



Guía para la calibración de
**instrumentos de pesaje de
funcionamiento no automático
de alta capacidad**

Guía para la calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático de alta capacidad / Jhon Jaiver Escobar Soto [y otros tres] -- Bogotá, (Colombia): Instituto Nacional de Metrología, 2025.

57 páginas.

Incluye referencias bibliográficas, tablas y fotos

ISBN e-Book: 978-628-95752-8-6.

1.Método de calibración 2 Equipos y materiales 3. Condiciones ambientales 4. Proceso de calibración 5 Evaluación de la incertidumbre de medición 6. Presentación de los resultados (Colombia).

U.A.E. Instituto Nacional De Metrología (978-628-95752)

Instituto Nacional de Metrología - INM
Av.Carrera 50 No. 26-55 Int 2, Bogotá
Código Postal: 111321 - Colombia

Esta guía es el resultado del trabajo conjunto entre el Instituto Nacional de Metrología de Colombia - INM, miembros de la Red Colombiana de Metrología - RCM (Grupos de Trabajo por Magnitud) y el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC con el fin armonizar métodos de calibración y propender por la uniformidad y coherencia en criterios técnicos mínimos a emplear por los laboratorios de calibración y usuarios de estos métodos. Esta guía presenta metodologías reconocidas internacionalmente y se ha elaborado recogiendo el conocimiento y la experiencia de los miembros del equipo de trabajo, de tal forma que pueda ser usada como complemento a la metodología establecida en el documento Guía para la calibración de los instrumentos para pesar de funcionamiento no automático SIM MWG7/cg-01/v.00, y sirve como base para la elaboración de procedimientos e instructivos prácticos por parte de los laboratorios de calibración y ensayo.

En este sentido lo consignado en esta guía se constituye en un referente para:

a. El Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC. b. Los laboratorios de calibración y ensayo que involucren los métodos o criterios técnicos consignados en esta guía. c. Los laboratorios internos de las organizaciones o fabricantes que requieran el uso de estos métodos de calibración o criterios técnicos

Fecha de recepción: 2024-10-30
Fecha de evaluación: 2024-11-06
Fecha de aceptación: 2024-11-08

Preparación editorial

U.A.E. Instituto Nacional de Metrología
(978-628-95752)

Edición:

Instituto Nacional de Metrología - INM. Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC.
Laboratorios de calibración.

Corrección de estilo:

Instituto Nacional de Metrología - INM.
Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC.
Laboratorios de calibración.

Diagramación:

Instituto Nacional de Metrología - INM. Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC.

Línea de atención al cliente: +57 (601) 254 2222.
Línea Nacional: 01 8000112542.
contacto@inm.gov.co
www.inm.gov.co

Citación sugerida:

Barreto Gutiérrez, J. A., Cifuentes Diaz, D. V., García Benavides, J. D., Quijano Torres, R. P., Escobar Soto, J. J., & Ochoa Fonseca, Y. P. (2025). Guía para la calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático de alta capacidad. Instituto Nacional de Metrología.

Publicado en Bogotá, Colombia, agosto de 2025.

CONTENIDO

1. OBJETIVO	6
2. ALCANCE.....	6
3. ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS.....	6
4. DEFINICIONES	7
5. GENERALIDADES	9
6. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	9
6.1. Método de calibración	9
6.1.1 Operaciones previas.....	9
6.1.2 Pruebas de calibración.....	10
6.2 Equipos y materiales	11
6.2.1 Patrón o patrones de trabajo	11
6.2.2 Otras cargas	11
6.2.3 Equipos auxiliares.....	12
6.2.4 Materiales e insumos.....	12
6.3. Condiciones ambientales	12
6.4. Proceso de calibración.....	13
6.4.1 Selección de los puntos de calibración.....	13
6.4.1.1 Selección del punto para la prueba de excentricidad	13
6.4.1.2 Selección de los puntos para la prueba de repetibilidad	13
6.4.1.3 Selección de los puntos para la prueba de error de indicación	14
6.4.2 Proceso de calibración.....	14
6.4.2.1 Determinación de cargas de sustitución.....	14
6.4.2.1.2 Opción 2	16
6.4.2.2 Proceso de calibración y tratamiento de datos	16
6.4.2.2.1 Prueba de error de indicación.....	16
6.4.2.2.2 Prueba de excentricidad de carga	17
6.4.2.2.3 Prueba de repetibilidad	20
6.5. Evaluación de la incertidumbre de medición.....	20
6.5.1. Fuentes de incertidumbre de medición	21
6.5.1.1 Incertidumbre estándar de la indicación.....	21

6.5.1.1.1 Contribución por resolución del instrumento	21
6.5.1.1.2 Contribuciones por repetibilidad.....	21
6.5.1.1.3 Contribución por excentricidad	21
6.5.1.1.4 Contribuciones totales por indicación	22
6.5.1.2 Incertidumbre estándar de la masa de referencia	22
6.5.1.2.1 Contribución por corrección de la masa convencional	22
6.5.1.2.2 Contribución por corrección por empuje del aire	22
6.5.1.2.3 Contribución por deriva	23
6.5.1.2.4 Contribuciones totales por la masa de referencia	23
6.5.1.3 Incertidumbre estándar de la carga de sustitución.....	23
6.5.1.3.1 Contribución por la masa de la carga de sustitución	23
6.5.1.3.2 Contribución por empuje del aire para cargas de sustitución....	25
6.5.1.3.3 Contribuciones totales por la carga de sustitución	25
6.5.2. Incertidumbre expandida de medición.....	25
6.6. Presentación de los resultados	26
6.6.1 Curva característica del alcance de pesada	26
6.6.2 Aproximación de la incertidumbre del error a una línea recta	26
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

EQUIPO DE TRABAJO

Este documento fue elaborado en el espacio del Grupo Técnico por Magnitud de masa de la Red Colombiana de Metrología. Para el desarrollo del documento se contó con la participación del Instituto Nacional de Metrología de Colombia – INM (Subdirección de Metrología Física, Laboratorio de Masa: Jhon Escobar Soto, Yineth Paola Ochoa Fonseca, Jhon Alexander Barreto Gutiérrez, Diana Vanessa Cifuentes Díaz, Dumar Andrés Ospina Morales, Luis Fernando Lagos Torres), el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC y los laboratorios de calibración que han desarrollado la magnitud relacionada y que han participado en las reuniones del grupo técnico.

REVISIÓN

Mesa de Trabajo Técnico Científico de la Subdirección de Metrología Física.

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de calibración COLMETRO S.A y a su Director General Sr. Carlos Mendoza, por su apoyo logístico en la construcción de los ejemplos presentados en el documento.

Al laboratorio de metrología de la Superintendencia de Industria y Comercio – SIC, y los funcionarios del Grupo de Metrología Legal Elvis Aguirre Romero y Luis Henry Barreto, por su apoyo logístico en la construcción de los ejemplos presentados en el documento.

Al Organismo Autorizado de Verificación Metrológica – OAVM Metrolegal Colombia UT, y a su Representante Legal Sr. Jefer Fabián Arias, por su apoyo logístico en la construcción de los ejemplos presentados en el documento.

Al físico Jorge Daniel García Benavides un reconocimiento muy especial a su trabajo, su dedicación, su profesionalismo, su profundo sentido de la ética y su aporte fundamental al desarrollo de la metrología de masa en el país. Su huella y su legado son invaluable.

1. OBJETIVO

Esta guía tiene por objeto describir el método para la calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático de alta capacidad, siguiendo y ampliando los lineamientos establecidos en la Guía SIM MWG7/cg-01/v.00:2009. Adicionalmente se presenta el modelo para la determinación de incertidumbre y un ejemplo de su aplicación.

2. ALCANCE

Esta guía aplica para la calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático de alta capacidad con indicación continua, ya sean digitales o mecánicas. Esta guía no aplica para la verificación en sentido de Metrología Legal.

3. ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS

<i>Símbolo</i>	Definición
<i>D</i>	Deriva, variación de un valor con el tiempo
<i>E</i>	Error (de una indicación)
<i>EMP</i>	Error máximo permitido
<i>I</i>	Indicación de un instrumento
<i>L</i>	Carga sobre un instrumento
<i>Max</i>	Capacidad máxima de pesada
<i>Max'</i>	Límite superior especificado del alcance de pesada $Max' < Max$
<i>Min</i>	Valor de carga por debajo del cual el resultado de pesada puede ser sujeto a un error relativo excesivo
<i>Min'</i>	Límite inferior especificado del alcance de pesada, $Min' > Min$
<i>N</i>	Número de cargas de prueba individuales
<i>R</i>	Indicación (lectura) de un instrumento no relacionado con una carga de prueba
<i>U_{mc}</i>	Incertidumbre expandida de los patrones de referencia
<i>d</i>	Intervalo de escala, resolución, la diferencia de masa entre dos indicaciones consecutivas del dispositivo de indicación
<i>k</i>	Factor de cobertura
<i>k_L</i>	Número de puntos de calibración
<i>m_N</i>	Valor nominal de una pesa patrón o carga de sustitución
<i>m_{ref}</i>	Valor de referencia expresado en masa convencional
<i>n</i>	Número, como se indique en cada caso
<i>s</i>	Desviación típica o desviación estándar
<i>u</i>	Incertidumbre estándar

Símbolo	Definición
δ	Gradiente de contribución o corrección
Δ	Diferencia
ρ_0	Densidad de referencia del aire $\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$
ρ_c	Densidad de referencia de un patrón de masa $\rho_c = 8\,000 \text{ kg/m}^3$

Subíndice	Relacionado Con
<i>B</i>	Empuje del aire
<i>D</i>	Deriva
<i>N</i>	Valor nominal
<i>T</i>	Prueba
<i>d</i>	Resolución
<i>dig</i>	Digitalización o redondeo
<i>ecc</i>	Excentricidad
<i>i</i>	Numeración i-ésimo
<i>j</i>	Numeración j-ésimo
<i>max</i>	Valor máximo de una población
<i>ref</i>	Referencia
<i>rep</i>	Repetibilidad
<i>0</i>	Cero, sin carga
<i>sub</i>	Sustitución
<i>st</i>	Pesa patrón

4. DEFINICIONES

AJUSTE (DE UN SISTEMA DE MEDIDA): Conjunto de operaciones realizadas sobre un sistema de medida para que proporcione indicaciones prescritas, correspondientes a valores dados de la magnitud a medir [1].

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 [1].

CORRECCIÓN: Compensación de un efecto sistemático estimado [1].

NOTA: La compensación puede tomar diferentes formas, tales como la adición de un valor o la multiplicación por un factor, o bien puede deducirse de una tabla.

RECEPTOR DE CARGA: Parte del instrumento destinada a recibir la carga [2].

DISPOSITIVO DE TARA: Dispositivo que permite poner la indicación a cero cuando se coloca una carga en el receptor de carga:

- ✓ Sin alterar el intervalo de pesaje de las cargas netas (dispositivo aditivo de tara); o
- ✓ Reduciendo el intervalo de pesaje de las cargas netas (dispositivo sustractivo de tara) [2].

DISPOSITIVO DE AJUSTE A CERO: Dispositivo que permite poner la indicación a cero cuando no hay carga en el receptor de carga [2].

INSTRUMENTO DE PESAJE: Instrumento de medición que sirve para determinar la masa de un cuerpo, utilizando la acción de la gravedad sobre dicho cuerpo. De acuerdo con su método de operación, un instrumento de pesaje está clasificado como instrumento de funcionamiento automático o instrumento de funcionamiento no automático [2].

INSTRUMENTO DE PESAJE DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO: Instrumento que requiere la intervención de un operador durante el proceso de pesaje para decidir si el resultado de pesaje es aceptable [2].

NOTA: A nivel internacional no existe un consenso frente a la diferenciación entre instrumentos de pesaje de baja capacidad e instrumentos de pesaje de alta capacidad. Para efectos del presente documento, se asume que un instrumento de pesaje de alta capacidad es aquel que tiene una capacidad de pesada mayor que 1 000 kg.

PUNTO DE CALIBRACIÓN: Valor de carga en el que se comprueba el error de indicación del instrumento utilizando uno o varios patrones que sumen en masa dicho valor de carga.

ORGANISMO AUTORIZADO DE VERIFICACIÓN METROLÓGICA (OAVM): Entidad designada mediante convocatoria pública que apoya a la Superintendencia de Industria y Comercio y a las autoridades territoriales a realizar verificaciones en metrología legal en relación con los instrumentos de medición o productos pre-empacados [3].

