

Guía Técnica sobre Trazabilidad Metrológica e Incertidumbre de Medida en la Magnitud de Masa para Calibración de Pesas Clases E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ y M₃

Guía de Calibración M-01 Pesas

México, Julio 2015

Derechos reservados ©

PRESENTACIÓN

Durante la evaluación de la competencia técnica de los laboratorios de calibración y de ensayo, la demostración de la trazabilidad y la estimación de la incertidumbre de las mediciones, requiere la aplicación de criterios técnicos uniformes y consistentes.

Con el propósito de asegurar la uniformidad y consistencia de los criterios técnicos en la evaluación de la trazabilidad y la incertidumbre de las mediciones, la entidad mexicana de acreditación, a.c. (ema), solicitó al Centro Nacional de Metrología que encabezara un programa de elaboración de Guías Técnicas de Trazabilidad e Incertidumbre de las Mediciones.

Los Comités de Evaluación, a través de los Subcomités de los Laboratorios de Calibración y de Ensayo, se incorporan a este programa y su participación está orientada a transmitir sus conocimientos y experiencias técnicas en la puesta en práctica de las Políticas de Trazabilidad y de Incertidumbre establecidas por ema, mediante el consenso de sus grupos técnicos de apoyo. La incorporación de estos conocimientos y experiencias a las Guías, las constituyen en referencias técnicas para usarse en la evaluación de la competencia técnica de los laboratorios de calibración y ensayo.

En este programa, el CENAM se ocupa, entre otras actividades, de coordinar el programa de las Guías Técnicas, proponer criterios técnicos sobre la materia, validar los documentos producidos, procurar que todas las opiniones pertinentes sean apropiadamente consideradas en los documentos, apoyar la elaboración de las Guías con eventos de capacitación, asegurar la consistencia de las Guías con los documentos de referencia indicados al final de este documento.

La elaboración de las Guías está vinculada con la responsabilidad que comparten mutuamente los laboratorios acreditados de calibración y de ensayo, de ofrecer servicios con validez técnica en el marco de la evaluación de la conformidad. La calidad de estos servicios se apoya en la confiabilidad y uniformidad de las mediciones, cuyo fundamento está establecido en la trazabilidad y en la incertidumbre de las mismas. Los que ejercitan la evaluación de la competencia técnica de los laboratorios, así como los que realizan la práctica rutinaria de los servicios acreditados de calibración y ensayo, encontrarán en las Guías una referencia técnica de apoyo para el aseguramiento de las mediciones.

Las Guías Técnicas de Trazabilidad e Incertidumbre de las Mediciones no reemplazan a los documentos de referencia en que se fundamentan las políticas de trazabilidad e incertidumbre de ema. Las Guías aportan criterios técnicos que servirán de apoyo a la aplicación de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006. La consistencia de las Guías con esta norma y con los demás documentos de referencia, permitirá conseguir el propósito de asegurar la confiabilidad de la evaluación de la conformidad por parte de los laboratorios de calibración y ensayo.

Dr. Héctor O. Nava Jaimes
Director General
Centro Nacional de Metrología

María Isabel López Martínez
Directora Ejecutiva
entidad mexicana de acreditación, a.c.

AGRADECIMIENTOS

La entidad mexicana de acreditación expresa su reconocimiento al Fondo de Apoyo para la Micro, Pequeña y Mediana Empresa (FONDO PYME), auspiciado por la Secretaría de Economía, por haber proporcionado los recursos financieros para la elaboración de este documento, mediante el proyecto aprobado con folio FP2007-1605 de nombre “Elaboración de guías técnicas sobre trazabilidad e incertidumbre para la medición que permitan el fortalecimiento del Sistema Nacional de Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración” y por este medio hace patente su sincero reconocimiento y agradecimiento a la Secretaría de Economía, a la Subsecretaría para la Pequeña y Mediana Empresa, a la Dirección General de Desarrollo Empresarial y Oportunidades de Negocio, y a los profesionales que aportaron su tiempo y conocimiento en su desarrollo, destacando a los responsables de la elaboración:

GRUPO DE TRABAJO

Grupo de Trabajo que participó en la realización de esta Guía Técnica:

Luis Omar Becerra Santiago	CENAM
Porfirio Escalante Tovar	AIBSA
Elvia Funes Rodriguez	CIATEC
Mario García Reyes	SIMCA
Juan Carlos Jiménez Arias	CVC de Occidente
Amparo Leticia Luján Solís	CENAM
Fernando Mora Hernández	INSCO
Sergio Pacheco	INDEPENDIENTE
Luis Manuel Peña Pérez	CENAM
Eric Rojas	SEITONK
Ernesto Sánchez	MASSTECH

Grupo de Trabajo que participó en la modificación de esta Guía Técnica:

Luis Omar Becerra Santiago	CENAM
Luis Manuel Peña Pérez	CENAM
Daniel Ramos	CENAM
Carlos Baeza Rivera	CENAM
Luis Manuel Ramírez Muñoz	CENAM
Gregorio Álvarez Clara	CENAM
Pablo Canalejo Cabrera	IBSEI
Fernando Mora Hernández	INSCO
Juan Carlos Jiménez Arias	MICRON INGENIERIA
Isaías Cruz Mendoza	SARTORIUS
José Luis De la O Martínez	CIATEC

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	3
GRUPO DE TRABAJO	3
1. PROPÓSITO DE LA GUÍA	5
2. ALCANCE DE LA GUÍA	5
3. MENSURANDO	5
3.1. INTERVALO TÍPICO DE MEDICIÓN	5
3.2. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN ESPERADA	5
4. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN	5
4.1. MÉTODO DE MEDICIÓN	5
4.2. DOCUMENTOS DE CONSULTA	6
4.3. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN	6
4.4. EQUIPOS Y CONDICIONES AMBIENTALES	7
4.5. COMPETENCIA TÉCNICA DEL PERSONAL	10
5. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA	11
6. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES Y MODELO DE MEDICIÓN	12
6.1. TÉRMINOS Y DEFINICIONES	12
6.2. UTILIDAD DE LA TRAZABILIDAD	13
6.3. ELEMENTOS DE LA TRAZABILIDAD	13
6.4. MODELO MATEMÁTICO DE LA MEDICIÓN DE MASA Y MASA CONVENCIONAL	18
7. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN	22
7.1. ELEMENTOS DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDIDA	23
7.2. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN	24
7.3. CÁLCULO DE LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	24
8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN	30
9. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN	30
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
11. ANEXO	33

1. PROPÓSITO DE LA GUÍA

Establecer los criterios específicos que deben cumplir los procedimientos, que sirven de base técnica para la realización de los servicios de calibración de pesas desde la clase de exactitud E_1 hasta M_3 , así como la armonización para estimar la incertidumbre de medición.

Lograr consistencia y uniformidad en la presentación de los presupuestos de incertidumbre de las mediciones en estos servicios de calibración.

Establecer los requisitos para la evaluación de los servicios de calibración de pesas.

2. ALCANCE DE LA GUÍA

Esta guía aplica para los servicios de calibración de pesas de clases de exactitud E_1 a M_3 acorde a la OIML R 111-1 edición 2004 [1].

Nota: Al momento de la elaboración de esta Guía, la norma NOM-038-SCFI-2000 [2] está en proceso de actualización para hacerla equivalente a la OIML R 111-1 edición 2004 [1].

3. MENSURANDO

El mensurando es el valor de masa convencional de la pesa en calibración. Definido en el documento Internacional OIML D 28 [3].

La unidad de medida es el kilogramo (kg). Podrán utilizarse los múltiplos o submúltiplos de la unidad de masa, miligramo (mg), gramo (g) y/o tonelada (t).

3.1. Intervalo típico de medición

1 mg a 5 000 kg.

3.2. Incertidumbre de medición esperada

Para cada pesa, la incertidumbre expandida asociada al valor de masa convencional del mensurando debe ser menor o igual a 1/3 del Error Máximo Permitido (EMP), especificado en la NOM-038-SCFI-2000 [2] y en las normas y lineamientos extranjeros o internacionales que se mencionan en los documentos de referencia aplicables para las pesas equivalentes.

4. MÉTODO Y SISTEMA DE MEDICIÓN

4.1. Método de medición

El método de medición debe ser elegido tal que la incertidumbre de calibración de la pesa en masa convencional cumpla con el criterio establecido en el punto 5.2 de OIML R111 [1].

Los métodos de medición recomendados para la calibración de pesas son el método de subdivisión y comparación directa.

El método de subdivisión / multiplicación, aplica a juegos de pesas y pesas individuales. Este método es usado principalmente para calibrar juegos de pesas de clase E_1 , cuando se requiere la más alta exactitud.

Ambos métodos consisten en la determinación de la masa o masa convencional de una o varias pesas, comparando la fuerza que ejerce la pesa patrón (referencia) sobre el receptor de carga de un instrumento para pesar y la fuerza ejercida por la pesa bajo prueba (bajo calibración) de igual valor nominal (considerar el inciso C 2.1.2 OIML R 111-1 [1] “Si la densidad del aire en el lugar de calibración se desvía en un 10% o más con respecto al valor convencional de la densidad del aire (1.2 kg/m^3) se deben usar los valores de masa de la pesa patrón (o referencia) en los cálculos para obtener el valor de la masa de la pesa bajo prueba (bajo calibración) y la masa convencional de la pesa bajo calibración debe calcularse a partir de su valor de masa”). Sólo se pide para la calibración de pesas clase E.

Normalmente la pesa bajo calibración se debe calibrar comparándola contra una o más pesas de referencia, de tal manera que se comparen cargas de igual valor nominal, asegurándose que el EMP de la pesa cumpla con el punto 4.4.1 de ésta guía.

En el resultado de dicha comparación interviene entre otras, la fuerza debida al empuje del aire o fuerza de flotación, (esta fuerza está en función del volumen o de la densidad de dichos objetos y la densidad del aire).

Se puede elegir entre los ciclos de pesada ABBA, ABA, $AB_1 \dots B_n A$, de acuerdo al método empleado.

