M₁

16.3.1 Las pesas cilíndricas de clase M_1 hasta e incluyendo la de 500 g, (individual o de un juego), deben estar contenidas en un estuche con compartimientos individuales.

16.3.2 Las pesas de láminas delgadas y de alambre deben estar contenidas en un estuche con compartimientos individuales; la referencia de la clase (M_1) debe estar inscrita en la cubierta del estuche.

17. Controles metrológicos

17.1 Confirmación de Controles Metrológicos

La Tabla 9 establece las pruebas que deben realizarse durante las etapas de la evaluación de la conformidad.

Tabla 9-Pruebas que deben realizarse

Prueba	Densidad ρ			Rugosidad superficial			Susceptibilidad magnética χ			Magnetización permanente M		Masa convencional m_c			
	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M
Clase	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M
AM	√	√	√	√	√	√	√	√		√	√		√	√	√
VI	√+			V	V	V	√	√		√	√		√	√	√
VP				V	V	V				*	*		*	√	√

Dónde:

AM Aprobación de modelo o prototipo.

VI Verificación inicial cuando la pesa es puesta en servicio por primera vez.

VP Verificación periódica o extraordinaria,

■ Prueba no aplicable

V Inspección visual

√ Prueba obligatoria

* En caso de dudas, la magnetización permanente de una pesa se debe evaluar durante las verificaciones periódicas o extraordinarias.

+ Aplica sólo para pesas clase E₁.

17.2 Aprobación de modelo

17.2.1 Cada fabricante, importador o comercializador, debe obtener por parte de la autoridad responsable la aprobación del modelo o prototipo. En los Apéndices B y C (Normativos) de esta Norma se proporciona los procedimientos obligatorios de las pruebas. La Tabla 9 indica las pruebas obligatorias en la aprobación de modelo.

17.2.2 Un modelo o prototipo no se permite que sea modificado una vez que ha recibido la aprobación; en caso contrario, debe obtener una nueva aprobación.

17.3 Calibración y verificación

La calibración o verificación de pesas o juego de pesas deben ser responsabilidad del usuario. Los certificados de calibraciones o verificaciones deben ser emitidos por laboratorios acreditados y aprobados. Se debe mantener la trazabilidad a los patrones nacionales.

17.3.1 Certificados de calibración y verificación

Un certificado de calibración y verificación debe indicar como mínimo: la masa convencional de cada pesa m_c , una indicación de si la pesa ha sido ajustada antes de la calibración, su incertidumbre expandida U (Ver Nota 2 del inciso 7.2) y el valor del factor de cobertura k .

17.3.2 Las pesas de clase E deben estar acompañadas de su certificado de calibración.

17.3.2.1 El certificado de pesas de clase E_1 debe indicar como mínimo: la masa convencional de cada pesa m_c , la incertidumbre expandida U y el factor de cobertura k y la densidad o el volumen de cada pesa. Además el certificado debe indicar si la densidad o el volumen, fue medido o estimado.

17.3.2.2 El certificado de pesas de clase E_2 debe indicar como mínimo la siguiente información:

- a) El valor de la masa convencional de cada pesa m_c , la incertidumbre expandida U y el factor de cobertura k y la densidad o el volumen de cada pesa. Además el certificado debe indicar si la densidad o el volumen, fue medido o estimado.
- b) La información requerida para certificados de calibración de pesas de clase E_1 (en las condiciones de 5.1).

17.4 Recalibración, verificación inicial, periódica y extraordinaria

17.4.1 La Tabla 9 establece las pruebas para la verificación inicial, periódica y extraordinaria. Las categorías de las pesas que están sujetas a una calibración o verificación inicial, también deben estar sujetas a recalibración o verificaciones periódicas y extraordinarias, haciendo posible verificar que han mantenido sus propiedades metrológicas. Las pesas que se encuentren defectuosas durante la recalibración o verificaciones periódicas y extraordinarias deben ser descartadas; o en caso de ser posible, ajustadas.

17.4.2 Para recalibraciones verificaciones periódicas y extraordinarias, como mínimo, las pesas deben ser inspeccionadas conforme a lo establecido en la Tabla 9, y cotejar los resultados de la masa convencional contra los resultados de la calibración inmediata anterior.

El usuario debe conservar el historial de calibración de la(s) pesa(s).

18 Marcas de control

18.1 Generalidades

No se requieren marcas de control sobre las pesas cuando se emite un certificado de calibración

18.2 Pesas de clase E

Las marcas de control deben estar colocadas en el estuche.

18.3 Pesas de clase F

18.3.1 Pesas de clase F_1

Si las pesas están sujetas a los controles metrológicos, las marcas de control deben estar colocadas sobre el estuche que contenga a las pesas.

18.3.2 Pesas de clase F_2

Si las pesas F_2 están sujetas a los controles metrológicos, las marcas de control apropiadas deben colocarse en el sello de la cavidad de ajuste. Para pesas sin cavidad de ajuste, las marcas de control deben colocarse en su base o en el estuche que contenga a las pesas.

18.4 Pesas de clase M

18.4.1 Si las pesas M_1 , M_2 y M_3 están sujetas a los controles metrológicos, las marcas de control apropiadas deben colocarse en el sello de la cavidad de ajuste. Para pesas sin cavidad de ajuste, las marcas de control deben colocarse en su base.

18.4.2 Si las pesas de lámina delgada y de alambre de clase M_1 están sujetas a los controles metrológicos, las marcas de control apropiadas deben colocarse en el estuche.

19. Evaluación de la conformidad

19.1 Disposiciones generales

Una vez que la presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia sea publicada en el Diario Oficial de la Federación como Norma definitiva, la evaluación de la conformidad de las Pesas clases de exactitud de clase E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} y M_3 , objeto de la Norma Oficial Mexicana, debe llevarse a cabo por personas acreditadas y aprobadas o por la dependencia competente en términos de lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento, de acuerdo con el "Procedimiento para la evaluación de la conformidad"

20. Vigilancia

La vigilancia del cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana de Emergencia corresponde a la Secretaría de Economía y la Procuraduría Federal del Consumidor, en el ámbito de sus respectivas competencias, de acuerdo con la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y la Ley Federal de Protección al Consumidor y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

21. Concordancia con Normas Internacionales

La presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia es modificada (MOD) con respecto a la Recomendación Internacional OIML R 111-1: 2004 Weights of Classes E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} y M_3 Part 1: Metrological and technical requirements, habiéndose adecuado a las prácticas metrológicas que se aplican en México.

Apéndice A (Normativo)

Ejemplos de las diferentes formas y dimensiones

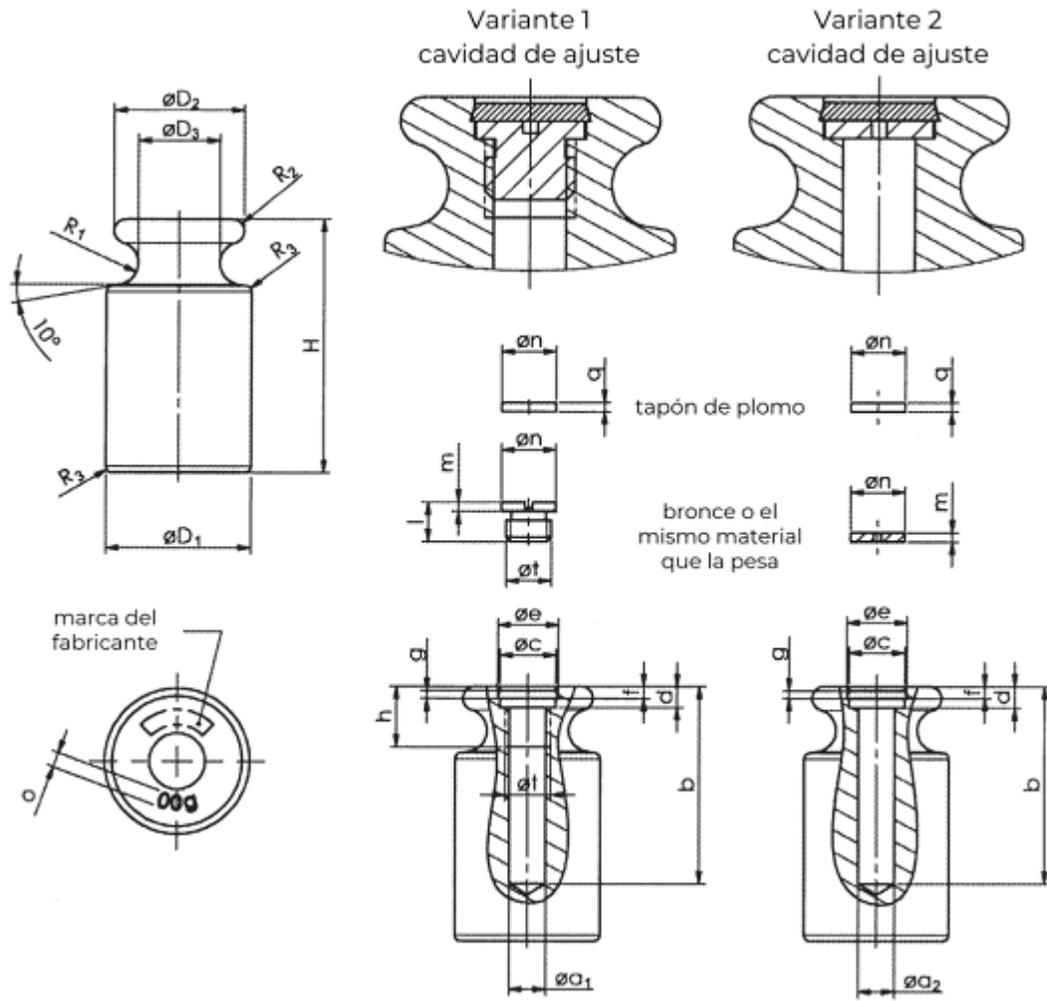


Figura A.1-Ejemplos de pesas cilíndricas.

Tabla A.1-Dimensiones (en milímetros)

Valor nominal	D ₁	D ₂	D ₃	H	R ₁	R ₂	R ₃	o	a ₁	a ₂	b [ⓐ]	c	d	e	f	g	h	l	m	n	q	t	
1 g	6	5.5	3		0.9	0.5	0.5	1	} Sin cavidad de ajuste														
2 g	6	5.5	3		0.9	0.5	0.5	1															
5 g	8	7	4.5		1.25	0.7	0.5	1															
10 g	10	9	6		1.5	0.8	0.5	1															
20 g	13	11.5	7.5		1.8	1	0.5	1.5															
50 g	18	16	10		2.5	1.5	1	2															
20 g	13	11.5	7.5		1.8	1	0.5	1.5	3.5	3	18	5.5	2.5	6.5	1.5	1	9	5	1	5	1		M4 x 0.5
50 g	18	16	10		2.5	1.5	1	2	5.5	4.5	25	7.5	3.5	9	2	1	10	5	1.5	7	1.5		M6 x 0.5
100 g	22	20	13		3.5	2	1	2	5.5	4.5	30	7.5	3.5	9	2	1	10	5	1.5	7	1.5		M6 x 0.5
200 g	28	25	16	4	2.25	1.5	3.2	6.9	7	40	10.5	4.5	12	2.5	1.5	15	8	2	10	2		M8 x 1	
500 g	38	34	22	5.5	3	1.5	3.2	6.9	7	50	10.5	4.5	12	2.5	1.5	15	8	2	10	2		M8 x 1	
1 kg	48	43	27	7	4	2	5	12.4	12	65	18.5	7	20	4	2.5	20	13	3	18	3		M14 x 1.5	
2 kg	60	54	36	9	5	2	5	12.4	12	80	18.5	7	20	4	2.5	20	13	3	18	3		M14 x 1.5	
5 kg	80	72	46	12	6.5	2	10	18.4	18	120	24.5	8	26.5	4	2.5	35	18	4	24	3		M20 x 1.5	
10 kg	100	90	58	15	8.5	3	10	18.4	18	160	24.5	8	26.5	4	2.5	35	18	4	24	3		M20 x 1.5	
20 kg	128	112	74	18	11	3	10	18.4	18	160	24.5	8	26.5	4	2.5	35	18	4	24	3		M20 x 1.5	

ⓐ La profundidad de la cavidad de ajuste se da sólo como indicación.

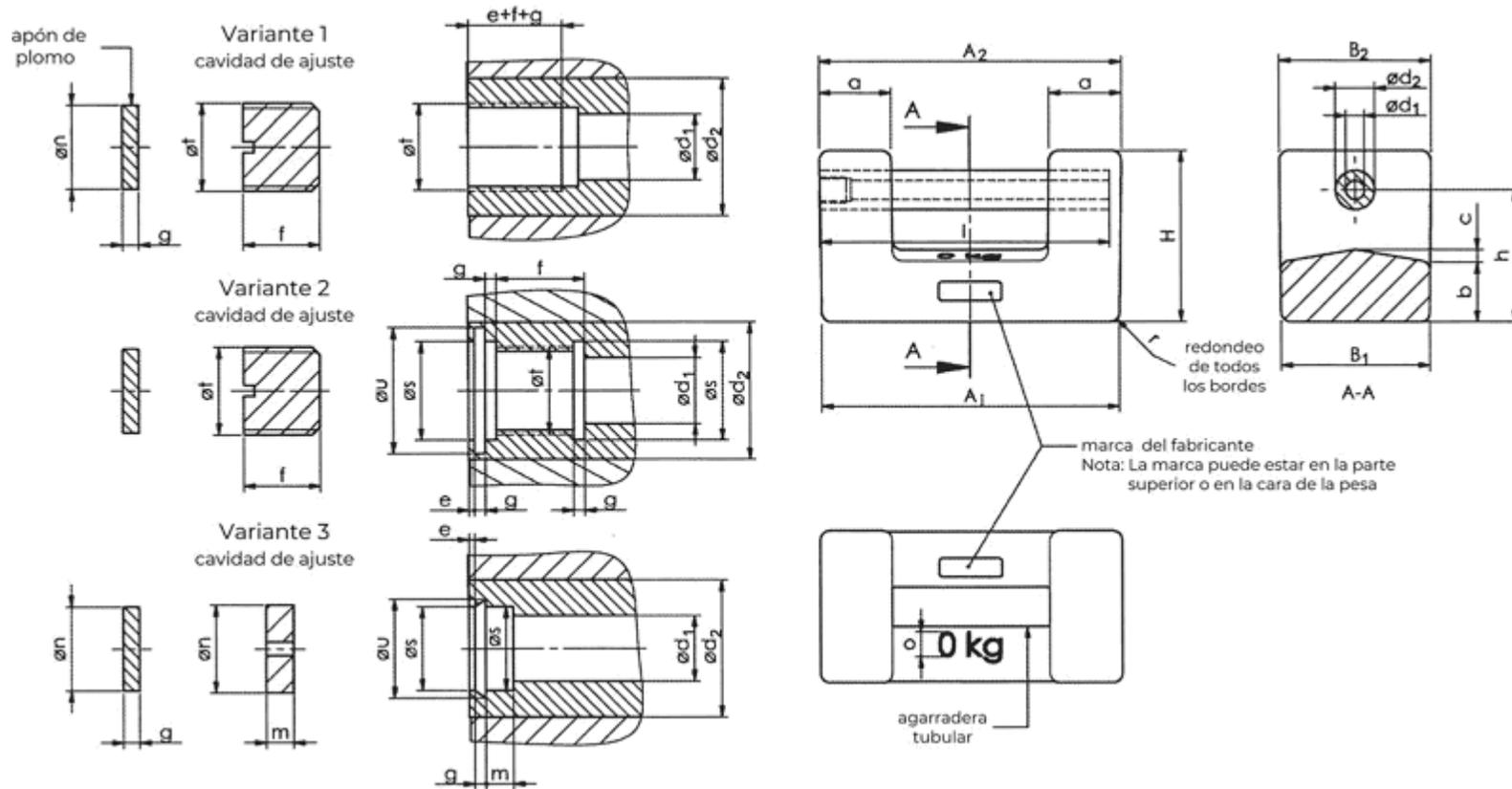


Figura A.2-Ejemplos de pesas con forma de paralelepípedo rectangular (Tipo 1)

Tabla A.2-Dimensiones (en milímetros)

Valor nominal	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	H	a	b	c	d ₁	d ₂	e	f	g	h	l	m	n	o	r	s	t	u
5 kg	150	152	75	77	84	36	30	6	12	19	1	14	2	66	145	5	16	12	5	16.5	M16 x 1.5	18
10 kg	190	193	95	97	109	46	38	8	12	25	1	14	2	84	185	5	16	16	6	16.5	M16 x 1.5	18
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	24	29	2	21	3	109	220	8	27	27	8	27.5	M27 x 1.5	30
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	24	40	2	21	3	152	300	8	27	27	10	27.5	M27 x 1.5	30

Se pueden invertir las dimensiones A y A' así como B y B'.

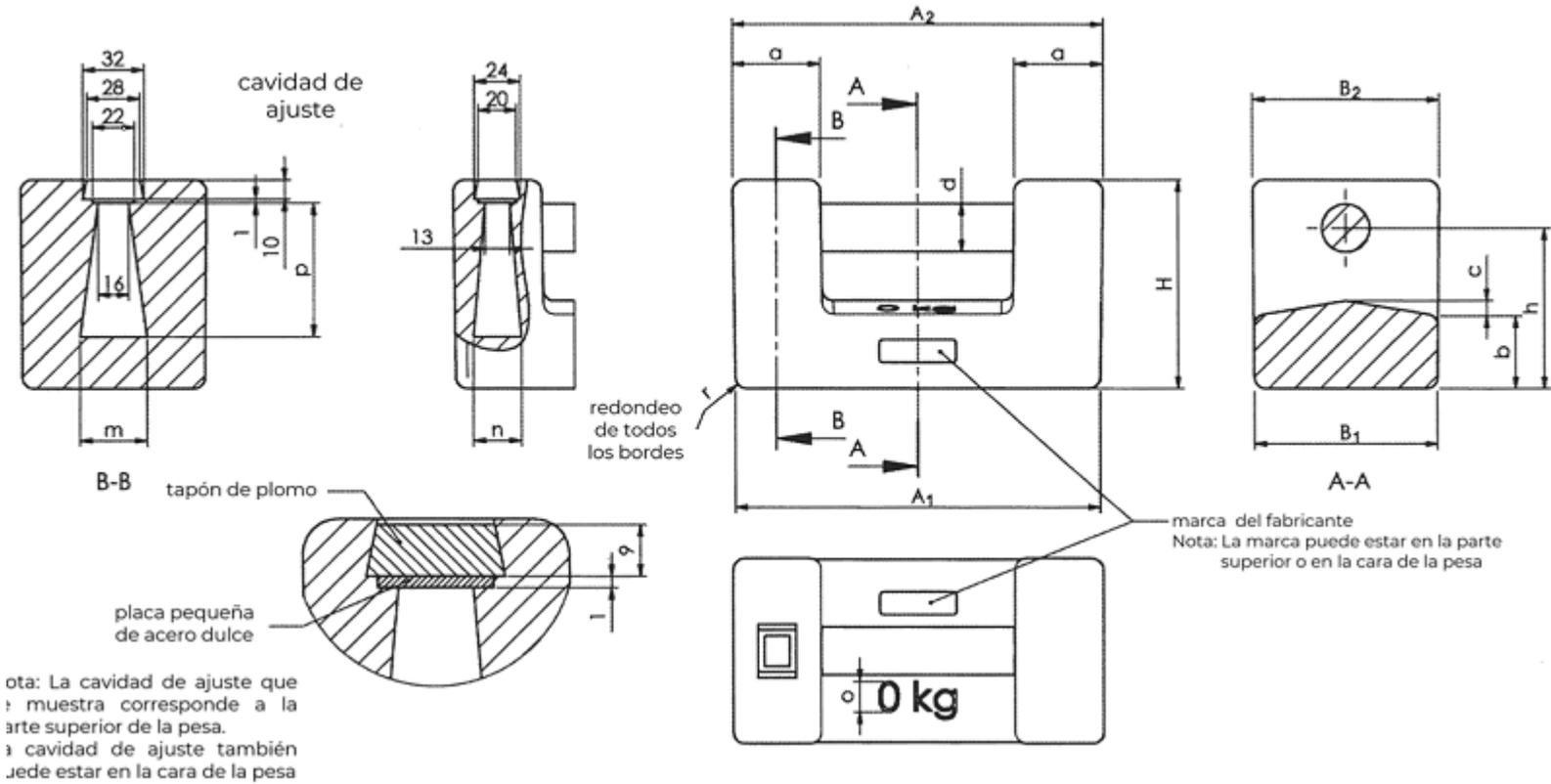


Figura A.3-Ejemplos de pesas con forma de paralelepípedo rectangular (Tipo 2)

Tabla A.3 - De dimensiones (en milímetros)

Valor nominal	A_1	A_2	B_1	B_2	H	a	b	c	d	h	m	n	o	p	r
5 kg	150	152	75	77	84	36	30	6	19	66	16	13	12	55	5
10 kg	190	193	95	97	109	46	38	8	25	84	35	25	16	70	6
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	29	109	50	30	20	95	8
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	40	152	70	40	25	148	10

Se pueden invertir las dimensiones A y A' así como B y B'. Se dan las dimensiones internas m, n y p de las cavidades de ajuste sólo como indicación.

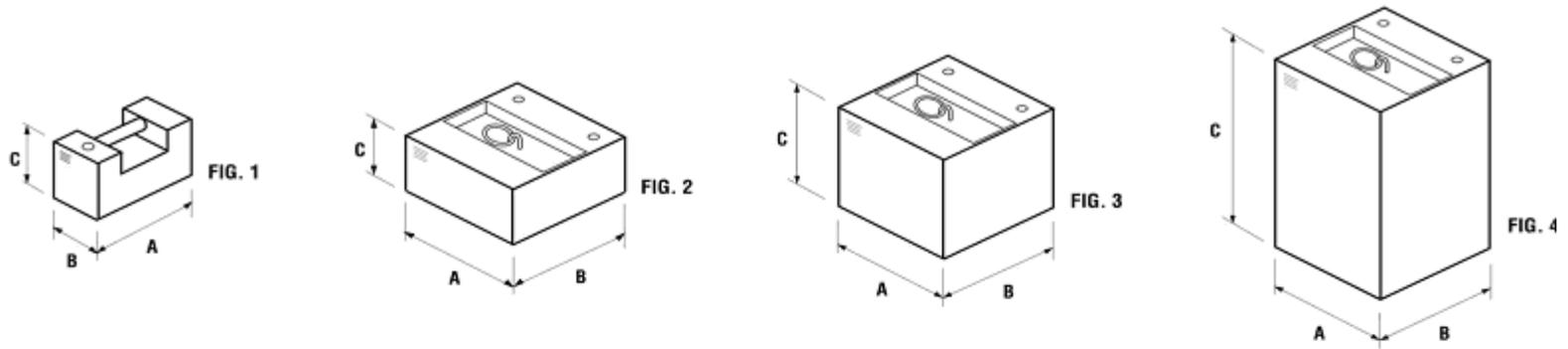


FIGURA	VALOR NOMINAL	DIMENSIONES			MATERIAL	
		mm			ESPESOR MINIMO mm	
		A	B	C		
1	20 kg	230	130	150	Acero Steel	3.00
3	50 kg	240	240	210	Acero Steel	4.76
3	100 kg	319	319	250	Acero Steel	6.35
3	200 kg	369	369	300	Acero Steel	6.35
2	500 kg	600	600	300	Acero Steel	6.35
3	1 000 kg	600	600	600	Acero Steel	6.35
4	2 000 kg	700	700	900	Acero Steel	9.52
4	5 000 kg	1000	1000	1200	Acero Steel	9.52

Figura A.4 - Ejemplos de pesas de clases M de 50 kg a 5 000 kg

Apéndice B (Normativo)

Procedimientos de pruebas para las pesas

B.1 Introducción

Este Apéndice B (Normativo) presenta métodos aceptados para determinar las propiedades seleccionadas de las pesas. Estos métodos aplican para pesas individuales o juegos de pesas.