Para otras definiciones consultar la referencia [1].

5. GENERALIDADES

Los instrumentos de pesaje son equipos de características particulares pues en su funcionamiento, ajuste y calibración, se ven involucrados elementos mecánicos y electrónicos propios del equipo y patrones de masa de diferentes valores nominales e incertidumbres. Por tanto, la calibración no implica una sola actividad sino un estudio a partir del cual se generan conclusiones.

La calibración del instrumento de pesaje consiste en obtener los errores de indicación junto con la incertidumbre asociada para varios valores de carga o puntos de calibración. Estos errores se obtienen a partir de las diferencias entre la indicación del instrumento y la masa convencional de un patrón de masa o conjunto de patrones de masa en cada punto de calibración, o el uso de cargas de sustitución. Es importante tener presente que el valor de indicación no es sólo función de la masa del patrón de referencia sino también de su densidad (o su volumen) y la densidad del aire que influye en el empuje del aire. La indicación del instrumento también puede verse afectada por otros factores externos como la gravedad, las vibraciones, los gradientes térmicos, la iluminación, etc. Por estos motivos la calibración se hace "en sitio", en el emplazamiento habitual del instrumento y bajo las condiciones normales de uso, para asegurar que las condiciones del proceso de calibración sean lo más parecidas a las condiciones de uso.

La calibración se realiza en todo el intervalo de pesaje desde cero a la capacidad máxima Max, a menos que el cliente lo requiera de otra manera. La calibración se realiza en varios puntos concretos de carga, denominados puntos de calibración; el número de puntos de calibración dependerá de cada una de las pruebas cuidando que estén homogéneamente distribuidos en todo en el intervalo de calibración, a menos que el cliente requiera la calibración en puntos específicos del intervalo de pesaje.

6. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

6.1. Método de calibración

6.1.1 Operaciones previas

Antes de realizar la calibración se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El instrumento de calibración debe estar conectado a la red eléctrica y en posición de encendido el tiempo que recomienda el fabricante para su estabilización. En ausencia del manual del instrumento es recomendable que este tiempo sea de 24 horas.

- En caso de que el instrumento bajo calibración esté sometido a control metrológico legal, el responsable de la calibración deberá identificar los precintos colocados por el Organismo Autorizado de Verificación Metrológica OAVM designado, y asegurar la integridad de estos durante toda la actividad de calibración.
- Debe leerse el manual de instrucciones del instrumento de pesaje en su formato físico o electrónico para estar familiarizado con el uso del instrumento de pesaje y sus opciones de trabajo, cuando este se encuentre disponible.
- El instrumento de pesaje deberá encontrarse perfectamente identificado en lo que se refiere a marca, modelo y número de serie. En el caso de que no exista alguno de estos datos, se procederá a la identificación del instrumento conforme lo haya establecido el usuario y de tal forma que no ofrezca ningún tipo de ambigüedad en su identificación.
- El área donde está el instrumento de pesaje objeto de calibración se debe mantener limpia, y libre de obstáculos que dificulten el movimiento de instrumentos auxiliares, tales como montacargas, grúas, y otros objetos usados en la manipulación de los patrones de masa.
- El cliente deberá asegurarse que el instrumento de pesaje no presente inundación en el foso, en caso de que así sea su construcción, ni que se detecte fricción contra la estructura en concreto. Adicionalmente, la plataforma se debe encontrar en condiciones adecuadas para realizar la calibración.
- En caso de que el laboratorio considere que cualquiera de los aspectos mencionados puede afectar la validez de los resultados de medición, se consulta con el cliente para establecer la viabilidad o no de realizar el servicio.

6.1.2 Pruebas de calibración

Mediante la calibración se busca conocer dos elementos o características metrológicas del instrumento de pesaje: la exactitud del equipo en todo el intervalo de pesaje y la precisión en términos de la repetibilidad. Para obtener esta información y poder evaluar la incertidumbre de la medición se realizan las siguientes pruebas: excentricidad, repetibilidad y error de indicación.

La prueba de excentricidad determina la diferencia de indicación del instrumento con carga en posiciones periféricas, frente a la posición en el centro del receptor de carga. Es difícil dar valores que puedan utilizarse para corregir las lecturas del instrumento de pesaje, porque el efecto no siempre es lineal con respecto a la carga o a la posición. El efecto de excentricidad se tendrá en cuenta para

cuantificar la incertidumbre de medida del instrumento debido a la ubicación de la carga. También puede servir para identificar funcionamientos anormales de manera temprana. Esta prueba sólo se podrá realizar en los instrumentos de pesaje en los que sea posible aplicar la carga en diferentes puntos del receptor de carga.

La prueba de repetibilidad sirve para cuantificar la diferencia entre los resultados de pesadas de la misma carga cuando es depositada varias veces y de forma prácticamente idéntica sobre el receptor de carga.

La prueba de error de indicación sirve para establecer los errores de indicación del instrumento de pesaje en los puntos de calibración elegidos, y permite hacer una estimación del desempeño del instrumento de pesaje en el intervalo completo de medición, o en el intervalo seleccionado por el cliente.

6.2 Equipos y materiales

Los equipos y materiales necesarios para la calibración son los siguientes:

6.2.1 Patrón o patrones de trabajo

Se deben emplear patrones de masa trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI)¹, que cumplan con las especificaciones de la OIML R 111-1 [4], acordes con la clase del instrumento de pesaje o con la división de escala del mismo, y que permitan realizar mediciones homogéneamente distribuidas a lo largo del intervalo de pesaje, a menos que el cliente especifique el intervalo de calibración del instrumento. Las pesas deberán estar convenientemente protegidas y con su certificado de calibración vigente.

6.2.2 Otras cargas

Se pueden usar cargas diferentes a las pesas de referencia, las cuales se denominan cargas de sustitución, considerando lo siguiente [5]:

- La forma, el material, y la aleación deberían permitir el fácil manejo.
- La forma, el material y la composición deberían permitir la fácil estimación de la posición del centro de gravedad.
- Su masa debe permanecer constante durante todo el periodo de la calibración.
- Su densidad debería ser fácil de estimar.

¹ La trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades se evidencia a partir de una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medición, vinculándolos con la referencia apropiada [8].

- Cargas con densidad baja (p. ej. Contenedores llenos de arena o grava) podrían requerir atención especial con relación al empuje del aire.

6.2.3 Equipos auxiliares

Se debe contar con instrumentos para la medición de condiciones ambientales que cuenten con un certificado de calibración vigente.

En caso de que se decida por el uso de cargas de sustitución, se puede usar un instrumento de pesaje auxiliar para determinar la masa de la carga de sustitución, teniendo en cuenta el valor máximo de dicha carga. En caso de no contar con un instrumento de pesaje auxiliar, es posible usar el equipo de pesaje bajo calibración como instrumento auxiliar.

6.2.4 Materiales e insumos

Para la manipulación de los diferentes patrones u otras cargas puede ser necesario:

- Grúas hidráulicas o similares
- Montacargas o similares
- Eslingas
- Guantes y botas de protección
- Cepillos de limpieza con cerdas suaves

6.3. Condiciones ambientales

La calibración de los instrumentos de pesaje se debe realizar en el sitio de trabajo y bajo las condiciones reales de operación, o de acuerdo con las especificaciones de diseño dadas por el fabricante en el manual del instrumento. Es necesario especificar en el certificado de calibración las condiciones ambientales bajo las cuales fue calibrado el instrumento.

6.4. Proceso de calibración

6.4.1 Selección de los puntos de calibración

6.4.1.1 Selección del punto para la prueba de excentricidad

Para esta prueba se tienen las siguientes opciones:

- Utilizar una carga L_{ecc} cuyo valor debe ser al menos $1/3 \text{ Max}$ del instrumento, o como mínimo $\text{Min}' + 1/3 (\text{Max}' - \text{Min}')$ para un intervalo reducido de pesaje, y de ser posible la carga debe ser de una sola pieza. Si están disponibles, se deben considerar las indicaciones del fabricante y las limitaciones del diseño del instrumento.
- Si el instrumento cuenta con más de cuatro puntos de apoyo ($n > 4$), la fracción $\frac{1}{n-1} \text{Max}$ es la que se aplica como carga para el desarrollo de la prueba [5].

NOTA: el uso de la fracción $\frac{1}{n-1} \text{Max}$ debe ser limitada solamente cuando el diseño y construcción del IPFNA de alta capacidad es multiplataforma; en este caso, se recomienda realizar una evaluación punto por punto.

- En un instrumento empleado para pesar cargas móviles (p. ej. Instrumentos de pesaje de vehículos, instrumentos con carril de suspensión), se debe aplicar una carga correspondiente a la carga móvil usual, la más pesada y la más concentrada que se pueda pesar, pero no superior a 0.8 veces la suma de la capacidad máxima y el efecto máximo aditivo de tara, en los diferentes puntos de carga [6].
- Para un instrumento con un receptor de carga que es sometido a una carga excéntrica mínima (p. ej., un tanque, una tolva, etc.), se debe aplicar una carga correspondiente a 1/10 de la suma de la capacidad máxima y el efecto máximo aditivo de tara a cada punto de apoyo [6].

La carga de prueba no requiere ser calibrada ni verificada a menos que los resultados sirvan para la determinación de los errores de indicación.

6.4.1.2 Selección de los puntos para la prueba de repetibilidad

Se elige una carga de prueba L_T que esté en el intervalo de medición $0.5 \text{ Max} \leq L_T \leq \text{Max}$, aunque es posible acordar con el cliente uno (o varios) valores de L_T que se justifica(n) dependiendo de la aplicación específica del instrumento. Se pueden utilizar patrones de masa o cualquier material que sea lo suficientemente

estable durante la ejecución de la prueba, luego la carga de prueba no requiere ser calibrada ni verificada para el desarrollo de la misma.

6.4.1.3 Selección de los puntos para la prueba de error de indicación

Esta prueba se realiza con $k_L \geq 5$ diferentes cargas de prueba L_{Tn} , $1 \leq n \leq k_L$ distribuidas uniformemente sobre el intervalo de medición. Como ejemplo, para $k_L = 5$ se toman los siguientes valores:

- Min , $0.25 Max$, $0.50 Max$, $0.75 Max$ y Max . Las cargas de prueba pueden desviarse del valor de referencia hasta $0.1Max$ con tal que la diferencia entre las cargas consecutivas de la prueba sea por lo menos $0.2Max$.

La selección de los puntos de calibración también puede acordarse con el cliente.

Se pueden utilizar cargas de sustitución para calibrar el instrumento hasta su alcance máximo de pesada, o hasta el alcance máximo acordado con el cliente.

Es necesario que las cargas de prueba estén compuestas por patrones de masa, de acuerdo con lo descrito en 6.2.1. En caso de usar cargas de sustitución, la masa de éstas debe ser establecida de acuerdo con lo definido en 6.4.2.1, de tal forma que en todo momento se asegure la trazabilidad de las mediciones al SI.

6.4.2 Proceso de calibración

6.4.2.1 Determinación de cargas de sustitución

En la calibración de instrumentos de alta capacidad es común recurrir al uso de cargas de sustitución para poder calibrar en todo el intervalo de medida. En el proceso, estas se consideran como un patrón de masa, por lo que es necesario conocer su valor de masa convencional e incertidumbre asociada.

Un instrumento auxiliar o el instrumento bajo calibración pueden ser utilizados para ajustar la carga de sustitución L_{sub} de tal forma que resulte aproximadamente la misma indicación I que la carga correspondiente L_{st} realizada con patrones de masa.

NOTA: Si se decide el uso de un instrumento auxiliar para la determinación de cargas de sustitución, el responsable de la calibración debería realizar al menos la prueba de excentricidad y repetibilidad con una carga del valor nominal de interés para verificar el correcto funcionamiento del instrumento auxiliar.

A continuación, se presentan dos opciones para generar las cargas de sustitución.

6.4.2.1.1 Opción 1

Una primera carga de prueba L_{T1} conformada de patrones de masa m_{ref} se indica como:

$$I(L_{st}) = I(m_{ref}) \quad (1)$$

Luego de remover L_{st} se aplica una carga de sustitución L_{sub1} y se ajusta para obtener aproximadamente la misma indicación.

$$I(L_{sub1}) \approx I(m_{ref}) \quad (2)$$

Entonces,

$$L_{sub1} = m_{ref} + I(L_{sub1}) - I(m_{ref}) = m_{ref} + \Delta I_1 \quad (3)$$

La siguiente carga de prueba L_{T2} se realiza adicionando m_{ref}

$$L_{T2} = L_{sub1} + m_{ref} = 2m_{ref} + \Delta I_1 \quad (4)$$

m_{ref} Es nuevamente reemplazado por una carga de sustitución de valor aproximado a L_{sub1} y se ajusta a $I(L_{T2})$.