Dónde:

- A es la pesa patrón (referencia).
- B es la pesa a calibrar (bajo calibración).
- ABBA, ABA, $AB_1 \dots B_n A$, representan las secuencias de pesada en el instrumento para pesar.

El método de medición directa (esto es, utilizando un instrumento para pesar como patrón) no debe utilizarse en la calibración de pesas.

4.2. Documentos de consulta

- OIML R 111-1 Weights of classes E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} and M_3 Part 1: Metrological and technical requirements [1].

4.3. Procedimiento de medición

Los laboratorios deben tener un procedimiento de medición documentado, basado en cualquiera de los métodos de comparación, mencionados en el inciso 4.1 de esta guía técnica.

El procedimiento debe especificar:

- a) El tipo y el número de ciclos de medición para cada una de las clases de exactitud de las pesas bajo calibración.

- b) El procedimiento de estimación del valor de masa y masa convencional de la pesa bajo calibración, basado en la OIML R 111-1 [1].
- c) El procedimiento de estimación de la incertidumbre asociada al valor de masa y masa convencional de la pesa bajo calibración, basado en la OIML R 111-1 [1].
- d) Las herramientas estadísticas para mantener bajo control el proceso de medición tales como la prueba de consistencia (error normalizado) en conjunto con la prueba F o la prueba t aunada a la prueba F conforme al método de calibración empleado, (considerar anexo D, OIML R 111-1 [1]). El laboratorio de calibración podrá proponer alternativas equivalentes para mantener bajo control el proceso de medición.
- e) El equipo adecuado para el servicio de calibración, incluyendo los instrumentos para la medición de las condiciones ambientales y los equipos y medios auxiliares para el manejo, la limpieza y el ajuste de las pesas bajo calibración (Ver 4.4).
- f) El procedimiento para la limpieza y el ajuste de las pesas bajo calibración.
- g) El procedimiento para determinar el tiempo de estabilización de las indicaciones del instrumento para pesar.
- h) Los procedimientos para determinar el volumen o la densidad de las pesas y sus incertidumbres asociadas, basados en métodos validados y publicados en documentos con reconocimiento nacional o internacional. Para las pesas de clases de exactitud E_1 y E_2 , o equivalentes, el valor de volumen o densidad certificado, a menos de que se requiera un valor de mayor exactitud (menor incertidumbre), el valor certificado podrá ser utilizado durante la vida útil de la pesa.
- i) Los procedimientos para comprobar que las propiedades magnéticas de las pesas no superan los límites establecidos para su clase de exactitud y por lo tanto no ponen en duda el resultado de la calibración. Se recomienda emplear alguno de los métodos recomendados en la sección B.6 de la OIML R111 [1]. Se sugiere usar algún material no magnético y ligero como espaciador entre el receptor de carga y las pesas únicamente para comprobar si la pesa cumple con las propiedades magnéticas.

4.4. Equipos y condiciones ambientales

4.4.1. Pesas de referencia.

- Las pesas de referencia deben ser de por lo menos una clase de exactitud superior que las pesas a calibrar, es decir, deberán tener cuando menos un error máximo permitido (EMP) menor o igual a un tercio del EMP de la pesa a calibrar. Para pesas clase E_1 , la incertidumbre del patrón debe ser $1/3$ de la incertidumbre máxima requerida para la pesa bajo calibración.

La suma de los EMP de las pesas individuales debe ser $1/3$ del EMP de la pesa que se va a calibrar. La cantidad máxima de las pesas que pueden estar sobre el receptor de carga en cada comparación es cuatro, siempre y cuando estas puedan ser colocadas de manera segura sobre el receptor de carga.

- En caso de utilizar más de una pesa como patrón (referencia) estas deben ser de la misma clase de exactitud.
- Las pesas de referencia deben contar con informes de calibración vigentes, expedidos por laboratorios de calibración acreditados por la **ema**, a.c. y en su caso, aprobados por la Dirección General de Normas o certificados de calibración emitidos por el CENAM, para comprobar su trazabilidad.

El laboratorio deberá mantener bajo control metrológico las pesas patrón, utilizando para ello herramientas estadísticas tales como cartas de control y pruebas de hipótesis, p.ej. prueba *t* de *student*. Este control metrológico es particularmente importante para las pesas de referencia que son utilizadas en actividades de calibración/medición diferentes a la calibración de pesas de una clase de exactitud inferior.

- Ya sean pesas individuales o juegos de pesas, deben estar protegidos contra cualquier contaminación, deterioro o daños debidos a golpes, vibraciones, por lo que deben estar contenidas en campanas de vidrio, estuches de madera, plástico o cualquier otro material apropiado, cuando así se requiera por su clase de exactitud.
- Los estuches de las pesas y juegos de pesas de clases de exactitud E₁ a M₁ deben estar marcados con su clase de exactitud de la siguiente manera (E₁, E₂, F₁, F₂, M₁), el número de serie o bien deben tener la identificación o número de control del laboratorio mediante una etiqueta permanente en el estuche (**NO SE DEBEN PEGAR ETIQUETAS SOBRE LA SUPERFICIE DE LAS PESAS DE NINGUNA CLASE**).

Las pesas paralelepípedas de valores nominales de 5 kg a 5 000 kg clases de exactitud M₁ a M₃ no requieren de un estuche para su resguardo y en estos casos deben de tener identificación univoca e indeleble sobre la superficie de las pesas de acuerdo al punto 13.6 de la OIML R 111-1 [1].

- Cuando sea necesario usar dos o más pesas patrón, no se recomienda apilarlas, sin embargo, con el fin de garantizar la integridad de las pesas y los instrumentos se deben tomar las precauciones necesarias en caso de apilar las pesas.

4.4.2. Instrumento para pesar

- Deben tener una capacidad de medición coherente al valor nominal de la pesa.
- Deberán estar instalados en un lugar apropiado en cuanto a nivel de vibración (tránsito de personas), corrientes de aire, entre otras, así como lejos de fuentes de influencia tales como fuentes de calor o campos magnéticos que pudieran poner en riesgo el resultado de la calibración.
- Deben cumplir con cualquiera de las dos condiciones siguientes en cuanto a la resolución del dispositivo visualizador del comparador (*d*) y a la desviación estándar experimental (*s*), para el alcance de interés:

1ra condición

$$d \leq \frac{EMP}{10} \quad (1)$$

de la pesa a calibrar y,

$$s \leq 2d \quad (2)$$

2da condición

$$\sqrt{\frac{d^2}{12} + \frac{s^2}{n}} \leq \frac{EMP}{6} \quad (3)$$

Donde:

n es el número de ciclos empleados en la calibración de acuerdo al procedimiento.

s es la desviación estándar determinada durante el proceso de medición.

Debido a que los instrumentos para pesar se utilizan como comparadores de masa, no requieren ser calibrados y certificados como aquellos instrumentos cuyo uso principal es la medición directa, sin embargo los instrumentos para pesar utilizados para la calibración de pesas deberán mantenerse bajo control metrológico en cuanto a su repetibilidad, sensibilidad, excentricidad y cualquier otra característica que pudiera poner en riesgo obtener la incertidumbre requerida en la calibración de las pesas. Este control metrológico deberá ser debidamente documentado por el laboratorio.

4.4.3. Equipos para medir condiciones ambientales.

Los laboratorios que calibren pesas deben contar con equipos para medir temperatura del aire, presión atmosférica y humedad relativa y realizar la corrección por empuje del aire para determinar el valor de masa y masa convencional.

Los equipos para determinar la densidad del aire (barómetro, higrómetro, termómetro) deben tener una resolución del visualizador y capacidad de medición adecuada para medir la variación de cada magnitud de influencia.

Los equipos deben tener certificados o informes de calibración válidos, emitidos por el CENAM o por laboratorios acreditados por **ema, a.c.** o por organismos de acreditación equivalentes que sean signatarios de acuerdos de reconocimiento mutuo, cabe aclarar que en todo momento se debe dar cumplimiento a lo indicado en los artículos 26, 70 y 87-B de la LFMN.

Los laboratorios de calibración de pesas ubicados a nivel del mar (donde la densidad del aire no varía en más de un 10 % de la densidad del aire convencional, 1.2 kg/m^3) y determinan el valor de masa convencional tienen como alternativa omitir la corrección por empuje del aire, siempre y cuando lo demuestren mediante la evaluación numérica en su procedimiento de medición (presentar los cálculos y demostración correspondiente). Es importante mencionar que aun cuando la corrección por empuje del aire pueda ser insignificante, la incertidumbre debido a esta contribución podría no ser insignificante y se debe considerar lo establecido en C.5.1.2 y en C.6.3.1 de [1].

4.4.3.1. Variaciones en las condiciones ambientales (magnitudes de influencia) durante la calibración.

Las siguientes tablas muestran las variaciones máximas toleradas para la temperatura y humedad relativa que el laboratorio de calibración de pesas debe registrar en función de la clase de exactitud de las pesas en calibración.

Tabla 1. Temperatura

Clase de la pesa	Variación recomendada en temperatura en la zona donde se realiza la calibración durante la misma
E ₁	± 0.3 °C en una hora y un máximo de ± 0.5 °C en 12 horas
E ₂	± 0.7 °C en una hora y un máximo de ± 1.0 °C en 12 horas
F ₁	± 1.5 °C en una hora y un máximo de ± 2.0 °C en 12 horas
F ₂	± 2.0 °C en una hora y un máximo de ± 3.5 °C en 12 horas
M ₁	± 3.0 °C en una hora y un máximo de ± 5.0 °C en 12 horas

Para la calibración de pesas de clase E₂ la temperatura debe estar entre 18 °C a 27 °C

Tabla 2. Humedad relativa

Clase de la pesa	La humedad relativa deberá estar en el intervalo
E ₁	40 a 60 % con un máximo de ± 5 % en 4 horas
E ₂	40 a 60 % con un máximo de ± 10 % en 4 horas
F ₁	40 a 60 % con un máximo de ± 15 % en 4 horas
F ₂	Se recomienda no exista condensación

Cuando aplique, el laboratorio debe considerar los tiempos de ambientación de las pesas para establecer los horarios de encendido y apagado del sistema de aire acondicionado, que garantice que la pesa en calibración ha alcanzado la estabilidad térmica previo a la calibración.