B.1.1 Los reportes de las pruebas deben indicar claramente el método por el cual la prueba fue realizada. Se puede hacer referencia a los métodos contenidos en este Apéndice B mediante su respectivo número de sección. Si son usados otros métodos, entonces la validación de los métodos debe ser sustentada con la documentación correspondiente.

B.1.2 El término “masa convencional” es usado en todo el documento, excepto en la sección de densidad donde se usa el término de “masa real” (Ver 3.11).

B.2 Secuencia de las pruebas

Las evaluaciones preliminares y las pruebas deben hacerse en el siguiente orden (si aplica):

- a) Revisión documental e inspección visual de acuerdo a la lista de verificación (realizar en un formato del informe de medición).
- b) Limpieza de pesas (B.4).
- c) Rugosidad superficial (B.5).
- d) Magnetismo (B.6)
- e) Densidad (B.7).

NOTA 1: *La limpieza debe repetirse después de la medición de densidad si el líquido usado en el sistema de densidad no era agua (otros fluidos usados típicamente (por ejemplo fluorocarburos) dejan un residuo que debe ser removido con un solvente como el alcohol).*

- f) Medición de la masa convencional (Ver Apéndice C)

B.3 Revisión documental e inspección visual

B.3.1 Revisión documental

Revisar la documentación que se presenta, para determinar si es adecuada y correcta, de acuerdo a 17.1, incluyendo fotografías necesarias, dibujos, especificaciones técnicas relevantes, etc.

B.3.2 Comparar construcción con la documentación presentada

Examinar la apariencia física de las pesas y el estuche de las pesas para asegurar el cumplimiento con la documentación (de acuerdo con 8, 9, 10, 16 y 17 de esta Norma).

B.3.3 Revisión inicial

B.3.3.1 Características metrológicas

Anotar las características metrológicas de acuerdo con el formato del informe de medición apropiado a cada prueba realizada en los subsecuentes numerales o incisos.

B.3.3.2 Marcado y Marcas de control (de acuerdo a los capítulos 15 y 18 de esta Norma)

Revisar las marcas de acuerdo con el formato del informe de medición.

B.4 Limpieza de pesas

B.4.1 Es importante limpiar las pesas antes de cualquier medición, porque el proceso de limpieza puede cambiar la masa de la pesa. No se permite que la limpieza remueva una cantidad significativa del material de la pesa. Las pesas deben ser manipuladas y almacenadas de forma que permanezcan limpias. Antes de la calibración, el polvo y partículas extrañas deben ser removidos. Se debe tener cuidado de no alterar las propiedades de la superficie de la pesa (es decir rayar la pesa).

Si una pesa contiene cantidades significativas de suciedad, que no se pueden remover por los métodos antes mencionados, se puede limpiar la pesa o alguna parte de la pesa con alcohol, agua destilada u otros solventes. Las pesas con cavidades internas de ajuste normalmente no deben sumergirse en el solvente para

evitar la posibilidad que el fluido penetre en la apertura. Si es necesario monitorear la estabilidad de la pesa en uso, la masa de la pesa, si es posible, debe ser determinada antes de la limpieza.

B.4.2 Después que las pesas son limpiadas con solventes, deben ser estabilizadas durante los tiempos dados en la Tabla B.1.

Tabla B.1-Tiempo de estabilización después de la limpieza

Clase de pesa	E ₁	E ₂	F ₁	F ₂ a M ₃
Después de la limpieza con alcohol	7-10 días	3-6 días	1-2 días	1 hora
Después de la limpieza con agua destilada	4- 6 días	2-3 días	1 día	1 horas

B.4.3 Estabilización térmica

Antes de realizar cualquier prueba de calibración, las pesas necesitan ser aclimatadas a las condiciones ambientales de los laboratorios. En particular, pesas de clases E₁, E₂ y F₁ deben estar próximas a la temperatura del área de pesaje.

B.4.3.1 Las temperaturas de estabilización mínimas obligatorias (dependiendo del tamaño de la pesa, la clase de la pesa y la diferencia entre la temperatura inicial de las pesas y la temperatura del laboratorio) son mostradas en la Tabla B.2. Como guía práctica un periodo de espera de 24 horas es recomendado.

Tabla B.2-Estabilización térmica en horas (Ver 21.12)

ΔT^*	Valor nominal	Clase E ₁	Clase E ₂	Clase F ₁	Clase F ₂
± 20 °C	1 000, 2 000 y 5 000 kg	-	-	79	5
	100, 200 y 500 kg	-	70	33	4
	10, 20 y 50 kg	45	27	12	3
	1, 2 y 5 kg	18	12	6	2
	100, 200 y 500 g	8	5	3	1
	10, 20 y 50 g	2	2	1	1
	< 10 g	1			0.5
± 5 °C	1 000, 2 000 y 5 000 kg	-	-	1	1
	100, 200 y 500 kg	-	40	2	1
	10, 20 y 50 kg	36	18	4	1
	1, 2 y 5 kg	15	8	3	1
	100, 200 y 500 g	6	4	2	0.5
	10, 20 y 50 g	2	1	1	0.5
	< 10 g	0.5			
± 2 °C	1 000, 2 000 y 5 000 kg	-	-	1	0.5
	100, 200 y 500 kg	-	16	1	0.5
	10, 20 y 50 kg	27	10	1	0.5
	1, 2 y 5 kg	12	5	1	0.5
	100, 200 y 500 g	5	3	1	0.5
	<100 g	2	1		0.5
± 0.5 °C	1 000, 2 000 y 5 000 kg	-	-	-	-
	100, 200 y 500 kg	-	1	0.5	0.5
	10, 20 y 50 kg	11	1	0.5	0.5
	1, 2 y 5 kg	7	1	0.5	0.5
	100, 200 y 500 g	3	1	0.5	0.5

	<100 g	1	0.5
--	--------	---	-----

ΔT^* = Diferencia inicial entre la temperatura de la pesa y la temperatura del laboratorio.

B.5 Rugosidad superficial

B.5.1 Introducción

La estabilidad de la masa de una pesa es altamente dependiente de la estructura superficial de la pesa. Una pesa con una superficie lisa se espera sea más estable que una pesa de superficie rugosa, aunque otras cosas sean iguales. Es importante que la superficie de la pesa este limpia cuando se evalúa la rugosidad de la superficie.

B.5.1.1 Para pesas nuevas sin ralladuras visibles, la rugosidad superficial puede cuantificarse de manera bien definida. Para superficies con muchas ralladuras es más difícil. En metrología dimensional, la rugosidad superficial se distingue claramente de los defectos de superficie, tales como las ralladuras. Sin embargo las ralladuras acumulan suciedad si la pesa es expuesta a ésta, así que se debe evaluar la cantidad de ralladuras paralelamente a la rugosidad de la parte no rallada de la superficie. La evaluación de la rugosidad superficial aplica sólo para pesas de clase E y F mayores o iguales a 1 g.

B.5.2 Evaluación general

La evaluación de la rugosidad de una pesa se realiza primeramente por una inspección visual. Sin embargo para pesas de clases E y F la evaluación también debe realizarse con una muestra de patrón de rugosidad (CS), usando un instrumento palpador (SI) u otro instrumento convencional.

Advertencia: el uso del instrumento palpador puede dañar o rallar la superficie de la pesa.

La rugosidad de una superficie puede ser caracterizada por un número de diferentes parámetros de rugosidad. Cada parámetro define una característica de la superficie, lo cual es importante para una función específica de la superficie.

B.5.2.1 Muestra patrón (método CS)

Si el valor actual de la rugosidad superficial no se necesita, pero sólo tiene que confirmar cierta especificación, la superficie puede ser comparada visualmente con una muestra patrón de rugosidad. Como una muestra patrón consiste de un arreglo de secciones superficiales de creciente rugosidad especificada. La muestra se considera certificada, si ha sido calibrada por un laboratorio acreditado y si está acompañado por un certificado. El certificado debe incluir el parámetro de rugosidad R_z o R_a . La superficie de la muestra patrón debe tener una capa similar y debe producirse por métodos similares de maquinado que la superficie de la pesa. Dado que las pesas tienen superficies planas y también cilíndricas, dos juegos de patrones debe usarse, uno con superficies planas y otro con superficies cilíndricas.

B.5.2.2 Instrumento palpador (Método SI)

Un instrumento palpador convencionalmente mide la rugosidad de la superficie. Con este instrumento, un palpador filoso se desplaza muy suavemente a lo largo de una línea sobre la superficie y el movimiento vertical del palpador se registra como una función de la posición a lo largo de la línea. De esta forma un perfil de la superficie se registra.

Advertencia: El uso del instrumento palpador puede dañar o rallar la superficie de la pesa.

B.5.2.3 Otros instrumentos

Existen otros instrumentos distintos a los instrumentos tradicionales para mediciones de rugosidad, tales como medición de luz difusa [12].

B.5.3 Procedimientos de prueba

B.5.3.1 Inspección visual (pesas de clases E, F y M)

B.5.3.1.1 Equipo

- Un laboratorio bien iluminado.
- Guantes de laboratorio.
- Paños libres de pelusa.

B.5.3.1.2 Procedimiento de medición

B.5.3.1.2.1 Pesas nuevas

- a) Para todas las clases, inspeccionar visualmente todas las pesas:
 - 1) Observar cualquier “golpe” o abolladura en la superficie o ralladuras profundas.
 - 2) La superficie debe estar lisa (Ver 13.1.1).
 - 3) Los bordes deben ser redondeados.
 - 4) Para pesas de 1 g a 10 kg no se admite que la superficie de las pesas sea porosa.
- b) Para pesas de clase E y F la inspección visual de la superficie de la pesa:
 - 1) No se admite que la superficie sea porosa (Ver 13.1.2).
 - 2) La superficie debe ser brillante.
- c) Para pesas cilíndricas de clase M de 1 g a 50 kg, la superficie de la pesa debe ser lisa y no porosa.
- d) Para pesas paralelepípedas rectangulares de clase M (5 kg, 10 kg, 20 kg, y 50 kg) el acabado superficial debe ser como el del hierro fundido gris (Ver 13.1.3). La superficie puede ser cubierta con materiales adecuados para dar protección contra la corrosión volviendo la superficie impermeable (Ver 10.4.1)
- e) Para pesas de clase M mayores o iguales a 50 kg, la superficie puede ser cubierta con materiales adecuados para dar protección contra la corrosión volviendo la superficie impermeable. Este recubrimiento debe soportar golpes y otras condiciones ambientales (Ver 10.5.1).

B.5.3.1.2.2 Pesas usadas

Adicionalmente de B.5.3.1.2.1, inspeccionar la superficie de la pesa por huellas de uso como sigue.

Inspeccionar visualmente la superficie de la pesa. Las pesas usadas normalmente tendrán rayones, particularmente en la superficie del botón:

- 1) Si el número y la profundidad de las rayaduras es compatible con una estabilidad adecuada de la pesa, la pesa puede ser aceptada.
- 2) Durante la evaluación de la rugosidad superficial, rayaduras individuales y otros defectos no se deben tomar en cuenta.
- 3) Si las rayaduras son muy numerosas para evaluar la rugosidad superficial, se debe rechazar la pesa.

B.5.3.1.3 Reporte de resultados

Registrar la evaluación en el formato del informe de medición correspondiente a esta prueba, indicando “inspección visual” como el método de evaluación.

B.5.3.2 Muestra patrón de rugosidad (método CS) (clase de pesas E y F)

La rugosidad de la superficie puede ser comparada visualmente con muestras patrón de rugosidad.

B.5.3.2.1 Equipo

- a) Una muestra patrón de rugosidad (Ver B.5.2.1).
- b) Un laboratorio bien iluminado.
- c) Guantes de laboratorio.
- d) Paños libres de pelusa.

B.5.3.2.2 Procedimiento de medición

- a) Limpiar la superficie de la muestra patrón de rugosidad con un paño libre de pelusa sumergido en alcohol. Si la superficie de la pesa no parece limpia, se debe limpiar también.

NOTA 2: *La limpieza puede cambiar la masa de la pesa significativamente. Ver B.4 en limpieza de pesas.*

- b) Sostener la pesa contra una sección de la muestra patrón de rugosidad, con capas de las dos superficies en paralelo.

- c) Observar simultáneamente las dos superficies desde diferentes ángulos.
- d) Evaluar si la rugosidad de la pesa parece menor o mayor a la sección particular de la muestra patrón de rugosidad.
- e) Repetir con diferentes muestras contra la muestra patrón y determinar el límite superior.

B.5.3.2.3 Reporte de resultados

Registrar los valores de R_a y R_z que más se parezcan a la pesa bajo prueba usando el formato del informe de medición, indicando "CS" como el método de evaluación. No son necesarias otras mediciones de rugosidad, si la evaluación visual indica claramente que la rugosidad R_z o R_a , de la superficie de la pesa es menor al valor máximo especificado en 13.1.2. Si hay duda, se debe medir la rugosidad R_z o R_a con un instrumento palpador.

B.5.3.3 Medición de la rugosidad usando un instrumento palpador (método SI) (clase de pesas E y F)

Esta sección se aplica sólo a pesas a las que no se pueden evaluar el cumplimiento del requisito referente a la rugosidad superficial mediante la verificación visual sin generar duda. Antes de usar el instrumento palpador, éste se debe calibrar utilizando muestras de calibración certificadas de acuerdo a ISO 5436-2:2012 [21.14]. Otros instrumentos pueden usarse únicamente si la trazabilidad a la unidad de longitud está documentada.

B.5.3.3.1 Equipo

- a) Instrumento palpador definido en ISO 3274:1996 [21.15].
- b) Guantes de laboratorio.

B.5.3.3.2 Procedimiento de medición (de acuerdo con ISO 4288:1996 [21.16])

- a) Realizar por lo menos 6 mediciones.
 - 1) 2 en la superficie plana.
 - 2) 4 en la superficie cilíndrica.
- b) No incluir rayaduras u otros defectos superficiales en los perfiles trazados.
- c) Todos los valores medidos de la rugosidad superficial R_z o R_a , deben ser menores que el valor máximo especificado en la Tabla 7 en 13.1.2.

B.5.3.3.3 Reporte de resultados

Registrar los valores de R_a y R_z que más se parezcan a la pesa bajo prueba usando el formato del informe de medición, indicando "SI" como el método de evaluación.

B.6 Magnetismo

B.6.1 Introducción

Las fuerzas magnéticas pueden afectar adversamente el proceso de pesada, sin una investigación sistemática, estas fuerzas espurias no pueden distinguirse de la fuerza gravitacional en la determinación de masa. Las fuerzas magnéticas pueden surgir de la interacción mutua de dos pesas patrón, así como de: un patrón de masa, el comparador de masa usado para el pesaje y objetos magnéticos cercanos.

B.6.1.1 Consideraciones Generales

Las propiedades magnéticas (magnetización y susceptibilidad) del patrón de masa deben ser determinadas antes de la calibración de masa (Ver Apéndice C), para asegurar que la interacción magnética sea despreciable. Una pesa que falle la prueba de magnetismo no se permite que sea calibrada.

B.6.1.1.1 No es necesario medir las propiedades magnéticas de pesas hechas de aluminio, puesto que es conocido que no son magnéticas y tienen una susceptibilidad magnética χ , mucho menor a 0.01. Adicionalmente para pesas pequeñas (< 2 g) y para clases de exactitud inferior (F1 e inferiores, < 20 g), es suficiente referenciar las especificaciones del fabricante de las propiedades magnéticas del material usado para hacer las pesas (Ver B.6.3).

B.6.1.1.2 Algunas pesas de clase M son hechas de hierro fundido o aleaciones simples de acero. Por lo tanto, las pesas de clase M tienen con mayor frecuencia que para las clase E y F errores relativos grandes debidos a la interacción magnética entre las pesas y el instrumento para pesar. Todos los metales tienen cierta susceptibilidad magnética. Sin embargo las aleaciones que contienen impurezas magnéticas tendrán una mayor susceptibilidad y pueden magnetizarse.

NOTA 3: Las fuerzas magnéticas de las paredes verticales de las pesas no son consideradas en esta edición.

B.6.1.2 Visión general de los procedimientos de prueba

Las secciones B.6.2 a B.6.6 describen dos métodos aceptados para la determinación de la magnetización de las pesas (B.6.2 y B.6.4) y cuatro métodos aceptados para la determinación de la susceptibilidad magnética (B.6.3, B.6.4, B.6.5 y B.6.6), incluyendo la fórmula para el cálculo de la magnetización y la susceptibilidad magnética. Los límites para la magnetización permanente y la susceptibilidad magnética están dados en 11.1 y 11.2. Los métodos recomendados para las distintas clases de exactitud y masas nominales son mostrados en las Tablas B.3(a), B.3(b) y B.3(c). También se pueden utilizar métodos alternativos siempre que se justifique su validez con la documentación apropiada que debe anexarse al reporte de la prueba.

NOTA 4: *Una caracterización completa de la magnetización de la pesa es técnicamente impráctica. Los métodos que se presentan se basan en aproximaciones que han resultado ser útiles. En caso de que los resultados de los métodos presentados sean inconsistentes, el orden de preferencia es: B.6.4 (susceptómetro), B.6.2 (sonda de Hall) y B.6.2 (método de Fluxgate).*

B.6.2 Método para determinar la magnetización permanente, Gaussímetro

La magnetización permanente de una pesa puede ser estimada a partir de la medición, con un Gaussímetro, del campo magnético cercano a la pesa. Este método puede utilizarse con todas las clases de exactitud listadas en la Tabla B.3(c).

B.6.2.1 Consideraciones generales

- a) En el cuarto donde se va a realizar la prueba se debe verificar la dirección del campo magnético del ambiente utilizando un Gaussímetro antes de comenzar la prueba. La prueba debe ser llevada a cabo en un área libre de objetos ferromagnéticos. El operador no admisible traer o portar objetos ferrosos.
- b) Medir el campo magnético debido a la pesa con un sensor Hall por ejemplo (instrumento preferente), o magnetómetro de saturación (fluxgate). No se acepta que sea utilizado un magnetómetro de saturación (fluxgate) para pesas menores a 100 g. Alinear la sonda de tal manera que su eje sensible sea perpendicular a la superficie de la pesa.
- c) La medición debe ser tomada en la dirección donde la inducción magnética del ambiente este cercana a cero.
- d) Alternativamente, el valor de inducción del ambiente debe ser restado al valor de inducción cuando la pesa está presente.

B.6.2.2 Equipo

- a) Gaussímetro, por ejemplo un sensor Hall o un magnetómetro de saturación (fluxgate).
- b) Herramientas para la manipulación de las pesas (por ejemplo: Guantes de laboratorio, paños libres de pelusa, pinzas de laboratorio).
- c) Un Laboratorio bien iluminado.

B.6.2.3 Procedimiento de medición

- a) Poner a cero el indicador.
- b) Colocar la sonda sobre una superficie no magnética.
- c) Tomar una lectura del campo magnético con una orientación particular de la sonda. Este valor es una medición del campo magnético del ambiente. Esta lectura se restará a cualquier lectura siguiente tomada sobre o cerca de la pesa.
- d) Colocar la pesa sobre el sensor mientras se mantiene la orientación de la sonda. El centro de la base de la pesa se debe colocar sobre el sensor. Verificar si la magnetización es homogénea moviendo la pesa del centro al borde de la base y observar los cambios en la lectura. Si ésta no reduce ligeramente, la pesa puede estar magnetizada de manera no homogénea.
- e) Si la pesa está magnetizada homogéneamente, las mediciones pueden llevarse a cabo en el centro de la base, cercano a la superficie de la pesa, sin hacer contacto y conforme con las especificaciones del Gaussímetro

NOTA 5: *En el caso de algunas sondas, por ejemplo magnetómetro de saturación (fluxgate), el sensor se encuentra a una distancia del extremo de la sonda [16]. Esto generalmente conduce a menores magnitudes de la intensidad de campo que las obtenidas con un sensor Hall colocado lo más cerca posible de la pesa. Si la pesa no está magnetizada homogéneamente, las mediciones pueden realizarse a lo largo del eje central de la pesa a una distancia de la superficie de al menos la mitad del diámetro de una pesa cilíndrica o de al menos la mitad de la mayor dimensión de un pesa rectangular. Las lecturas de la sonda deben ser corregidas mediante la fórmula dada más abajo.*

- f) Leer la indicación (la cual puede estar en mT). Anótese en μT .

- g) Invertir la pesa para medir la parte superior (sólo para pesas con la parte superior plana), después repetir los pasos anteriores d-f.
- h) Corregir la lectura de la sonda y estimar la polarización, $\mu_0 M$, utilizando la siguiente ecuación:

$$\mu_0 M = \frac{2B}{\frac{d+h}{\sqrt{R^2+(d+h)^2}} - \frac{d}{\sqrt{R^2+d^2}}} - f(B_E) \quad (\text{B.6.2-1})$$

Para pesas de clase M con:

$$f(B_E) = 5.4B_E \quad (\text{B.6.2-2})$$

Y para pesas de clase E y F con:

$$f(B_E) = \frac{\chi}{1 + 0.23\chi} B_E \quad (\text{B.6.2-3})$$

Dónde:

B = es la lectura del Gaussímetro con la pesa presente (después de haber restado el campo magnético del ambiente, ver inciso c)).

B_E = es la lectura del Gaussímetro del campo magnético del ambiente sin la pesa.

d = es la distancia entre el centro del sensor (se encuentra dentro de la sonda) y la superficie de la pesa.

h = es la altura de la pesa.

R = es el radio de la pesa cilíndrica o en el caso de una pesa rectangular, el radio de un círculo con la misma área como la de la superficie plana de la pesa.

NOTA 6: B y B_E en algunos casos pueden tener diferentes signos

- i) El equipo utilizado y la distancia utilizada deben en todos los casos ser anotados en el informe de medición, correspondiente a esta prueba.