El procedimiento se repite para generar tantas cargas de prueba L_{Tn} como sean necesarias, para llevar a cabo la calibración hasta el alcance máximo de medición.

$$L_{Tn} = nm_{ref} + \Delta I_1 + \dots + \Delta I_{n-1} \quad (5)$$

Si una carga de prueba L_{T1} es hecha de más de un patrón de masa, es posible primero usar la pesa patrón para crear N cargas de prueba individuales $m_{ref,k}$ ($k = 1, \dots, N$) con la condición,

$$m_{ref,1} < m_{ref,2} < \dots < m_{ref,N} = m_{ref} = L_{T1} \quad (6)$$

Después, L_{T1} se sustituye por una carga de sustitución L_{sub1} , y las cargas de prueba pueden adicionarse nuevamente de manera consecutiva. Las cargas de prueba individuales deben ser referidas como $L_{Tn,k}$, con

$$L_{Tn,k} = (n-1)m_{ref} + m_{ref,k} + \Delta I_1 + \Delta I_2 + \dots + \Delta I_{n-1} \quad (7)$$

En el anexo 2 se presenta un ejemplo de construcción de cargas de sustitución siguiendo este esquema.

6.4.2.1.2 Opción 2

Es posible determinar las cargas de sustitución utilizando ciclos de comparación entre los patrones de masa m_{ref} y cada uno de los elementos que se van a utilizar para generar las cargas de sustitución, $L_{Tn,k}$, siempre y cuando estos sean del mismo valor nominal. Para esto se tiene:

$$\text{Ciclo: } m_{ref} \quad L_{T,n} \quad m_{ref}$$

Como máximo puede determinarse la masa de $n = 5$ elementos en cada ciclo.

$$\Delta m_{L_{T,n}} = I_{L_{T,n}} - \frac{I_{m_{ref\,inicial}} + I_{m_{ref\,final}}}{2} \quad (8)$$

Después de la determinación de cada uno de los $\Delta m_{L_{T,n}}$, se calcula la masa teniendo en cuenta la masa de los patrones de referencia m_{ref} .

$$m_{L_{T,n}} = m_{ref} + \Delta m_{L_{T,n}} \quad (9)$$

En el anexo 3 se presenta un ejemplo de construcción de cargas de sustitución siguiendo este esquema.

6.4.2.2 Proceso de calibración y tratamiento de datos

Al comienzo de la calibración y para lograr un calentamiento mecánico, el instrumento debe ser sometido a una carga aproximadamente igual a la carga máxima de calibración, una vez como mínimo, o preferiblemente, realizarlo de manera repetida.

La secuencia de ejecución de las pruebas no está preestablecida, sin embargo, es importante considerar las características específicas del instrumento de pesaje como su ubicación, instalación, equipos disponibles, entre otros, para su desarrollo.

6.4.2.2.1 Prueba de error de indicación

Antes de iniciar la prueba debe verificarse que la indicación del instrumento sea cero. Las indicaciones I_{Lj} se registran para cada carga. En lo posible, colocar la carga centrada en el receptor.

Para realizar esta prueba las cargas L_{Tn} normalmente se aplican de alguna de las siguientes formas [5]:

1. Aumentando por pasos con descarga entre los mismos
2. Aumento continuo por pasos
3. Aumentando continuamente y quitando por pasos
4. Quitando continuamente por pasos empezando en *Max*

El error de indicación para cada carga de prueba L_{Tn} se calcula de la siguiente manera [5]:

$$E_j = I_j - m_{refj} \quad (10)$$

$$E_j = I_j - L_{Tn} \quad (11)$$

En donde L_{Tn} está dado por las ecuaciones 5 o 7.

6.4.2.2.2 Prueba de excentricidad de carga

La prueba consiste en poner una carga de prueba L_{ecc} en diferentes posiciones sobre el receptor de carga, de tal manera que el centro de gravedad de la carga lo ocupe tanto como sea posible. En los casos en donde no sea posible seguir el esquema propuesto (limitaciones debidas al tipo de carga de prueba a usar, o diseño del receptor del instrumento de pesaje), es posible hacer variaciones del mismo, tanto en la posición de la carga de prueba como en el número de puntos.

Si la carga se puede ubicar en los diferentes puntos de tal manera que su centro de gravedad lo ocupe tanto como sea posible, se puede utilizar el siguiente esquema:

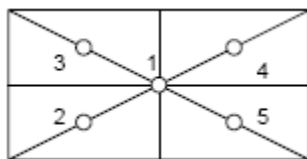


Figura 1. Esquema de la prueba de excentricidad

A partir de las indicaciones obtenidas en las diferentes posiciones de la carga de acuerdo con la figura 1 se calcula la diferencia de excentricidad para cada posición así,

$$\Delta I_{ecc,i} = I_{Li} - I_{L1} \quad (12)$$

En el caso en que sea necesario el uso de cargas de sustitución de grandes dimensiones, la prueba de excentricidad puede tener la variación mostrada en

las Figuras 2 y 3. Esto aplica si el instrumento de pesaje solamente tiene una plataforma o módulo.

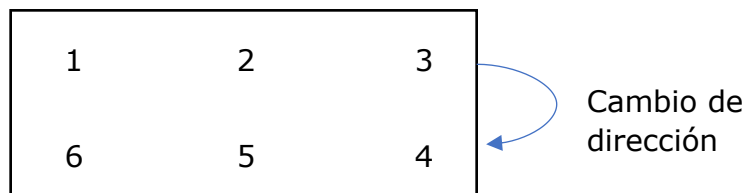


Figura 2. Esquema de la prueba de excentricidad

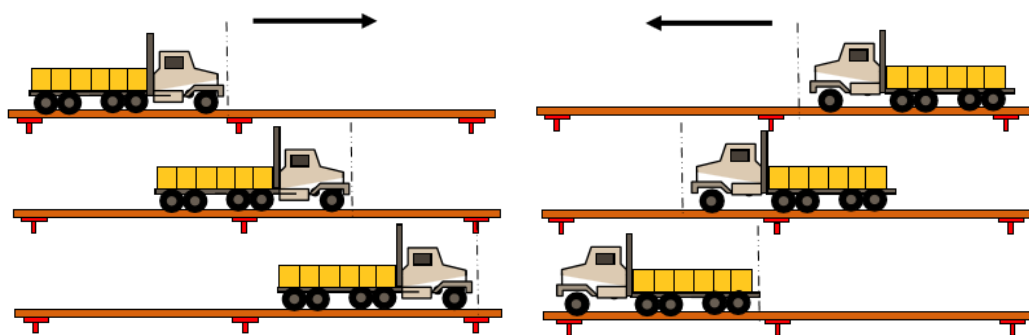


Figura 3. Esquema de la prueba de excentricidad con carga de sustitución para IPFNA de una sola plataforma. Tomada de [7].

A partir de las indicaciones obtenidas en las diferentes posiciones de la carga de acuerdo con la figura 2 se calcula la diferencia de excentricidad para cada posición así [9],

$$\begin{aligned} \Delta I_{ecc,i} &= I_{Li} - I_{L2} & \text{para } i = 1 \text{ y } 3 \\ \Delta I_{ecc,i} &= I_{Li} - I_{L5} & \text{para } i = 4 \text{ y } 6 \end{aligned} \quad (13)$$

Para instrumentos de pesaje de alta capacidad con varias plataformas o módulos, la prueba de excentricidad debe realizarse ubicando la carga antes, sobre y después de la unión de los módulos como se indica en la figura 4 [10]. La toma de datos se debe realizar en las dos direcciones.

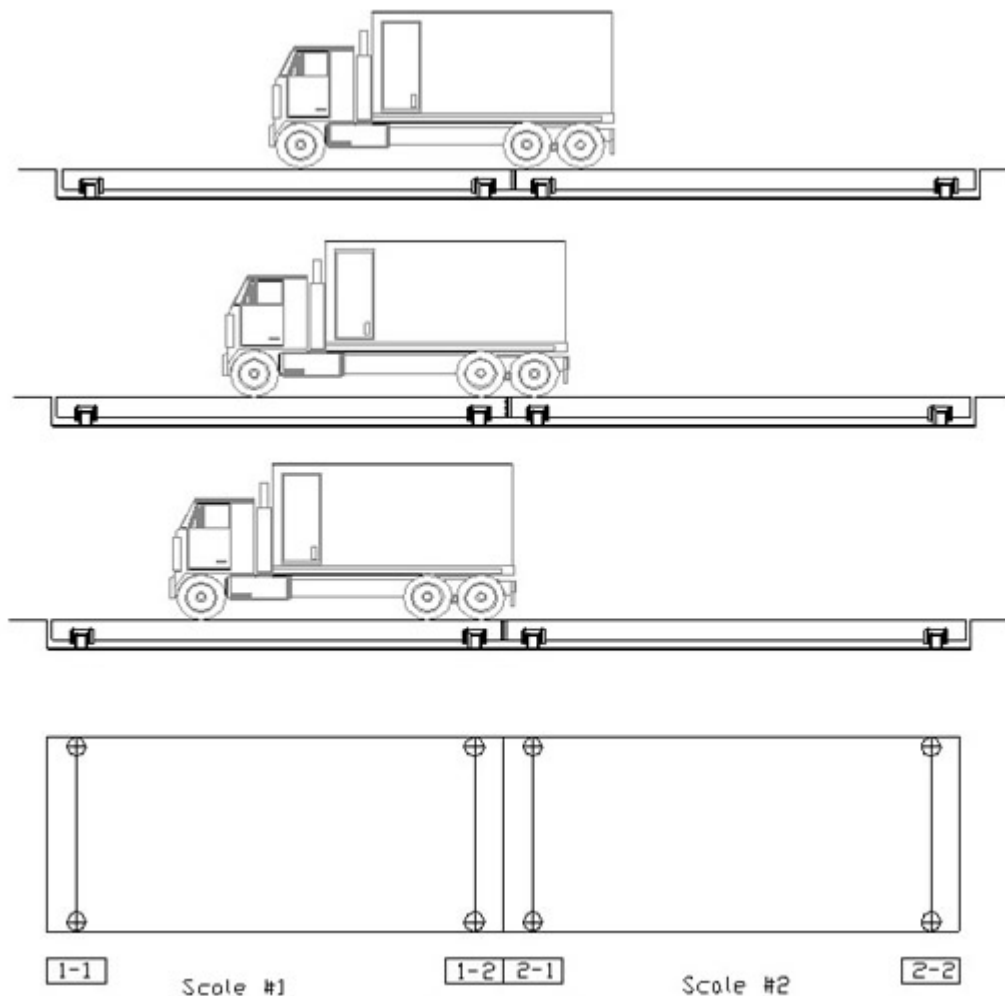


Figura 4. Esquema de la prueba de excentricidad con carga de sustitución para IPFNA de varios módulos o plataformas. Tomada de [10].

Se debe verificar que la carga quede completamente ubicada sobre los módulos para asegurar lecturas confiables.

La diferencia de excentricidad para cada posición se calcula como [11]:

$$\Delta I_{ecc,i} = I_{Lsentido1} - I_{Lsentido2} \quad (14)$$

Y la diferencia máxima corresponde a la diferencia entre el valor máximo y mínimo de los calculados anteriormente.

$$\Delta I_{ecc,max} = |\Delta I_{ecc,i-max}| - |\Delta I_{ecc,i-min}| \quad (15)$$

6.4.2.2.3 Prueba de repetibilidad

En esta prueba se coloca de manera repetitiva la misma carga en el receptor de carga, un número n de veces con $n \geq 3$, anotando el valor indicado cada vez que se obtenga la estabilidad de la lectura. Antes de iniciar se debe verificar que la indicación del instrumento sea cero, y cada vez que se realiza una descarga, se verifica si la indicación regresa a cero, si no lo hace, se debe pulsar la tecla de retorno a cero; en caso de no ser posible, se toma la indicación y se resta este valor a la indicación obtenida con la carga. La carga puede ubicarse a lo largo del receptor de carga.

Esta prueba puede ser llevada a cabo en más de un punto de prueba, con cargas L_{Tj} , $1 \leq j \leq k_L$ con k_L = número de puntos de prueba. Se pueden acordar cargas de prueba especiales con el cliente en casos donde esto se justifique, debido a la aplicación específica del instrumento.