4.4.4. Instalaciones.

El laboratorio para calibración de pesas debe:

- Contar con espacios separados (excepto en clases M) para:
 - a) Realizar la limpieza de las pesas;
 - b) Servicios de calibración;
 - c) Recepción y resguardo;
 - d) Realizar trabajos administrativos tales como cálculos y elaboración de informes.
- Restringir el acceso al laboratorio de calibración a personal ajeno al mismo, mediante señales y anuncios.
- Para calibración de pesas clase E y F debe tener mesas para las actividades de pesaje, diseñadas para evitar o reducir al mínimo las vibraciones.
- Realizar la calibración de pesas en un área exclusiva dentro del laboratorio.

4.4.5. Accesorios

El laboratorio debe contar con todos los accesorios necesarios y suficientes para el manejo, limpieza y conservación de los patrones y pesas en calibración tales como, pinzas, horquillas, brochas, perillas de goma, campanas de vidrio, polipastos, patines, grúa, cepillos, montacargas y otros.

4.5. Competencia técnica del personal

Debe evaluarse a todo el personal que intervenga en los servicios de calibración. Los niveles de competencia en el sistema de gestión del laboratorio, son:

4.5.1. Signatario

Es la persona propuesta por el laboratorio, y autorizada por la ema, para firmar, endosar y aprobar los informes de calibración y/o ensayo, emitidos por el laboratorio.

El signatario debe contar como mínimo con estudios terminados de bachillerato o equivalente, y debe presentar los documentos que demuestren su formación académica. Además, debe demostrar conocimientos sobre:

- el sistema de gestión de calidad del laboratorio
- el Vocabulario Internacional de Metrología [8]
- el Sistema General de Unidades de Medida [5].
- la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN), en lo que concierne a patrones de medida y trazabilidad.
- el Reglamento de la LFMN, en lo que concierne a patrones de medida y trazabilidad.
- la Normatividad nacional e internacional relacionada con calibración de pesas.
- metrología de masa, calibración de pesas y sus magnitudes de influencia.
- medición o estimación de volumen y densidad de sólidos, según aplique.
- estimación y expresión de las incertidumbres de medición.
- experiencia mínima de 6 meses en calibración de pesas.

Si el signatario realiza funciones de calibración, debe tener las habilidades descritas para el personal operativo.

4.5.2. Personal Operativo

Es todo aquel personal del laboratorio que realizan en forma total o parcial muestreos, ensayos y/o calibraciones.

El personal operativo debe contar como mínimo con estudios terminados de secundaria, y debe presentar los documentos que demuestren su formación académica. Además, debe demostrar las habilidades específicas señaladas a continuación:

- Manejo de pesas.
- Operación de instrumentos para pesar.
- Aplicación de los procedimientos de calibración y de buenas técnicas de medición.
- Experiencia mínima en calibración de pesas de 6 meses y
- tener conocimientos del sistema de gestión del laboratorio de acuerdo a sus funciones

5. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA

Para cada valor nominal y su respectiva clase de exactitud, el laboratorio debe presentar un presupuesto de incertidumbres de medición que sea sustentable de acuerdo a los alcances e incertidumbres obtenidas de calibraciones rutinarias, expresados en la tabla de CMC e involucren a todos los elementos del sistema de medición.

Con base en la información anterior, el grupo evaluador puede confirmar que el sistema de medición es adecuado para la realización de los servicios a acreditar.

Para establecer los periodos de calibración, deben considerarse las siguientes opciones:

- El análisis estadístico de las gráficas de control de los resultados de las calibraciones de las pesas de referencia;
- El análisis de los controles estadísticos de las pesas de referencia en las calibraciones, sin recibir ningún tipo de ajuste, limpieza o determinación de volumen.
- Los certificados o informes de calibración de acuerdo al inciso 5.10.4.3 de la NMX-EC-17025-IMNC-2006 [4], deben contener la información del valor de masa convencional de las pesas previo y posterior a cualquier limpieza o ajuste (en caso de haber sido realizada alguna o ambas de estas acciones).

En calibración de pesas las verificaciones intermedias no son necesarias, siempre y cuando se realicen las siguientes prácticas:

- Los laboratorios deben definir periodos de calibración de sus patrones basados en el análisis de las gráficas de control de las calibraciones de sus patrones.
- En caso de que se trate de una pesa nueva (o juego de pesas nuevo), o bien, cuando sólo se tenga una calibración como historial, la segunda calibración debe realizarse en un periodo no mayor al que se indica en los criterios de aplicación de la NMX-EC-17025-IMNC-2006 [4].
- Comprobar la confiabilidad de los patrones en las calibraciones con la aplicación de pruebas estadísticas (prueba t y error normalizado) en el proceso de calibración, las cuales pueden proporcionar un indicio del comportamiento de los patrones.

6. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES Y MODELO DE MEDICIÓN

6.1. Términos y definiciones

Trazabilidad metrológica: Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado pueda relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida [8].

NOTAS:

- i. Este concepto se expresa frecuentemente por el adjetivo trazable.
- ii. La cadena ininterrumpida de comparaciones es llamada cadena de trazabilidad metrológica.

Patrón de medida: Realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medida asociada, tomada como referencia [8].

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 [8].

Verificación: Aportación de evidencia objetiva de que un elemento satisface los requisitos especificados [8].

6.2. Utilidad de la trazabilidad

La trazabilidad es la propiedad que permite relacionar el resultado de una medición con un valor de referencia, por lo que es indispensable para la confianza en las mediciones. Cabe subrayar que sólo tienen sentido las comparaciones entre medidas asociadas a una misma magnitud.

La trazabilidad de una medición está relacionada con la diseminación de la unidad correspondiente a esa medición. La expresión del valor de una magnitud incluye la referencia a una unidad de medida, la cual ha sido elegida por acuerdo, y por tanto, las medidas de la misma magnitud deben estar referidas a la misma unidad. Aun cuando la definición de trazabilidad no impone limitaciones sobre la naturaleza de las referencias determinadas, es conveniente lograr la uniformidad universal de las mismas mediante el uso de las unidades del Sistema Internacional de Unidades, SI, las cuales ya han sido convenidas en el marco de la Convención del Metro. En México, es obligatorio el uso del Sistema General de Unidades de Medida [5], el cual contiene a las unidades del SI.

El patrón nacional constituye el primer eslabón de la cadena de trazabilidad. Las calibraciones de instrumentos o patrones de medición constituyen los subsecuentes eslabones de la cadena de trazabilidad.

6.3. Elementos de la trazabilidad

- El laboratorio debe contar con patrones de referencia del valor nominal conforme a los servicios que ofrece y conforme a lo establecido en el punto 1.3.1 de la OIML R 111-1 [1]. El uso recomendado de las pesas es:

Clase E_1 : Pesas utilizadas para asegurar la trazabilidad entre los patrones nacionales (con los valores derivados del Prototipo Internacional del kilogramo) y las pesas de clase E_2 y las de menor exactitud. Las pesas o juegos de esas de clase E_1 deben ir acompañadas de un certificado de calibración.

Clase E_2 : Pesas para ser utilizadas en la verificación o calibración de pesas de clase F_1 y de instrumentos para pesar de clase exactitud especial I. Las pesas o juegos de pesas de la clase E_2 deben ir acompañados de un certificado de calibración emitido por el CENAM o informe de calibración emitido por un laboratorio acreditado ante la **emα, a.c.** o por organismos de acreditación equivalentes que sean signatarios de acuerdos de reconocimiento mutuo, cabe aclarar que en todo momento se debe dar cumplimiento a lo indicado en los artículos 26, 70 y 87-B de la LFMN. Pueden utilizarse como pesas E_1 si cumplen con los requisitos de rugosidad superficial, susceptibilidad magnética y magnetización de las pesas de clase E_1 y, si su certificado o informe proporciona los datos apropiados específicos en el punto 15.2.2.1 de la OIML R 111-1 [1]. Si estas pesas se calibran con la incertidumbre expandida correspondiente a $1/3$ del EMP de la clase E_1 , pueden utilizarse para calibrar pesas clase E_2 siempre y cuando se cumpla con los siguientes requisitos: el certificado de pesas E_1 debe indicar al menos, los valores de masa convencional, incertidumbre expandida, factor de cobertura y la densidad o el volumen para cada pesa (ver inciso 15.2.2) y se demuestre objetivamente el cumplimiento de los requisitos señalados.

Clase F_1 : Pesas para ser utilizadas en la verificación o calibración de pesas de clase F_2 y de instrumentos para pesar de clase exactitud especial I y clase de exactitud alta II.

Clase F₂: Pesas para ser utilizadas en la verificación o calibración de pesas de clase M₁ y posiblemente M₂ y de instrumentos para pesar de clase de exactitud alta II.

Clase M₁: Pesas para ser utilizadas en la verificación o calibración de pesas de clase M₂ y de instrumentos para pesar de clase de exactitud media III.

Clase M₂: Pesas para ser utilizadas en la verificación o calibración de pesas de clase M₃ y de instrumentos para pesar de clase de exactitud media III.

Clase M₃: Pesas para ser utilizadas en la verificación o calibración de instrumentos para pesar de clase de exactitud ordinaria IIII.

Clases M₁₋₂ y M₂₋₃: Pesas de 50 kg a 5 000 kg de menor exactitud para ser utilizadas con instrumentos para pesar de clase de exactitud media III.”