B.6.2.4 Incertidumbre

Estos dispositivos son calibrados con una incertidumbre acorde con el requisito, la magnetización puede ser determinada con una incertidumbre menor que un tercio del límite del error dado en la Tabla 3. El resultado de este procedimiento tiene una incertidumbre expandida $U (k = 2)$, de la magnetización permanente aproximadamente del 30 % (incluyendo la incertidumbre de calibración del Gaussímetro). Sin embargo, las simplificaciones en el método no pueden tenerse en cuenta en esta incertidumbre. Por lo tanto la magnetización determinada de esta forma es un valor convencional pero útil.

B.6.2.5 Reporte de resultados

Registrar los resultados de las mediciones en el formato del informe de medición, correspondiente a esta prueba.

B.6.3 Especificación del material

La medición de la susceptibilidad magnética se puede realizar utilizando el procedimiento B.6.4, pero utilizando una pieza prueba del material utilizado en la fabricación de la pesa. En este caso la incertidumbre expandida $U (k = 2)$, de la medición debe ser incrementada en un 20 % tomando en cuenta la posible variación de este parámetro en la pieza de metal. Sin embargo, todas las piezas terminadas deben cumplir con los requisitos dados en la Tabla 3. Debido a los efectos de saturación al medir la susceptibilidad magnética, los campos magnéticos aplicados a las pesas deben ser lo suficientemente pequeños ($< 4 \text{ kA m}^{-1}$ para aleaciones de acero típicas).

B.6.3.1 Las pesas fabricadas de aluminio tienen una susceptibilidad magnética $\chi \ll 0.01$.

B.6.3.2 Para pesas menores a 2 g, referir las propiedades magnéticas a las especificaciones del fabricante del material utilizado para su fabricación.

B.6.3.3 Para pesas de clase F menores a 20 g, referir las propiedades magnéticas a las especificaciones del fabricante del material utilizado para su fabricación.

B.6.4 Susceptibilidad magnética y magnetización permanente, método del susceptómetro.

B.6.4.1 Principios de la prueba

Este método puede ser usado para determinar la susceptibilidad magnética y la magnetización permanente de pesas débilmente magnetizadas, a través de la medición de la fuerza ejercida sobre un patrón de masa en el gradiente del campo magnético de un fuerte imán permanente (Ver Figura B.1).

Este método es aplicable sólo para pesas cuya susceptibilidad magnética es $\chi < 1$. No se recomienda este método para pesas que no son de una sola pieza. Para usar este método se requiere familiaridad con lo especificado en la referencia [6]. En un arreglo típico, el susceptómetro tiene un volumen medido limitado en su medida (unos 10 cm³) sobre la mesa, cerca del imán y verticalmente arriba del mismo. Para pesas mayores a 2 kg hacer la medición en medio de la base de la pesa (si se considera necesario medir la magnetización permanente en varios puntos a lo largo de la base, usar un Gaussímetro en lugar de un susceptómetro). Normalmente la pesa debería estar en posición vertical. Para la medición de las propiedades magnéticas de los costados o la parte superior, se requieren métodos más elaborados [6].

B.6.4.2 Consideraciones generales

Existe un riesgo significativo: que el **procedimiento pueda causar la magnetización permanente** de la pesa bajo prueba, si es expuesta a campos magnéticos demasiados altos ($> 2 \text{ kA m}^{-1}$ para una aleación de acero típica de clase E₁). Se recomienda, por ejemplo, que la prueba de pesas de clase E₁ se realice a una distancia Z_0 , de aproximadamente 20 mm entre la altura media del imán y la base de la pesa (Ver Figura B.1). Luego, sólo disminuir Z_0 si la susceptibilidad de la muestra es demasiado pequeña para producir una señal razonable [6]. Pueden ser necesarias precauciones adicionales al probar pesas de mayor susceptibilidad (Ver B.6.4.5, inciso c).

B.6.4.3 Equipo

- a) Un instrumento para pesar con un intervalo de escala no mayor a 10 µg.
- b) Una mesa no magnética donde colocar la pesa.
- c) Un cilindro donde colocar el imán.
- d) Un imán cilíndrico con momento magnético m_d , en el orden de 0.1 A m² (este momento es típico de los imanes de samario-cobalto, neodimio-hierro-boro de aproximadamente un volumen de 100 mm³) [6].

B.6.4.4 Ilustración del equipo

La altura del imán en términos ideales debe ser igual a 0.87 veces su diámetro [6], aunque una relación de altura diámetro de 1 es aceptable. Z_0 es la distancia de la altura media del imán a la base de la pesa.

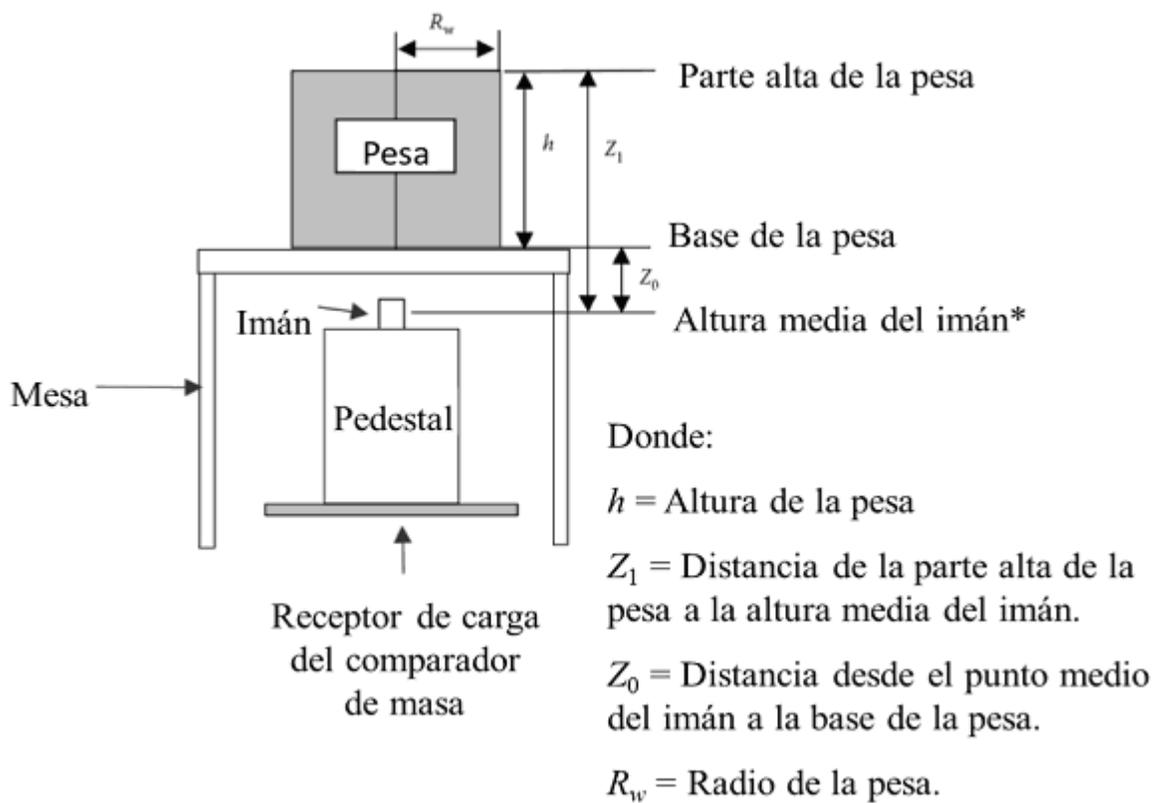


Figura B.1-Equipo de susceptibilidad magnética y magnetización, método del susceptómetro.

B.6.4.5 Método de medición

Esta prueba debe realizarse en un área libre de objetos ferrosos. No se permite que el operador porte objetos ferrosos.

- a) Medir los diferentes parámetros (Z_0 , R_w y h), ver la ilustración del equipo, Figura B.1, ver [6] para la medición de Z_0 .
- b) El valor de la aceleración de la gravedad g , debe ser conocida con una exactitud del 1 %.
- c) Colocar el imán con el polo norte hacia abajo (el polo norte de un imán cilíndrico es el extremo que repele el polo norte de una aguja de brújula). Es necesario conocer el momento magnético dipolar m_d .

El imán produce un campo máximo en la superficie superior de la mesa de:

$$H = \frac{m_d}{2\pi \times Z_0^3} \quad (\text{B.6.4-1})$$

Donde H está en unidades de $A\ m^{-1}$, para m_d en $A\ m^2$ y Z_0 en m .

Es importante que inicialmente H no exceda $2\ 000\ A\ m^{-1}$ cuando la prueba se realiza en pesas de clase E_1 , $800\ A\ m^{-1}$ cuando la prueba se realiza en pesas de clase E_2 y cuando la prueba se realiza en pesas de las otras clases de $200\ A\ m^{-1}$. El campo H puede incrementarse sólo si la señal del susceptómetro es demasiado pequeña. En este caso el campo H se incrementa al reducir la altura Z_0 .

- d) Poner a cero el instrumento para pesar.
- e) Colocar la pesa sobre la mesa de tal manera que su eje coincida con el eje vertical del imán, y tomar la indicación del instrumento para pesar. Girar la pesa sobre su eje vertical incrementando el ángulo de giro y registrar las indicaciones en cada posición. Para el siguiente procedimiento, gire la pesa al ángulo donde la indicación mostró la máxima desviación del cero.
- f) Colocar la pesa sobre la mesa, normalmente tres veces, directamente sobre el imán. Asegurarse de que la pesa esté centrada.
 - 1) Registrar el tiempo al momento de colocar la pesa, el tiempo al momento de que toma la indicación del instrumento para pesar y el tiempo cuando se retira la carga.
 - 2) Calcular Δm_1 de las indicaciones repetidas. Generalmente Δm_1 será negativa, lo que significa que el imán está siendo atraído ligeramente a la pesa.
 - 3) La fuerza F_1 , se determina como:

$$F_1 = -\Delta m_1 \times g \quad (\text{B.6.4-2})$$

- g) La medición debe repetirse con el polo norte del imán hacia abajo.
 - 1) La distancia Z_0 se debe mantener constante.
 - 2) Poner a cero el instrumento.
 - 3) Otra vez, colocar la pesa sobre la mesa, normalmente tres veces, directamente sobre el imán. Asegurarse de que la pesa esté centrada.
 - 4) Registrar el tiempo desde el momento de colocar la pesa, al momento de tomar la indicación del instrumento para pesar y cuando se retira la carga.
 - 5) Calcular Δm_2 de las indicaciones repetidas. Generalmente Δm_2 será negativa, pero ligeramente diferente a Δm_1 .
 - 6) La fuerza F_2 , se determina como:

$$F_2 = -\Delta m_2 \times g \quad (\text{B.6.4-3})$$

- h) Repetir los pasos d-g anteriores.

B.6.4.6 Cálculos

Calcular la susceptibilidad magnética χ , y la magnetización permanente M_z , de la pesa incluyendo todos los parámetros en las siguientes ecuaciones. Se asume que la susceptibilidad del aire es siempre muy pequeña (despreciable).

B.6.4.6.1 Si se mide F_1 y F_2 , la expresión de la susceptibilidad magnética está dada por:

$$\chi = \frac{F_a}{I_a \times F_{\max} - 0.4F_a} \quad (\text{B.6.4-4})$$

Donde:

$$F_{\max} = \frac{3\mu_0}{64\pi} \times \frac{m_d^2}{Z_0^4} \quad (\text{B.6.4-5})$$

$$F_a = \frac{F_1 + F_2}{2} \quad (\text{B.6.4-6})$$

Y la polarización magnética está dada por:

$$\mu_0 M_z = \frac{F_b}{\frac{m_d}{z_0} \times \frac{1}{4\pi} I_b} - \frac{\chi}{1 + 0.23\chi} B_{EZ} \quad (\text{B.6.4-7})$$

Donde:

$$F_b = \frac{F_1 - F_2}{2} \quad (\text{B.6.4-8})$$

B_{EZ} es la componente vertical de la inducción magnética en el medio ambiente del laboratorio. Usualmente B_{EZ} puede ser tomado como la componente vertical de la inducción magnética de la Tierra en donde está localizado el laboratorio, en este caso varía de $-48 \mu\text{T} < B_{EZ} < 60 \mu\text{T}$ dependiendo de la latitud. En el Ecuador la magnitud de B_{EZ} es igual a cero y sus valores máximos absolutos se dan en los polos de la Tierra. El signo de B_{EZ} es positivo en el hemisferio norte y negativo en el hemisferio sur de la Tierra.

B.6.4.6.2 Los Factores geométricos I_a e I_b , que aparecen en las ecuaciones anteriores se calculan respectivamente con:

$$I_a = 1 - \left(\frac{Z_0}{Z_1}\right)^4 - \frac{1 + \left(\frac{R_W}{Z_0}\right)^2}{\left(1 + \left(\frac{R_W}{Z_0}\right)^2\right)^3} + \left(\frac{Z_0}{Z_1}\right)^4 \times \frac{1 + \left(\frac{R_W}{Z_1}\right)^2}{\left(1 + \left(\frac{R_W}{Z_1}\right)^2\right)^3} \quad (\text{B.6.4-9})$$

$$I_b = 2\pi \left(\frac{\left(\frac{R_W}{Z_0}\right)^2}{\left(1 + \left(\frac{R_W}{Z_0}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} - \frac{\frac{\left(\frac{R_W}{Z_0}\right)^2}{\left(\frac{Z_1}{Z_0}\right)^3}}{\left(1 + \left(\frac{R_W}{Z_1}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \right) \quad (\text{B.6.4-10})$$

Para mayor información de I_a e I_b ver [6]. La susceptibilidad del aire puede ser despreciable para fines prácticos.

B.6.4.6.3 Las fórmulas dadas arriba son para pesas cilíndricas. Si las pesas no tienen una forma perfecta de un cilindro, correcciones adicionales o incertidumbres mayores pueden ser requeridas. Por ejemplo, cálculos adicionales para tener en cuenta el hueco de la base, el botón, etc. según se detalla en [6]. Las correcciones para estos efectos de las formas son mayores para masas pequeñas (2 g) donde ascienden aproximadamente al 10 %.

B.6.4.7 Incertidumbre

Los resultados de este procedimiento resultan en una incertidumbre para la susceptibilidad magnética en el intervalo de 10 % al 20 %. La incertidumbre asociada con este método es mayor para pesas pequeñas [17, 18].

B.6.4.8 Reporte de resultados

Registrar los resultados de las mediciones en el formato del informe de medición, correspondiente a esta prueba.

B.6.5 Susceptibilidad magnética, el método de atracción

B.6.5.1 Principios de la prueba

La cantidad medida con este método es la permeabilidad magnética relativa, determinada por comparación de la fuerza magnética ejercida por un imán permanente sobre el patrón de masa con una correspondiente fuerza sobre el patrón de permeabilidad (Ver Figura B.2). La susceptibilidad magnética χ , es calculada usando la ecuación para la relación entre la permeabilidad magnética relativa y la susceptibilidad magnética ($\mu_r = 1 + \chi$).

Este método puede ser usado para pesas de 20 g y mayores y para pesas de E_2 a F_2 [Ver 21.18 y 21.19] y Ver la Tabla B.3, (b). Normalmente, el instrumento disponible para este método sólo se puede usar para determinar la permeabilidad magnética en el intervalo de $1.01 \leq \mu_r \leq 2.5$ ($0.01 \leq \chi \leq 1.5$).

B.6.5.2 Consideraciones generales

Una desventaja de este método es que los instrumentos disponibles son difíciles de calibrar.

Advertencia: También existe el riesgo de que el procedimiento cause la magnetización permanente de la pesa bajo prueba.

El imán es atraído a la pesa o al material de referencia dependiendo de cuál de éstos tenga la mayor permeabilidad magnética.

B.6.5.3 Equipo

- Un imán equilibrado sobre un pivote con contrapeso (Ver Figura B.2).
- Un material de referencia de permeabilidad magnética conocida.
- Herramientas para la manipulación de pesas (por ejemplo: guantes de laboratorio, ropa libre de pelusa, pinzas de laboratorio).
- Un laboratorio bien iluminado.

B.6.5.4 Ilustración del equipo

La Figura B.2 muestra una ilustración del equipo. Normalmente el instrumento incluye un juego de insertos (materiales de referencia) que se pueden usar.

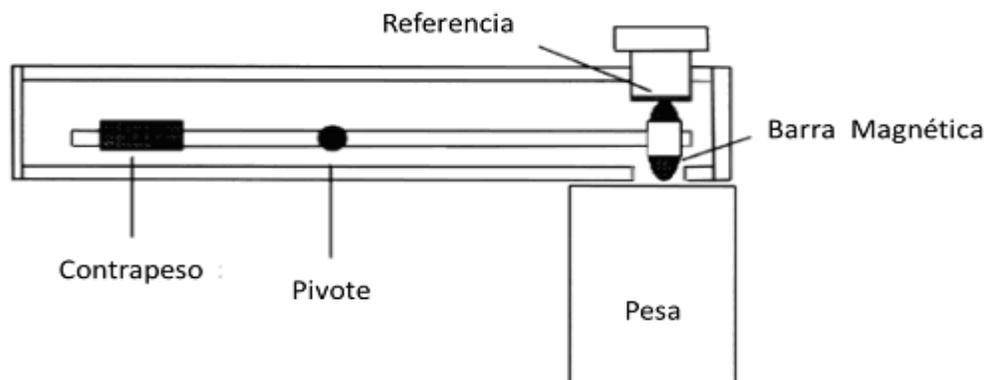


Figura B.2-Equipo para susceptibilidad magnética por el método de atracción.

B.6.5.5 Procedimiento de medición

- a) Introducir un material de referencia adecuado con una permeabilidad magnética relativa conocida en el instrumento.
- b) Instalar el instrumento en una posición estable con el imán hacia abajo.
- c) Mover la pesa hacia el instrumento (barra magnética con material de referencia conocido) hasta que toque el instrumento.
- d) Después remover suavemente la pesa del instrumento.
- e) Si la barra magnética es atraída hacia la pesa, la permeabilidad relativa de la pesa es mayor que el material de referencia.
- f) Esta prueba debe ser realizada en diferentes lugares sobre la cara superior e inferior de la pesa.

Para asegurar trazabilidad en estas determinaciones de susceptibilidad, el procedimiento se debe repetir con mediciones en una muestra de susceptibilidad conocida (por ejemplo las determinadas por el susceptómetro en B.6.4).

B.6.5.6 Incertidumbre

El instrumento tiene una incertidumbre asociada de la permeabilidad de aproximadamente 0.3 % (30 % en la susceptibilidad) en la permeabilidad más baja ($\mu_r = 1.01$) y 8 % (13 % en la susceptibilidad) en la permeabilidad más alta ($\mu_r = 2.5$). El procedimiento de medición puede tener incertidumbres muy grandes [Ver 21.19].

B.6.5.7 Reporte de resultados

Registrar los resultados de las mediciones en el formato del informe de medición, correspondiente a esta prueba.

B.6.6 Susceptibilidad magnética, el método del Fluxgate (magnetómetro de saturación)**B.6.6.1** Principio de la prueba

Este método determina la permeabilidad magnética relativa de un objeto usando un magnetómetro de flujo con una muestra de permeabilidad conteniendo un imán permanente colocado cerca del objeto.

Advertencia: También existe el riesgo de que el procedimiento cause magnetización permanente de la pesa bajo prueba.

B.6.6.2 Consideraciones generales

Normalmente, los instrumentos disponibles para este método pueden ser usados para determinar la permeabilidad magnética en el intervalo de $1.0001 \leq \mu_r \leq 2.00$ ($0.0001 \leq X \leq 1.00$). Para asegurar trazabilidad en estas determinaciones, el procedimiento debe ser repetido con mediciones de una muestra de susceptibilidad conocida (por ejemplo: un material de referencia apropiado certificado por un laboratorio acreditado).

B.6.6.3 Equipo

- a) Un magnetómetro de flujo con una muestra de permeabilidad que contenga un imán permanente.
- b) Un material de referencia de permeabilidad magnética conocida.
- c) Accesorios para el manejo de pesas (por ejemplo: guantes de laboratorio, ropa libre de pelusa, pinzas de laboratorio).
- d) Un laboratorio bien iluminado.

B.6.6.4 Procedimiento de medición

Referirse a las especificaciones del fabricante.

B.6.6.5 Incertidumbre

El instrumento tiene una incertidumbre asociada de la permeabilidad de aproximadamente 0.2 % (del 40 % al 4 % en susceptibilidad) en el intervalo $1.005 \leq \mu_r \leq 1.05$ ($0.005 \leq X \leq 0.05$) [20]. Referirse a las especificaciones del fabricante.

B.6.6.6 Reporte de resultados

Registrar los resultados de las mediciones en el formato del informe de medición, correspondiente a esta prueba.

B.6.7 Métodos recomendados para determinar la magnetización y la susceptibilidad por la clase y el tamaño de la pesa.

B.6.7.1 Las mediciones deben determinarse sobre pesas terminadas.

B.6.7.2 El Gaussímetro puede ser usado para determinar la magnetización para todas las clases de exactitud, el sensor Hall para valores nominales ≥ 1 g y el magnetómetro de saturación (fluxgate) para valores nominales ≥ 100 g.

B.6.7.3 Las Tablas B.3(a), (b) y (c) dan procedimientos recomendados para diferentes clases de pesas.

Tabla B.3(a)-Magnetización permanente, método del susceptómetro (B.6.4)

Tamaño de la pesa	Clase
≥ 20 g	E ₁ , E ₂ , F ₁ y F ₂ pesas sin cavidad de ajuste
$2 \text{ g} \leq m < 20$ g	E ₁ , E ₂ y F ₁
≤ 2 g	E ₁ y E ₂

Tabla B.3(b)-Susceptibilidad

Valor nominal*	Clase E ₁	Clase E ₂	Clase F ₁	Clase F ₂
5 000 kg			F A S*	F A S*
2 000 kg				
1 000 kg				
500 kg				
200 kg				
100 kg				
50 kg	S F	F A S	F A S	F A S
20 kg				
10 kg				
5 kg				
2 kg				
1 kg				
500 g				
200 g	S	S	A S	A S
100 g				
50 g				
20 g				
10 g				
5 g				
2 g	Sp	Sp	Sp	Sp
1 g				
500 mg				
200 mg				
100 mg				
50 mg				
20 mg				
10 mg				
5 mg				
2 mg				
1 mg				

Sp Especificación de material (B.6.3).

S Susceptómetro para pesas sin cavidad de ajuste (B.6.4).

A Método de atracción (B.6.5).

F Fluxgate + imán permanente (B.6.6)

S* Se prefieren los métodos F y A para pesas clase E₂ de 100 kg a 1 000 kg. Esto es porque el esfuerzo requerido para construir un dispositivo apropiado y realizar las mediciones del susceptómetro excede su beneficio cuando se compara con los métodos F y A para pesas clase E₂ de 100 kg a 1 000 kg. El método del susceptómetro no se recomienda para pesas de varias piezas.