De las n indicaciones I_{ji} para una carga de prueba dada L_{Tj} , la desviación estándar s_j se calcula,

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_{ji} - \bar{I}_j)^2} \quad (16)$$

Donde

$$\bar{I}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{ji} \quad (17)$$

6.5. Evaluación de la incertidumbre de medición

Para la evaluación de la incertidumbre se parte de la ecuación básica para la determinación del error. En el cálculo del error todas las correcciones tienen valor esperado cero, mas no así para la incertidumbre.

$$E_j = I_j - L_{Tn} \quad (18)$$

Como se observa en la ecuación 18, el modelo tiene en cuenta las contribuciones por indicación y por el patrón de referencia (pesas y cargas de sustitución). Para la determinación de la incertidumbre, se aplica la ley de propagación de incertidumbre, así:

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(L_{Tn}) \quad (19a)$$

En el caso que la calibración se realice únicamente con patrones de masa, se deben tener en cuenta las componentes de incertidumbre descritas en los numerales 6.5.1.1 y 6.5.1.2. En este caso, la ecuación 19a se expresa como,

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{ref}) \quad (19b)$$

6.5.1. Fuentes de incertidumbre de medición

6.5.1.1 Incertidumbre estándar de la indicación

6.5.1.1.1 Contribución por resolución del instrumento

La contribución por resolución incluye el error de redondeo para la indicación sin carga y para la indicación con carga. Se asume una distribución rectangular con límites $\pm d/2$ y aplica el siguiente modelo matemático:

$$u(\delta I_{dig\ 0}) = \frac{d_0}{2\sqrt{3}} \quad (20)$$

$$u(\delta I_{dig\ L}) = \frac{d_L}{2\sqrt{3}} \quad (21)$$

6.5.1.1.2 Contribuciones por repetibilidad

Se debe a que el instrumento no siempre es repetible; se asume como una distribución de probabilidad normal, estimada de la siguiente manera.

$$u(\delta I_{rep}) = s(I_j) \quad (22)$$

Con $s(I_j)$ calculado según la ecuación (16).

Si la indicación I es una sola lectura y se lleva a cabo la prueba de repetibilidad en una sola carga de prueba, esta incertidumbre de repetibilidad puede ser considerada como representativa para todo el intervalo de pesaje del instrumento. Si se han determinado varias desviaciones estándar s_j con diferentes cargas de prueba, se debería usar el mayor valor de s_j obtenido en el desarrollo de la prueba.

6.5.1.1.3 Contribución por excentricidad

Se asume una distribución de probabilidad rectangular, por tanto, la incertidumbre estándar viene dada por la siguiente ecuación:

$$u(\delta I_{ecc}) = \frac{|\Delta I_{ecc,i}|_{max}}{2L_{ecc}\sqrt{3}} \cdot I \quad (23)$$

6.5.1.1.4 Contribuciones totales por indicación

La incertidumbre estándar de la indicación se obtiene por:

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{dig\ 0}) + u^2(\delta I_{dig\ L}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc}) \quad (24)$$

6.5.1.2 Incertidumbre estándar de la masa de referencia

Se consideran masas de referencia aquellas que se utilizaron en la conformación de las cargas de sustitución, así como las pesas utilizadas en las diferentes cargas de prueba. No se tiene en cuenta la componente de incertidumbre por convección, dado que aplica cuando se utilizan patrones clase F₁ o mejores [5].

6.5.1.2.1 Contribución por corrección de la masa convencional

La componente por trazabilidad metrológica se obtiene del certificado de calibración, en donde se indica el valor de U y el factor de cobertura k .

$$u(\delta m_c) = \frac{U_{mc}}{k} \quad (25)$$

Si la carga de prueba está compuesta por más de una pesa patrón, las incertidumbres estándar se suman aritméticamente (se considera una correlación igual a uno).

$$u_{mc} = \sum_{i=1}^n u_i \quad (26)$$

6.5.1.2.2 Contribución por corrección por empuje del aire

No se aplica ninguna corrección a la determinación del error por empuje del aire. El modelo de incertidumbre para esta contribución cuando el instrumento se ajusta antes de la calibración viene dado por,

$$u(\delta m_B) = \frac{EMP}{4\sqrt{3}} = \frac{3U_{mc}}{4\sqrt{3}} \quad (27)$$

En caso de que no se realice ajuste del instrumento antes de su calibración, se tiene la siguiente ecuación,

$$u(\delta m_B) = \frac{(0.1 \rho_0 / \rho_c + EMP / 4m_N)}{\sqrt{3}} \cdot m_N = \frac{(0.1 \rho_0 / \rho_c + 3U_{mc} / 4m_N)}{\sqrt{3}} \cdot m_N \quad (28)$$

6.5.1.2.3 Contribución por deriva

La deriva se debe a posibles variaciones de los patrones de masa entre calibraciones sucesivas. El valor límite D se asume de mejor manera, basado en la diferencia evidente de certificados de calibraciones consecutivos de las pesas patrón. En ausencia de información del valor de deriva, D puede escogerse como el EMP (EMP=3*U_{mc}) o la incertidumbre de los patrones de masa, de acuerdo con la OIML R 111-1:2004 o el certificado de calibración de las mismas.

En este procedimiento no se aplica ninguna corrección, pero se asume una distribución rectangular. La incertidumbre estándar es entonces:

$$u(\delta m_D) = \frac{D}{\sqrt{3}} \quad (29a)$$

o

$$u(\delta m_D) = \frac{U_{mc}}{\sqrt{3}} \quad (29b)$$

6.5.1.2.4 Contribuciones totales por la masa de referencia

La incertidumbre estándar por la masa de referencia se obtiene por:

$$u^2(m_{ref}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) \quad (30)$$

6.5.1.3 Incertidumbre estándar de la carga de sustitución

6.5.1.3.1 Contribución por la masa de la carga de sustitución

6.5.1.3.1.1 Opción 1

Para la ecuación 19a, si las cargas de prueba están dadas por la ecuación 5, entonces la contribución a la incertidumbre por la masa de la carga de sustitución viene dada por,

$$u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{ref}) + 2[u^2(I_1) + u^2(I_2) + \dots + u^2(I_{n-1})] \quad (31)$$

Mientras que, si las cargas de prueba se expresan en términos de la ecuación 7, se tiene

$$u^2(L_{Tn,k}) = [(n-1)u(m_{ref}) + u(m_{ref,k})]^2 + 2[u^2(I_1) + u^2(I_2) + \dots + u^2(I_{n-1})] \quad (32)$$

Donde $I = I(L_{Tj})$

6.5.1.3.1.2 Opción 2

Si la carga de sustitución se determinó según lo indicado en el numeral 6.4.2.1.2, la contribución a la incertidumbre por la masa es:

$$u^2(L_T) = nu^2(m_{ref}) + n(u_{Rep}^2 + u_{Res}^2) + u_{Exc_1}^2 + \dots + u_{Exc_n}^2 \quad (33)$$

Donde n hace referencia al número de elementos que componen la carga de sustitución, y las componentes de incertidumbre por repetibilidad, resolución y excentricidad corresponden al instrumento auxiliar que se pueden calcular como:

$$u_{Rep} = \frac{s(I_j)}{2\sqrt{3}} \quad (34)$$

$$u_{Res} = \frac{d}{2\sqrt{3}}\sqrt{2} = \frac{d}{\sqrt{6}} \quad (35)$$

$$u_{Exc} = \frac{|\Delta I_{ecc,i}|_{max} \cdot I}{2L_{ecc}\sqrt{3}} \quad (36)$$

En la ecuación 36, I corresponde a $I_{L_{T,n}}$

Para la componente de incertidumbre por la masa de referencia se tiene en cuenta la incertidumbre reportada en el certificado de calibración del patrón con el cual se determinaron las masas de los elementos que componen las cargas de sustitución. La ecuación para determinarla es:

$$u^2(m_{ref}) = \left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{inst}^2 \quad (37)$$

Donde el término u_{inst}^2 se calcula de acuerdo con lo establecido en el numeral C.6.2 de la OIML R111-1:2004 [4].

6.5.1.3.2 Contribución por empuje del aire para cargas de sustitución

Para la carga de sustitución se debe tener en cuenta una componente de incertidumbre asociada con el empuje del aire. Esta situación es especialmente importante cuando las cargas de sustitución se han formado con materiales de baja densidad (por ejemplo, arena o grava), y la densidad del aire varía significativamente durante el tiempo de uso de las cargas de sustitución.

Para el cálculo se aplican las ecuaciones 27 o 28 dependiendo si se realiza ajuste o no al instrumento antes de la calibración; en este caso, el EMP corresponde al EMP asociado a la clase de exactitud de los patrones con los que fue determinada la carga de sustitución para el valor nominal de la misma.

Por ejemplo, si la carga de sustitución es de 10 000 kg y fue determinada mediante la comparación con un juego de 10 pesas de 1 000 kg clase M₁ cuyo EMP es 50 g, el EMP de la carga de sustitución que debe reemplazarse en la ecuación 27 o 28 es igual a 500 g.

6.5.1.3.3 Contribuciones totales por la carga de sustitución

La incertidumbre estándar por la carga de sustitución se obtiene por:

$$u^2(L_{Tn}) = u^2(L_{Tn}) + u^2(\delta m_B) \quad (38a)$$

ó

$$u^2(L_{Tn,k}) = u^2(L_{Tn,k}) + u^2(\delta m_B) \quad (38b)$$

6.5.1.4 Combinación

El modelo general para la estimación de la incertidumbre combinada se expresa de la siguiente manera:

$$u^2(E_{n,k}) = \frac{d_0^2}{12} + \frac{d_L^2}{12} + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(L_{Tn,k}) \quad (39a)$$

En el caso donde no se utilizan cargas de sustitución, se tiene,

$$u^2(E) = \frac{d_0^2}{12} + \frac{d_L^2}{12} + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(m_{ref}) \quad (39b)$$

6.5.2. Incertidumbre expandida de medición.

La incertidumbre expandida del error es

$$U(E) = ku(E) \quad (40)$$

Donde el factor de cobertura k debe ser escogido de tal forma que la incertidumbre expandida corresponda a un nivel de confianza del 95% aproximadamente. Para la determinación de k se requiere evaluar la función estadística t-student, luego se hace necesario conocer los grados efectivos de libertad, los cuales se calculan mediante la ecuación de Welch-Satterthwaite,

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (41)$$

6.6. Presentación de los resultados

El certificado o informe de calibración debe cumplir con los requisitos indicados en ISO/IEC 17025 y en la Guía SIM para la calibración de instrumentos de pesar de funcionamiento no automático. Los resultados se deben presentar de manera exacta, clara, inequívoca y objetiva. Se debe incluir toda información necesaria para la interpretación de los resultados de medición y una descripción del método utilizado [5,8].

6.6.1 Curva característica del alcance de pesada

Una vez finalizada la calibración, los resultados de los errores se reportan tabulados junto con la incertidumbre asociada y pueden incluirse como una función lineal de la indicación del instrumento de pesaje R , mediante una aproximación de línea recta $E(R) = f(R)$; para esto se sigue el proceso matemático especificado en el numeral C2.2.2 de la GUÍA SIM MWG7/cg-01/v.00 [5].

6.6.2 Aproximación de la incertidumbre del error a una línea recta

La ecuación puede aproximarse a un modelo lineal en función de la lectura R . Considerando un factor de cobertura $k = 2$, la aproximación de la incertidumbre del error a una línea recta se obtiene a partir del modelo matemático especificado en el numeral C2.2.2 de la GUIA SIM MWG7/cg-01/v.00 [5].