- Los patrones de referencia y de trabajo del laboratorio deben contar con un certificado de calibración emitido por el CENAM o informe de calibración emitido por un laboratorio acreditado ante la **ema**, a.c. o por organismos de acreditación equivalentes que sean signatarios de acuerdos de reconocimiento mutuo, cabe aclarar que en todo momento se debe dar cumplimiento a lo indicado en los artículos 26, 70 y 87-B de la LFMN.
- Los equipos auxiliares que intervengan en la calibración y que contribuyan de manera significativa a la incertidumbre de medición, deben contar con un certificado de calibración emitido por el CENAM o un informe de calibración emitido por un laboratorio acreditado ante la **ema** o por organismos de acreditación equivalentes que sean signatarios de acuerdos de reconocimiento mutuo, cabe aclarar que en todo momento se debe dar cumplimiento a lo indicado en los artículos 26, 70 y 87-B de la LFMN.

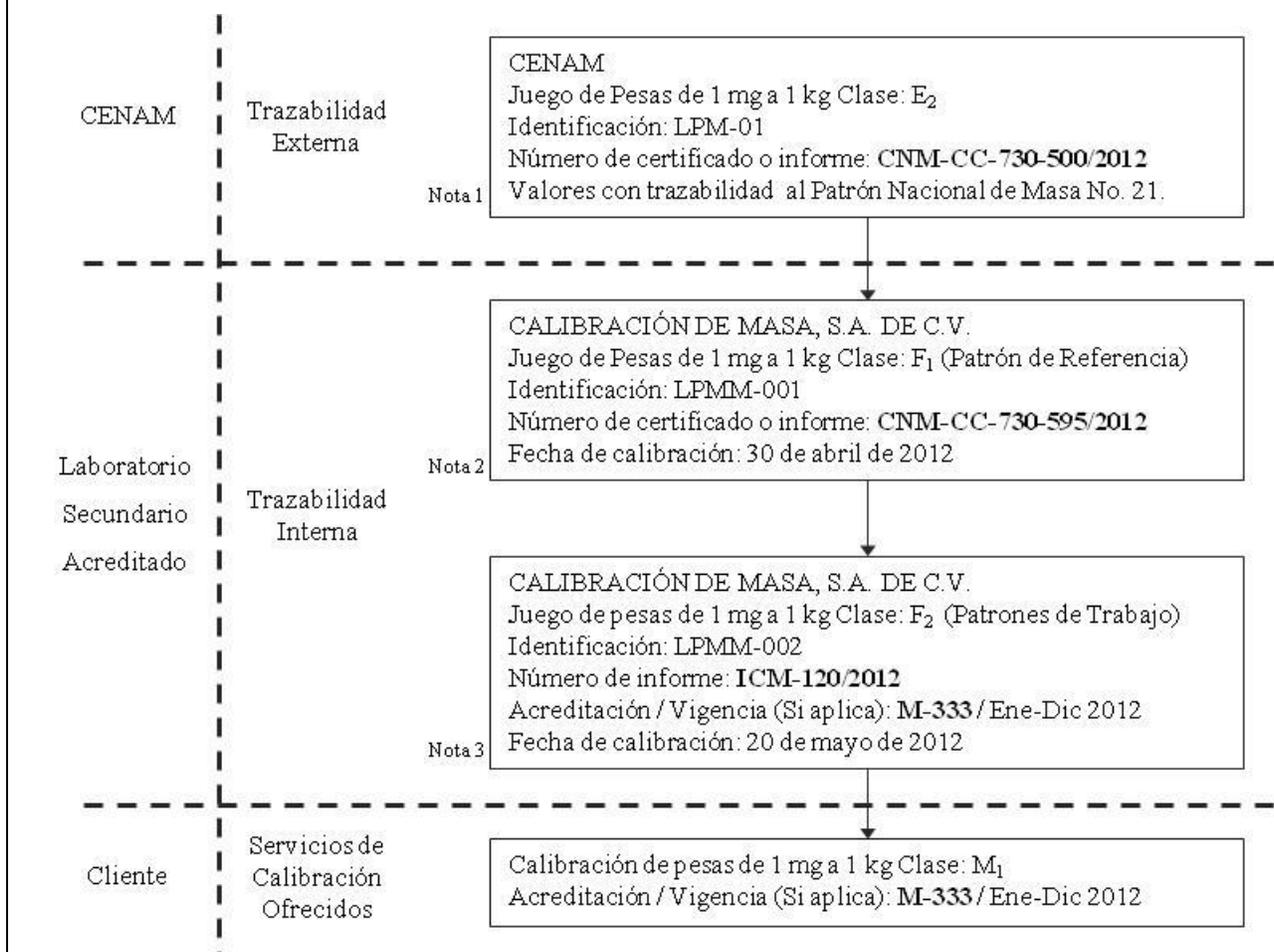
Nota: cuando se trate de evaluación de la conformidad de normas oficiales mexicanas tanto los patrones como los equipos auxiliares deberán ser calibrados por un laboratorio acreditado y aprobado por la dirección general de normas, cuando aplique.

- El certificado y/o informe de calibración debe ser vigente, de acuerdo al programa de calibración definido por el laboratorio, el cual debe estar documentado.
- El laboratorio debe contar con la documentación de la cadena de trazabilidad metrológica.
- La trazabilidad metrológica debe ser siempre hacia el Patrón Nacional de Masa, el prototipo No. 21 del kilogramo (o a otro patrón nacional en caso de no llevar a cabo la evaluación de conformidad de NOM), y en la documentación de la cadena de trazabilidad metrológica deben hacer referencia al organismo responsable de la calibración en cada eslabón.
- Si el laboratorio calibra instrumentos para pesar y pesas, jamás debe utilizar los mismos patrones para ambos servicios. Los patrones de referencia deben permanecer siempre en el laboratorio de calibración.
- Las pesas que se identifiquen como patrones de referencia deben destinarse únicamente para calibrar las pesas de trabajo del laboratorio.

- Las pesas de referencia y de trabajo deben manipularse solamente por personal competente y dentro del laboratorio de calibración, excepto para las pesas clase M que se almacenan, pintan, ajustan, etc. fuera del laboratorio.
- El laboratorio debe evaluar sistemáticamente, la repetibilidad, sensibilidad y excentricidad de los instrumentos para pesar utilizados en la calibración (de acuerdo a sus procedimientos) lo cual no implica que deban ser calibrados.
- El laboratorio debe demostrar que los valores de sus patrones son trazables al Sistema General de Unidades de Medidas [5], documentando cada uno de los elementos de la trazabilidad. Llenará el eslabón correspondiente según la clase de exactitud de las pesas que vaya a calibrar con los siguientes datos:
 - a) Identificación de los patrones de calibración: Identificación del patrón, valor nominal, clase de exactitud, incertidumbre.
 - b) Número de certificado o informe.
 - c) Cuando aplique número de acreditación del laboratorio que calibró los patrones de referencia y/o de trabajo.
 - d) Fecha de la calibración.
- Debe llenar también el eslabón anterior de la cadena de trazabilidad, ya sea escribiendo “CENAM”, o los datos siguientes del laboratorio acreditado que calibró sus patrones:
 - a) No. de acreditación
 - b) Magnitud
 - c) Alcance permitido (valores nominales y clase de exactitud)
 - d) Vigencia de la acreditación

A continuación se dan unos ejemplos generalizados para elaborar el esquema de trazabilidad en calibración de pesas:

Ejemplo 1: Laboratorio secundario que calibra sus patrones directamente con CENAM:



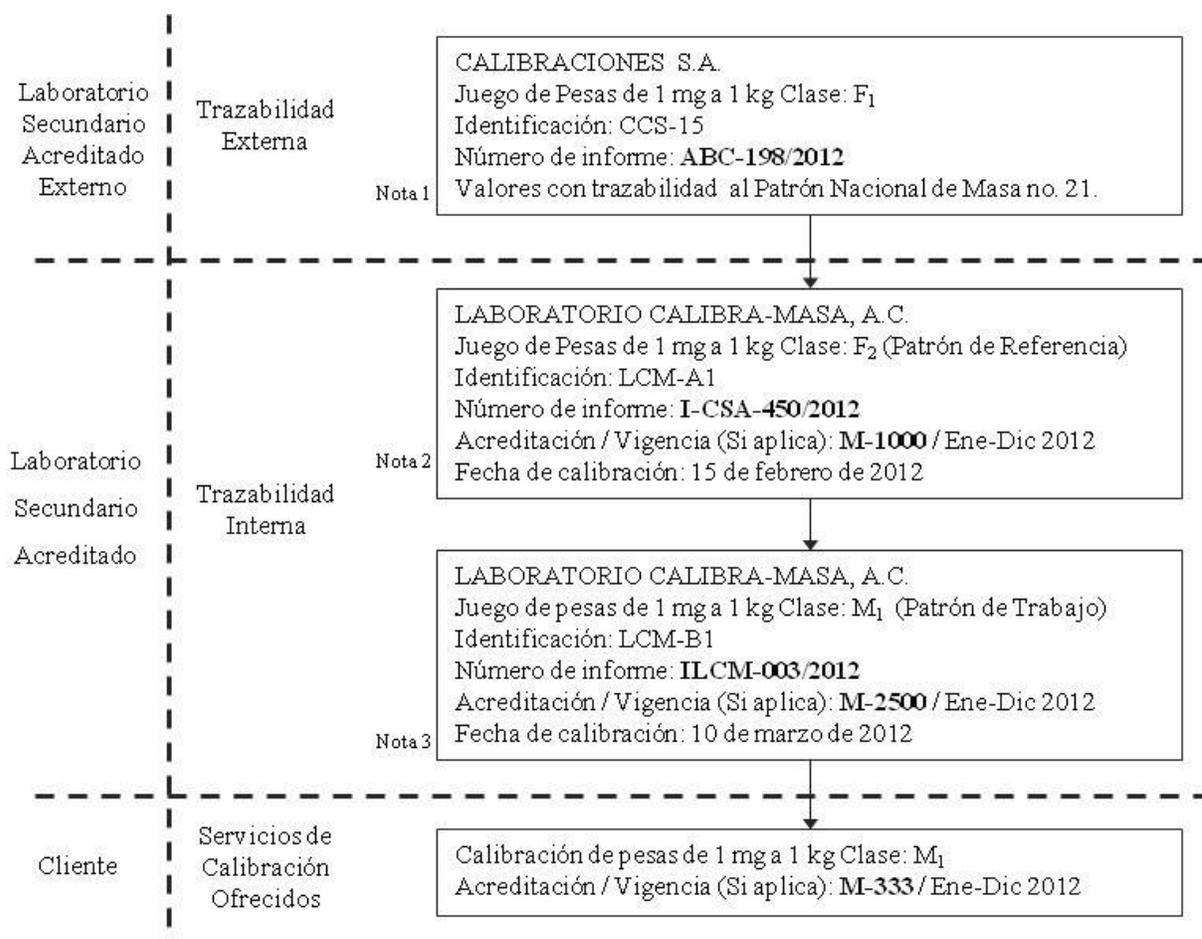
Nota 1: La información de trazabilidad externa corresponde a los datos del patrón usado por el CENAM que calibra los patrones al laboratorio acreditado.