Tabla B.3(c)-Magnetización permanente, Gaussímetro (B.6.2)

Tamaño de la pesa	Clase
≥ 1 g (Sensor Hall)	E ₁ , E ₂ , F ₁ , F ₂ , M ₁ , M ₁₋₂ , M ₂ , M ₂₋₃ y M ₃
≥ 100 g (Fluxgate)	

B.7 Densidad

B.7.1 Introducción

La Tabla 6 da los límites de densidad para las pesas. A continuación están seis métodos aceptados para la determinación de densidad de las pesas. Pueden utilizarse métodos alternativos, por ejemplo, pesada con un instrumento para pesar sumergida en fluido de fluorocarburo [Ver 21.21] o usar una volumetría acústica [Ver 21.22 y 21.23], puede ser utilizada si la viabilidad es confirmada en la documentación apropiada y adjuntada en el informe de medición, correspondiente a esta prueba. Los métodos de las pruebas A, B, C y D utilizan agua u otro líquido de prueba con una densidad de referencia. Los métodos E y F son apropiados para pesas de menor clase o si no es aceptable la inmersión en un líquido. La Tabla B.4 es un resumen de los métodos para determinar la densidad. La Tabla B.8 (al final de B.7) da los métodos recomendados para la determinación de la densidad de acuerdo a la clase.

Tabla B.4-Métodos para la determinación de densidad

Método	Descripción
A	Método más exacto. Es una técnica hidrostática que compara la pesa bajo prueba con una pesa de referencia ambas en aire y en un líquido de densidad conocida.
B	Método más rápido y adecuado. Pesando la pesa en el agua verificando que la indicación del instrumento para pesar esté dentro de los valores límite tabulados, o calculando la densidad a partir de la indicación del instrumento para pesar y la masa actual conocida de la pesa bajo prueba
C	Determinación por separado de la masa y el volumen de la pesa bajo prueba. El volumen se determina partiendo del incremento en las indicaciones del instrumento para pesar cuando la pesa se suspende dentro de un baño de agua colocado sobre el receptor de carga del instrumento para pesar.
D	Esta técnica es adecuada para pesas > 1 kg. Se pesa un contenedor lleno de líquido con capacidad de volumen bien definida con y sin la pesa bajo prueba dentro del contenedor.
E	Esta técnica es apropiada para pesas con cavidades y que no deben sumergirse en agua. Se calcula el volumen a partir de las dimensiones de la pesa
F	Estimación de la densidad basada en el conocimiento de la composición de la aleación con la cual la pesa fue fabricada.

B.7.1.1 La verificación de los límites de densidad toma en cuenta la incertidumbre inherentemente relacionada con el método usado. La Tabla B.5 proporciona un estimado general de la incertidumbre para cada método. Para cada pesa, la incertidumbre expandida, m (con $k = 2$), de la densidad debe estar dentro de los límites:

$$\rho_{\min} + U \leq \rho \leq \rho_{\max} - U \quad (\text{B.7.1-1})$$

Sin embargo, si la incertidumbre de la prueba de densidad se mantiene baja, un incremento en el intervalo de resultados puede ser aceptable para la verificación como se muestra en la Figura B.3. Pueden obtenerse incertidumbres más bajas realizando un trabajo cuidadoso en las pruebas.

Tabla B.5 - Incertidumbres típicas estimadas U (con $k = 2$), por métodos y tamaño de la pesa (en kg m^{-3})

Método	50 kg	1 kg	1 g
A1	-	1.5	60
A2/A3	-	3	60
B1	5	5	60
B2	20	20	60
C	10	10	100
D	5	10	-
E	30	40	600
F	130 a 600		

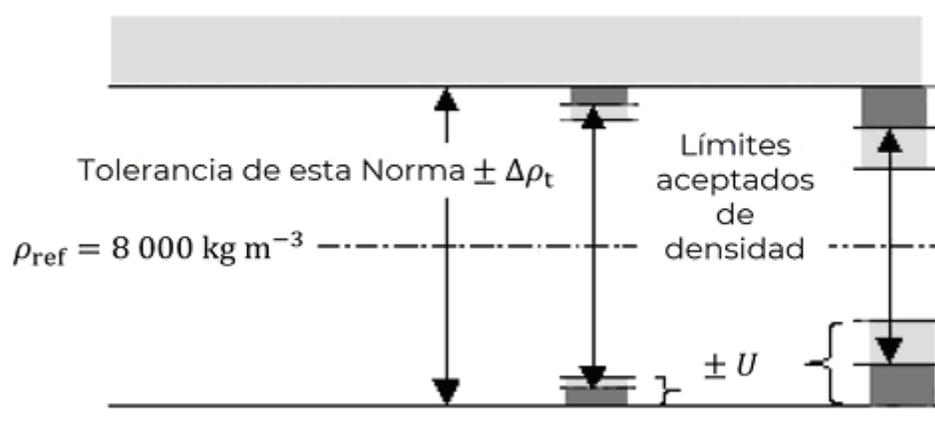


Figura B.3-Tolerancia de densidad y límites de verificación debido a la incertidumbre de medición

B.7.2 Consideraciones generales

B.7.2.1 Temperatura de referencia

La temperatura de referencia para una declaración de densidad es 20 °C. Si la medición se realiza a una temperatura diferente (otras temperaturas estándares en laboratorio son 23 °C o 27 °C), la densidad debe ser recalculada a 20 °C utilizando el coeficiente de expansión volumétrica γ del material. Si γ no es explícitamente conocido, se sugiere utilizar $g = 50 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para pesas de acero inoxidable.

$$\rho_{t_{\text{ref}}} = \rho_{t_{\text{med}}} \times (1 + \gamma(t_{\text{med}} - t_{\text{ref}})) \quad (\text{B.7.2-1})$$

Incertidumbre de medición:

$$u^2(\rho_{t_{\text{ref}}}) = u^2(\rho_{t_{\text{med}}}) \left(\frac{\rho_{t_{\text{ref}}}}{\rho_{t_{\text{med}}}} \right)^2 + u^2(\gamma) \rho^2(t_{\text{med}})(t_{\text{med}} - t_{\text{ref}})^2 + u^2(t_{\text{med}}) \rho^2(t_{\text{med}}) \gamma^2 \quad (\text{B.7.2-2})$$

B.7.2.2 Requisitos de verificación para pesas pequeñas

La densidad de pesas pequeñas no necesita ser verificada, dado que la Tabla 5 no proporciona valores límites. La densidad de pesas con masa menor a 1 g debe asumirse de acuerdo con el método F (ver a continuación), referente a la información del fabricante sobre el material del cual las pesas están hechas.

B.7.2.3 Inmersión en líquido

Se requiere que la inmersión en el líquido no tenga efectos sobre las pesas. Es preferible utilizar agua destilada y sin aire, ya que su densidad es bien conocida en función de la temperatura (Ver 21.24 y 21.25)¹ y su pureza es fácil de controlar (Ver 21.26)². La ecuación en esta sección asume un valor constante para la densidad del líquido. Para cálculos manuales con una calculadora de bolsillo, la Tabla B.6 lista algunos valores de densidad para el agua. La densidad del aire puede ser calculada usando la fórmula de aproximación (E.3-1).

(1) Una pesa que no es limpiada antes del procedimiento, puede mostrar un valor menor de peso después de la inmersión en agua pura y después de la estabilización.

(2) Pueden utilizarse otros líquidos con densidad bien conocida y estable. Es esencial que las incertidumbres de medición pequeñas funcionen a condiciones de temperatura constante bien conocidas. Esto es incluso más importante si se utiliza un fluido con un coeficiente de expansión de temperatura mayor al del agua.

Tabla B.6-Densidad del agua

t_1 (°C)	ρ_1 (kg m ⁻³)	$\Delta\rho_1/\Delta t_1$ (kg m ⁻³ °C ⁻¹)
18.0	998.593	
18.5	998.499	-0.190
19.0	998.402	
19.5	998.303	-0.201
20.0	998.201	
20.5	998.096	-0.212
21.0	997.989	
21.5	997.879	-0.222
22.0	997.767	
22.5	997.652	-0.232
23.0	997.535	
23.5	997.415	-0.242
24.0	997.293	

B.7.2.4 Penetración de agua en la cavidad de ajuste

Las pesas que tienen una cavidad de ajuste no deben ser inmersas en agua, ya que esta puede entrar en la cavidad durante la medición. Esto afectaría la densidad y la masa de la pesa y sería perjudicial para la estabilidad de la masa. Para pesas con cavidad de ajuste la determinación geométrica del volumen es la primera opción. Sin embargo, podría ser realizada la pesada hidrostática con una cavidad abierta, si se puede remover toda el agua posteriormente, removiendo cuidadosamente el aire atrapado.

B.7.2.5 Remoción del aire

Para mediciones más exactas en el agua, es muy importante remover las burbujas de la pesa y del porta-pesas. También aplica a las paredes del baño de líquido, para los métodos C y D, especialmente si se trata de pesas pequeñas³. Una forma práctica de reducir el riesgo de burbujas de aire, es desairar el agua y la pesa

en el agua aplicando una presión sub-atmosférica al compartimento que la contiene por aproximadamente 10 a 15 minutos⁴.

(3) Por ejemplo, en el caso de una pesa de 20 mg, un cambio en la lectura del instrumento para pesar de 20 µg conduciría a una diferencia en el resultado de densidad de 80 kg m⁻³.

(4) La densidad del aire saturado con agua es de aproximadamente 0.002 5 kg m⁻³ menor que la del agua libre de aire.

B.7.2.6 Porta-pesa y alambre de suspensión

Colocar la pesa en el porta-pesas, debajo del agua puede causar accidentalmente daños a la pesa y al baño (vidrio). Es ventajoso sumergir la pesa y el porta-pesas juntos. Sin embargo las burbujas de aire pueden ser detectadas mejor si se sumerge el porta-pesas y la pesa por separado. Utilice un porta-pesas que pueda evitar que la pesa se caiga. Si se requiere una incertidumbre de medición pequeña, el alambre de suspensión debe ser delgado, estar limpio y pasar la interface aire/agua en ángulo recto⁵.

B.7.2.7 Masa o masa convencional

En las fórmulas que se darán en B.7.4, la masa puede ser tomada como masa convencional y viceversa, porque considerando la incertidumbre obtenida y requerida para la densidad de una pesa, la diferencia entre los valores de la masa y masa convencional no son de interés. Por la misma razón el valor nominal puede ser tomado para la masa o masa convencional de una pesa, siempre que se pueda asumir que la masa convencional cumple con el correspondiente error máximo permitido dado en la Tabla 1.

B.7.2.8 Secado de la pesa

Después de remover la pesa del baño de agua, la mayor parte del agua escurrirá inmediatamente de la superficie de la pesa. Las gotas restantes deben secarse con un tejido fino. Para la estabilización, las pesas pueden ser colocadas bajo una cubierta adecuada (por ejemplo: dentro de un vaso de precipitado bocabajo y sobre espaciadores que permitan la ventilación) y considerar los tiempos indicados en la Tabla B.1.

B.7.3 Medición de una probeta

La medición de la densidad puede ser realizada a una probeta simple, tomada de la pieza metálica usada en la manufactura de la pesa. La probeta debe ser tomada lo más cercano posible a la pesa y ésta debe tener un volumen y forma adecuado para la medición de densidad. La rugosidad de la probeta debe ser similar o menor que la rugosidad de la pesa. Se asume que la densidad de la pesa es igual a la densidad de la probeta. La incertidumbre estándar de la densidad de la pesa, se obtiene combinando una componente de la incertidumbre estándar relativa igual a 5×10^{-5} , con la incertidumbre estándar de la densidad de la probeta.

(5) Un método de comparación toma en cuenta que el porta-pesas, así como el alambre de suspensión, inmersos desplazan agua. Además, compensa la fuerza adicional debida a la formación de un menisco en la interface aire/agua, lo cual no se ve reflejado en las siguientes ecuaciones. En la mayoría de los casos es adecuado un diámetro de alambre ϕ de 0.1 mm a 0.3 mm para las pesas de hasta 2 kg.

B7.4 Método de prueba A (comparación hidrostática)

Este método puede realizarse de tres formas diferentes:

Método A1 (dos pesas de referencia diferentes pesadas en el aire)

Comparación entre la pesa bajo prueba y una pesa de referencia en el aire; comparación entre la pesa bajo prueba en el líquido y una segunda pesa de referencia en el aire.

Método A2 (pesas de referencia pesadas en el aire y el líquido)

Comparación entre la pesa bajo prueba y la pesa de referencia en el aire; comparación entre la pesa bajo prueba y la pesa de referencia (la misma o diferente) ambas en el líquido.

Método A3 Pesada directa

Pesado de la pesa bajo prueba en el aire y en el líquido usando la indicación del instrumento para pesar en lugar de la masa de las pesas de referencia.

B.7.4.1 Equipo

a) Instrumento para pesar de laboratorio de suficiente capacidad y alta resolución (típicamente una resolución relativa 2×10^{-6}), equipado o preparado para poder suspender carga por debajo.

- b) Baño de agua con capacidad de control termostático de $20\text{ °C} \pm 0.2\text{ °C}$.
- c) Alambres de suspensión y porta-pesas para los diferentes tamaños de las pesas.
- d) Mecanismos para cargar y descargar el porta-pesas en el agua.
- e) Patrones de masa de densidad conocida.
- d) Herramientas para el manejo de las pesas (por ejemplo guantes de laboratorio, paños libres de pelusa, pinzas de laboratorio).
- f) Un laboratorio bien iluminado.

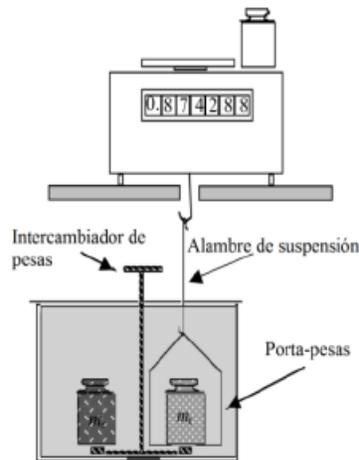


Figura B.4-Ilustración del método A

B.7.4.2 Método de prueba A1 (dos pesas de referencias diferentes pesadas en el aire)

B.7.4.2.1 Procedimiento de medición

Determinar la densidad del líquido ρ_l y la densidad del aire ρ_a al momento de la prueba:

- a) Primer pesada (pesa bajo prueba en el aire):
 - 1) Pesar la pesa bajo prueba (m_{ta}) en el aire (de densidad ρ_a).
 - 2) Registrar la indicación (I_{ta}).
 - 3) Remover la pesa (m_{ta}) cuidadosamente.
- b) Segunda pesada (primera pesa de referencia en el aire):
 - 1) Pesar la pesa de referencia (m_{ra}) en el aire (de densidad ρ_a).
 - 2) Registrar la indicación (I_{ra}).
 - 3) Remover la pesa (m_{ra}) cuidadosamente.
- c) Tercera pesada (pesa bajo prueba en el líquido):
 - 1) Pesar la pesa bajo prueba (m_{tl}) inmersa en el líquido (de densidad ρ_l).
 - 2) Registrar la indicación (I_{tl}).
 - 3) Remover la pesa (m_{tl}) cuidadosamente.
- d) Cuarta pesada (segunda pesa de referencia en el aire):
 - 1) Pesar la pesa de referencia (m_{rl}) en el aire (de densidad ρ_a).
 - 2) Registrar la indicación (I_{rl}).
 - 3) Remover la pesa (m_{rl}) cuidadosamente.

La segunda pesa de referencia (m_{rl}) es usualmente una combinación de pesas, en la que la indicación del instrumento para pesar está muy cercana a la indicación del instrumento para pesar con la pesa sumergida.

B.7.4.2.2 Cálculos

El símbolo m_{rl} representa la combinación total de la masa y ρ_{rl} representa la densidad efectiva. La densidad efectiva se calcula como:

$$\rho_{rl} = \frac{\sum_i m_{rli}}{\sum_i V_{rli}} \quad (\text{B.7.4-1})$$

Donde V_{rli} son los volúmenes de las pesas. La densidad de la pesa bajo prueba ρ_t se calcula mediante:

$$\rho_t = \frac{\rho_l(C_a m_{ra} + \Delta m_{wa}) - \rho_a(C_{al} m_{rl} + \Delta m_{wl})}{C_a m_{ra} + \Delta m_{wa} - C_{al} m_{rl} - \Delta m_{wl}} \quad (\text{B.7.4-2})$$

Donde:

$$C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ra}} \quad (\text{B.7.4-3})$$

$$C_{a1} = 1 - \frac{\rho_{al}}{\rho_{rl}} \quad (\text{B.7.4-4})$$

$$\Delta m_{wa} = (I_{ta} - I_{ra})C_s \quad (\text{B.7.4-5})$$

$$\Delta m_{wl} = (I_{tl} - I_{rl})C_s \quad (\text{B.7.4-6})$$

$$C_s = 1 - \frac{\rho_{as}}{\rho_s} \quad (\text{B.7.4-7})$$

El símbolo ρ_s representa la densidad de la pesa de sensibilidad, cuando ésta es utilizada, y ρ_{as} representa la densidad del aire en el momento que se calibró el instrumento para pesar.

La incertidumbre relativa se calcula como:

$$\begin{aligned} \left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 &= \left(c(\rho_a)\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(\rho_{al})\frac{u(\rho_{al})}{\rho_{al}}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + \left(c(\rho_{ra})\frac{u(\rho_{ra})}{\rho_{ra}}\right)^2 \\ &\quad + \left(c(\rho_{rl})\frac{u(\rho_{rl})}{\rho_{rl}}\right)^2 \\ &\quad + c^2(m_r) \left(\left(2\frac{u(m_r)}{m_r}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{rl}}\right)^2 \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{u(m_{cap})}{m_{rl}}\right)^2 \right) \end{aligned} \quad (\text{B.7.4-8})$$

Con:

$$c(\rho_a) = -\frac{\rho_a}{\rho_t} \left(1 - \frac{\rho_t}{\rho_{ra}}\right) \left(1 - \frac{\rho_t}{\rho_l}\right) \quad (\text{B.7.4-9})$$

Insignificadamente pequeña en la mayoría de los casos.

$$c(\rho_{al}) = \frac{\rho_{al}}{\rho_l \rho_{rl}} (\rho_l - \rho_t) \quad (\text{B.7.4-10})$$

$$c(\rho_{ra}) = \frac{\rho_a}{\rho_l \rho_{ra}} (\rho_t - \rho_l) \quad (\text{B.7.4-11})$$

$$c(\rho_{rl}) = -c(\rho_{al}) = \frac{\rho_{al}}{\rho_l \rho_{rl}} (\rho_t - \rho_l) \quad (\text{B.7.4-12})$$

$$|c(m_r)| = \frac{(\rho_t - \rho_l)}{\rho_l} \quad (\text{B.7.4-13})$$

$$\frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left(\frac{u(m_{ra})}{m_{ra}} + \frac{u(m_{rl})}{m_{rl}} \right) \quad (\text{B.7.4-14})$$

Se asume que la masa y la densidad de las pesas de referencia están correlacionadas.

$u(m_{cap})$, es la incertidumbre debido al efecto de la tensión superficial sobre el alambre de suspensión (con un alambre de 1 mm de diámetro, el máximo efecto puede ser de 23 mg; si el diámetro del alambre es de 0.1 mm, el efecto puede ser de 2.3 mg).

Cercano a 20 °C la incertidumbre de la densidad del agua está aproximadamente relacionada a la incertidumbre de su temperatura t_1 , en °C (temperatura del agua) como sigue:

$$\left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l} \right)^2 = \left(-4.1 \times 10^{-3} \frac{u(t_1)}{t_1} \right)^2 \quad (\text{B.7.4-15})$$

Con la ecuación (B.7.4-2) pueden obtenerse incertidumbres hasta de 0.05 kg m⁻³.

En la mayoría de los casos, los factores de corrección por empuje C_a , C_{a1} y C_s no son significativamente diferentes entre sí y pueden ser ajustados a la unidad, simplificando la ecuación (B.7.4-2) como sigue:

$$\rho_t = \frac{\rho_l(m_{ra} + \Delta m_{wa}) - \rho_a(m_{rl} + \Delta m_{wl})}{m_{ra} + \Delta m_{wa} - m_{rl} - \Delta m_{wl}} \quad (\text{B.7.4-16})$$

E incertidumbre relativa:

$$\begin{aligned} \left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t} \right)^2 &= \left(c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a} \right)^2 + \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l} \right)^2 \\ &+ c^2(m_r) \left(\left(2 \frac{u(m_r)}{m_r} \right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}} \right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{rl}} \right)^2 \right) \\ &+ \left(\frac{u(m_{cap})}{m_{rl}} \right)^2 + u_c^2 \end{aligned} \quad (\text{B.7.4-17})$$

Con:

$$\frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left(\frac{u(m_{ra})}{m_{ra}} + \frac{u(m_{rl})}{m_{rl}} \right) \quad (\text{B.7.4-18})$$

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_a}{\rho_t} \left(\frac{\rho_t}{\rho_l} - 1 \right) \quad (\text{B.7.4-19})$$

$$|c(m_r)| = \frac{(\rho_t - \rho_l)}{\rho_l} \quad (\text{B.7.4-20})$$

$$u_c = \left(\frac{\rho_t}{\rho_l} - 1 \right) \left(\frac{\rho_a}{\rho_{ra}} - \frac{\rho_a}{\rho_{rl}} \right) \quad (\text{B.7.4-21})$$

Con la ecuación (B.7.4-16) pueden obtenerse incertidumbres menores a 0.2 kg m⁻³.

B.7.4.3 Método A2 (pesas de referencia pesadas en el aire y el líquido)

B.7.4.3.1 Procedimiento de medición igual que en el numeral B.7.4.2.1 con excepción de:

d) Cuarta pesada (segunda pesa de referencia en el líquido):

- 4) Pesarse la pesa de referencia (m_{r1}) en el líquido.
- 5) Registrar la indicación (I_{r1}).
- 6) Remover la pesa (m_{r1}) cuidadosamente.

La pesa de referencia (m_{r1}) puede ser una segunda pesa de referencia o la misma usada en el aire (m_{ra}).

B.7.4.3.2 Cálculos

La densidad de la pesa de prueba ρ_t , es calculada por la ecuación (B.7.4-22) o por la ecuación (B.7.4-31).

i) Cuando se utiliza la misma pesa de referencia para la medición en el aire y en el líquido es decir: $m_{ra} = m_{r1} = m_r$ y $\rho_{ra} = \rho_{r1} = \rho_r$, entonces:

$$\rho_t = \frac{\rho_l(C_a m_r + \Delta m_{wa}) - \rho_a(C_l m_r + \Delta m_{wl})}{m_r \frac{\rho_l - \rho_a}{\rho_r} + \Delta m_{wa} - \Delta m_{wl}} \quad (\text{B.7.4-22})$$

Con:

$$C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (\text{B.7.4-23})$$

$$C_l = 1 - \frac{\rho_l}{\rho_r} \quad (\text{B.7.4-24})$$

Δm_{wa} y Δm_{wl} están definidas en la ecuación (B.7.4-2).