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] JCMG 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd edition, 2008 with minor corrections.
- [2] International Recommendation OIML R 76-1 Edition 2006 (E). Non-automatic weighing instruments, Part I: Metrological requirements – Test.
- [3] Superintendencia de Industria y Comercio, “Nuevo Enfoque de Control Metrológico” [En línea]. Disponible: <https://www.sic.gov.co/nuevo-enfoque-de-control-metrologico>. [Último acceso: 4 junio 2021].
- [4] International Recommendation OIML R 111-1 Edition 2004 (E). Weights of classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ and M₃. Part 1: Metrological and technical requirements.
- [5] Guía para la calibración de instrumentos para pesar de funcionamiento no automático SIM MWG7/cg-01/v.00: 2009.
- [6] Norma Técnica Colombiana NTC 2031, Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automáticos. Requisitos Metrológicos y Técnicos. Pruebas. 2014.
- [7] Becerra, L, Gonzalez, E, Pezet, F (1998) Verificación de instrumentos para pesar de alcance máximo mayor a 1 tonelada (funcionamiento no automático) CENAM, México.
- [8] ISO/IEC 17025, Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración, 2017.
- [9] Guidelines on the calibration of non-automatic weighing instruments. EURAMET Calibration Guide No. 18 Version 4.0 (11/2015).
- [10] Field inspection manual – Non automatic weighing devices. Part 3, section 15: STP-15 Eccentricity test. Government of Canada. Disponible en la web: <https://www.ic.gc.ca/eic/site/mc-mc.nsf/eng/lm04325.html#Section4.5>
- [11] González, E, et al. (2004) Comparativo de métodos alternativos de calibración de instrumentos para pesar de alto alcance. Simposio de Metrología 2004.

Anexo 1. Calibración de instrumento de pesaje de funcionamiento no automático de alta capacidad utilizando patrones de masa

Instrumento	Instrumento de pesaje de funcionamiento no automático de alta capacidad			
Geometría	Plataforma rectangular con cuatro puntos de apoyo			
Capacidad máxima / mínima	30 000 kg / 200 kg			
Resolución	10 kg			
Ajuste por operador	No se realiza ajuste inmediatamente antes de la calibración			
Condiciones ambientales durante la calibración	Temperatura	Inicial	20.2 °C	Final
	24.4 °C			
	Presión	Inicial	753.748 hPa	Final
	751.548 hPa			
	Humedad relativa	Inicial	53.1 %	Final
	40.5 %			
Patrones de masa	Juego de pesas de 20 kg clase M ₁ Juego de pesas de 1 000 kg clase M ₁₋₂			

Ensayos y resultados

Repetibilidad

Para esta prueba el valor de carga seleccionado corresponde a 10 000 kg y se realizaron 5 repeticiones, obteniendo las siguientes indicaciones. La indicación se ajusta a cero al inicio de la prueba y cuando se encuentra sin carga.

Repetición	Indicación (kg)
1	10 010
2	10 010
3	10 040
4	10 060
5	10 040
Desviación estándar	22 kg

Excentricidad

Para esta prueba el valor de carga seleccionado corresponde a 7 000 kg y se ubicó en los 5 puntos según la figura 1, obteniendo las siguientes indicaciones. La indicación se ajusta a cero al inicio de la prueba y cuando se encuentra sin carga.

Ubicación	Indicación (kg)
1 - Centro	6 970
2 - Frontal izquierda	7 000
3 - Trasera izquierda	7 010
4 - Trasera derecha	7 010
5 - Frontal derecha	7 010
$ \Delta I_{ecc,i} _{max}$	40 kg

Error de indicación

Para esta prueba se cuenta con patrones de masa distribuidos de manera uniforme dentro del intervalo de medida. Las cargas de ensayo se aplican una vez solamente en sentido creciente. La indicación se ajusta a cero al inicio de la prueba y cuando se encuentra sin carga.

Carga (kg)	Indicación (kg)	$E(I)$ (kg)
220.0039	220	0
2 000.066	2 000	0
4 000.128	4 010	10
6 000.197	6 010	10
8 000.276	8 020	20
10 000.359	10 010	10
12 000.443	12 010	10
14 000.512	14 000	-1
16 000.561	16 000	-1
18 000.603	18 000	-1
20 000.632	20 000	-1

Evaluación de la incertidumbre

A continuación, se ejemplifica el cálculo para la determinación de la incertidumbre para el punto de calibración de 220 kg. Al final, se resumen los resultados obtenidos para los restantes puntos.

- Incertidumbre por repetibilidad

Para determinar esta incertidumbre se tiene en cuenta la desviación estándar calculada en la prueba de repetibilidad. Teniendo en cuenta que solamente se realizó un valor de carga, este es representativo para todos los puntos de la prueba de indicación. En este caso se tiene:

$$u(\delta I_{rep}) = s(I_j)$$

$$u(\delta I_{rep}) = 21.679 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por resolución en cero y en la indicación

Para determinar esta componente se utilizan las ecuaciones 20 y 21, y aplica para todos los puntos de la prueba de error de indicación. De esta manera se tiene,

$$u(\delta I_{dig\ 0}) = \frac{10\text{ kg}}{2\sqrt{3}}$$

$$u(\delta I_{dig\ 0}) \approx 2.887\text{ kg}$$

$$u(\delta I_{dig\ L}) = \frac{10\text{ kg}}{2\sqrt{3}}$$

$$u(\delta I_{dig\ L}) \approx 2.887\text{ kg}$$

- Incertidumbre por excentricidad

Para determinar esta componente se utiliza la ecuación 23. Teniendo en cuenta que depende para cada carga, el cálculo se debe repetir con los otros puntos.

$$u(\delta I_{ecc}) = \frac{|\Delta I_{ecc,i}|_{max}}{2L_{ecc}\sqrt{3}} \cdot I$$

$$u(\delta I_{ecc}) = \frac{40\text{ kg}}{2 \times 7\,000\text{ kg} \times \sqrt{3}} \times 220\text{ kg}$$

$$u(\delta I_{ecc}) \approx 0.363\text{ kg}$$

- Contribuciones totales por indicación

Para determinar este valor, se utiliza la ecuación 24 en donde se contemplan las contribuciones calculadas anteriormente. De esta manera se tiene:

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{dig\ 0}) + u^2(\delta I_{dig\ L}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc})$$

$$u^2(I) \approx (2.887\text{ kg})^2 + (2.887\text{ kg})^2 + (21.679\text{ kg})^2 + (0.363\text{ kg})^2$$

$$u(I) \approx 22.064\text{ kg}$$

- Incertidumbre por corrección de la masa convencional de los patrones

Teniendo en cuenta que la carga de prueba está compuesta por varias pesas, para determinar esta componente se suman las incertidumbres estándar de cada pesa individual. Para el caso de 220 kg se utilizaron 11 pesas de 20 kg para las cuales, la incertidumbre expandida dada en el certificado para cada una corresponde a 0.33 g.

$$u(\delta m_c) = \frac{U_{mc}}{k}$$

$$u(\delta m_c) = \frac{0.000330 \text{ kg}}{2}$$

$$u(\delta m_c) = 0.000165 \text{ kg}$$

$$u_{mc} = 0.000165 \text{ kg} \times 11 = 0.00182 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por deriva de los patrones

Para calcular esta componente se utiliza la incertidumbre expandida de los patrones teniendo en cuenta la sumatoria individual de las pesas que componen la carga de prueba. Al aplicar la ecuación 29b se tiene,

$$u(\delta m_D) = \frac{U_{mc}}{\sqrt{3}}$$

$$u(\delta m_D) = \frac{0.000330 \text{ kg} \times 11}{\sqrt{3}}$$

$$u(\delta m_D) \approx 0.00210 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por corrección por empuje del aire

Teniendo en cuenta que no se realizó ajuste del instrumento previo a la calibración, esta componente se calcula utilizando la ecuación 28 para cada uno de los puntos.

$$u(\delta m_B) = \frac{(0.1 \rho_0 / \rho_c + 3U_{mc} / 4m_N)}{\sqrt{3}} \cdot m_N$$

$$u(\delta m_B) = \frac{\left(0.1 \times \frac{1.2 \text{ kg/m}^3}{8000 \text{ kg/m}^3} + \frac{3 \times 0.000330 \text{ kg} \times 11}{4 \times 220 \text{ kg}}\right)}{\sqrt{3}} \times 220 \text{ kg}$$

$$u(\delta m_B) \approx 0.00348 \text{ kg}$$

- Contribuciones totales por la masa de referencia

Para determinar este valor, se utiliza la ecuación 30 en donde se contemplan las contribuciones calculadas anteriormente. De esta manera se tiene:

$$u^2(m_{ref}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D)$$

$$u^2(m_{ref}) \approx (0.00182 \text{ kg})^2 + (0.00348 \text{ kg})^2 + (0.00210 \text{ kg})^2$$

$$u(m_{ref}) \approx 0.00445 \text{ kg}$$

- Incertidumbre combinada

La incertidumbre combinada se calcula utilizando la contribución total por la indicación y la contribución total por la masa de referencia. De esta manera, la incertidumbre combinada para el punto de 220 kg es:

$$u^2(E) \approx (22.064 \text{ kg})^2 + (0.00445 \text{ kg})^2$$

$$u(E) \approx 22.064 \text{ kg}$$

- Incertidumbre expandida

Para determinar la incertidumbre expandida se calculan los grados efectivos de libertad mediante la ecuación 41. Una vez calculados, se evalúa la función estadística t-student tomando un nivel de confianza de 95 % aproximadamente. Para el caso de 220 kg se tiene:

$$v_{eff} = 4.291$$

$$k = 2.683$$

$$U(E) \approx 59 \text{ kg}$$

A continuación, se presenta la tabla resumen con la incertidumbre expandida para todos los puntos de la prueba de error de indicación.

Carga (kg)	E (I) (kg)	U (E) (kg)
220.0039	0	59
2 000.066	0	60
4 000.128	10	57
6 000.197	10	57
8 000.276	20	59

Carga (kg)	$E(I)$ (kg)	$U(E)$ (kg)
10 000.359	10	60
12 000.443	10	63
14 000.512	-1	66
16 000.561	-1	70
18 000.603	-1	74
20 000.632	-1	79

NOTA: Los resultados obtenidos se presentan según lo descrito en este documento, la forma definitiva en que se reportan los resultados está bajo la consideración de los usuarios de esta guía.

Curva característica del alcance de pesada y aproximación de la incertidumbre del error a una línea recta

De acuerdo con lo indicado en los numerales 6.6.1 y 6.6.2 se determinan las siguientes curvas:

$$E(R)(\text{kg}) = 4.6 \times 10^{-4} R(\text{kg})$$

$$u^2(E_{\text{appr}})(\text{kg}^2) = 1.0 \times 10^{-4} + 7.2 \times 10^{-7} R^2(\text{kg}^2)$$

Anexo 2. Calibración de instrumento de pesaje de funcionamiento no automático de alta capacidad utilizando patrones de masa y cargas de sustitución – Alternativa 1

Instrumento	Instrumento de pesaje de funcionamiento no automático de alta capacidad			
Geometría	Plataforma rectangular con cuatro puntos de apoyo			
Capacidad máxima / mínima	30 000 kg / 200 kg			
Resolución	10 kg			
Ajuste por operador	No se realiza ajuste inmediatamente antes de la calibración			
Condiciones ambientales durante la calibración	Temperatura	Inicial	22.2 °C	Final
	18.9 °C			
	Presión	Inicial	752.567 hPa	Final
	750.411 hPa			
	Humedad relativa	Inicial	46.14 %	Final
	61.20 %			
Patrones de masa	Juego de pesas de 20 kg clase M ₁ Juego de pesas de 1 000 kg clase M ₁₋₂			
Cargas de sustitución	Bloques fabricados en concreto con una masa aproximada de 1 000 kg cada uno.			

Ensayos y resultados

Repetibilidad

Para esta prueba el valor de carga seleccionado corresponde a 10 000 kg y se realizaron 5 repeticiones, obteniendo las siguientes indicaciones. La indicación se ajusta a cero al inicio de la prueba y cuando se encuentra sin carga.

Repetición	Indicación (kg)
1	9 980
2	10 000
3	10 010
4	10 020
5	10 030
Desviación estándar	19 kg

Excentricidad

Para esta prueba el valor de carga seleccionado corresponde a 7 000 kg y se ubicó en los 5 puntos según la figura 1, obteniendo las siguientes indicaciones. La indicación se ajusta a cero al inicio de la prueba y cuando se encuentra sin carga.

Ubicación	Indicación (kg)
1 - Centro	6 960
2 - Frontal izquierda	6 950
3 - Trasera izquierda	7 010
4 - Trasera derecha	7 010
5 - Frontal derecha	7 010
$ \Delta I_{ecc,i} _{max}$	50 kg

Error de indicación

La prueba se realiza en el intervalo desde 220 kg hasta 20 000 kg. Para las cargas de prueba de 220 kg y 2 000 kg se utilizan patrones de masa, para los demás puntos de prueba se construyen cuatro (4) cargas de sustitución L_{sub1} a L_{sub4} fabricadas en concreto, siguiendo lo establecido en el numeral 6.4.2.1.1. Las cargas de prueba se aplican una vez solamente en sentido creciente. La indicación se ajusta a cero al inicio de la prueba y cuando se encuentra sin carga. A continuación, se resume el proceso de construcción de las cargas de sustitución siguiendo lo indicado en el numeral 6.4.2.1.1.