Nota 2: Dado que el CENAM calibra el patrón de referencia del laboratorio acreditado, no hay número de acreditación asociado a este certificado, en este caso el certificado CNM-CC-730-595/2012 emitido por el CENAM.

Nota 3: El número de certificado del patrón de trabajo del laboratorio acreditado está asociado al número de su propia acreditación (para el caso que dicho laboratorio calibre sus propios patrones), en este caso la acreditación M-333 corresponde al certificado ICM-120/2012 emitido por CALIBRACIÓN DE MASA, S.A DE C.V.

Este eslabón puede omitirse en caso que el laboratorio acreditado no calibre sus patrones de trabajo.

Ejemplo 2: Laboratorio secundario que calibra sus patrones con otro laboratorio secundario:



Nota 1: La información de trazabilidad externa corresponde a los datos del patrón usado por el laboratorio que calibra los patrones al laboratorio acreditado.

Nota 2: El número de certificado del patrón de referencia del laboratorio acreditado está asociado al número de acreditación del laboratorio secundario que las calibró, en este caso la acreditación M-1000 corresponde al certificado I-CSA-450/2012 emitido por el laboratorio CALIBRACIONES S.A.

Nota 3: El número de certificado del patrón de trabajo del laboratorio acreditado está asociado al número de su propia acreditación (para el caso que dicho laboratorio calibre sus propios patrones), en este caso la acreditación M-2500 corresponde al certificado ILCM-003/2012 emitido por LABORATORIO CALIBRA-MASA, A.C.

Este eslabón puede omitirse en caso que el laboratorio acreditado no calibre sus patrones de trabajo.

6.4. Modelo Matemático de la medición de masa y masa convencional

6.4.1. Requisitos previos a la calibración.

Antes de la determinación de la masa o masa convencional, la densidad de las pesas debe ser conocida con suficiente exactitud, además, las condiciones ambientales y las características metroológicas de los instrumentos para pesar deben ser las adecuadas de acuerdo a la clase de exactitud de la pesa a calibrar.

Si la densidad del aire en el lugar de calibración se desvía más del 10% respecto al valor convencional del aire de 1.2 kg/m³ y la clase de la pesa bajo calibración es E se debe 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 aplicando la fórmula 1 del OIML D 28 [3] calcular el valor de masa convencional. En caso contrario se puede calibrar directamente en masa convencional.

NOTA: A partir de la relación funcional de la fórmula del D28 se puede pasar de masa a masa convencional y de masa convencional a masa, La estimación de incertidumbre debe realizarse a partir de esta misma fórmula.

Para obtener el valor de masa convencional de la pesa bajo calibración, partiendo de su valor de masa se utiliza la siguiente fórmula [3]:

$$m_{ct} = m_t \left[\frac{1 - \frac{\rho_0}{\rho_t}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}} \right] \quad (4)$$

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 al valor convencional de la densidad del aire (1.2 kg/m³).
- 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/m³).

Para estimar la incertidumbre de la masa convencional se sigue la ley de la propagación de incertidumbres [6] y se obtiene de la siguiente forma:

$$U(m_{ct}) = k \sqrt{\left(\frac{\partial m_{ct}}{\partial m_t} u(m_t) \right)^2 + \left(\frac{\partial m_{ct}}{\partial \rho_t} u(\rho_t) \right)^2} \quad (5)$$

Donde:

- $U(m_{ct})$ es la estimación de incertidumbre expandida del valor de masa convencional utilizando la formula 1 del OIML D 28 [3]
- k es el factor de cobertura
- $\frac{\partial m_{ct}}{\partial m_t}$ coeficiente de sensibilidad del valor de masa de la pesa bajo calibración
- $u(m_t)$ es la incertidumbre estándar del valor de masa de la pesa bajo calibración.

$\frac{\partial m_{ct}}{\partial \rho_t}$ coeficiente de sensibilidad del valor de densidad de la pesa bajo calibración
 $u(\rho_t)$ es la incertidumbre estándar del valor de densidad de la pesa bajo calibración.

Derivando parcialmente, el valor del coeficiente de sensibilidad de la masa de la pesa bajo calibración se estima como sigue:

$$\frac{\partial m_{ct}}{\partial m_t} = \left[\frac{1 - \frac{\rho_0}{\rho_t}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}} \right] \quad (6)$$

El valor del coeficiente de sensibilidad de la densidad de la pesa bajo calibración se estima como sigue:

$$\frac{\partial m_{ct}}{\partial m(\rho_t)} = \left[\frac{m_t}{1 - \frac{\rho_0}{\rho_c}} \right] \left(\frac{\rho_0}{\rho_t^2} \right) \quad (7)$$

Conociendo estos datos se puede hacer el cálculo para la estimación de incertidumbre asociada al valor de masa convencional de la pesa bajo calibración, cuando ya se tiene estimado el valor de masa y densidad con su incertidumbre asociada de la pesa bajo calibración.

6.4.2. Modelo matemático

El modelo matemático para la determinación de la masa (m_t) o masa convencional (m_{ct}) (método de comparación directa).

Nota: El subíndice “t” hace alusión a la pesa bajo calibración (pesa a calibrar) y el subíndice “r” a la pesa de referencia (pesa patrón). Si se calibra en masa utilizar los valores de masa de la (s) pesa(s) de referencia; si se hace la calibración directa en masa convencional utilizar los valores de masa convencional de la (s) pesa(s) de referencia.

El valor de masa o masa convencional de la pesa bajo calibración se puede estimar mediante la siguiente fórmula:

Para masa:

$$m_t = m_r + \overline{\Delta m} \quad (8)$$

Donde:

m_t es la masa de la pesa bajo calibración.
 m_r es la masa de la pesa de referencia (patrón).
 $\overline{\Delta m}$ es el promedio de las diferencias en masa de los n ciclos de pesada.

Para masa convencional:

$$m_{ct} = m_{cr} + \overline{\Delta m_c} \quad (9)$$

Donde:

m_{ct} es la masa convencional de la pesa bajo calibración.
 m_{cr} es la masa convencional de la pesa de referencia (patrón).

$\overline{\Delta m_c}$ es el promedio de las diferencias en masa convencional de los n ciclos de pesada.

El promedio de las diferencias se obtiene de la siguiente fórmula:

Para masa:

$$\overline{\Delta m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta m_i \quad (10)$$

Donde:

Δm_i es la diferencia de masa que existe entre la (s) pesa (s) bajo calibración y la (s) pesa (s) de referencia en el ciclo i .

Para masa convencional:

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta m_{ci} \quad (11)$$

Donde:

Δm_{ci} es la diferencia de masa convencional que existe entre la (s) pesa (s) bajo calibración y la (s) pesa (s) de referencia en el ciclo i .

6.4.3. Diferencia en masa o masa convencional.

La diferencia de masa o masa convencional entre la pesa bajo calibración y la pesa de referencia en el ciclo i , es:

Para masa:

$$\Delta m_i = \Delta I_i + m_r C_i \quad (12)$$

Donde:

Δm_i es la diferencia de masa entre (s) pesa(s) bajo calibración y la (s) pesa (s) de referencia en el ciclo i .

ΔI_i es la diferencia de indicaciones obtenidas en el instrumento para pesar en el ciclo i .

m_r es el valor de masa de la pesa de referencia (patrón)

C_i es la corrección por empuje del aire del valor de masa en el ciclo i .

Para masa convencional:

$$\Delta m_{ci} = \Delta I_i + m_{cr} C_{ci} \quad (13)$$

Donde:

Δm_{ci} es la diferencia de masa convencional entre (s) pesa(s) bajo calibración y la (s) pesa (s) de referencia en el ciclo i .

ΔI_i es la diferencia de indicaciones obtenidas en el instrumento para pesar en el ciclo i .

m_{cr} es el valor de masa convencional de la pesa de referencia (patrón)

C_{ci} es la corrección por empuje del aire del valor de masa convencional en el ciclo i .

Basados en los ciclos de pesada se calcula ΔI_i de la siguiente forma:

a) Ciclo ABBA ($r_1 t_1 t_2 r_2$): $I_{r_{11}}, I_{t_{11}}, I_{t_{21}}, I_{r_{21}}, \dots, I_{r_{1n}}, I_{t_{1n}}, I_{t_{2n}}, I_{r_{2n}}$

$$\Delta I_i = \frac{I_{t_{1i}} - I_{r_{1i}} - I_{r_{2i}} + I_{t_{2i}}}{2} \quad (14)$$

Donde: $i = 1, \dots, n$

b) Ciclo ABA ($r_1 t_1 r_2$): $I_{r_{11}}, I_{t_{11}}, I_{r_{21}}, \dots, I_{r_{1n}}, I_{t_{1n}}, I_{r_{2n}}$

$$\Delta I_i = I_{t_{1i}} - \frac{I_{r_{1i}} + I_{r_{2i}}}{2} \quad (15)$$

Donde: $i = 1, \dots, n$

$I_{r_{1i}}$ es la indicación del instrumento para pesar al colocar la pesa de referencia por primera vez en el ciclo i .