Incertidumbre relativa:

$$\begin{aligned} \left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 &= \left(c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(\rho_l) \frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_r)}{\rho_r}\right)^2 + \left(c(m_r) \frac{u(m_r)}{m_r}\right)^2 \\ &+ \left(c(\Delta m_{wa}) \frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}}\right)^2 + \left(c(\Delta m_{wl}) \frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{ra}}\right)^2 \\ &+ \left(c(\Delta m_{wl}) \frac{u(m_{cap})}{m_{ra}}\right)^2 \end{aligned} \quad (\text{B.7.4-25})$$

Con:

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_a}{\rho_t} \left(\frac{\rho_t - \rho_r}{\rho_l}\right) \quad (\text{B.7.4-26})$$

Insignificadamente pequeña en la mayoría de los casos.

$$c(\rho_l) = \frac{1}{\rho_t} \left(\rho_r \left(1 + \frac{\Delta m_{wa}}{m_r}\right) - \rho_t\right) \quad (\text{B.7.4-27})$$

Insignificadamente pequeña en la mayoría de los casos.

$$c(m_r) = \frac{\rho_r - \rho_t}{\rho_t} \quad (\text{B.7.4-28})$$

$$c(\Delta m_{wa}) = \frac{\rho_r}{\rho_t} \left(\frac{\rho_l - \rho_t}{\rho_l} \right) \quad (\text{B.7.4-29})$$

$$c(\Delta m_{wl}) = \frac{\rho_r}{\rho_l} \quad (\text{B.7.4-30})$$

Con la ecuación (B.7.4-22) pueden obtenerse incertidumbres menores de 0.1 kg m⁻³.

ii) Cuando diferentes pesas de referencia son utilizadas en el aire y en el líquido $m_{ra} \neq m_{rl}$ y $\rho_{ra} \neq \rho_{rl}$, entonces:

$$\rho_t = \frac{\rho_l(C_a m_{ra} + \Delta m_{wa}) - \rho_a(C_l m_{rl} + \Delta m_{wl})}{C_a m_{ra} + \Delta m_{wa} - C_l m_{rl} - \Delta m_{wl}} \quad (\text{B.7.4-31})$$

Con:

$$C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ra}} \quad (\text{B.7.4-32})$$

$$C_l = 1 - \frac{\rho_l}{\rho_{rl}} \quad (\text{B.7.4-33})$$

Incertidumbre relativa:

$$\begin{aligned} \left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t} \right)^2 &= \left(c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a} \right)^2 + \left(c(\rho_l) \frac{u(\rho_l)}{\rho_l} \right)^2 + \left(c(\rho_{ra}) \frac{u(\rho_{ra})}{\rho_{ra}} \right)^2 \\ &+ \left(c(\rho_{rl}) \frac{u(\rho_{rl})}{\rho_{rl}} \right)^2 + c^2(m_r) \left(\left(2 \frac{u(m_r)}{m_r} \right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}} \right)^2 \right) \\ &+ \left(c(\Delta m_{wl}) \frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{ra}} \right)^2 + \left(c(\Delta m_{wl}) \frac{u(m_{cap})}{m_{ra}} \right)^2 \end{aligned} \quad (\text{B.7.4-34})$$

Con:

$$\frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left(\frac{u(m_{ra})}{m_{ra}} + \frac{u(m_{rl})}{m_{rl}} \right) \quad (\text{B.7.4-35})$$

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_a}{\rho_t} \left(1 - \frac{\rho_{rl}}{\rho_{ra}\rho_l} (\rho_{ra} - \rho_t + \rho_l) \right) \quad (\text{B.7.4-36})$$

Insignificadamente pequeña en la mayoría de los casos.

$$c(\rho_l) = \frac{1}{\rho_t} (\rho_{rl} - \rho_t) \quad (\text{B.7.4-37})$$

Insignificadamente pequeña en la mayoría de los casos.

$$c(\rho_{ra}) = \frac{\rho_{rl}\rho_a}{\rho_l\rho_{ra}\rho_t}(\rho_l - \rho_t) \quad (\text{B.7.4-38})$$

$$c(\rho_{rl}) = \frac{\rho_t}{\rho_{rl}} \quad (\text{B.7.4-39})$$

$$c(m_r) = \frac{\rho_{rl}\rho_l - \rho_t}{\rho_l\rho_t} \quad (\text{B.7.4-40})$$

$$c(\Delta m_{wl}) = \frac{\rho_{rl}}{\rho_l} \quad (\text{B.7.4-41})$$

Se asume que las masas de las pesas de referencia están correlacionadas. Para $u(m_{cap})$ ver B.7.4.2.2.

Con la ecuación (B.7.4-31) pueden obtenerse incertidumbres menores a de 0.1 kg m^{-3} .

B.7.4.4 Método A3 (pesada directa)

En lugar de utilizar una técnica de comparación, el procedimiento puede ser simplificado leyendo directamente la indicación del instrumento para pesar.

B.7.4.4.1 Procedimiento de medición

Lo mismo que en B.7.4.2.1, con excepción que los puntos b) y d) son omitidos.

B.7.4.4.2 Cálculos

La ecuación que define la densidad de este método es:

$$\rho_t = \frac{I_{ta} \times \rho_l - I_{tl} \times \rho_a}{I_{ta} - I_{tl}} \quad (\text{B.7.4-42})$$

El requisito para esta simplificación es un instrumento para pesar calibrado. Las medias I_{ta} e I_{tl} indican los valores del instrumento para pesar de la pesada en el aire (subíndice "a") y en el líquido (subíndice "b") respectivamente. Después que el instrumento para pesar ha sido tarado sin la pesa en el receptor de carga.

Incertidumbre relativa:

$$\begin{aligned} \left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 &= \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + \left(c(\rho_a)\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(I_{ta})\frac{u(I_{ta})}{I_{ta}}\right)^2 + \left(c(I_{tl})\frac{u(I_{tl})}{I_{tl}}\right)^2 \\ &+ \left(c(I_{tl})\frac{u(m_{cap})}{I_{tl}}\right)^2 + u_C^2 \end{aligned} \quad (\text{B.7.4-43})$$

Con:

$$c(\rho_a) = \rho_a \left(\frac{\rho_t - \rho_l}{\rho_t \rho_l}\right) \quad (\text{B.7.4-44})$$

$$c(I_{ta}) = \left(\frac{\rho_l - \rho_t}{\rho_l}\right) \quad (\text{B.7.4-45})$$

$$c(I_{tl}) = \left(\frac{\rho_t - \rho_l}{\rho_l}\right) \quad (\text{B.7.4-46})$$

$$u_C^2 = \left(\frac{\rho_t}{\rho_l} - 1\right) \left(\frac{\rho_a - \rho_{al}}{\rho_{ref}}\right) \quad (\text{B.7.4-47})$$

Con la ecuación (B.7.4-42) pueden obtenerse incertidumbres menores a de 0.2 kg m^{-3} .

B.7.5 Método de prueba B (verificación de densidad)

B.7.5.1 Principios

El método B es una forma simplificada de la técnica de pesada hidrostática e involucra únicamente pesadas en el líquido. La pesa bajo prueba está suspendida por un alambre delgado de resistencia suficiente en el agua de densidad ρ_1 . El indicador del instrumento para pesar muestra los valores de masa I_U .

Este método puede ser realizado por dos diferentes formas:

Método B1: Calculando la densidad usando la ecuación (B.7.5-1) y asociando la ecuación de incertidumbre (B.7.5-2) (obligatorio para la clase E₁).

Método B2: Verificación de la densidad en el intervalo establecido. Los valores límites de la indicación del instrumento para pesar (formato del informe de medición) son calculados de los límites máximos y mínimos de densidad dados en la Tabla 5 de esta Norma. Se toma en cuenta una incertidumbre de medición estimada del método de determinación de densidad, dependiendo del tamaño de la pesa. Como medida de seguridad adicional, los límites mínimos de densidad se basan en una temperatura supuesta del agua de 24 °C y los límites máximos de densidad se basan en una temperatura de 18 °C.

B.7.5.2 Equipo

- Instrumento para pesar de laboratorio de intervalo apropiado. Es recomendable una resolución relativa de 10^{-6} , con el correspondiente nivel de respetabilidad.
- Baño de agua de temperatura estable en el intervalo de 18 °C a 24 °C. Si el instrumento para pesar está equipado para pesar por debajo del mismo, puede elevarse sobre un soporte por encima del baño (Ver Figura B.4) o el baño puede ser colocado sobre una plataforma de soporte, como se muestra en la Figura B.5.
- Un soporte universal que pueda fijarse al receptor de carga del instrumento para pesar.
- Porta-pesa(s) de diferente(s) tamaño(s) con el(los) apropiado(s) alambre(s) de suspensión.
- Pesas de referencia para la calibración del instrumento para pesar.
- Herramientas para el manejo de las pesas (por ejemplo guantes de laboratorio, paños libres de pelusa, pinzas de laboratorio).

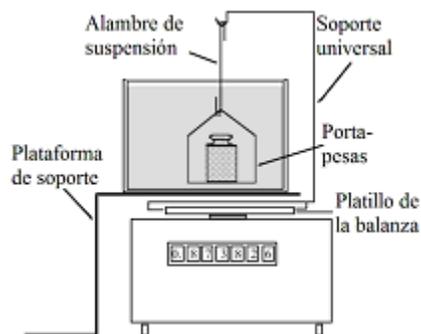


Figura B.5-Ilustración del método B

B.7.5.3 Procedimiento de medición

- Sumergir la pesa o juego de pesas en el baño de agua destilada que se encuentre entre 18 °C a 24 °C. El baño puede colocarse en una plataforma de soporte de acuerdo a la Figura B.5.
- Fijar el soporte universal al receptor de carga del instrumento para pesar y suspender el porta-pesas del soporte universal por una suspensión de alambre delgado de suficiente resistencia, de forma que el porta-pesas esté completamente sumergido. La interface agua/aire en el alambre de suspensión debe estar bien definida.
- Tarar la instrumento para pesar a una lectura de cero⁶.
- Remover las burbujas de aire de la pesas y colocarla en el porta-pesas.
- No perturbar la suspensión de alambre para evitar romper el menisco en la superficie del agua.
- Cuando se estabilice, leer y registrar la indicación del instrumento para pesar I_U .
- Usando pinzas, colocar la pesa bajo prueba en la posición de almacenamiento.

- h) Registrar las condiciones ambientales del laboratorio (temperatura del aire, presión y humedad) y la temperatura del líquido.

B.7.5.4 Resultados**B.7.5.4.1 Método B1**

Calcular la densidad usando la masa nominal de la pesa m_0 . La densidad se calcula de acuerdo a:

(6) Nota si el instrumento para pesar no tiene una función de tara, I_{tl} es la diferencia entre la segunda y primer pesada.

$$\rho_t = \frac{\rho_l m_t}{m_t - I_{tl} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ref}}\right)} \quad (\text{B.7.5-1})$$

La incertidumbre de medición del método B1 es:

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + \left(c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(I_{tl}) \frac{u(I_{tl})}{I_{tl}}\right)^2 + \left(c(m_t) \frac{u(m_t)}{m_t}\right)^2 + \left(c(I_{tl}) \frac{u(m_{cap})}{I_{tl}}\right)^2 \quad (\text{B.7.5-2})$$

Con:

$$c(m_t) = \frac{m_t(\rho_l - \rho_t)}{\rho_t(m_t - I_{tl})} \quad (\text{B.7.5-3})$$

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_a I_{tl}}{\rho_{ref}(I_{tl} - m_t)} \quad (\text{B.7.5-4})$$

$$c(I_{tl}) = \frac{I_{tl}}{m_t - I_{tl}} \quad (\text{B.7.5-5})$$

$u(m_{cap})$, es la incertidumbre debido a la tensión superficial en el alambre de suspensión (Ver B.7.4.2.2).

La incertidumbre de medición para el método B1 típicamente es de $\pm 5 \text{ kg m}^{-3}$ o mejor para pesas grandes y hasta $\pm 60 \text{ kg m}^{-3}$ para una pesa de 1 g, dependiendo del tamaño de la pesa y el cuidado en la manipulación. La incertidumbre de medición aumenta a medida que el tamaño de la pesa disminuye.

B.7.5.4.2 Método B2

La densidad ρ_t de la pesa es verificada al comparar el valor de I_{tl} con los dos valores límites $I_{tl(\min)}$ e $I_{tl(\max)}$ para el correspondiente tamaño de la pesa. Estos valores límites son tabulados en el formato del informe de medición, correspondiente a esta prueba para pesas de clase E₁ a F₁.

B.7.5.5 Registro de los resultados

Registrar los resultados de medición, usando el formato del informe de medición, correspondiente a esta prueba, así como la Verificación de densidad-Método B y Límites de los valores de densidad.

B.7.6 Método de prueba C (Determinación del volumen por pesada del líquido desplazado)

Este método no es práctico para pesas menores a 1 g.

B.7.6.1 Principios

Este método puede ser realizado de dos formas:

- 1) La masa de la pesa bajo prueba es desconocida.
- 2) La masa de la pesa bajo prueba es conocida.

B.7.6.2 Consideraciones generales

En lugar de medir la fuerza de empuje que actúa sobre la pesa en el agua, es posible determinar el volumen del líquido desplazado por la inmersión de la pesa. Cuando es conocida la masa de la pesa bajo prueba m_t , su densidad puede ser calculada.

B.7.6.3 Equipo

- a) Instrumento para pesar de laboratorio con una capacidad en el intervalo de 200 g a 100 kg con una resolución relativa de 10^{-5} o mejor y la correspondiente repetibilidad.
- b) Baño(s) de agua de tamaño apropiado(s).
- c) Un soporte con ajuste de altura para sostener el porta-pesas en el agua.
- d) Alambre(s) de suspensión y porta(s) pesas de tamaño apropiado.
- e) Herramientas para el manejo de las pesas (por ejemplo guantes de laboratorio, paños libres de pelusa, pinzas de laboratorio).
- f) Un laboratorio bien iluminado.

B.7.6.4 Procedimiento de medición

Poner un contenedor con agua sobre el receptor de carga del instrumento para pesar.

- a) Suspender el porta-pesa y el alambre de suspensión de un soporte separado.
- b) Tarar el instrumento para pesar, si la función está disponible. Si no registre la indicación I_1 .
- c) Levantar el porta-pesas de la superficie del agua, coloque la pesa en el porta-pesas y sumergir de nuevo.
- d) Ajustar la altura de la pesa de tal forma que la suspensión de alambre cruce la interface aire/agua a la misma altura que antes (B.7.6.4 (d)).
- e) Leer y registrar la indicación I_{dl} (o I_2 si el instrumento para pesar no tiene la función de tarar, $I_{dl} = I_2 - I_1$).
- f) Registrar las condiciones ambientales del laboratorio: temperatura del aire, presión atmosférica, humedad relativa y la temperatura del líquido.
- g) Determinar la densidad del aire del laboratorio ρ_a , y la densidad del agua en el baño usando la ecuación (E.3-1) y la Tabla B.6.

La masa de agua desplazada $V_t \rho_1$, es indicada por el valor de la pesa I_{dl} . Si es necesario, extrapolar por la evaporación durante el tiempo desde la última tara⁷.

B.7.6.5 Cálculos

La diferencia I_{dl} , entre las dos lecturas es igual a la cantidad de líquido desplazado pesado en el aire. Si la masa m_t , de la pesa bajo prueba ya es conocida, se introducen los valores I_{dl} y m_t en la ecuación (B.7.6-1) para calcular la densidad de la pesa de prueba ρ_t .

$$\rho_t = \frac{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_1}\right) m_t \times \rho_1}{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ref}}\right) \times I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-1})$$

Si m_t no es conocida aún, entonces pesar sobre el instrumento para pesar la pesa bajo prueba y el valor de la indicación en el aire I_{ta} , es usado junto con I_{dl} en la ecuación (B.7.6-2) para calcular la densidad ρ_t .

$$\rho_t = \rho_a + (\rho_1 - \rho_a) \frac{I_{ta}}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-2})$$

(7) Leer varias veces para estimar la relación de evaporación con el tiempo y corregir por la diferencia entre la tara y la lectura. Notar que es un poco impráctico repetir el método C puesto que la pesa debe ser secada antes de volver a sumergirse en agua.

B.7.6.6 Incertidumbre de medición del método C.

Para la ecuación (B.7.6-1):

$$u^2(\rho_t) = c^2(\rho_a)u^2(\rho_a) + c^2(\rho_1)u^2(\rho_1) + c^2(m_t)u^2(m_t) + c^2(I_{dl})u^2(I_{dl}) + c^2(I_{dl})u_{\text{cap}}^2 \quad (\text{B.7.6-3})$$

Con:

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_t}{\rho_{\text{ref}}} - \frac{m_t}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-4})$$

$$c(\rho_1) = \frac{m_t}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-5})$$

$$c(m_t) = \frac{\rho_1}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-6})$$

$$c(I_{dl}) = \frac{m_t \rho_1}{I_{dl}^2} \quad (\text{B.7.6-7})$$

Para la ecuación (B.7.6-2):

$$u^2(\rho_t) = c^2(\rho_a)u^2(\rho_a) + c^2(\rho_1)u^2(\rho_1) + c^2(I_{ta})u^2(I_{ta}) + c^2(I_{dl})u^2(I_{dl}) + c^2(I_{dl})u_{\text{cap}}^2 \quad (\text{B.7.6-8})$$

Con:

$$c(\rho_a) = 1 - \frac{I_{ta}}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-9})$$

$$c(\rho_1) = \frac{I_{ta}}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-10})$$

$$c(I_{ta}) = \frac{\rho_1}{I_{dl}} \quad (\text{B.7.6-11})$$

$$c(I_{dl}) = -\frac{I_{ta} \rho_1}{I_{dl}^2} \quad (\text{B.7.6-12})$$

En el intervalo de $1 \text{ g} \leq m_t \leq 1 \text{ kg}$, la incertidumbre de medición es $\pm 100 \text{ kg m}^{-3}$ a $\pm 10 \text{ kg m}^{-3}$, dependiendo del tamaño de la pesa y el cuidado de la manipulación. Antes de comparar el valor calculado de densidad ρ_t , con los límites mínimos y máximos de la Tabla 5, el valor de ρ_t debe ser expandido con la incertidumbre esperada de este método o con un margen de incertidumbre estimado.

B.7.6.7 Registro de los resultados

Registrar los resultados de medición, usando el formato del informe de medición, correspondiente a esta prueba. Determinación de densidad-Método C.

B.7.7 Método de prueba D (Determinación del líquido desplazado en un recipiente de volumen constante)**B.7.7.1 Principio**

Las pesas grandes son difíciles de manejar en una pesada hidrostática. Una forma alternativa para determinar sus volúmenes es pesando el líquido desplazado de manera indirecta usando un recipiente de volumen constante ajustable.

B.7.7.1.1 El recipiente es llenado con agua hasta un nivel bien definido, y pesado dos veces una con la pesa y otra sin la pesa dentro del agua. Las correspondientes indicaciones del instrumento para pesar son I_{1+t} e I_1 . El cuello del recipiente no se acepta ser mayor a 1 cm, el agua debe mantenerse a una temperatura uniforme y estable de ± 0.1 °C. Se debe tener cuidado que el volumen de la pesa no sea muy pequeño en proporción con la capacidad del recipiente, que el sellado del recipiente no tenga fugas y que no haya aire atrapado. Dada una constante de densidad del líquido ρ_l , la densidad de la pesa ρ_t es calculada de la diferencia $I_{1+t} - I_1$ de acuerdo con la ecuación (B.7.7-1), que es análoga a la ecuación (B.7.5-1).

$$\rho_t = \frac{m_0 \rho_l}{m_0 - (I_{1+t} - I_1) \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ref}}\right)} \quad (\text{B.7.7-1})$$

B.7.7.2 Equipo

- Instrumento para pesar de laboratorio con una capacidad en el intervalo de 5 kg a 100 kg con una resolución relativa de 10^{-6} o mejor.
- Contenedor(es) de prueba transparente de diseño adecuado y con nivel de llenado regulable con precisión.
- Herramientas para el manejo de las pesas (por ejemplo guantes de laboratorio, paños libres de pelusa, pinzas de laboratorio).
- Un laboratorio bien iluminado.

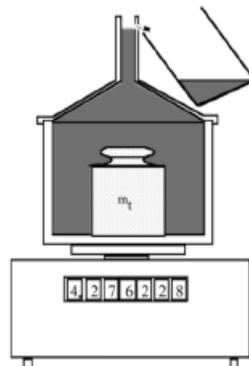
B.7.7.3 Procedimiento de medición

Figura B.6-Ilustración del método D

- Colocar la pesa en el recipiente y llenar cuidadosamente con agua hasta un nivel bien definido (por ejemplo hasta que fluya por el orificio de derrame).
- Pesar el recipiente con la pesa y el líquido.
- Leer y registrar la indicación I_{1+t} .
- Remover la pesa y agregar agua a la misma temperatura y hasta el mismo nivel. No es necesario conocer el volumen si la temperatura del agua se mantiene constante.
- Pesar el recipiente que contiene el líquido.

- f) Leer y registrar la indicación I_1 .
- g) La diferencia en las lecturas es la masa de la pesa menos la masa del agua desplazada⁸ ($I_{1+t} - I_1$).
- h) Registrar las condiciones ambientales del laboratorio (temperatura del aire, presión y humedad) y la temperatura del líquido.
- i) Determine la densidad del aire en el laboratorio ρ_a y la densidad del agua ρ_l usando la ecuación (E.3-1) y la Tabla B.6.

(8) Si el método D es repetido, no es necesario secar la pesa antes de volver a sumergirla.

B.7.7.4 Incertidumbre de medición del método D

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(m_t) \frac{u(m_t)}{m_t}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + 2(c_I u_I)^2 + (c_I u_w)^2 \quad (\text{B.7.7-2})$$

Con

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_a \rho_t (I_{t+1} - I_1)}{\rho_{\text{ref}} \rho_l m_t} \quad (\text{B.7.7-3})$$

$$c(m_t) = \frac{\rho_t - \rho_l}{\rho_l} \quad (\text{B.7.7-4})$$

$$c_I = \frac{\rho_t}{m_t \rho_l} \quad (\text{B.7.7-5})$$

u_w , es la contribución de incertidumbre debido a los dos niveles de agua, uno con la pesa y el otro sin la pesa.

La incertidumbre de este método está en el orden de $\pm 15 \text{ kg m}^{-3}$ o mejor para una pesa de 1 kg, pero se reduce en el caso de pesas más grandes siempre que el cuello del recipiente sea muy angosto, el agua se mantenga a una temperatura uniforme y estable en $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$, el volumen de la pesa no sea demasiado pequeño en proporción a la capacidad del recipiente, que el sellado del recipiente no tenga fugas y que no haya aire atrapado.

B.7.7.5 Registro de los resultados

Registrar los resultados de medición, usando el formato del informe de medición, correspondiente a esta prueba. Determinación de densidad-Método D.

B.7.8 Método de prueba E (determinación del volumen por medición geométrica)

B.7.8.1 Principio

El volumen de una pesa puede ser calculado de sus dimensiones y las fórmulas apropiadas. El volumen puede ser dividido en varios componentes elementales y pueden incluir una cavidad [21.27]. A continuación las pesas son consideradas con la forma de acuerdo a la Figura A.1 (aquí sin una cavidad, ver la Figura B.7). Se proporcionan fórmulas estándares para las tres formas geométricas relativamente sencillas del botón A, el anillo B y el cuerpo principal C [21.27]. En alguno de los casos la pesa puede tener un hueco D (Ver Figura B.7) en la parte inferior. El cálculo de las proporciones de volumen es sencillo.