- Carga de prueba L_{T1} compuesta de patrones de referencia con masa $m_{ref} = 2\,000.088\text{ kg}$ e indicación $I(m_{ref}) = 1\,990\text{ kg}$

- Carga de sustitución L_{sub1}

$$\begin{aligned} L_{sub1} &= m_{ref} + I(L_{sub1}) - I(m_{ref}) \\ L_{sub1} &= 2\,000.088\text{ kg} + 1\,830\text{ kg} - 1\,990\text{ kg} \\ L_{sub1} &= 1\,840.088\text{ kg} \end{aligned}$$

- Carga de prueba L_{T2}

$$\begin{aligned} L_{T2} &= L_{sub1} + m_{ref} \\ L_{T2} &= 1\,840.088\text{ kg} + 2\,000.088\text{ kg} \\ L_{T2} &= 3\,840.176\text{ kg} \end{aligned}$$

- Carga de sustitución L_{sub2}

$$\begin{aligned} L_{sub2} &= L_{T2} + I(L_{sub2}) - I(L_{T2}) \\ L_{sub2} &= 3\,840.176\text{ kg} + 3\,610\text{ kg} - 3\,870\text{ kg} \\ L_{sub2} &= 3\,580.176\text{ kg} \end{aligned}$$

- Carga de prueba L_{T3}

$$\begin{aligned} L_{T3} &= L_{sub2} + m_{ref} \\ L_{T3} &= 3\,580.176\text{ kg} + 2\,000.088\text{ kg} \\ L_{T3} &= 5\,580.264\text{ kg} \end{aligned}$$

- Carga de sustitución L_{sub3}

$$\begin{aligned} L_{sub3} &= L_{T3} + I(L_{sub3}) - I(L_{T3}) \\ L_{sub3} &= 3\,840.176\text{ kg} + 3\,610\text{ kg} - 3\,870\text{ kg} \\ L_{sub3} &= 5\,300.264\text{ kg} \end{aligned}$$

- Carga de prueba L_{T4}

$$\begin{aligned} L_{T4} &= L_{sub3} + m_{ref} \\ L_{T4} &= 5\,300.264\text{ kg} + 2\,000.088\text{ kg} \\ L_{T4} &= 7\,300.352\text{ kg} \end{aligned}$$

- Carga de sustitución L_{sub4}

$$\begin{aligned} L_{sub4} &= L_{T4} + I(L_{sub4}) - I(L_{T4}) \\ L_{sub4} &= 7\,300.352\text{ kg} + 7\,230\text{ kg} - 7\,350\text{ kg} \\ L_{sub4} &= 7\,180.352\text{ kg} \end{aligned}$$

- Carga de prueba L_{T5}

$$L_{T5} = L_{sub4} + m_{ref}$$

$$L_{T5} = 7\,180.352\text{ kg} + 2\,000.088\text{ kg}$$

$$L_{T5} = 9\,180.440\text{ kg}$$

A partir de la carga de prueba L_{T5} , los puntos de calibración restantes se forman adicionando 2 000 kg en patrones de masa hasta alcanzar aproximadamente 20 000 kg.

El registro de las indicaciones es:

Cargas				
Patrones m_N	Cargas de sustitución L_{sub}	Carga prueba total $L_T = m_N + L_{sub}$	Indicación (kg)	$E(I)$ (kg)
220 kg	0 kg	220 kg	220	0.0
2 000 kg m_{ref}	0 kg	2 000 kg	1990 m_{ref}	-10.1
0 kg	1 840 kg L_{sub1}	1 840 kg	1 830 L_{sub1}	-10.1
2 000 kg m_{ref}	1 840 kg L_{sub1}	3 840 kg	3 870 $m_{ref} + L_{sub1}$	29.9
0 kg	3 580 kg L_{sub2}	3 580 kg	3 610 L_{sub2}	29.8
2 000 kg m_{ref}	3 580 kg L_{sub2}	5 580 kg	5 620 $m_{ref} + L_{sub2}$	39.8
0 kg	5 300 kg L_{sub3}	5 300 kg	5 340 L_{sub3}	39.7
2 000 kg m_{ref}	5 300 kg L_{sub3}	7 300 kg	7 350 $m_{ref} + L_{sub3}$	49.7
0 kg	7 180 kg L_{sub4}	7 180 kg	7 230 L_{sub4}	49.6
2 000 kg m_{ref}	7 180 kg L_{sub4}	9 180 kg	9 230 $m_{ref} + L_{sub4}$	49.6
4 000 kg	7 180 kg L_{sub4}	11 180 kg	11 220	39.5
6 000 kg	7 180 kg L_{sub4}	13 181 kg	13 270	89.5
8 000 kg	7 180 kg L_{sub4}	15 181 kg	15 270	89.4
10 000 kg	7 180 kg L_{sub4}	17 181 kg	17 250	69.3
12 000 kg	7 180 kg L_{sub4}	19 181 kg	19 260	79.2

Evaluación de la incertidumbre

A continuación, se ejemplifica el cálculo para la determinación de la incertidumbre para el punto de calibración de 19 181 kg, en donde se utilizan 12 000 kg en patrones de masa y 7 180 kg en cargas de sustitución. Al final, se resumen los resultados obtenidos para los restantes puntos.

- Incertidumbre por repetibilidad

Para determinar esta incertidumbre se tiene en cuenta la desviación estándar calculada en la prueba de repetibilidad. Teniendo en cuenta que solamente se realizó un valor de carga, este es representativo para todos los puntos de la prueba de indicación. En este caso se tiene:

$$u(\delta I_{rep}) = s(I_j)$$
$$u(\delta I_{rep}) \approx 19.235 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por resolución en cero y en la indicación

Para determinar esta componente se utilizan las ecuaciones 20 y 21. De esta manera se tiene,

$$u(\delta I_{dig 0}) = \frac{10 \text{ kg}}{2\sqrt{3}}$$
$$u(\delta I_{dig 0}) \approx 2.887 \text{ kg}$$
$$u(\delta I_{dig L}) = \frac{10 \text{ kg}}{2\sqrt{3}}$$
$$u(\delta I_{dig L}) \approx 2.887 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por excentricidad

Para determinar esta componente se utiliza la ecuación 23. Teniendo en cuenta que depende para cada carga, el cálculo se debe repetir con los otros puntos.

$$u(\delta I_{ecc}) = \frac{|\Delta I_{ecc,i}|_{max}}{2L_{ecc}\sqrt{3}} \cdot I$$

$$u(\delta I_{ecc}) = \frac{50 \text{ kg}}{2 \times 7\,000 \text{ kg} \times \sqrt{3}} \times 19\,260 \text{ kg}$$

$$u(\delta I_{ecc}) \approx 39.713 \text{ kg}$$

- Contribuciones totales por indicación

Para determinar este valor, se utiliza la ecuación 24 en donde se contemplan las contribuciones calculadas anteriormente. De esta manera se tiene:

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{dig\,0}) + u^2(\delta I_{dig\,L}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc})$$

$$u^2(I) \approx (2.887 \text{ kg})^2 + (2.887 \text{ kg})^2 + (19.235 \text{ kg})^2 + (39.713 \text{ kg})^2$$

$$u(I) \approx 44.314 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por corrección de la masa convencional de los patrones

Teniendo en cuenta que la carga de prueba está compuesta por varias pesas, para determinar esta componente se suman las incertidumbres estándar de cada pesa individual. Para el caso de 12 000 kg se utilizaron 12 pesas de 1 000 kg para las cuales, la incertidumbre expandida dada en el certificado para cada una corresponde a 33 g.

$$u(\delta m_c) = \frac{U_{mc}}{k}$$

$$u(\delta m_c) = \frac{0.033 \text{ kg}}{2}$$

$$u(\delta m_c) = 0.0165 \text{ kg}$$

$$u_{mc} = 0.0165 \text{ kg} \times 12 = 0.198 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por deriva de los patrones

Para calcular esta componente se utiliza la incertidumbre expandida de los patrones teniendo en cuenta la sumatoria individual de las pesas que componen la carga de prueba. Al aplicar la ecuación 29b se tiene,

$$u(\delta m_D) = \frac{U_{mc}}{\sqrt{3}}$$

$$u(\delta m_D) = \frac{0.033 \text{ kg} \times 12}{\sqrt{3}}$$

$$u(\delta m_D) \approx 0.229 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por corrección por empuje del aire

Teniendo en cuenta que no se realizó ajuste del instrumento previo a la calibración, esta componente se calcula utilizando la ecuación 28 para cada uno de los puntos.

$$u(\delta m_B) = \frac{(0.1 \rho_0 / \rho_c + 3U_{mc} / 4m_N)}{\sqrt{3}} \cdot m_N$$

$$u(\delta m_B) = \frac{\left(0.1 \times \frac{1.2 \text{ kg/m}^3}{8\,000 \text{ kg/m}^3} + \frac{3 \times 0.033 \text{ kg} \times 12}{4 \times 12\,000 \text{ kg}}\right)}{\sqrt{3}} \times 12\,000 \text{ kg}$$

$$u(\delta m_B) \approx 0.275 \text{ kg}$$

- Contribuciones totales por la masa de referencia

Para determinar este valor, se utiliza la ecuación 30 en donde se contemplan las contribuciones calculadas anteriormente. De esta manera se tiene:

$$u^2(m_{ref}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D)$$

$$u^2(m_{ref}) = (0.198 \text{ kg})^2 + (0.275 \text{ kg})^2 + (0.229 \text{ kg})^2$$

$$u(m_{ref}) \approx 0.409 \text{ kg}$$

- Contribución por la masa de la carga de sustitución

Para el cálculo, se considera como masa de referencia 2 000 kg que corresponde a L_{T1} y que para el punto de calibración L_{T10} se utiliza la última carga de sustitución que se definió con L_{T4} . Teniendo en cuenta la ecuación 31 presentada en el numeral 6.5.1.3.1, la contribución por la masa de la carga de sustitución es,

$$u^2(L_{T10}) = 4^2 u^2(m_{ref}) + 2[u^2(I_1) + u^2(I_2) + u^2(I_3) + u^2(I_4)]$$

$$u^2(L_{T10}) = 4^2 \times (0.0682 \text{ kg})^2 + 2[(20.087 \text{ kg})^2 + (21.221 \text{ kg})^2 + (22.824 \text{ kg})^2 + (24.826 \text{ kg})^2]$$

$$u(L_{T10}) \approx 63.105 \text{ kg}$$

- Contribución por el empuje de la carga de sustitución

Teniendo en cuenta que el material de las cargas de sustitución corresponde a bloques de concreto el cual no es de baja densidad, no es necesario determinar esta componente.

- Contribuciones totales por la carga de sustitución

Utilizando la ecuación 38a, se tiene:

$$u^2(L_{Tn}) = u^2(L_{Tn}) + u^2(\delta m_B)$$

$$u^2(L_{Tn}) \approx (63.105 \text{ kg})^2$$

$$u(L_{Tn}) \approx 63.105 \text{ kg}$$

- Incertidumbre combinada

La incertidumbre combinada se calcula utilizando la contribución total por la indicación, la contribución total por la masa de referencia y la contribución total por la carga de sustitución. De esta manera, la incertidumbre combinada para el punto de 19 181 kg es:

$$u^2(E) \approx (44.314 \text{ kg})^2 + (0.409 \text{ kg})^2 + (63.105 \text{ kg})^2$$

$$u(E) \approx 77.111 \text{ kg}$$

- Incertidumbre expandida

Para determinar la incertidumbre expandida se calculan los grados efectivos de libertad mediante la ecuación 41. Una vez calculados, se evalúa la función estadística t-student tomando un nivel de confianza de 95 % aproximadamente. Para el caso de 19 181 kg se tiene:

$$v_{eff} = 162.427$$

$$k = 1.933$$

$$U(E) \approx 149 \text{ kg}$$

A continuación, se presenta la tabla resumen con la incertidumbre expandida para todos los puntos de la prueba de error de indicación.

Carga (kg)	$E(I)$ (kg)	$U(E)$ (kg)
220	0	53
2 000	-10	54
3 840	30	70
5 580	40	92
7 300	50	113
9 180	50	133
11 180	40	136
13 181	89	139
15 181	89	142
17 181	69	145
19 181	79	149

NOTA: Los resultados obtenidos se presentan según lo descrito en este documento, la forma definitiva en que se reportan los resultados está bajo la consideración de los usuarios de esta guía.