$I_{r_{2i}}$ es la indicación del instrumento para pesar al colocar la pesa de referencia por segunda vez en el ciclo i .

$I_{t_{1i}}$ es la indicación del instrumento para pesar al colocar la pesa bajo calibración por primera vez en el ciclo i .

$I_{t_{2i}}$ es la indicación del instrumento para pesar al colocar la pesa bajo calibración por segunda vez en el ciclo i .

c) AB₁, ... B_nA

$$\Delta I_{(n)i} = I_{t_{(n)i}} - \frac{I_{r_{1i}} + I_{r_{2i}}}{2} \quad (16)$$

Donde:

$\Delta I_{(n)i}$ es la diferencia de indicaciones obtenidas en el instrumento para pesar en el ciclo i con la pesa n .

$I_{r_{1i}}$ es la indicación del instrumento para pesar al colocar la pesa de referencia por primera vez en el ciclo i .

$I_{r_{2i}}$ es la indicación del instrumento para pesar al colocar la pesa de referencia por segunda vez en el ciclo i .

$I_{t_{(n)i}}$ es la indicación del instrumento para pesar al colocar la pesa n bajo calibración en el ciclo i .

Nota: en el caso c si la deriva en la indicación del instrumento para pesar es insignificante, es decir menos o igual a un tercio de la incertidumbre requerida, no es necesario invertir el orden de las pesas bajo calibración al repetir la secuencia AB₁...B_nA. Normalmente, el número de pesas no debería ser superior a 5.

El número de ciclos de pesaje, i , debe basarse en la incertidumbre requerida, en la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones.

6.4.4. Corrección por empuje del aire.

Corrección por empuje en masa:

$$C_i = \rho_{ai} \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_r} \right) \quad (17)$$

Donde:

- C_i es la corrección por empuje en masa del ciclo i
- ρ_{ai} es la densidad del aire en el lugar de calibración en el ciclo i .
- ρ_t es la densidad de la pesa bajo calibración.
- ρ_r es la densidad de la pesa de referencia

Corrección por empuje en masa convencional:

$$C_{ci} = (\rho_{ai} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_r} \right) \quad (18)$$

Donde:

- C_{ci} es la corrección por empuje en masa convencional del ciclo i
- ρ_{ai} es la densidad del aire en el lugar de calibración en el ciclo i .
- ρ_t es la densidad de la pesa bajo calibración.
- ρ_r es la densidad de la pesa de referencia
- ρ_0 es la densidad del aire convencional (1.2 kg/m^3).

Esta corrección en masa convencional es posible que sea insignificante cuando se cumple lo siguiente:

$$|C_{ci}| \leq \frac{U}{3m_0} \quad (19)$$

Donde:

- U es la incertidumbre requerida de la pesa bajo calibración de acuerdo a su valor nominal y clase (en masa convencional).
- m_0 es el valor nominal de la pesa bajo calibración.

Si el criterio anterior se cumple, la corrección por empuje puede ser omitida, sin embargo, la contribución a la incertidumbre puede no ser insignificante, por lo tanto se debe hacer el análisis para saber si se puede o no omitir esta corrección. El laboratorio deberá documentar dicho análisis.

Existen diferentes fórmulas para calcular la densidad del aire, siendo la fórmula conocida como CIPM 2007 la que menor incertidumbre ofrece, sin embargo el laboratorio puede utilizar otras fórmulas evaluando el aporte de la densidad del aire en la incertidumbre requerida de la calibración.

7. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

Incertidumbre de medida: Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza [6].

7.1. Elementos de la incertidumbre de medida

- El informe de calibración de una pesa debe expresar el valor de masa convencional y su incertidumbre asociada (incertidumbre expandida). La cual no debe resultar mayor a 1/3 del error máximo permitido que le corresponda a la clase de la pesa. Excepto clase E₁ y E₂ donde debe declararse el valor de masa.

Las pesas de clases E deben ser calibradas tanto en masa como en masa convencional.

- El informe de calibración de una pesa debe expresar el valor de masa y su incertidumbre asociada, sólo si la pesa bajo calibración es un patrón de referencia clase E declarado por el cliente.
- En el informe de calibración de una pesa se debe declarar el valor de densidad y su incertidumbre asociada que se utilizaron para estimar los valores de masa y masa convencional, según sea el caso.
- El valor de incertidumbre debe ser soportado en los registros por una lista completa de los componentes considerados, especificando para cada componente el método usado para la obtención del valor numérico. Deben identificar y hacer una relación de las fuentes de incertidumbre, demostrar cómo y de dónde se obtiene cada una de ellas, cómo se combinan y cómo se determina la incertidumbre expandida.
- Los laboratorios deben determinar y mantener disponible el presupuesto de incertidumbres de cada uno de los servicios de calibración para los que están acreditados.
- Para todas las clases de exactitud, el laboratorio debe tener un procedimiento escrito sobre la forma de evaluar la incertidumbre de la calibración de las pesas que incluya la forma en que se debe expresar la incertidumbre en un certificado, dictamen o informe de calibración.

Para la calibración de pesas clase E, este procedimiento deber incluir la evaluación de los grados efectivos de libertad [6] y expresar el resultado de la medición con un nivel de confianza de aprox. 95 %.

- Debe tener documentado al menos, un cálculo numérico de la estimación de la incertidumbre de medición, con valores reales, mediante un ejemplo numérico.
- Deben presentar un resumen del presupuesto de incertidumbre en forma de tabla como muestra el anexo
- La evaluación de incertidumbre debe considerar al menos las siguientes fuentes de incertidumbre
 - La incertidumbre del patrón
 - La incertidumbre debida a la resolución del instrumento para pesar
 - La desviación estándar experimental de la medición

La lista de fuentes de incertidumbre se incrementará en función de la incertidumbre requerida, que está en función de la clase de exactitud de pesas que se vaya a calibrar

Nivel de confianza: El valor (1- α) de la probabilidad asociada con un intervalo de confianza o un intervalo de cobertura estadística [6].

Factor de cobertura: Número mayor que uno por el que se multiplica una incertidumbre típica combinada para obtener una incertidumbre expandida [6].

La declaración de la incertidumbre de medición es indispensable en los resultados de calibración o en la aplicación de mediciones en los procesos de diseminación de unidades de medida, dado que éstos denotan los eslabones de la cadena de trazabilidad.

7.2. Estimación de la incertidumbre de medición

Es recomendable seguir la NMX-CH-140-IMNC-2006 [6] o algunos documentos relacionados. Como alternativa, la contribución de algunas fuentes de incertidumbre a la incertidumbre de un resultado de medición puede estimarse mediante simulación numérica.

Las desviaciones de estas referencias requieren la validación del método.

Previo a la calibración, se deberá evaluar las propiedades magnéticas de la pesa a calibrar, ya sea utilizando algunos de los métodos propuestos en el anexo B.6 de la OIML R111-1 [1] o bien, algún otro método que permita estimar efectos magnéticos durante la calibración de las pesas para obtener su valor de masa o masa convencional (p.ej. se sugiere como método cualitativo el uso de un material no magnético entre la pesa y el receptor de carga); lo anterior se debe documentar en el procedimiento de calibración del laboratorio. Es muy importante señalar que si la pesa bajo calibración no cumple con los requisitos propios de su clase en cuanto a las propiedades magnéticas se refiere, se recomienda no calibrarla.

No todas las actividades que se realizan para la calibración de pesas requieren una acreditación independiente (por ejemplo para medir la densidad del aire). Es importante que el laboratorio tenga la posibilidad de determinar si la pesa presenta evidencia de que sus propiedades magnéticas pueden afectar el resultado de la medición de masa o masa convencional.

7.3. Cálculo de la estimación de la incertidumbre

7.3.1. Incertidumbre estándar debido al proceso de pesaje u_w

Para masa:

$$u_w(\overline{\Delta m}) = \frac{s(\overline{\Delta m_i})}{\sqrt{n}} \quad (20)$$

Para masa convencional:

$$u_w(\overline{\Delta m_c}) = \frac{s(\overline{\Delta m_{ci}})}{\sqrt{n}} \quad (21)$$

Donde:

$s(\overline{\Delta m_i})$ Es la desviación estándar de las diferencias de masa, para los n ciclos de pesaje

$s(\overline{\Delta m_{ci}})$ Es la desviación estándar de las diferencias de masa convencional, para los n ciclos de pesaje

Para pesas F_2 , M_1 , M_2 y M_3 , si no se conoce la desviación estándar de las mediciones de diferencia a partir de datos históricos puede calcularse como:

Para masa:

$$s(\overline{\Delta m_i}) = \frac{\max(\Delta m_i) - \min(\Delta m_i)}{2 \times \sqrt{3}} \quad (22)$$

Para masa convencional:

$$s(\overline{\Delta m_{ci}}) = \frac{\max(\Delta m_{ci}) - \min(\Delta m_{ci})}{2 \times \sqrt{3}} \quad (23)$$

Con la condición de realizar al menos 3 ciclos de pesaje.

La desviación estándar de las diferencias de masa también puede calcularse de la siguiente forma:

Para masa:

$$s(\overline{\Delta m_i}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta m_i - \overline{\Delta m})^2} \quad (24)$$

Donde:

- $s(\overline{\Delta m_i})$ es la desviación estándar de las diferencias de masa, para los n ciclos de pesaje.
- Δm_i es la diferencia de masa entre la(s) pesa(s) bajo calibración y la(s) pesa(s) de referencia en el ciclo i .
- $\overline{\Delta m}$ es el promedio de las diferencias de los n ciclos de pesada.