B.7.8.1.1 El método E hace innecesaria la inmersión de una pesa en el agua, siendo ventajoso para pesas con cavidad de ajuste. Sin embargo está el riesgo de rayar la superficie durante la medición, por lo tanto no se debe usar este método en pesas de clase E y F.

B.7.8.2 Equipo

- Calibradores de tipo Vernier, preferiblemente con una resolución de 0.01 mm.
- Micrómetro (para pesas pequeñas).
- Calibrador de radios (alternativamente usar los valores de la Tabla A.1).
- Herramientas para el manejo de las pesas (por ejemplo guantes de laboratorio, paños libres de pelusa, pinzas de laboratorio).
- Un laboratorio bien iluminado.

B.7.8.3 Procedimiento de medición

- Medir las alturas, diámetros, radios y las dimensiones de cualquier cavidad o depresión de acuerdo a la Figura B.7.
- Calcular y sumar los volúmenes de las partes A, B, C y D de acuerdo a las ecuaciones (B.7.8-1) a (B.7.8-5).
- Calcular la densidad a partir de la masa y el volumen.

$$V_A = 2\pi R_2 \left(\frac{D_2^2}{4} - R_2 D_2 + R_2^2 + \frac{\pi R_2 D_2}{4} - \frac{\pi R_2^2}{2} + \frac{2R_2^2}{3} \right) \quad (\text{B.7.8-1})$$

$$V_B = \pi R_1 \left(\frac{D_3^2}{2} + 2R_1 D_3 - \frac{\pi R_1 D_3}{2} - \pi R_1^2 + \frac{10R_1^2}{3} \right) \quad (\text{B.7.8-2})$$

$$V_C = \pi \frac{D_1^2}{4} (H - 2(R_1 + R_2)) - \pi R_3^2 \left(2D_1 - \frac{10R_3}{3} - \frac{\pi D_1}{2} + \pi R_3 \right) \quad (\text{B.7.8-3})$$

$$V_D = \frac{1}{12} l_3 (l_1^2 + l_1 l_2 + l_2^2) \quad (\text{B.7.8-4})$$

$$V_{\text{pesa}} = V_A + V_B + V_C - V_D \quad (\text{B.7.8-5})$$

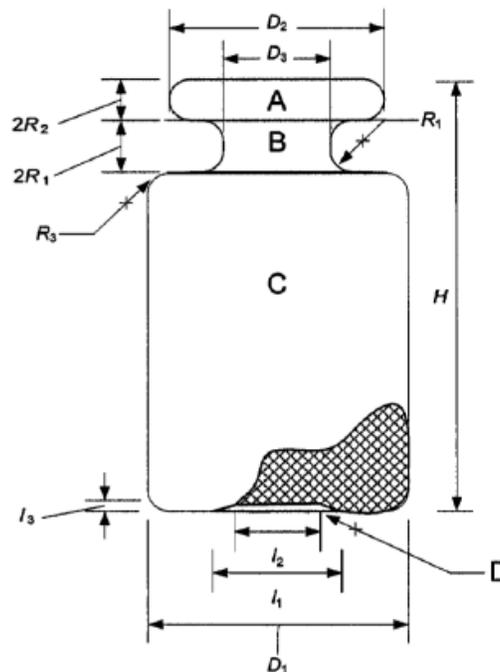


Figura B.7-Illustración de la determinación del volumen de una pesa cilíndrica (Ver Tabla A.1).

B.7.8.4 Incertidumbre de medición del método E

La mayor contribución a la incertidumbre se debe a la desviación de la forma real con respecto al modelo matemático. Para pesas que tienen la forma de acuerdo con el Apéndice A (Normativo), el intervalo de incertidumbre es desde 30 kg m⁻³ para grandes pesas, hasta 600 kg m⁻³ para pesas pequeñas. Para pesas con cavidades u otras formas, la incertidumbre puede ser el doble de grande [Ver 21.25].

B.7.8.5 Registro de resultados

Registrar los resultados de medición, usando el formato del informe de medición, Determinación de densidad-Método E.

B.7.9 Método de prueba F (estimación basada en el conocimiento de la composición)**B.7.9.1 Principio**

La mayoría de las pesas son producidas de un número limitado de aleaciones. La precisión del valor de densidad depende en la proporción relativa de los componentes de cada aleación. El intervalo típico de densidad esta dado en Tabla B.7.

B.7.9.2 Método F1

Si se sabe que el proveedor utiliza constantemente la misma aleación para determinada clase de pesas y su densidad es conocida a partir de pruebas anteriores, entonces la densidad conocida debe aplicarse, utilizando una incertidumbre de un tercio de la indicada en la Tabla B.7 para la misma aleación.

B.7.9.3 Método F2

Obtener la composición de la aleación del proveedor de la pesa en cuestión. Encontrar el valor de densidad de un manual de fisicoquímica, que contenga tablas de densidad en función de la concentración de los elementos de la aleación. Utilizar el valor de densidad dado en el manual y aplicar el valor de incertidumbre de la Tabla B.7. Para pesas de clase E₂ a M₂ los valores de "densidad definida" de la Tabla B.7 son adecuados. La densidad de las pesas de clase M₃ usualmente no es de interés.

Tabla B.7-Método F2-Lista de aleaciones más comunes utilizadas para las pesas

Aleación/material	Densidad definida	Incertidumbre ($k=2$)
Platino	21 400 kg m ⁻³	± 150 kg m ⁻³
Plata níquel	8 600 kg m ⁻³	± 170 kg m ⁻³
Bronce	8 400 kg m ⁻³	± 170 kg m ⁻³
Acero inoxidable	7 950 kg m ⁻³	± 140 kg m ⁻³
Acero al carbono	7 700 kg m ⁻³	± 200 kg m ⁻³
Hierro	7 800 kg m ⁻³	± 200 kg m ⁻³
Hierro fundido (blanco)	7 700 kg m ⁻³	± 400 kg m ⁻³
Hierro fundido (gris)	7 100 kg m ⁻³	± 600 kg m ⁻³
Aluminio	2 700 kg m ⁻³	± 130 kg m ⁻³

B.7.9.4 Cálculos**B.7.9.4.1 Densidad de pesas con cavidad de ajuste**

El ajuste de una pesa con un material denso dentro de la cavidad también influye en la densidad de la pesa. Si la aleación X (de densidad ρ_X) es igual a x porcentaje y el material Y (de densidad ρ_Y) es igual a y porcentaje de la masa final, entonces la densidad ρ_t , puede ser calculada con ayuda de la siguiente ecuación:

$$\rho_t = \frac{100}{\frac{x}{\rho_X} + \frac{y}{\rho_Y}} \quad (\text{B.7.9-1})$$

La misma ecuación puede ser usada para determinar la densidad resultante si dos componentes diferentes constituyen una pesa o si dos pesas de diferentes densidades son utilizadas como una referencia. El material preferible para el ajuste de pesas es el tungsteno (18 800 kg m⁻³ ± 200 kg m⁻³), el plomo (11 300 kg m⁻³ ± 150 kg m⁻³), molibdeno (10 000 kg m⁻³ ± 150 kg m⁻³) y el estaño (7 000 kg m⁻³ ± 100 kg m⁻³).

B.7.9.5 Registro de los resultados

Registrar los resultados de medición, usando el formato del informe de medición, correspondiente a esta prueba. Determinación de densidad-Método F.

B.7.10 Métodos recomendados para la determinación de densidad

Tabla B.8-Métodos recomendados para la determinación de la densidad por clase de pesas.

Valor nominal*	Clase E ₁	Clase E ₂	Clase F ₁	Clase F ₂ , M ₁ , M ₂
5 000 kg			E, F	
2 000 kg				
1 000 kg				
500 kg				
200 kg				
100 kg				
50 kg	A, C, D	D, E, F	D, E, F	F
20 kg				
10 kg				
5 kg	A, B1*, C, D			
2 kg				
1 kg	A, B*, C	B, F	B, C, F	
500 g				
200 g				
100 g				
50 g	A, B1*	B, C, F	F	
20 g				
10 g				
5 g	B*, F1	F		
2 g				
1 g	F1			
500 mg				
200 mg				
100 mg				
50 mg				
20 mg				

* Cuando se usa el método B para las pesas de clase E₁, el valor de densidad debe ser calculado de la ecuación (B.7.5-1).

NOTA 1: La densidad usualmente no es de interés para pesas de clase M₃.

NOTA 2: La limpieza debe repetirse después de la medición si el fluido utilizado en el sistema de densidad no es agua (otros fluidos utilizados típicamente [por ejemplo fluorocarburos] dejan residuos que deben ser eliminados por la limpieza con un solvente como el alcohol).

B.8 Asignación de una clase a pesas antiguas o especiales

B.8.1 Objetivo

Esta sección aplica a pesas fabricadas antes de 1994, o que tienen un diseño especial o un valor nominal no normalizado, porque están hechas para una única aplicación.

B.8.1.1 Para pesas "pre 94" y/o pesas especiales, se permiten ciertas excepciones con respecto a la forma y a la rugosidad superficial, pero están sujetas a los lineamientos dados en B.8.2 y B.8.3. A pesas antiguas se pueden dar consideraciones especiales, particularmente en los casos donde está disponible la documentación completa sobre la estabilidad de las pesas. Sin embargo, aparte de las excepciones especificadas permitidas en B.8.2 y B.8.3, se seguirán aplicando todos los requisitos de esta Norma.

B.8.1.2 Según esta sección, pesas antiguas y/o especiales pueden ser asignadas a una de las designaciones de clase E₁ a M₃. Por lo general es suficiente clasificar una pesa una sola vez. Las recalibraciones subsecuentes están sujetas a las tolerancias y condiciones de la respectiva clase.

B.8.2 Excepciones con respecto a la rugosidad superficial

El párrafo 13.1.2 de esta Norma establece que:

"Un examen visual puede ser suficiente en caso de duda o discrepancia. En este caso, deben ser los valores dados en la Tabla 7. La rugosidad máxima superficial permitida para pesas mayores a 50 kg debe ser el doble de los valores especificados en la Tabla 7."

De acuerdo con B.5.3.1.2.2, inciso 2), no se permite considerar rayaduras individuales al realizar la medición de rugosidad.

Para pesas "pre 94" y/o especiales, la rugosidad debe ser considerada aceptable si hay documentación adecuada que demuestre que la masa de la pesa es estable y si la rugosidad superficial no excede dos veces el límite en la Tabla 7 de la respectiva clase.

B.8.3 Presentación

Para pesas "pre 94" y/o especiales, los requisitos de la cláusula 16 de esta Norma se cumplen si la clase de la pesa está marcada en el estuche de las pesas. Esto aplica a las clases E₁, E₂, F₁, F₂ y M₁. De acuerdo con 15.4.3, las pesas de clase M₁ deben ser marcadas con "M₁" o "M".

Apéndice C

(Normativo)

Calibración de pesas o juego de pesas

C.1 Objetivo

En esta sección se describen dos métodos para la determinación de la masa convencional de pesas de un juego de pesas:

- 1) Método de comparación directa.
- 2) Método de subdivisión/multiplicación, el cual aplica sólo para juegos de pesas.

Se describen tres diferentes ciclos de pesadas, todos estos ciclos, son formas de pesaje de sustitución, pero no limitadas, para instrumentos para pesar de un solo receptor de carga.

Antes de la determinación de la masa, la densidad de las pesas debe ser conocida con suficiente exactitud. Adicionalmente, las condiciones ambientales y las características metrológicas de los instrumentos para pesar usados en la determinación de la masa deben ser conocidos con la suficiente exactitud. Se dan las fórmulas para la determinación de la masa convencional y su incertidumbre.

C.2 Requisitos generales

C.2.1 Condiciones ambientales

La calibración de las pesas debe ser realizada en condiciones ambientales estables, bajo una presión atmosférica ambiental a temperaturas cercanas a la temperatura del laboratorio (Ver Nota 1 de este Apéndice). Valores típicos recomendados son dados en la Tabla C.1.

Tabla C.1-Condiciónes ambientales durante la calibración (Valores típicos recomendados para obtener resultados satisfactorios)

Clases de pesas	Cambios de temperaturas durante la calibración (Ver Nota 2 de este Apéndice)
E ₁	± 0.3 °C por hora con un máximo de ± 0.5 °C por 12 horas
E ₂	± 0.7 °C por hora con un máximo de ± 1 °C por 12 horas
F ₁	± 1.5 °C por hora con un máximo de ± 2 °C por 12 horas
F ₂	± 2 °C por hora con un máximo de ± 3.5 °C por 12 horas
M ₁	± 3 °C por hora con un máximo de ± 5 °C por 12 horas

Clases de pesas	Intervalo de humedad relativa (<i>rh</i>) del aire (Ver Nota 3 de este Apéndice)
E ₁	40 % a 60 % con un máximo de ± 5 % por 4 horas
E ₂	40 % a 60 % con un máximo de ± 10 % por 4 horas
F	40 % a 60 % con un máximo de ± 15 % por 4 horas

NOTA 1: Es muy importante que la diferencia entre la temperatura de la pesa y la del aire dentro del comparador de masa sea lo más pequeña posible. Manteniendo la pesa de referencia y la pesa bajo prueba dentro del comparador de masa; antes y durante la calibración, se puede reducir esta diferencia de temperatura.

NOTA 2: Este es el cambio en la temperatura de laboratorio. La estabilización térmica del instrumento para pesar y la pesa (Ver B.4.3) requieren una estabilidad de temperatura apropiada del laboratorio de 24 horas antes de la calibración.

NOTA 3: Al almacenar las pesas, se debe considerar el límite superior.

C.2.1.1 Para pesas de clase E_1 y E_2 la temperatura debe estar entre 18 °C y 27 °C. Las condiciones ambientales deben estar dentro de las especificaciones de los instrumentos para pesar.

C.2.1.2 Si la densidad del aire se desvía con respecto a 1.2 kg m⁻³ por más de 10 %, los valores de masa deben ser usados en los cálculos y la masa convencional debe ser calculada a partir de la masa.

Si la densidad del aire en el lugar de calibración se desvía más de un 10 % respecto al valor convencional del aire de 1.2 kg m⁻³ y la clase de la pesa bajo calibración es E se deben calibrar la pesas utilizando los valores de masa de la pesa patrón (o referencia), para obtener el valor de la masa de la pesa bajo calibración (pesa bajo calibración); y con este valor, calcular el valor de masa convencional, con ayuda de la siguiente ecuación:

$$m_{ct} = m_t \frac{1 - \frac{\rho_0}{\rho_t}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}} \quad (\text{C.2.1-1})$$

Donde:

m_{ct} es el valor de masa convencional de la pesa bajo calibración

m_t es el valor de masa de la pesa bajo calibración

ρ_0 es el valor convencional de la densidad del aire (1.2 kg m⁻³)

ρ_t es la densidad del material de la pesa bajo calibración.

ρ_c es la densidad del material convencional de referencia (8 000 kg m⁻³)

En caso contrario se puede calibrar directamente en masa convencional.

C.2.2 Instrumento para pesar

Las características metrológicas del instrumento para pesar utilizado, deben ser conocidas a partir de mediciones previas y la división de la escala, linealidad, repetibilidad y excentricidad (Ver C.6.4) deben ser tales que se pueda lograr la incertidumbre requerida.

C.2.3 Pesas de referencia

Las pesas de referencia deben ser generalmente de una mejor clase de exactitud (Ver 5.1) que la pesa a calibrar. En la calibración de pesas de clase E_1 , la pesa de referencia debe tener características metrológicas (propiedades magnéticas, rugosidad superficial) similares o mejores que la pesa a calibrar.

C.2.3.1 Se debe cumplir con 7.2 y 7.3

C.3 Diseño de pesada

C.3.1 Comparación directa

Usualmente la pesa bajo prueba debe ser calibrada por comparación contra una o más pesas de referencia. En cada comparación el valor nominal de la masa de la pesa bajo prueba y la pesa de referencia debe ser igual. Un patrón de verificación (Ver 3.5) puede ser usado para monitorear el proceso de medición [Ver 21.29].

NOTA 4: Pueden presentarse problemas especiales cuando se calibran pesas clase E_1 menores a un gramo. Esto se debe particularmente a incertidumbres relativamente grandes de las pesas de referencia en este intervalo. Además, la inestabilidad de los instrumentos para pesar y grandes áreas superficiales son factores que influyen de manera negativa en la incertidumbre de medición. Por lo tanto el método de subdivisión es muy recomendable para estas pesas.

C.3.2 Subdivisión

Un juego entero de pesas puede ser calibrado con una o más pesas de referencia [29, 30, 31 y 32]. Este método requiere varias pesadas en cada década del juego. En estas pesadas se comparan diferentes combinaciones de pesas de igual masa nominal total. Este método se utiliza principalmente para calibrar juegos de pesas de clase E_1 , cuando se requiere una mayor exactitud. Si con este método sólo una pesa de referencia es usada, el número de ecuaciones de pesada debe ser mayor al número de pesas desconocidas y debe realizarse un cálculo de ajuste apropiado para evitar errores de propagación. Si más de una pesa de

referencia es usada, el número de ecuaciones puede ser igual al número de pesas desconocidas. En este caso el cálculo de ajuste no es necesario. La ventaja de estos métodos radica en que incluye cierta redundancia que ofrece mayor confianza en los resultados. Sin embargo estos métodos, particularmente con cálculo de ajuste, requieren matemáticas más avanzadas [Ver 21.29 y 21.30]. Un diseño típico de pesada para un juego de pesas 5, 2, 2*, 1 y 1* ($\times 10^n$ g) es [30 y 31]:

Tabla C.2-Diseño típico de pesada

Pesa de referencia	vs	$5 + 2 + 2^* + 1$
Pesa de referencia	vs	$5 + 2 + 2^* + 1^*$
5	vs	$2 + 2^* + 1$
5	vs	$2 + 2^* + 1^*$
$2 + 1$	vs	$2^* + 1^*$
$2 + 1$	vs	$2^* + 1^*$
$2 + 1^*$	vs	$2^* + 1$
$2 + 1^*$	vs	$2^* + 1$
2	vs	$1 + 1^*$
2	vs	$1 + 1^*$
2*	vs	$1 + 1^*$
2*	vs	$1 + 1^*$

En este ejemplo la pesa de referencia debe tener un valor nominal de 10 ($\times 10^n$ g). Donde 2* puede ser cualquier combinación de masas combinadas para tener un valor nominal de 2. La pesa de 1* puede ser una combinación de pesas $0.5 + 0.2 + 0.2^* + 0.1$ ($\times 10^n$ g) o puede ser un patrón de verificación (Ver 3.13). Algunas comparaciones se han duplicado para simplificar los cálculos. El diseño de pesada antes mencionado, es normalmente aplicado sólo si es usado el mismo instrumento para pesar en todas las comparaciones.

C.4 Ciclos de pesada

En C.4.1 y C.4.2 se describen procedimientos aceptados para tres diferentes ciclos de pesada, para una única comparación.

NOTA 5: *Otros procedimientos y ciclos de pesada pueden ser usados. Si en particular, se utilizan ciclos que no son independientes entre sí como $A_1 B_2 A_2, A_2 B_2 A_3, \dots$, la incertidumbre tiene que ser evaluada considerando términos de covarianza y la fórmula dada en C.6.1 tiene que ser modificada como corresponde [21.33].*

En los ciclos de pesada, "A" representa la pesada de la pesa de referencia y "B" representa la pesada de la pesa bajo prueba. Los ciclos ABBA y ABA son usados normalmente cuando se calibran las pesas de clase E y F.

El ciclo $AB_1 \dots B_n A$ es utilizado con frecuencia al calibrar pesas de clase M, pero generalmente no se recomienda para pesas de clase E y F. Sin embargo, si se utiliza un comparador de masa con un mecanismo automático de intercambio de pesas y si el sistema está instalado en una cubierta protectora, este ciclo puede ser aceptado para la calibración de pesas de clase E y F.

Sólo los ciclos ABBA y ABA son útiles en la pesada por subdivisión. Más de una pesa de referencia puede ser usada, en este caso el ciclo de pesada puede ser aplicado para cada pesa de referencia por separado. Las pesas de referencia pueden ser comparadas posteriormente entre sí.

C.4.1 Comparación de la pesa bajo prueba con una pesa de referencia (recomendadas para pesas de clase E y F)

Una variedad de ciclos de pesada puede ser utilizada [34]. Para dos pesas los siguientes ciclos son posibles, que son mejor conocidos como ABBA y ABA. Estos ciclos eliminan la deriva lineal.

Ciclo ABBA ($r_1 t_1 t_2 r_2$) : $I_{r1\ 1}, I_{t1\ 1}, I_{t2\ 1}, I_{r2\ 1}, \dots, I_{r1\ n}, I_{t1\ n}, I_{t2\ n}, I_{r2\ n}$

$$\Delta I_i = (I_{t1\ i} - I_{r1\ i} - I_{r2\ i} + I_{t2\ i})/2 \quad (\text{C.4.1-1})$$

Donde $i = 1, \dots, n$

Ciclo ABA ($r_1 t_1 r_2$) : $I_{r1\ 1}, I_{t1\ 1}, I_{r2\ 1}, \dots, I_{r1\ n}, I_{t1\ n}, I_{r2\ n}$

$$\Delta I_i = I_{t1\ i} - (I_{r1\ i} + I_{r2\ i})/2 \quad (\text{C.4.1-2})$$

Donde $i = 1, \dots, n$

En los ciclos ABBA y ABA, n es el número de secuencias. Los valores de i son dados en el orden en que las pesas son colocadas en el receptor de carga de pesada. Aquí los sub índices "r" y "t" indican la pesa de referencia y la pesa bajo prueba respectivamente. ΔI_i es la diferencia de la indicación de la secuencia de medición i .

C.4.1.1 El intervalo de tiempo entre las pesadas debe mantenerse constante.

C.4.1.2 Si es necesario determinar la sensibilidad del instrumento para pesar durante el proceso de pesada, la secuencia ABBA puede ser modificada a la forma $I_r, I_t, I_{t+m_s}, I_{r+m_s}$, donde " m_s " es la pesa de sensibilidad.

C.4.2 Comparación de varias pesas bajo prueba de la misma masa nominal con una pesa de referencia (ciclo AB₁...B_nA).