Curva característica del alcance de pesada y aproximación de la incertidumbre del error a una línea recta

De acuerdo con lo indicado en los numerales 6.6.1 y 6.6.2 se determinan las siguientes curvas:

$$E(R)(\text{kg}) = 4.8 \times 10^{-3} R(\text{kg})$$

$$u^2(E_{\text{appr}})(\text{kg}^2) = 9.0 \times 10^{-3} + 3.5 \times 10^{-6} R^2(\text{kg}^2)$$

Anexo 3. Calibración de instrumento de pesaje de funcionamiento no automático de alta capacidad utilizando patrones de masa y cargas de sustitución – Alternativa 2

Instrumento	Instrumento de pesaje de funcionamiento no automático de alta capacidad
Geometría	Plataforma rectangular con cuatro puntos de apoyo
Capacidad máxima / mínima	30 000 kg / 200 kg
Resolución	10 kg
Ajuste por operador	No se realiza ajuste inmediatamente antes de la calibración

Condiciones ambientales durante la calibración	Temperatura	Inicial	22.5 °C	Final
	22.5 °C			
	Presión	Inicial	752.125 hPa	Final
	749.069 hPa			
	Humedad relativa	Inicial	48.7 %	Final
	54.3 %			
Patrones de masa	Juego de pesas de 20 kg clase M ₁ Juego de pesas de 1 000 kg clase M ₁₋₂			
Cargas de sustitución	Bloques fabricados en concreto con un peso aproximado de 1 000 kg cada uno.			

Ensayos y resultados

Repetibilidad

Para esta prueba el valor de carga seleccionado corresponde a 10 000 kg y se realizaron 5 repeticiones, obteniendo las siguientes indicaciones. La indicación se ajusta a cero al inicio de la prueba y cuando se encuentra sin carga.

Repetición	Indicación (kg)
1	9 970
2	9 970
3	10 000
4	9 920
5	9 920
Desviación estándar	35 kg

Excentricidad

Para esta prueba el valor de carga seleccionado corresponde a 7 000 kg y se ubicó en los 5 puntos según la figura 1, obteniendo las siguientes indicaciones. La indicación se ajusta a cero al inicio de la prueba y cuando se encuentra sin carga.

Ubicación	Indicación (kg)
1 - Centro	7 000
2 - Frontal izquierda	7 020
3 - Trasera izquierda	7 040
4 - Trasera derecha	7 000
5 - Frontal derecha	7 000
$ \Delta I_{ecc,i} _{max}$	40 kg

Error de indicación

Previo a la calibración del instrumento de pesaje, se utilizó un instrumento auxiliar con capacidad máxima 1 000 kg y resolución 100 g para la determinación de la masa de cada uno de los bloques disponibles siguiendo lo indicado en el numeral 6.4.2.1.2.

Para verificar el desempeño del instrumento auxiliar, se realizaron las pruebas de excentricidad con una carga de 340 kg y repetibilidad con 1 000 kg, obteniendo los siguientes resultados:

- Repetibilidad

Repetición	Indicación (kg)
1	1 000.0
2	999.9
3	1 000.0
4	1 000.0
5	1 000.1
Desviación estándar	71 g

- Excentricidad

Ubicación	Indicación (kg)
1 - Centro	340.3
2 - Frontal izquierda	340.5
3 - Trasera izquierda	340.4
4 - Trasera derecha	340.6
5 - Frontal derecha	340.6
$ \Delta I_{ecc,i} _{max}$	300 g

Para la determinación de la masa de los bloques se realizaron dos ciclos, cada uno con cuatro bloques de prueba. Se utilizó un patrón de referencia de 1 000 kg con masa $m_{ref} = 1\,000.014$ kg. Las indicaciones, diferencias de masa y masa de cada uno de los bloques se resume en la siguiente tabla.

Carga	Indicación (kg)	$\Delta m_{L,T,n}$ (kg)	$m_{L,T,n}$ (kg)
Referencia	1 000.0		
Bloque 5	808.4	-191.5	808.6
Bloque 8	938.3	-61.6	938.5
Bloque 7	936.0	-63.9	936.2
Bloque 4	891.9	-108.0	892.1
Referencia	999.7		

Carga	Indicación (kg)	$\Delta m_{L_{T,n}}$ (kg)	$m_{L_{T,n}}$ (kg)
Referencia	999.7		
Bloque 6	915.3	-84.4	915.7
Bloque 1	902.2	-97.5	902.6
Bloque 2	958.8	-40.9	959.2
Bloque 3	851.0	-148.7	851.4
Referencia	999.6		

Las cargas de prueba se construyen con patrones de masa hasta el punto 12 000 kg y sumando dos bloques para los puntos a partir de 12 000 kg. Las cargas se aplican una vez solamente en sentido creciente. La indicación se ajusta a cero al inicio de la prueba y cuando se encuentra sin carga.

A continuación, se presenta el registro de las indicaciones:

Cargas				
Patrones m_N	Cargas de sustitución L_{sub}	Carga prueba total $L_T = m_N + L_{sub}$	Indicación (kg)	$E(I)$ (kg)
220 kg	0 kg	220 kg	230	10.0
2 000 kg	0 kg	2 000 kg	2 020	19.9
4 000 kg	0 kg	4 000 kg	4 030	29.9
6 000 kg	0 kg	6 000 kg	6 040	39.8
8 000 kg	0 kg	8 000 kg	8 030	29.7
10 000 kg	0 kg	10 000 kg	10 050	49.6
12 000 kg	0 kg	12 000 kg	12 040	39.6
12 000 kg	1 831 kg Bloques 4, 8	13 831 kg	13 880	49.0
12 000 kg	3 555 kg Bloques 4, 5, 6, 8	15 555 kg	15 600	44.8
12 000 kg	5 417 kg Bloques 1, 2, 4, 5, 6, 8	17 417 kg	17 480	63.1
12 000 kg	7 204 kg Bloques 1 a 8	19 204 kg	19 260	55.5

Evaluación de la incertidumbre

A continuación, se ejemplifica el cálculo para la determinación de la incertidumbre para el punto de calibración de 19 204 kg, en donde se utilizan 12 000 kg en patrones de masa y 7 204 kg en cargas de sustitución. Al final, se resumen los resultados obtenidos para los restantes puntos.

- Incertidumbre por repetibilidad

Para determinar esta incertidumbre se tiene en cuenta la desviación estándar calculada en la prueba de repetibilidad. Teniendo en cuenta que solamente se realizó un valor de carga, este es representativo para todos los puntos de la prueba de indicación. En este caso se tiene:

$$u(\delta I_{rep}) = s(I_j)$$

$$u(\delta I_{rep}) \approx 35.071 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por resolución en cero y en la indicación

Para determinar esta componente se utilizan las ecuaciones 20 y 21 y aplica para todos los puntos de la prueba de error de indicación. De esta manera se tiene,

$$u(\delta I_{dig 0}) = \frac{10 \text{ kg}}{2\sqrt{3}}$$

$$u(\delta I_{dig 0}) \approx 2.887 \text{ kg}$$

$$u(\delta I_{dig L}) = \frac{10 \text{ kg}}{2\sqrt{3}}$$

$$u(\delta I_{dig L}) \approx 2.887 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por excentricidad

Para determinar esta componente se utiliza la ecuación 23. Teniendo en cuenta que depende para cada carga, el cálculo se debe repetir con los otros puntos.

$$u(\delta I_{ecc}) = \frac{|\Delta I_{ecc,i}|_{max}}{2L_{ecc}\sqrt{3}} \cdot I$$

$$u(\delta I_{ecc}) = \frac{40 \text{ kg}}{2 \times 7\,000 \text{ kg} \times \sqrt{3}} \times 19\,260 \text{ kg}$$

$$u(\delta I_{ecc}) \approx 31.771 \text{ kg}$$

- Contribuciones totales por indicación

Para determinar este valor, se utiliza la ecuación 24 en donde se contemplan las contribuciones calculadas anteriormente. De esta manera se tiene:

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{dig\ 0}) + u^2(\delta I_{dig\ L}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc})$$

$$u^2(I) \approx (2.887\text{ kg})^2 + (2.887\text{ kg})^2 + (35.071\text{ kg})^2 + (31.771\text{ kg})^2$$

$$u(I) \approx 47.498\text{ kg}$$

- Incertidumbre por corrección de la masa convencional de los patrones

Teniendo en cuenta que la carga de prueba está compuesta por varias pesas, para determinar esta componente se suman las incertidumbres estándar de cada pesa individual. Para el caso de 12 000 kg se utilizaron 12 pesas de 1 000 kg para las cuales, la incertidumbre expandida dada en el certificado para cada una corresponde a 33 g.

$$u(\delta m_c) = \frac{U_{mc}}{k}$$

$$u(\delta m_c) = \frac{0.033\text{ kg}}{2}$$

$$u(\delta m_c) = 0.0165\text{ kg}$$

$$u_{mc} = 0.0165\text{ kg} \times 12 = 0.198\text{ kg}$$

- Incertidumbre por deriva de los patrones

Para calcular esta componente se utiliza la incertidumbre expandida de los patrones teniendo en cuenta la sumatoria individual de las pesas que componen la carga de prueba. Al aplicar la ecuación 29b se tiene,

$$u(\delta m_D) = \frac{U_{mc}}{\sqrt{3}}$$

$$u(\delta m_D) = \frac{0.033\text{ kg} \times 12}{\sqrt{3}}$$

$$u(\delta m_D) \approx 0.229\text{ kg}$$

- Incertidumbre por corrección por empuje del aire

Teniendo en cuenta que no se realizó ajuste del instrumento previo a la calibración, esta componente se calcula utilizando la ecuación 28 para cada uno de los puntos.

$$u(\delta m_B) = \frac{(0.1 \rho_0 / \rho_c + 3U_{mc} / 4m_N)}{\sqrt{3}} \cdot m_N$$

$$u(\delta m_B) = \frac{\left(0.1 \times \frac{1.2 \text{ kg/m}^3}{8\,000 \text{ kg/m}^3} + \frac{3 \times 0.033 \text{ kg} \times 12}{4 \times 12\,000 \text{ kg}}\right)}{\sqrt{3}} \times 12\,000 \text{ kg}$$

$$u(\delta m_B) \approx 0.275 \text{ kg}$$

- Contribuciones totales por la masa de referencia

Para determinar este valor, se utiliza la ecuación 30 en donde se contemplan las contribuciones calculadas anteriormente. De esta manera se tiene:

$$u^2(m_{ref}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D)$$

$$u^2(m_{ref}) \approx (0.198 \text{ kg})^2 + (0.275 \text{ kg})^2 + (0.229 \text{ kg})^2$$

$$u(m_{ref}) \approx 0.409 \text{ kg}$$

- Contribución por la masa de la carga de sustitución

Para el cálculo, se aplican las ecuaciones presentadas en el numeral 6.5.1.3.1.2. De esta manera se tiene:

$$u^2(L_T) = nu^2(m_{ref}) + n(u_{Rep}^2 + u_{Res}^2) + u_{Exc_1}^2 + \dots + u_{Exc_n}^2$$

$$u^2(L_T) \approx 8 \times \left(\left(\frac{0.33 \text{ kg}}{2} \right)^2 + \left(\frac{0.33 \text{ kg}}{\sqrt{3}} \right)^2 \right) + 8 \times \left(\left(\frac{0.071 \text{ kg}}{2\sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{0.1 \text{ kg}}{2\sqrt{3}} \right)^2 \right)$$

$$+ (0.23 \text{ kg})^2 + (0.24 \text{ kg})^2 + (0.22 \text{ kg})^2 + (0.23 \text{ kg})^2 + (0.21 \text{ kg})^2 + (0.23 \text{ kg})^2$$

$$+ (0.24 \text{ kg})^2 + (0.24 \text{ kg})^2$$

$$u(L_T) = 0.971 \text{ kg}$$

- Contribución por el empuje de la carga de sustitución

Teniendo en cuenta que el material de las cargas de sustitución corresponde a bloques de concreto el cual no es de baja densidad, no es necesario determinar esta componente.