Para masa convencional:

$$s(\overline{\Delta m_{ci}}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta m_{ci} - \overline{\Delta m_c})^2} \quad (25)$$

Donde:

- $s(\overline{\Delta m_{ci}})$ es la desviación estándar de las diferencias de masa convencional para los n ciclos de pesaje
- Δm_{ci} es la diferencia de masa convencional entre la(s) pesa(s) bajo prueba y la(s) pesa(s) de referencia en el ciclo i
- $\overline{\Delta m_c}$ es el promedio de las diferencias de los n ciclos de pesada

7.3.2. Incertidumbre de la pesa de referencia $u(m_r)$ y $u(m_{cr})$

La incertidumbre estándar, $u(m_r)$ del valor de masa o $u(m_{cr})$ masa convencional de la pesa de referencia se calcula a partir del certificado de calibración dividiendo la incertidumbre expandida reportada en el certificado, U , entre el factor de cobertura k (generalmente $k = 2$) y deberá combinarse con la incertidumbre debida a la inestabilidad de la pesa (deriva de la pesa), $u_{inest}(m_r)$.

Para masa:

$$u(m_r) = \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{inest}^2(m_r)} \quad (26)$$

Donde:

- $u(m_r)$ es la incertidumbre de la (s) pesas de referencia de su valor en masa.
- U es la incertidumbre expandida de la (s) pesa(s) de referencia de su valor en masa.
- k es el factor de cobertura de la (s) pesa(s) de referencia de su valor en masa.
- $u_{inest}(m_r)$ es la incertidumbre de la (s) pesa (s) de referencia de su valor en masa debido a su inestabilidad (deriva).

Para masa convencional:

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{inest}^2(m_{cr})} \quad (27)$$

Donde:

- $u(m_{cr})$ es la incertidumbre de la (s) pesas de referencia de su valor en masa convencional.
- U es la incertidumbre expandida de la (s) pesa(s) de referencia de su valor en masa convencional.
- k es el factor de cobertura de la (s) pesa(s) de referencia de su valor en masa convencional.
- $u_{inest}(m_{cr})$ es la incertidumbre de la (s) pesa (s) de referencia de su valor en masa convencional debido a su inestabilidad (deriva).

La incertidumbre debida a la inestabilidad de la pesa se calcula a partir de cambios observados después de haber calibrado la pesa de referencia al menos dos veces. Si estos datos no están disponibles, la estimación tiene que basarse en la experiencia.

Si la pesa de referencia esta verificada y es de clase F_1 o de una clase de exactitud inferior y tiene un certificado de conformidad con OIML R 111-1[1] que no indica su valor de masa e incertidumbre, la incertidumbre puede calcularse a partir del error máximo permitido δm de su clase específica y valor nominal:

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\frac{\delta m^2}{3} + u_{inest}^2(m_{cr})} \quad (28)$$

Si se utiliza una combinación de pesas de referencia para una comparación de masa y sus varianzas no son conocidas, se puede asumir un coeficiente de correlación igual a 1. Esto da como resultado la suma lineal de las incertidumbres:

Para masa:

$$u(m_r) = \sum_{i=1}^n u(m_{ri}) \quad (29)$$

Donde:

$u(m_{ri})$ es la incertidumbre estándar del (os) valor (es) de masa de la(s) pesa(s) de referencia i .

Para masa convencional:

$$u(m_{cr}) = \sum_{i=1}^n u(m_{cri}) \quad (30)$$

Donde:

$u(m_{cri})$ es la incertidumbre estándar del (os) valor (es) de masa convencional de la(s) pesa(s) de referencia i , este es un límite superior de la incertidumbre.

7.3.3. Incertidumbre de la corrección por empuje del aire u_b y u_{cb}

La incertidumbre de la corrección por empuje del aire se calcula a partir de la siguiente ecuación

Para masa:

$$u_b = \sqrt{\left[m_r u(\rho_a) \left(\frac{\rho_r - \rho_t}{\rho_r \rho_t} \right) \right]^2 + \left[m_r \rho_a \frac{u(\rho_t)}{\rho_t^2} \right]^2 + \left[m_r \rho_a \frac{u(\rho_r)}{\rho_r^2} \right]^2} \quad (31)$$

Donde:

u_b es la incertidumbre de la corrección por empuje del aire del valor de masa de la(s) pesa(s) bajo calibración.

$u(\rho_t)$ incertidumbre de la densidad de la(s) pesa(s) bajo calibración.

m_r es el valor de masa de la(s) pesa(s) de referencia (patrón).

Para masa convencional:

$$u_{cb} = \sqrt{\left[m_{cr} u(\rho_a) \left(\frac{\rho_r - \rho_t}{\rho_r \rho_t} \right) \right]^2 + \left[m_{cr} (\rho_a - \rho_0) \frac{u(\rho_t)}{\rho_t^2} \right]^2 + \left[m_{cr} (\rho_a - \rho_0) \frac{u(\rho_r)}{\rho_r^2} \right]^2} \quad (32)$$

Donde:

u_{cb} es la incertidumbre de la corrección por empuje del aire del valor de masa convencional de la(s) pesa (s) bajo calibración.

$u(\rho_t)$ incertidumbre de la densidad de la(s) pesa(s) bajo calibración.

m_{cr} es el valor de masa convencional de la(s) pesa (s) de referencia (patrón).

Aunque la corrección del empuje del aire resulte insignificante (ver 6.4.4) la contribución a la incertidumbre del efecto del empuje puede no ser insignificante y debe tomarse en cuenta si:

$$u_{cb} \geq u_c/3$$

Donde:

u_c es la incertidumbre estándar combinada de la medición de la masa.

Para las clases M₁, M₂ y M₃, la incertidumbre debida a la corrección por empuje del aire es insignificante y por lo general puede ser omitida.

Las densidades de las pesas tienen que ser conocidas con su incertidumbre asociada adecuada de acuerdo a su clase de exactitud. Ver B.7 de R-111 [1]

7.3.3.1. Estimación de la densidad del aire y su incertidumbre asociada.

Si no se mide la densidad del aire y se utiliza la densidad promedio del aire del lugar, entonces la incertidumbre de la densidad del aire se debe calcular como:

$$u(\rho_a) = \frac{0.12}{\sqrt{3}} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (33)$$

Puede utilizarse un menor valor de incertidumbre si se pueden sustentar con datos.

Al nivel del mar, se debería asumir que la densidad del aire es 1.2 kg/m³.

En el caso de pesas clase E, se debe determinar la densidad del aire. Se estima su incertidumbre a partir de las incertidumbres de la temperatura, presión y humedad del aire.

Se debe utilizar cualquier fórmula que contiene el anexo E de la OIML R 111-1:2004. Conforme a lo que se establece al final del inciso 6.4.4.

7.3.4. Incertidumbre del instrumento para pesar

Lo recomendado para determinar este componente es realizar calibraciones con los instrumentos para pesar a intervalos de tiempo razonables y utilizar los resultados en los cálculos de estimación de incertidumbre.

7.3.5. Incertidumbre del instrumento para pesar digital (resolución) u_d

Para un instrumento para pesar digital con intervalo de escala d , la incertidumbre de la resolución:

$$u_d = \left(\frac{\frac{d}{2}}{\sqrt{3}} \right) \sqrt{2} \quad (34)$$

El factor $\sqrt{2}$ proviene de las dos indicaciones, una con la pesa de referencia y otra con la pesa bajo calibración.

7.3.5.1. Incertidumbre del instrumento para pesar debido a la excentricidad u_E

Si se sabe que esta contribución es significativa, se debe calcular el valor u_E y, si es necesario, se debe incluir la contribución en el presupuesto de incertidumbre.

Una solución aceptable para la incertidumbre debida a la excentricidad es:

$$u_E = \frac{\frac{d_1}{d_2} D}{2\sqrt{3}} \quad (35)$$

Donde:

- D es la diferencia entre los valores máximo y mínimo de la prueba de excentricidad realizada de acuerdo con OIML R 76
- d_1 es la distancia estimada entre los centros de las pesas.
- d_2 es la distancia desde el centro del receptor de carga hasta una de las esquinas

En la mayoría de los casos, la contribución u_E ya está cubierta por la incertidumbre u_w del proceso de pesaje y puede ser ignorada.

Al utilizar instrumentos de intercambio automáticos de pesas, la diferencia de indicación, ΔI , entre dos pesas puede ser diferente cuando se intercambian las posiciones: $\Delta I_1 \neq \Delta I_2$. Esto puede interpretarse como un error de carga excéntrica y la incertidumbre correspondiente se estima de la siguiente forma:

$$u_E = \frac{|\Delta I_1 - \Delta I_2|}{2} \quad (36)$$

Esta contribución es aplicable si se conoce a partir de mediciones de intercambio anteriores con pesas del mismo valor nominal. En casos en los que se realiza el intercambio durante un procedimiento de calibración, se debe tomar el promedio de las dos diferencias de indicación como el resultado de pesaje y se puede ignorar u_E .

7.3.6. Incertidumbre debida al magnetismo u_{ma}

Si una pesa tiene una alta susceptibilidad magnética y/o se magnetiza, a menudo la interacción magnética puede reducirse colocando algún material no magnético entre la pesa y el receptor de carga al aumentar la distancia entre ambos. Si la pesa cumple con la OIML R 111-1 [1] se puede asumir que la contribución debida al magnetismo u_{ma} es cero.

7.3.7. Incertidumbre estándar del instrumento para pesar u_{ba}

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

$$u_{ba} = \sqrt{u_d^2 + u_E^2 + u_{ma}^2} \quad (37)$$

7.3.8. Incertidumbre estándar de la pesa bajo calibración $u(m_i)$

La incertidumbre estándar combinada de la masa de la(s) pesa(s) bajo calibración se estima por:

$$u(m_t) = \sqrt{u_w^2(\overline{\Delta m}) + u^2(m_r) + u_b^2 + u_{ba}^2} \quad (38)$$

La incertidumbre estándar combinada de la masa convencional de la(s) pesa(s) bajo calibración se estima por:

$$u_c(m_{ct}) = \sqrt{u_w^2(\overline{\Delta m_c}) + u^2(m_{cr}) + u_{cb}^2 + u_{ba}^2} \quad (39)$$

En la calibración de masa convencional, si no se aplica corrección por empuje $m_{cr}C_c$, se tiene que añadir una correspondiente contribución por empuje a la incertidumbre combinada además de u_{cb} .

$$u_c(m_{ct}) = \sqrt{u_w^2(\overline{\Delta m_c}) + u^2(m_{cr}) + u_{cb}^2 + (m_{cr}C_c)^2 + u_{ba}^2} \quad (40)$$

La incertidumbre expandida U , de la masa de la(s) pesa(s) es la siguiente:

$$U(m_t) = k u_c(m_t) \quad (41)$$

La incertidumbre expandida U , de la masa convencional de la(s) pesa(s) es la siguiente:

$$U(m_{ct}) = k u_c(m_{ct}) \quad (42)$$

8. VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN

El método de calibración que se establece en esta Guía es un método ampliamente conocido y publicado en recomendaciones internacionales, por tanto no es necesario validarlo.