Si varias pesas bajo prueba $t(j)$ ($j = 1, \dots, J$) con la misma masa nominal van a ser calibradas simultáneamente, el ciclo de pesada ABA puede ser modificado a AB₁...B_nA de la siguiente manera:

Ciclo AB₁...B_nA: $I_{r1\ 1}, I_{t(1)\ 1}, I_{t(2)\ 1}, \dots, I_{t(J)\ 1}, I_{r2\ 1}, I_{r1\ 2}, I_{t(1)\ 2}, I_{t(2)\ 2}, \dots, I_{t(1)\ 2} (I_{r2\ 2}, \dots$
 $(I_{r1\ i-1}, I_{t(1)\ i-1}, I_{r(2)\ i-1}, \dots, I_{t(J)\ i-1}, I_{r2\ i-1}, I_{r1\ i}, I_{t(1)\ i}, I_{t(2)\ i}, \dots, I_{t(1)\ i} I_{r2\ i})$

Donde $i = 1, \dots, n$

$$\Delta I_{i(j)} = I_{t(j)\ i} - (I_{r1i} + I_{r2i})/2 \quad (\text{C.4.2-1})$$

Donde $i = 1, \dots, n$

Si la deriva en la indicación de pesada es despreciable, por ejemplo menor o igual a un tercio de la incertidumbre requerida, no es necesario invertir el orden de las pesas bajo prueba en AB₁...B_nA al repetir la secuencia.

No se permite que el número de pesas sea mayor a 5 ($J \leq 5$).

C.4.3 Número de ciclos de pesada

El número de ciclos de pesada n , debe estar basado en la incertidumbre requerida, la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones. En la Tabla C.3 se proporciona el número mínimo de mediciones a realizarse para las clases E₁ a M₃.

Tabla C.3-Número mínimo de ciclos de pesada

Clase	E ₁	E ₂	F ₁	F ₂	M ₁ , M ₂ y M ₃
Número mínimo de ABBA	3	2	1	1	1
Número mínimo de ABA	5	3	2	1	1
Número mínimo de AB ₁ ...B _n A	5	3	2	1	1

C.5 Análisis de Datos

C.5.1 Diferencia promedio de la masa convencional-Una pesa bajo prueba

Para los ciclos ABBA y ABA, la diferencia de la masa convencional Δm_c , entre la pesa bajo prueba y la pesa de referencia en un ciclo i es:

$$\Delta m_c = m_{ct} - m_{cr} \quad (\text{C.5.1-1})$$

$$\Delta m_{ci} = \Delta I_i + m_{cr} C_i \quad (\text{C.5.1-2})$$

Donde:

$$C_i = (\rho_{al} - \rho_0) \times \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_r} \right) \quad (\text{C.5.1-3})$$

La diferencia promedio de la masa convencional para n ciclos es:

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta m_{ci} \quad (\text{C.5.1-4})$$

C.5.1.1 Si no es conocida la densidad definida de ρ_t o ρ_r de una pesa, pero el material es conocido, debe ser utilizada la densidad asumida apropiada de la Tabla B.7. Si sólo se sabe que la densidad de la pesa está dentro de los límites, entonces el valor $8\,000\text{ kg m}^{-3}$ puede ser utilizado.

C.5.1.2 En los casos donde se estima que la corrección por empuje del aire es despreciable, por ejemplo si:

$$|C_i| \leq \frac{1}{3} \frac{U}{m_0} \quad (\text{C.5.1-5})$$

El término $m_0 C_i$ puede ser omitido de la ecuación (C.5.1-2). Sin embargo la contribución de incertidumbre de C puede ser no despreciable (Ver en C.6.3.1). Si sólo está disponible un promedio o un valor único de la densidad del aire, la corrección por empuje puede ser aplicada después de promediar (C.5.1-4).

C.5.2 Diferencia promedio de la masa convencional-Varias pesas bajo prueba

Si varias pesas bajo prueba son calibradas de acuerdo al ciclo de pesada $AB_1 \dots B_n A$, la diferencia de masa promedio para la pesa j es obtenida de la ecuación (C.5.1-4) reemplazando ΔI_i con $\Delta I_{i(j)}$ en la ecuación (C.5.1-2).

C.5.3 Diferencia promedio de la masa convencional-Varias series de mediciones.

Si hay varias series de mediciones idénticas (J) con valores promedios $\overline{\Delta m_{cj}}$ y con desviaciones estándar aproximadamente iguales, el promedio de todas las mediciones es:

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \overline{\Delta m_{cj}} \quad (\text{C.5.3-1})$$

C.5.3.1 Para la calibración de pesas de clase E, cuando se requiere determinar la reproducibilidad de las pesadas, se deben realizar varias series de mediciones.

C.5.4 Masa convencional de la pesa bajo prueba

La masa convencional de la pesa bajo prueba puede ser calculada mediante la fórmula:

$$m_{ct} = m_{cr} + \overline{\Delta m_c} \quad (\text{C.5.4-1})$$

C.5.4.1 En verificación, la masa convencional de la pesa de referencia no siempre es conocida. En este caso debe ser usado el valor nominal.

C.6 Cálculos de la incertidumbre

Los cálculos de la incertidumbre están basados en la NMX-CH-140-IMNC-2002 (Ver 21.7). En las referencias 21.28, 21.29, 21.30, 21.31 los cálculos de la incertidumbre se aplican para comparaciones de masa. La incertidumbre es evaluada ya sea por método Tipo A o por el Tipo B. La evaluación Tipo A se basa en el análisis estadístico de una serie de mediciones mientras la evaluación Tipo B se basa en otros conocimientos.

C.6.1 Incertidumbre estándar del proceso de pesaje u_w (Tipo A)

La incertidumbre estándar del proceso de medición $u_w(\overline{\Delta m_c})$, es la desviación estándar de la diferencia de masa. Para n ciclos de mediciones:

$$u_w(\overline{\Delta m_c}) = \frac{s(\Delta m_{ci})}{\sqrt{n}} \quad (\text{C.6.1-1})$$

Donde $s(\Delta m_{ci})$ es definida posteriormente para varias clases de pesas.

C.6.1.1 Para las clases F_2 , M_1 , M_2 , y M_3 a menudo se aplican los ciclos ABBA, ABA o $AB_1 \dots B_n A$. Para estas clases de pesas, si la desviación estándar de la diferencia de masa no es conocida de datos históricos, se puede estimar como:

$$s(\Delta m_c) = \frac{\max(\Delta m_{ci}) - \min(\Delta m_{ci})}{2 \times \sqrt{3}} \quad (\text{C.6.1-2})$$

Para $n \geq 3$ ciclos de medición.

La desviación estándar también puede ser calculada como se describe en C.6.1.2.

C.6.1.2 Para pesas de clase E₁, E₂, y F₁, la varianza de la diferencia de masa Δm_c del proceso de pesada $s^2(\Delta m_c)$ es estimada para n ciclos de medición por:

$$s^2(\Delta m_c) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta m_{ci} - \overline{\Delta m_c})^2 \quad (\text{C.6.1-3})$$

Con $n - 1$ grados de libertad.

C.6.1.3 Si sólo se realizan algunas mediciones, el estimado de $s(\Delta m_c)$ puede ser poco confiable. Debe utilizarse una estimación combinada, obtenida a partir de mediciones anteriores realizadas en condiciones similares (Ver D.1.2). Si esto no es posible, n debe ser mayor que 5.

C.6.1.4 En el caso donde hay J series de mediciones (donde $J > 1$), la varianza de Δm_c es calculada agrupando J series de modo que:

$$s^2(\Delta m_c) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J s_j^2(\Delta m_{ci}) \quad (\text{C.6.1-4})$$

Con $J(n - 1)$ grados de libertad (D.2).

NOTA 6: El subíndice "j" es agregado a $s_j^2(\Delta m_{ci})$ para diferenciar entre las desviaciones estándar de cada serie.

C.6.2 Incertidumbre de la pesa de referencia $u(m_{cr})$ (Tipo B)

La incertidumbre estándar $u(m_{cr})$ de la masa de la pesa de referencia debe ser calculada del certificado de calibración dividiendo la incertidumbre expandida citada, U , entre el factor de cobertura k (usualmente $k = 2$), y debe ser combinada con la incertidumbre debida a la inestabilidad de la masa de la pesa de referencia $u_{inest}(m_{cr})$.

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{inest}^2(m_{cr})} \quad (\text{C.6.2-1})$$

La incertidumbre debida a la inestabilidad de la pesa de referencia $u_{inest}(m_{cr})$, puede ser estimada a partir de observaciones en los cambios de masa después que la pesa de referencia ha sido calibrada varias veces. Si no están disponibles valores previos de calibración, la estimación de la incertidumbre tiene que basarse en la experiencia.

C.6.2.1 Si la pesa de referencia está verificada, es de clase F1 o de menor exactitud y cuenta con su certificado de conformidad, en el cual no se indica su valor de masa e incertidumbre, la incertidumbre debe ser estimada a partir del error máximo permitido δm de esa clase específica y valor nominal:

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\frac{\delta m^2}{3} + u_{inest}^2(m_{cr})} \quad (\text{C.6.2-2})$$

C.6.2.2 Si se utiliza una combinación de pesas de referencia para una comparación de masa y sus covarianzas no son conocidas, se puede asumir un coeficiente de correlación de 1 [37]. Esto conducirá a una suma lineal de incertidumbres.

$$u(m_{cr}) = \sum_i u(m_{cr_i}) \quad (\text{C.6.2-3})$$

Donde $u(m_{cr_i})$ es la incertidumbre estándar de la pesa de referencia i . Este es un límite superior de la incertidumbre.

C.6.3 Incertidumbre de la corrección del empuje del aire u_b (Tipo B)

La incertidumbre de la corrección del empuje del aire puede ser calculada de la ecuación (C.6.3-1) [21.38].

$$u_b^2 = \left(m_{cr} \frac{(\rho_r - \rho_t)}{\rho_r \rho_t} u(\rho_a) \right)^2 + (m_{cr}(\rho_a - \rho_0))^2 \left(\frac{u^2(\rho_t)}{\rho_t^4} \right) + m_{cr}^2(\rho_a - \rho_0)((\rho_a - \rho_0) - 2(\rho_{a1} - \rho_0)) \left(\frac{u^2(\rho_r)}{\rho_r^4} \right) \quad (\text{C.6.3-1})$$

Donde ρ_{a1} es la densidad del aire durante la calibración (previa) de la pesa de referencia mediante el uso de una pesa de orden superior. Cuando se utiliza la ecuación (C.6.3-1), se debe asegurar de utilizar el mismo valor para la incertidumbre de la densidad de la pesa de referencia, $u(\rho_r)$, que el utilizado en el cálculo de la incertidumbre de la calibración anterior. No se puede escoger arbitrariamente una incertidumbre mayor.

La correlación $-2(\rho_{a1} - \rho_0)$ puede ser despreciable siempre y cuando la incertidumbre u_b resultante no sea mayor a la incertidumbre requerida de calibración. Quedando de la siguiente forma:

$$u_b^2 = \left(m_{cr} \frac{(\rho_r - \rho_t)}{\rho_r \rho_t} u(\rho_a) \right)^2 + (m_{cr}(\rho_a - \rho_0))^2 \left(\frac{u^2(\rho_t)}{\rho_t^4} \right) + m_{cr}^2(\rho_a - \rho_0)^2 \left(\frac{u^2(\rho_r)}{\rho_r^4} \right)$$

C.6.3.1 Aunque si la corrección por empuje del aire es despreciable (Ver C.5.1.2), el efecto de la contribución de incertidumbre por empuje puede no ser despreciable, y debe ser tomada en cuenta, si $u_b \geq u_c/3$ (Ver ecuación (C.6.3-1)).

C.6.3.2 Para pesas de clase M_1 , M_2 y M_3 , la incertidumbre debido a la corrección por empuje del aire es despreciable y puede ser omitida.

C.6.3.3 Para pesas de clase F_1 , y F_2 , la densidad de la pesa tiene que ser conocida con suficiente exactitud (Ver Tabla 6).

C.6.3.4 Si la densidad del aire no es medida y se utiliza la densidad promedio del lugar, entonces se puede estimar la incertidumbre de la densidad del aire como:

$$u(\rho_a) = \frac{0.12}{\sqrt{3}} \text{ kg m}^{-3} \quad (\text{C.6.3-2})$$

Un valor de incertidumbre menor puede ser utilizado si se presentan datos que lo sustenten.

Al nivel del mar se debe asumir un densidad del aire de 1.2 kg m^{-3} .

C.6.3.5 Se debe determinar la densidad del aire para pesas de clase E. Su incertidumbre es usualmente estimada de las incertidumbres de temperatura, presión y humedad relativa. Para pesas de clase E_1 , la fórmula del Comité Internacional de Pesas y Medidas, CIPM-2007 [3] o una aproximación puede ser utilizada para el cálculo de la densidad del aire (Ver Apéndice E (Informativo)).

C.6.3.6 La varianza de la densidad del aire es:

$$u^2(\rho_a) = u_F^2 + \left(\frac{\partial \rho_a}{\partial p} u_p \right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_a}{\partial t} u_t \right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_a}{\partial hr} u_{hr} \right)^2 \quad (\text{C.6.3-3})$$

Los siguientes valores numéricos aplican de forma aproximada para una humedad relativa de $hr = 0.5$ (50 %), a una temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y una presión de $101\,325 \text{ Pa}$:

u_F = incertidumbre de la fórmula utilizada (para la fórmula CIPM: $u_F = 22 \times 10^{-6} \rho_a$)

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial p} = 10^{-5} \rho_a \quad \text{Pa}^{-1}$$

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial t} = -3.4 \times 10^{-3} \rho_a \quad \text{K}^{-1}$$

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial hr} = -10^{-2} \rho_a$$

Donde hr = humedad relativa, como fracción.

C.6.3.7 La densidad de la pesa de referencia ρ_r , y su incertidumbre deben conocerse de su certificado de calibración.

C.6.3.8 Para pesas de clase E₂, no siempre se conoce la densidad ρ_r , así que puede medirse o tomarse de la Tabla B.7 en B.7.9.3.

C.6.4 Incertidumbre del instrumento para pesar u_{ba} (Tipo B)

C.6.4.1 Incertidumbre debido a la prueba del instrumento para pesar y comparadores de masa

Se recomienda realizar pruebas en los instrumentos para pesar y comparadores de masa en intervalos de tiempo razonables y usar el resultado de estas pruebas en los cálculos de incertidumbre. En la calibración de pesas clase E₁, se recomienda realizar varias mediciones en momentos diferentes y asegurar que hay suficiente información sobre la incertidumbre al momento de la medición.

C.6.4.2 Incertidumbre debida a la sensibilidad del instrumento para pesar

Si el instrumento para pesar es calibrado con una pesa (o pesas) de sensibilidad de masa m_s que tiene una incertidumbre estándar $u(m_s)$ la contribución de incertidumbre debido a la sensibilidad es:

$$u_s^2 = (\overline{\Delta m_c})^2 \left(\frac{u^2(m_s)}{m_s^2} + \frac{u^2(\Delta I_s)}{\Delta I_s^2} \right) \quad (\text{C.6.4-1})$$

Donde:

ΔI_s es el cambio en la indicación del instrumento para pesar debido a la pesa de sensibilidad.

$u(\Delta I_s)$ es la incertidumbre de ΔI_s .

$\overline{\Delta m_c}$ es la diferencia de masa promedio entre la pesa bajo prueba y la pesa de referencia.

Si la sensibilidad no es constante con el tiempo, la temperatura o la carga, su variación debe incluirse en la incertidumbre.

C.6.4.3 Incertidumbre debido a la división de escala d del indicador de un instrumento para pesar con indicación digital

Para un instrumento para pesar con indicación digital, con división de escala d , la incertidumbre es:

$$u_d = \left(\frac{d}{\sqrt{3}} \right) \times \sqrt{2} \quad (\text{C.6.4-2})$$

El factor $\sqrt{2}$ viene de las dos lecturas, una con la pesa de referencia y la otra con la pesa bajo prueba.

C.6.4.4 Incertidumbre debido a la carga de excentricidad

Si se sabe que esta contribución es significativa, se debe estimar su magnitud; y si es necesario, se debe incluir en el presupuesto de incertidumbre.

C.6.4.4.1 Una solución aceptable de esta contribución es:

$$u_E = \left(\frac{\frac{d_1}{d_2} \times D}{2 \times \sqrt{3}} \right) \quad (\text{C.6.4-3})$$

Donde:

D es la diferencia entre los valores máximos y mínimos de la prueba de excentricidad.

d_1 es la distancia estimada entre los centros de las pesas.

d_2 es la distancia del centro del receptor de carga a una de las esquinas.

En la mayoría de los casos, la contribución de u_E se cubre por la incertidumbre del proceso de pesada u_w (Ver C.6.1) y puede omitirse.

Cuando se utiliza un instrumento para pesar con un alternador de carga automático, la diferencia de la indicación ΔI entre dos pesas, pueden ser diferentes cuando se cambian de posición las pesas: $\Delta I_1 \neq \Delta I_2$. Lo cual puede considerarse como un error de carga por excentricidad y su correspondiente incertidumbre debe ser estimada usando la ecuación (C.6.4-4). Esta contribución a la incertidumbre se aplica si se conoce a partir de intercambios de mediciones previos con pesas del mismo valor nominal. En casos cuando el intercambio se realiza durante el proceso de medición, se debe tomar el promedio de las dos diferencias de indicación como el resultado de pesaje y se puede despreciar u_E .

$$u_E = \left| \frac{\Delta I_1 - \Delta I_2}{2} \right| \quad (\text{C.6.4-4})$$

NOTA 7: La ecuación C.6.4-4 se basa en el mismo fundamento matemático que se menciona en 21.3, ecuación 15, Nota 6.

C.6.4.5 Incertidumbre debida al magnetismo u_{ma} .

Si la pesa tiene una alta susceptibilidad y/o está magnetizada, la interacción magnética puede disminuirse colocando un separador no magnético entre la pesa y el receptor de carga del instrumento para pesar. Si la pesa satisface los requisitos de esta Norma, la incertidumbre debida al magnetismo u_{ma} , puede considerarse igual a cero.

C.6.4.6 Incertidumbre estándar combinada del instrumento para pesar u_{ba}

Los componentes de incertidumbre se suman cuadráticamente de la siguiente manera:

$$u_{ba} = \sqrt{u_s^2 + u_d^2 + u_E^2 + u_{ma}^2} \quad (\text{C.6.4-5})$$

C.6.5 Incertidumbre expandida $U(m_{ct})$

La incertidumbre estándar combinada de la masa convencional de la pesa bajo prueba está dado por:

$$u_c(m_{ct}) = \sqrt{u_w^2(\overline{\Delta m_c}) + u^2(m_{cr}) + u_b^2 + u_{ba}^2} \quad (\text{C.6.5-1})$$

Si no se aplica la corrección por empuje $m_{cr}C$, se tiene que añadir una contribución a la incertidumbre combinada además de u_b (Ver la ecuación 15, Nota 6, en 21.3)

$$u_c(m_{ct}) = \sqrt{u_w^2(\overline{\Delta m_c}) + u^2(m_{cr}) + u_b^2 + (m_{cr}C)^2 + u_{ba}^2} \quad (\text{C.6.5-2})$$

La incertidumbre expandida U de la masa convencional de la pesa bajo prueba es la siguiente:

$$U(m_{ct}) = k u_c(m_{ct}) \quad (\text{C.6.5-3})$$

Usualmente, el factor de cobertura $k = 2$ debe usarse, el cual corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente el 95.45 % de una distribución de probabilidad normal. Sin embargo, si no se conoce una desviación estándar ponderada del proceso de medición y el número de mediciones no puede ser razonablemente incrementado hasta 10 (como en pesas de alto alcance), y si la incertidumbre $u_w(\overline{\Delta m_c})$ es una componente dominante, por ejemplo: $u_w(\overline{\Delta m_c}) > u_c(m_{ct})/2$, en el análisis de incertidumbre, entonces el factor de cobertura k debe ser calculado a partir de la distribución t asumiendo un nivel de confianza del 95.45 % y los grados efectivos de libertad ν_{eff} (calculados en base a la fórmula de Welch-Satterthwaite [35]). El factor de cobertura k para diferentes grados efectivos de libertad ν_{eff} , esta dado en la Tabla C.4. Si se puede asumir que las estimaciones de las incertidumbres Tipo B son conservativos y con un número infinito de grados de libertad, la fórmula tiene la forma:

$$\nu_{\text{eff}} = n - 1 \times \frac{u_c^4(m_{ct})}{u_w^4(\overline{\Delta m_c})} \quad (\text{C.6.5-4})$$

Para más detalles ver [8].

Tabla C.4-Factor de cobertura k para diferentes grados efectivos de libertad ν_{eff}

ν_{eff}	1	2	3	4	5	6	8	10	20	∞
k	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.37	2.28	2.13	2.00

Apéndice D
(Informativo)
Control Estadístico

D.1 Patrón de verificación

D.1.1 Un patrón de verificación es usualmente una pesa del mismo tipo y masa nominal que la pesa bajo prueba a ser calibrada y se incluye en el diseño de pesada como una pesa "desconocida". El procedimiento de control trabaja mejor con diseños de pesada donde el patrón de verificación puede ser fácilmente incorporado en el diseño como una pesa desconocida. Por ejemplo, pesas bajo prueba de las denominaciones 5, 2, 2 y 1, un patrón de verificación de "1" debería incluirse en el diseño de pesada de modo que las pesas a ser calibradas serían las pesas 5, 2, 2, 1 y 1. Para pesas de un kilogramo que son calibradas con dos kilogramos de referencia en un diseño 1, 1, 1, y 1, el patrón de verificación (Ver 3.13) puede ser la diferencia entre los dos kilogramos de referencia.

D.1.2 El propósito del patrón de verificación es asegurar una buena calidad de las calibraciones individuales. Para este propósito se requiere un historial de valores del patrón de verificación. El valor aceptado de la diferencia en masa \bar{m}_{diff} , para el patrón de verificación (usualmente el promedio) es calculado a partir de datos históricos y se basa por lo menos de 10 a 15 mediciones. El valor del patrón de verificación para cualquier nueva calibración \bar{m}_{diff} , es probado para determinar su concordancia con el valor aceptado utilizando una técnica de control estadístico. La prueba se basa en el estadístico t :

$$t = \frac{|m_{\text{diff}} - \bar{m}_{\text{diff}}|}{s} \quad (\text{D.1.2-1})$$

Donde: s es la desviación estándar de n valores históricos de la diferencia en masa, que se calcula con $\nu = n - 1$ grados de libertad por:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_{\text{diff}} - \bar{m}_{\text{diff}})^2} \quad (\text{D.1.2-2})$$

El proceso de calibración se considera en control si:

$t \leq$ valor crítico de la distribución t de Student con ν grados de libertad

D.1.3 En la Tabla D.1 se muestran los valores críticos que dependen de los grados de libertad en s , para una prueba bilateral con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Si los grados de libertad son grandes (> 15), es aceptable utilizar el factor 2 en vez del valor crítico de la Tabla. Si la calibración se juzga fuera de control de la prueba t , entonces se debe investigar la causa y rectificar la calibración (o el resultado de la calibración) antes de poder reportar los resultados. Esta prueba es muy poderosa para reconocer anomalías o cambios abruptos en la media del proceso, incluyendo cambios en el valor de referencia, en el orden de dos o más desviaciones estándar. Por otro lado no es efectivo en lo que respecta a pequeños cambios, del orden de la mitad de una desviación estándar o una deriva gradual.

D.1.4 El valor aceptable del patrón de verificación se actualiza conforme a los datos acumulados. Se pueden seguir varios enfoques; sin embargo, se deben graficar los datos y verificar la deriva o algún cambio del valor. El valor histórico "anterior" \bar{m}_{diff} , del patrón de verificación cambia a un "nuevo" valor histórico \bar{m}'_{diff} , basado en las últimas 10 – 15 mediciones si:

$$t = \frac{|\bar{m}_{\text{diff}} - \bar{m}'_{\text{diff}}|}{\sqrt{\frac{s_{\text{anterior}}^2}{J} + \frac{s_{\text{nueva}}^2}{K}}} > t_{\alpha/2}(\nu) \quad (\text{D.1.4-1})$$

Donde J y K son, respectivamente, el número de mediciones del valor anterior y del valor nuevo del patrón de verificación y $\nu = J + K - 2$.

D.2 Precisión del instrumento para pesar

La precisión del instrumento para pesar puede ser evaluada (monitoreada) usando una técnica de control estadístico. La base de esta prueba es la desviación estándar residual de un diseño de pesada o la desviación estándar de mediciones repetidas de una sola pesa. Además, la prueba utiliza la desviación estándar histórica del mismo instrumento para pesar (y preferentemente en el mismo valor nominal). Si existen m desviaciones estándar s_1, \dots, s_m , de datos históricos, una desviación estándar ponderada es el mejor estimado de la desviación estándar del instrumento para pesar:

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum s_i^2} \quad (\text{D.2-1})$$

La ecuación asume que las desviaciones estándar individuales tienen ν grados de libertad, en este caso la desviación estándar ponderada tiene $m \cdot \nu$ grados de libertad. Para cada nuevo diseño o serie de mediciones, se puede probar la desviación estándar residual s_{nueva} en relación con el valor ponderado. La prueba estadística es:

$$F = \frac{s_{\text{nueva}}^2}{s_p^2} \quad (\text{D.2-2})$$

D.2.1 Normalmente sólo se prueba la degradación en la precisión. La precisión del instrumento para pesar se considera en control si:

$$F \leq \text{valor crítico de la distribución F}$$

Con ν grados de libertad para s_{nueva} y $m \cdot \nu$ grados de libertad para s_p . En la Tabla D.2 se muestran los valores críticos de F , para una prueba unilateral con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Si se juzga que la desviación estándar está fuera de control, entonces se debe investigar la causa y rectificar la calibración (o el resultado de la calibración).

Tabla D.1-Valores críticos de la distribución t de Student para una prueba bilateral con $\alpha = 0,05$.

ν	Valor crítico								
1	12.706	11	2.201	21	2.080	31	2.040	41	2.020
2	4.303	12	2.179	22	2.074	32	2.037	42	2.018
3	3.182	13	2.160	23	2.069	33	2.035	43	2.017
4	2.776	14	2.145	24	2.064	34	2.032	44	2.015
5	2.571	15	2.131	25	2.060	35	2.030	45	2.014
6	2.447	16	2.120	26	2.056	36	2.028	46	2.013
7	2.365	17	2.110	27	2.052	37	2.026	47	2.012
8	2.306	18	2.101	28	2.048	38	2.024	48	2.011
9	2.262	19	2.093	29	2.045	39	2.023	49	2.010
10	2.228	20	2.086	30	2.042	40	2.021	50	2.009

NOTA 1: ν = grados de libertad

Tabla D.2-Valores críticos de la distribución F para una prueba unilateral donde S_{nueva} (v grados de libertad) no excede $S_P(m \cdot v, v)$ con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$

$F(\alpha, v, m \cdot v)$ $\alpha = 0.05$	v									
	m	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.448	19.000	9.277	6.388	5.050	4.284	3.787	3.438	3.179	2.978
2	18.513	6.944	4.757	3.838	3.326	2.996	2.764	2.591	2.456	2.348
3	10.128	5.143	3.863	3.259	2.901	2.661	2.488	2.355	2.250	2.165
4	7.709	4.459	3.490	3.007	2.711	2.508	2.359	2.244	2.153	2.077
5	6.608	4.103	3.287	2.866	2.603	2.421	2.285	2.180	2.096	2.026
6	5.987	3.885	3.160	2.776	2.534	2.364	2.237	2.138	2.059	1.993
7	5.591	3.739	3.072	2.714	2.485	2.324	2.203	2.109	2.032	1.969
8	5.318	3.634	3.009	2.668	2.449	2.295	2.178	2.087	2.013	1.951
9	5.117	3.555	2.960	2.634	2.422	2.272	2.159	2.070	1.998	1.938
10	4.965	3.493	2.922	2.606	2.400	2.254	2.143	2.056	1.986	1.927
11	4.844	3.443	2.892	2.584	2.383	2.239	2.131	2.045	1.976	1.918
12	4.747	3.403	2.866	2.565	2.368	2.227	2.121	2.036	1.968	1.910
13	4.667	3.369	2.845	2.550	2.356	2.217	2.112	2.029	1.961	1.904
14	4.600	3.340	2.827	2.537	2.346	2.209	2.104	2.022	1.955	1.899
15	4.543	3.316	2.812	2.525	2.337	2.201	2.098	2.016	1.950	1.894
16	4.494	3.295	2.798	2.515	2.329	2.195	2.092	2.011	1.945	1.890
17	4.451	3.276	2.786	2.507	2.322	2.189	2.087	2.007	1.942	1.887
18	4.414	3.259	2.776	2.499	2.316	2.184	2.083	2.003	1.938	1.884
19	4.381	3.245	2.766	2.492	2.310	2.179	2.079	2.000	1.935	1.881
20	4.351	3.232	2.758	2.486	2.305	2.175	2.076	1.997	1.932	1.878
30	4.171	3.150	2.706	2.447	2.274	2.149	2.053	1.977	1.915	1.862
40	4.085	3.111	2.680	2.428	2.259	2.136	2.042	1.967	1.906	1.854
50	4.034	3.087	2.665	2.417	2.250	2.129	2.036	1.962	1.901	1.850
60	4.001	3.072	2.655	2.409	2.244	2.124	2.031	1.958	1.897	1.846
70	3.978	3.061	2.648	2.404	2.240	2.120	2.028	1.955	1.895	1.844
80	3.960	3.053	2.642	2.400	2.237	2.117	2.026	1.953	1.893	1.843
90	3.947	3.046	2.638	2.397	2.234	2.115	2.024	1.951	1.891	1.841
100	3.936	3.041	2.635	2.394	2.232	2.114	2.023	1.950	1.890	1.840
∞	3.841	2.996	2.605	2.372	2.214	2.099	2.010	1.938	1.880	1.831

Apéndice E**(Informativo)****Fórmula del CIPM y una fórmula de aproximación****E.1 Fórmula del CIPM**

La fórmula para determinar la densidad del aire húmedo es la recomendada por el Comité International des Poids et Mesures CIPM-2007[21.39]. Formalmente la derivación de la fórmula es la misma que sus predecesores:

$$\rho_a = \frac{pM_a}{ZRT} \left(1 - x_v \left(1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right) \quad (\text{E.1-1})$$

Donde:

- p = Presión barométrica (Pa).
- M_a = Masa molar del aire seco.
- Z = Factor de compresibilidad.
- R = Constante molar de los gases.
- T = Temperatura termodinámica (K), usando ITS-90.
- x_v = Fracción molar de vapor de agua en el aire húmedo.
- M_v = Masa molar del aire húmedo.

Para la fórmula del CIPM-2007 [21.39], se tomó el valor de R , recomendado en 21.39 como:

$$R = 8.314\,472 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (\text{E.1-2})$$

E.2 Las constantes**E.2.1 Masa molar del aire seco M_a**

La masa molar del aire seco M_a , puede ser calculada si se tiene disponible una medición de x_{CO_2} como la fracción molar del dióxido de carbono, de la siguiente forma:

$$M_a = \left(28.965\,46 + 12.011(x_{\text{CO}_2} - 0.000\,4) \right) < 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} \quad (\text{E.2.1-1})$$

Tabla E.1-Valor recomendado para M_a/R con $x_{\text{CO}_2} = 0.000\,4$

Constante	Valor recomendado	Unidades
M_a/R	$3.483\,740\,2 \times 10^{-3}$	kg K J ⁻¹

E.2.2 Fracción molar de vapor de agua x_v

La fracción molar de vapor de agua x_v que está en función de la humedad relativa hr , o la temperatura de punto de rocío t_r , un factor de aumento f y la presión de saturación de vapor p_{sv} , se determina de la siguiente forma:

$$x_v = (hr)f(p, t) \frac{p_{sv}(t)}{p} = f(p, t_r) \frac{p_{sv}(t_r)}{p} \quad (\text{E.2.2-1})$$

Donde:

- hr = Es la humedad relativa en fracción porcentual.
- p = Presión barométrica.
- t = Temperatura en grados Celsius.
- $p_{sv}(t)$ = Presión de saturación de vapor.
- t_r = Temperatura de punto de rocío.
- f = Factor de aumento.

E.2.2.1 La presión de vapor de saturación del aire húmedo p_{sv} , puede ser calculada como:

$$p_{sv} = 1 \text{ Pa} \times \exp\left(AT^2 + BT + C + \frac{D}{T}\right) \quad (\text{E.2.2-2})$$

Donde:

A , B , C y D son los parámetros de las constantes de la presión de vapor a saturación. Los valores recomendados son los siguientes:

Tabla E.2-Valores recomendados para las constantes A , B , C y D .

Constante	Valor recomendado	Unidades
A	$1.237\ 884\ 7 \times 10^{-5}$	K^{-2}
B	$-1.912\ 131\ 6 \times 10^{-2}$	K^{-1}
C	33.937 110 47	
D	$-6.343\ 164\ 5 \times 10^3$	K

E.2.2.2 Factor de aumento f

El factor de aumento f es una función de tres constantes (α , β y γ) la temperatura t en grados Celcius. Este factor se puede calcular de la siguiente forma:

$$f = \alpha + \beta p + \gamma t^2 \quad (\text{E.2.2-3})$$

Tabla E.3-Valores recomendados para las constantes α , β y γ

Constante	Valor recomendado	Unidades
α	1.000 62	
β	3.14×10^{-8}	Pa^{-1}
γ	5.6×10^{-7}	K^{-2}

E.2.3 Factor de compresibilidad Z

El factor de compresibilidad Z puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$Z = 1 - \frac{p}{T}(a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + (b_0 + b_1 t)x_v + (c_0 + c_1 t)x_v^2) + \frac{p^2}{T^2}(d + ex_v^2) \quad (\text{E.2.3-1})$$

Tabla E.4-Valores recomendados para las constantes a_0 , a_1 , a_2 , b_0 , b_1 , c_0 , c_1 , d , y e

Constante	Valor recomendado	Unidades
a_0	$1.581\ 23 \times 10^{-6}$	K Pa^{-1}
a_1	$-2.933\ 1 \times 10^{-8}$	Pa^{-1}
a_2	$1.104\ 3 \times 10^{-10}$	$\text{K}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$
b_0	5.707×10^{-6}	K Pa^{-1}
b_1	-2.051×10^{-8}	Pa^{-1}
c_0	$1.989\ 8 \times 10^{-4}$	K Pa^{-1}
c_1	-2.376×10^{-6}	Pa^{-1}
d	1.83×10^{-11}	$\text{K}^2 \text{ Pa}^{-2}$
e	-7.65×10^{-9}	$\text{K}^2 \text{ Pa}^{-2}$

E.2.4 Masa molar del aire húmedo

La masa molar del aire húmedo incluye una cantidad de la fracción molar de vapor de agua x_v , reduciendo las otras cantidades fraccionarias proporcionalmente de manera que la suma es todavía uno, llegando de este modo al siguiente valor recomendado para la relación:

$$1 - (M_v/M_a) = 0.378\ 043 \quad (\text{E.2.4-1})$$

Donde:

$$M_v = 18.015\ 28 \text{ kg mol}^{-1} \quad (\text{E.2.4-1})$$

E.3 Fórmula de aproximación de la densidad del aire

La fórmula de mayor exactitud para determinar la densidad del aire en la mayoría de los casos, es la del CIPM-2007 [21.39]. Pero también se puede usar la versión aproximada de la fórmula exponencial de la densidad del aire:

$$\rho_a = \frac{0.348\ 48p - 0.009(hr) \times \exp(0.061t)}{273.15 + t} \quad (\text{E.3-1})$$

Donde:

- ρ_a = Densidad del aire obtenida en kg m^{-3} .
- p = Presión barométrica, dada en mbar o en hPa.
- hr = Humedad relativa, expresada como un porcentaje.
- t = Temperatura en $^{\circ}\text{C}$.

La ecuación (E.3-1) tiene una incertidumbre relativa menor o igual a 2.4×10^{-4} bajo las siguientes condiciones ambientales: $600 \text{ hPa} \leq p \leq 1\ 100 \text{ hPa}$, $15 \text{ }^{\circ}\text{C} < t < 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $20 \% \leq hr \leq 80 \%$.

Para pesas de clase E_1 , la densidad del aire debe siempre determinarse basado en las correspondientes mediciones. Sin embargo, la siguiente ecuación de aproximación es una forma de estimar la densidad del aire para laboratorios que no tienen manera de determinar la densidad del aire en sitio. La altura sobre el nivel del mar siempre es conocida; por lo tanto, si la densidad del aire no es medida, debe ser calculada como la densidad del aire promedio para el sitio del laboratorio, de la siguiente forma:

$$\rho_a = \rho_0 \times \exp\left(\frac{-\rho_0}{p_0} gh\right) \quad (\text{E.3-2})$$

Donde:

- p_0 = 101 325 Pa.
- ρ_0 = 1.2 kg m^{-3} .
- g = 9.81 m s^{-2} .
- h = Altitud sobre el nivel del mar en metros.

22 Bibliografía

- 22.1 *Guía ISO-IEC 99:2012 Vocabulario Internacional de Metrología-Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM) 1ª edición en español, 2008 del VIM-3ª International Vocabulary of Metrology-Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM 3rd edition) JCGM 200:2012 (JCGM 200:2008 with minor corrections)*
- 22.2 *International vocabulary of terms in legal metrology (VIML)*, edición 2000, OIML.
- 22.3 OIML D 28 *Conventional value of the result of weighing in air* (2004) (D 28 fue previamente publicada como: OIML R 33)
- 22.4 NMX-CH-4287-IMNC-2007 Especificaciones geométricas de producto (gps)-acabado superficial: método del perfil-términos, definiciones y parámetros de acabado superficial, Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de enero de 2008.

- 22.5** NMX-EC-17000-IMNC-2007 Evaluación de la conformidad - Vocabulario y principios generales, Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de enero de 2008.
- 22.6** Davis, R. S., "Determining the magnetic properties of 1 kg mass standards" J. Res. National Institute of Standards and Technology (USA), 100, 209-25, Mayo-Junio 1995; Errata, 109, 303, Marzo - Abril 2004.
- 22.7** NMX-CH-140-IMNC-2002 Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones (cancela a la NMX-CH-140-1996-IMNC). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de febrero de 2003.
- 22.8** Myklebust T, Källgren H, Lau P, Nielsen L and Riski K, "Testing of weights: Part 3-Magnetism and convection", Boletín OIML XXXVIII (1997), páginas 5-10.
- 22.9** Gläser, M., "Magnetic interactions between weights and weighing instruments." Meas. Sci. Technol. 12 (2001), páginas 709-715.
- 22.10** NMX-H-041-1970 Dimensiones de cuerdas para tornillos de 0.25 a 300 mm de diámetro. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de septiembre de 1970.
- 22.11** NMX-H-048-1970 Dimensiones de cuerdas para tornillos y tuercas, de 6 a 39 mm de diámetro. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de septiembre de 1970.
- 22.12** Gläser, M., "Change of the apparent mass of weights arising from temperature differences," Metrología 36 (1999), páginas 183-197.
- 22.13** Jean M. Bennett and Lars Mattsson, "Introduction to Surface Roughness and Scattering" Optical Society of America (1989).
- 22.14** ISO 5436-2:2012, Geometrical product specifications (GPS)-Surface texture: Profile method; Measurement standards—Part 2: Software measurement standards. Second edition.
- 22.15** ISO 3274:1996 Geometrical Product Specifications (GPS)-Surface texture: Profile method-Nominal characteristics of contact (stylus) instruments (Ed. 2; 13 p; G). ISO 3274:1996/Cor 1:1998 (Ed. 1; 1 p; *).
- 22.16** ISO 4288:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method-Rules and procedures for the assessment of surface texture (Ed. 2; 8 p; D). ISO 4288:1996/Cor 1:1998 (Ed. 1; 1 p; *).
- 22.17** Myklebust, T., "Methods to determine magnetic properties of weights and magnetic field and field gradients of weights." National Measurement Service, Norway (1995).
- 22.18** Myklebust, T. 1997 "Intercomparison: Measurement of the volume magnetic susceptibility and magnetization of two cylindrical (kg) weights. EUROMET proyecto 324", Justervesenet (NO).
- 22.19** Myklebust, T. and Davis, R.S., "Comparison between JV and BIPM to determine the volume susceptibility of one 20 g weight and two 1 g weights", Justervesenet (1996).
- 22.20** Myklebust, T. and Börjesson, L., "Comparison of two instruments based on the attracting method." National Measurement Service, Norway (1995).
- 22.21** Ueki, M., Nezu, Y. and Ooiwa, A., "New facility for weight calibration service", Proceedings of the 14th IMEKO World Congress and Bulletin of NRLM vol. 46, No. 4, páginas 223-228 (1997).
- 22.22** Schoonover, R.M. and Davis, R.S., "Quick and Accurate Density Determination of Laboratory Weights". (Proceedings. 8th Conference. IMEKO Technical Committee TC3 on Measurement of Force and Mass, Krakow, Poland. September 9-10, 1980) (Paper in "Weighing Technology," pp. 1123-1127, (Druk, Zakład Poligraficzny Wydawnictwa SIGMA, Warsaw, Poland (1980).
- 22.23** Kobata, T., Ueki, M., Nezu, Y., Ooiwa, A. and Ishii, Y., "Characterization of an Acoustic Volumeter for Measuring the Volume of Weights", Proceedings of 15th IMEKO World Congress (1999).
- 22.24** Ueki, M., Kobata, T., Mizushima, S., Nezu, Y., Ooiwa, A. and Ishii, Y., "Application of an Acoustic Volumeter to Standard Weights", Proceedings of 15th IMEKO World Congress (1999).
- 22.25** Bettin, H., Spieweck, F., "Die Dichte des Wassers als Funktion der Temperatur nach Einführung der Internationalen Temperaturskala von 1990", PTB-Mitt. 1003/90, páginas 195-196.

- 22.26** Tanaka, M., Girard, G., Davis, R., Peuto, A., Bignell, N., [NMIJ, BIPM, IMGC, NML], "Recommended table for the density of water between 0 °C and 40 °C based on recent experimental reports", *Metrología*, 2001, 38, N°4, páginas. 301–309.
- 22.27** Gorski, W., Toth, H.G., "Destilliertes Wasser als Dichtereferenzmaterial-Die elektrische Leitfähigkeit als Kriterium seiner Güte"-PTB-Mitt. 98 5/88, páginas 324–325.
- 22.28** Lau, P., "Weight Volume and Centre of Gravity", SP-AR to be published. (Secretariat is updating this reference (9/6/02)).
- 22.29** Croarkin, C., "An Extended Error Model for Comparison Calibration", *Metrología* 26, 107 (1989).
- 22.30** Schwartz, R. "Guide to mass determination with high accuracy" PTB-Bericht MA-40, Braunschweig, (1995). See also Kochsiek, M., Gläser, M., "Comprehensive Mass Metrology", Wiley, New York, Sec.3.4, "Mass determination with balances" (Roman Schwartz) (2000).
- 22.31** Chapman, G.D., "Orthogonal designs for calibrating kilogram submultiples", NRCC25819. 27 April 1995, National Research Council Canada, Canada.
- 22.32** Morris, E.C., "Decade Design for Weighings of Non-uniform Variance", *Metrologia* 29, 373 (1992).
- 22.33** Cameron, J.M., Croarkin, M.C., and Raybold, R. C.R., "Designs for the calibration of standards of mass", NBS TN 952 (1977).
- 22.34** Gläser, M., "Cycles of comparison measurements, uncertainties and efficiencies", *Meas. Sci. Technol* 11 (2000), páginas 20–24.
- 22.35** Sutton, C.M. and Clarkson, M.T., "A general approach to comparisons in the presence of drift" *Metrologia* 30, 487 (1993/94).
- 22.36** Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, EA-4/02 (1999).
- 22.37** Bich, W., Cox, M.G., and Harris, P.M., "Uncertainty modelling in mass comparisons", *Metrologia* 30, 495 (1993/4).
- 22.38** Bich, W., "Covariances and restraints in mass metrology", *Metrologia* 27, 111 (1990).
- 22.39** Gläser, M., "Covariances in the determination of conventional mass." *Metrologia* 37, 249–251 (2000).
- 22.40** Davis, R.S., "Equation for the determination of the density of moist air" (1981/91), *Metrologia* 29, 67 (1992). Giacomo, P., "Equation for the determination of the density of moist air" (1981), *Metrologia* 18, 33 (1982).
- 22.41** Chung, J.W., Ryu, K.S., Davis, R.S. "Uncertainty analysis of the BIPM susceptometer", *Metrologia* 38 (2001), pp. 535-541.
- 22.42** Ley Federal sobre Metrología y Normalización, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de julio de 1992 y sus reformas.
- 22.43** Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de enero de 1999 y sus reformas.
- 22.44** NOM-010-SCFI-1994, Instrumentos de medición-Instrumentos para pesar de funcionamiento no automático-Requisitos técnicos y metrológicos (esta Norma cancela la NOM-010-SCFI-1993), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 9 de junio de 1999.

TRANSITORIOS

PRIMERO.- La presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación y tendrá una vigencia de seis meses, en términos de lo dispuesto en el primer párrafo del Artículo 48 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

SEGUNDO.- La presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia, sustituye a la NOM-038-SCFI-2000, Pesas de clases de exactitud E1, E2, F1, F2, M1, M2 y M3 (esta Norma cancela el PROY-NOM-039-SCFI-1994) publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de febrero de 2001.

TERCERO.- A la entrada en vigor de la presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia, los documentos de evaluación de la conformidad (Certificados de calibración, informes o resultados de prueba (ensayo), certificados de conformidad y aprobación de modelo o prototipo) que hayan sido expedidos conforme a la NOM-038-SCFI-2000, Pesas de clases de exactitud E1, E2, F1, F2, M1, M2 y M3 (esta Norma cancela el PROY-NOM-039-SCFI-1994) mantendrán su vigencia, hasta el término señalado en ellos.

CUARTO.- Los laboratorios de calibración, unidades de verificación y los organismos de certificación podrán iniciar los trámites de acreditación y aprobación inicial en la presente Norma Oficial Mexicana de Emergencia al día siguiente al de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Ciudad de México, a 24 de abril de 2020.- El Director General de Normas y Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Secretaría de Economía, Alfonso Guati Rojo Sánchez.- Rúbrica.