De acuerdo a la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 [2] requisito 5.4.2 los laboratorios deben tener o presentar evidencias objetivas de la confirmación del método para demostrar que cumple con sus especificaciones y cuenta con la competencia técnica para realizarlo teniendo en cuenta sus instalaciones, equipo y personal.

9. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN

- Mantener las condiciones ambientales dentro de los valores especificados en el punto 4.4.3.1 de esta guía.
- Establecer medidas para controlar entrada de polvo al área destinada para la calibración.
- Siempre que se realice algún tipo de limpieza a las pesas que afecte de manera significativa su valor de masa, deben calibrarse posteriormente.

- Durante la limpieza se debe evitar el deterioro de la superficie de la pesa y las afectaciones de su valor de masa.
- Después de la limpieza, las pesas que se van a calibrar, deben tener un tiempo de estabilización en el laboratorio de calibración, de acuerdo a los datos de la siguiente tabla.

Tabla 3. Tiempo de ambientación después de limpieza.

Clases de Pesas	E₁	E₂	F₁	F₂ a M₃
Después de limpieza con alcohol	7-10 días	3-6 días	1-2 días	1 hora
Después de limpieza con agua destilada	4-6 días	2-3 días	1 día	1 hora

Para el caso de las pesas E1 o E2 cuyo valor de volumen o densidad fue determinado por pesada hidrostática (sumergidas en algún líquido, p. ej. agua), se deben respetar los tiempos de estabilización de la tabla anterior.

Todas las indicaciones del instrumento de transferencia deben tomarse solo cuando sean estables, el laboratorio debe tener un criterio para determinar el tiempo de estabilización de las indicaciones y mantenerse constantes.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OIML R 111-1, Weights of classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃, and M₃. Part 1: Metrological and technical requirements. Edition 2004 (E).
- [2] NOM-038-SCFI-2000, Pesas de clases de exactitud E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₂ y M₃.
- [3] OIML D 28, Conventional value of the result of weighing in air. Edition 2004 (E).
- [4] NMX-EC-17025-IMNC-2006, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
- [5] NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida.
- [6] NMX-CH-140-IMNC-2002, Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones.
- [7] L. O. Becerra y J. Nava, Incertidumbre en la Calibración de pesas por el método ABBA, Enero 2004.
<http://www.cenam.mx/publicaciones/gratuitas/>
- [8] NMX-Z-055-IMNC-2009 Vocabulario Internacional de metrología - Conceptos fundamentales y generales, términos asociados (VIM).

11. ANEXO

Ejemplo de calibración de pesas de masa a masa clase E₂

Datos de la pesa bajo calibración:

Pesa bajo calibración				EMP	
Valor nominal	1	kg	E ₂	0.0000016	kg
Volumen	125.8	cm ³		0.0001258	m ³
Incertidumbre del volumen k = 2	0.04	cm ³		0.00000004	m ³

Con estos datos se obtiene la densidad de la pesa:

Densidad de la pesa bajo calibración	7949.1	kg/m ³
Incertidumbre de la densidad k=1	1.3	kg/m ³

Datos de la pesa patrón:

Pesa Patrón				EMP	
Valor nominal	1	kg	E ₁	0.0000005	kg
Volumen	124.9	cm ³		0.0001249	m ³
Incertidumbre del volumen k = 2	0.04	cm ³		0.00000004	m ³

Correcciones obtenidas del certificado:

Corrección en masa		Corrección en masa convencional	
0.0000001	kg	0.000000220	kg

Se obtiene la densidad de la pesa:

Densidad de la pesa patrón	8006	kg/m ³
Incertidumbre de la densidad k=2	1.28	kg/m ³

Datos del instrumento e indicaciones obtenidas en la calibración:

Instrumento		
C 2000		
<i>max</i>	2000	g
Resolución	0.0001	g

Densidad del aire durante la calibración:

ρ_a (kg/m ³)	$u(\rho_a)$ (kg/m ³)
0.95450058	0.000364329

Indicaciones durante los ciclos de pesada:

Ciclos	A ₁ (g)	B ₁ (g)	B ₂ (g)	A ₂ (g)	ΔI		
1	-0.0004	-0.0020	-0.0018	-0.0003	0.00025		
2	-0.0002	-0.0020	-0.0018	-0.0003	0.00015		
3	-0.0002	-0.0017	-0.0018	-0.0002	0.00025		
					$\overline{\Delta I}$	0.0002167	g
					$S_{\overline{\Delta I}}$	0.0000577	g

Datos para la estimación de la contribución debida a la excentricidad del instrumento:

D	0.0001	g
d ₁	0.05	mm
d ₂	32.42	mm
u_E	0.000000045	g

Resultado de Corrección en masa		
m_r	0.0000001	kg
$\overline{\Delta m}$	0.0000011	kg
	0.0000012	kg
Ec. 8 y Ec.12	1.2	mg

Resultado de Corrección en masa convencional		
m_{rc}	0.0000002	kg
$\overline{\Delta m}$	0.00000000	kg
	0.0000002	kg
Ec. 9 y Ec.13	0.22	mg

Tabla de presupuesto para calibración de masa a masa:

Contribución	Tipo	Distribución de probabilidad	Número de ecuación de la guía de pesas	Estimado	unidad de medida
Incertidumbre estándar del proceso de pesada,	A	Normal	Ec. 20	0.000000033	kg
desviación estándar				0.0000001	kg
numero de ciclos				3	
Incertidumbre estándar de la pesa patrón			Ec. 26	0.000000083	kg
Incertidumbre del patrón	B	Normal		0.000000167	kg
Factor de cobertura				2	
Incertidumbre por deriva	B	Rectangular		0.00000000115	kg
Incertidumbre de la corrección por empuje del aire			Ec. 31	0.0000000191	kg
densidad de la pesa patrón	-			8006.41	kg/m ³
incertidumbre de la densidad de la pesa patrón	B	Normal		1.28	kg/m ³
Valor nominal de la pesa	-			1	kg
Densidad del aire	-			0.954501	kg/m ³
Incertidumbre de la densidad del aire	B	Rectangular		0.00036	kg/m ³
Incertidumbre de la balanza			Ec. 37	0.000000041	kg
Incertidumbre estándar debida a la resolución de la balanza	B	rectangular	Ec. 34	0.000000041	kg
división de escala de la balanza	-			0.0000001	kg
Incertidumbre estándar debida a la excentricidad de la balanza	B	Rectangular	Ec. 35	0.000000000045	
distancia entre los centros de las pesas	-			0.05	mm
Distancia del centro del receptor de carga a una de las esquinas	-			32.42	mm
diferencia máxima en la prueba de excentricidad	-			0.0000001	kg
Incertidumbre de la corrección por empuje del aire del IBC			Ec. 31	0.0000000191	kg
densidad de la pesa calibrada	-			7949.13	kg/m ³
incertidumbre de la densidad de la pesa calibrada	B	Normal		1.26	kg/m ³
Incertidumbre estándar combinada	-	normal	Ec. 40	0.00000010	kg
Incertidumbre expandida	-	normal	Ec. 42	0.00000020	kg
				0.20	mg

Con las mismas condiciones calibrando de masa convencional a masa convencional se obtiene el siguiente presupuesto:

Contribución	Tipo	Distribución de probabilidad	Número de ecuación de la guía de pesas	Estimado	unidad de medida
Incertidumbre estándar del proceso de pesada,	A	Normal	Ec. 20	0.000000033	kg
desviación estándar				0.0000001	kg
numero de ciclos				3	
Incertidumbre estándar de la pesa patrón			Ec. 27	0.000000083	kg
Incertidumbre del patrón	B	Normal		0.000000167	kg
Factor de cobertura				2	
Incertidumbre por deriva	B	Rectangular		0.00000000115	kg
Incertidumbre de la corrección por empuje del aire			Ec. 32	0.0000000049	kg
densidad de la pesa patrón	-			8006.41	kg/m ³
incertidumbre de la densidad de la pesa patrón	B	Normal		1.28	kg/m ³
Valor nominal de la pesa	-			1	kg
Densidad del aire	-			0.954501	kg/m ³
Incertidumbre de la densidad del aire	B	Rectangular		0.00036	kg/m ³
Incertidumbre de la balanza			Ec. 37	0.000000041	kg
Incertidumbre estándar debida a la resolución de la balanza	B	rectangular	Ec. 34	0.000000041	kg
división de escala de la balanza	-			0.0000001	kg
Incertidumbre estándar debida a la excentricidad de la balanza	B	Rectangular	Ec. 35	0.000000000045	
distancia entre los centros de las pesas	-			0.05	mm
Distancia del centro del receptor de carga a una de las esquinas	-			32.42	mm
diferencia máxima en la prueba de excentricidad	-			0.0000001	kg
Incertidumbre de la corrección por empuje del aire del IBC			Ec. 32	-0.0000000049	kg
densidad de la pesa calibrada	-			7949.13	kg/m ³
incertidumbre de la densidad de la pesa calibrada	B	Normal		1.26	kg/m ³
Incertidumbre estándar combinada	-	normal	Ec. 40	0.00000010	kg
Incertidumbre expandida	-	normal	Ec. 42	0.00000020	kg
				0.20	mg