- Contribuciones totales por la carga de sustitución

Utilizando la ecuación 38a, se tiene:

$$u^2(L_{Tn}) = u^2(L_{Tn}) + u^2(\delta m_B)$$

$$u(L_{Tn}) \approx 0.971 \text{ kg}$$

- Incertidumbre combinada

La incertidumbre combinada se calcula utilizando la contribución total por la indicación, la contribución total por la masa de referencia y la contribución total por la carga de sustitución. De esta manera, la incertidumbre combinada para el punto de 19 204 kg es:

$$u^2(E) \approx (47.498 \text{ kg})^2 + (0.409 \text{ kg})^2 + (0.971 \text{ kg})^2$$

$$u(E) \approx 47.510 \text{ kg}$$

- Incertidumbre expandida

Para determinar la incertidumbre expandida se calculan los grados efectivos de libertad mediante la ecuación 44. Una vez calculados, se evalúa la función estadística t-student tomando un nivel de confianza de 95 % aproximadamente. Para el caso de 19 204 kg se tiene:

$$v_{eff} = 13.11$$

$$k = 2.108$$

$$U(E) \approx 100 \text{ kg}$$

A continuación, se presenta la tabla resumen con la incertidumbre expandida para todos los puntos de la prueba de error de indicación.

Carga (kg)	$E(I)$ (kg)	$U(E)$ (kg)
220	10	95
2 000	20	95
4 000	30	96
6 000	40	98
8 000	30	94
10 000	50	93
12 000	40	93
13 831	49	94
15 555	45	96
17 417	63	98
19 204	56	100

NOTA: Los resultados obtenidos se presentan según lo descrito en este documento, la forma definitiva en que se reportan los resultados está bajo la consideración de los usuarios de esta guía.

Curva característica del alcance de pesada y aproximación de la incertidumbre del error a una línea recta

De acuerdo con lo indicado en los numerales 6.6.1 y 6.6.2 se determinan las siguientes curvas:

$$E(R)(\text{kg}) = 3.6 \times 10^{-3} R (\text{kg})$$

$$u^2(E_{appr})(\text{kg}^2) = 1.6 \times 10^{-2} + 1.3 \times 10^{-6} R^2 (\text{kg}^2)$$

Anexo 4. Calibración de instrumento de pesaje de funcionamiento no automático de alta capacidad utilizando patrones de masa y cargas de sustitución

Instrumento	Instrumento de pesaje de funcionamiento no automático de alta capacidad			
Geometría	Equipo de pesaje de vehículos con catorce puntos de apoyo y tres módulos			
Capacidad máxima / mínima	80 000 kg / 200 kg			
Resolución	10 kg			
Ajuste por operador	No se realiza ajuste inmediatamente antes de la calibración			
Condiciones ambientales durante la calibración	Temperatura	Inicial	22.9 °C	Final
	21.1 °C			
	Presión	Inicial	749.4 hPa	Final
	747.6 hPa			
	Humedad relativa	Inicial	37.1 %	Final
	39.7 %			

Patrones de masa	Pesa individual de 200 kg clase M ₂ Juego de pesas de 1 000 kg y 2 000 kg clase M ₂
Cargas de sustitución	Vehículo sin carga con un peso aproximado de 24 000 kg.

Ensayos y resultados

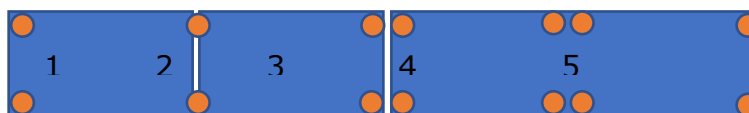
Repetibilidad

Para esta prueba el valor de carga seleccionado corresponde a 24 000 kg (carga de sustitución) y se realizaron 5 repeticiones, obteniendo las siguientes indicaciones. La indicación se ajusta a cero al inicio de la prueba y cuando se encuentra sin carga.

Repeticición	Indicación (kg)
1	24 020
2	24 010
3	24 020
4	24 020
5	24 020
Desviación estándar	4 kg

Excentricidad

Para esta prueba el valor de carga seleccionado corresponde a 24 000 kg (carga de sustitución) y se ubicó en los puntos que se presentan en la siguiente figura. La indicación se ajusta a cero al inicio de la prueba y cuando se encuentra sin carga y las indicaciones se tomaron en las dos direcciones del equipo de pesaje como se indica en el numeral 6.4.2.2.2.



Las indicaciones obtenidas y el delta máximo de excentricidad calculado mediante la ecuación 15 son:

Ubicación	Indicaciones (kg)		$ \Delta I_{ecc,i} $ (kg)
	Der. – Izq.	Izq. – Der.	
1	24 000	24 000	0
2	24 020	23 980	40
3	24 010	23 980	30
4	24 000	23 990	10
5	24 000	24 030	30

Ubicación	Indicaciones (kg)		$ \Delta I_{ecc,i} $ (kg)
	Der. – Izq.	Izq. – Der.	
6	24 000	24 040	40
$ \Delta I_{ecc,i} _{max}$			40 kg

Error de indicación

Se utiliza una carga de sustitución L_{sub1} para completar el punto máximo de 54 000 kg y los demás puntos de la prueba están compuestos de patrones de masa. Las cargas de prueba se aplican una vez solamente en sentido creciente. La indicación se ajusta a cero al inicio de la prueba y cuando se encuentra sin carga.

A continuación, se resume el proceso de construcción de la carga de sustitución siguiendo lo indicado en el numeral 6.4.2.1.1.

- Carga de prueba L_{T1} compuesta de patrones de referencia con masa $m_{ref} = 24\,000.98$ kg e indicación $I(m_{ref}) = 24\,020$ kg
- Carga de sustitución L_{sub1}

$$L_{sub1} = m_{ref} + I(L_{sub1}) - I(m_{ref})$$

$$L_{sub1} = 24\,000.98 \text{ kg} + 23\,940 \text{ kg} - 24\,020 \text{ kg}$$

$$L_{sub1} = 23\,920.98 \text{ kg}$$

El registro de las indicaciones es:

Cargas				
Patrones m_N	Cargas de sustitución L_{sub}	Carga prueba total $L_T = m_N + L_{sub}$	Indicación (kg)	$E(I)$ (kg)
200 kg	0 kg	200 kg	200	0.0
7 000 kg	0 kg	7 000 kg	7 020	19.8
15 000 kg	0 kg	15 000 kg	15 010	9.4
24 000 kg	0 kg	24 000 kg	24 020	19.0
30 001 kg	0 kg	30 001 kg	30 010	8.7
30 001 kg	23 921 kg	53 922 kg	53 960	37.8

Evaluación de la incertidumbre

A continuación, se ejemplifica el cálculo para la determinación de la incertidumbre para el punto de calibración de 53 922 kg, en donde se utilizan 30 000 kg en patrones de masa y 23 931 kg en carga de sustitución. Al final, se resumen los resultados obtenidos para los restantes puntos.

- Incertidumbre por repetibilidad

Para determinar esta incertidumbre se tiene en cuenta la desviación estándar calculada en la prueba de repetibilidad. Teniendo en cuenta que solamente se realizó un valor de carga, este es representativo para todos los puntos de la prueba de indicación. En este caso se tiene:

$$u(\delta I_{rep}) = s(I_j)$$

$$u(\delta I_{rep}) \approx 4.472 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por resolución en cero y en la indicación

Para determinar esta componente se utilizan las ecuaciones 20 y 21, y aplica para todos los puntos de la prueba de error de indicación. De esta manera se tiene,

$$u(\delta I_{dig 0}) = \frac{10 \text{ kg}}{2\sqrt{3}}$$

$$u(\delta I_{dig 0}) \approx 2.887 \text{ kg}$$

$$u(\delta I_{dig L}) = \frac{10 \text{ kg}}{2\sqrt{3}}$$

$$u(\delta I_{dig L}) \approx 2.887 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por excentricidad

Para determinar esta componente se utiliza la ecuación 23. Teniendo en cuenta que depende para cada carga, el cálculo se debe repetir con los otros puntos.

$$u(\delta I_{ecc}) = \frac{|\Delta I_{ecc,i}|_{max}}{2L_{ecc}\sqrt{3}} \cdot I$$

$$u(\delta I_{ecc}) = \frac{40 \text{ kg}}{2 \times 24\,000 \text{ kg} \times \sqrt{3}} \times 53\,960 \text{ kg}$$

$$u(\delta I_{ecc}) \approx 25.962 \text{ kg}$$

- Contribuciones totales por indicación

Para determinar este valor, se utiliza la ecuación 24 en donde se contemplan las contribuciones calculadas anteriormente. De esta manera se tiene:

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{dig\,0}) + u^2(\delta I_{dig\,L}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc})$$

$$u^2(I) \approx (2.887 \text{ kg})^2 + (2.887 \text{ kg})^2 + (4.472 \text{ kg})^2 + (25.962 \text{ kg})^2$$

$$u(I) \approx 26.658 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por corrección de la masa convencional de los patrones

Teniendo en cuenta que la carga de prueba está compuesta por varias pesas, para determinar esta componente se suman las incertidumbres estándar de cada pesa individual. Para el caso de 30 000 kg se utilizaron 4 pesas de 1 000 kg y 13 pesas de 2 000 kg para las cuales, las incertidumbres expandidas dadas en el certificado corresponden a 53 g para 1 000 kg y 100 g para 2 000 kg.

$$u(\delta m_c) = \frac{U_{mc}}{k}$$

$$u(\delta m_c) = \frac{13 \times 0.1 \text{ kg} + 4 \times 0.053 \text{ kg}}{2}$$

$$u(\delta m_c) \approx 0.756 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por deriva de los patrones

Para calcular esta componente se utiliza la incertidumbre expandida de los patrones teniendo en cuenta la sumatoria individual de las pesas que componen la carga de prueba. Al aplicar la ecuación 29b se tiene,

$$u(\delta m_D) = \frac{U_{mc}}{\sqrt{3}}$$

$$u(\delta m_D) = \frac{13 \times 0.1 \text{ kg} + 4 \times 0.053 \text{ kg}}{\sqrt{3}}$$

$$u(\delta m_D) \approx 0.873 \text{ kg}$$

- Incertidumbre por corrección por empuje del aire

Teniendo en cuenta que no se realizó ajuste del instrumento previo a la calibración, esta componente se calcula utilizando la ecuación 28 para cada uno de los puntos.

$$u(\delta m_B) = \frac{(0.1 \rho_0 / \rho_c + 3U_{mc} / 4m_N)}{\sqrt{3}} \cdot m_N$$

$$u(\delta m_B) = \frac{\left(0.1 \times \frac{1.2 \text{ kg/m}^3}{8\,000 \text{ kg/m}^3} + \frac{3 \times (13 \times 0.1 \text{ kg} + 4 \times 0.053 \text{ kg})}{4 \times 30\,000 \text{ kg}}\right)}{\sqrt{3}} \times 30\,000 \text{ kg}$$

$$u(\delta m_B) \approx 0.915 \text{ kg}$$

- Contribuciones totales por la masa de referencia

Para determinar este valor, se utiliza la ecuación 30 en donde se contemplan las contribuciones calculadas anteriormente. De esta manera se tiene:

$$u^2(m_{ref}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D)$$

$$u^2(m_{ref}) \approx (0.756 \text{ kg})^2 + (0.915 \text{ kg})^2 + (0.873 \text{ kg})^2$$

$$u(m_{ref}) \approx 1.473 \text{ kg}$$

- Contribución por la masa de la carga de sustitución

Para el cálculo, se considera como masa de referencia 24 000 kg que corresponde a L_{T1} . Teniendo en cuenta la ecuación 34 presentada en el numeral 6.5.1.3.1, la contribución por la masa de la carga de sustitución es,

$$u^2(L_T) = 1^2 u^2(m_{ref}) + 2[u^2(I_1)]$$

$$u^2(L_T) = 1 \times (1.170 \text{ kg})^2 + 2[(13.047 \text{ kg})^2]$$

$$u(L_T) \approx 18.488 \text{ kg}$$

- Contribución por el empuje de la carga de sustitución

Teniendo en cuenta que el material de la carga de sustitución no es de baja densidad, no es necesario determinar esta componente.

- Contribuciones totales por la carga de sustitución

Utilizando la ecuación 38a, se tiene:

$$u^2(L_{Tn}) = u^2(L_{Tn}) + u^2(\delta m_B)$$

$$u^2(L_{Tn}) \approx (18.488 \text{ kg})^2$$

$$u(L_{Tn}) \approx 18.488 \text{ kg}$$

- Incertidumbre combinada

La incertidumbre combinada se calcula utilizando la contribución total por la indicación, la contribución total por la masa de referencia y la contribución total por la carga de sustitución. De esta manera, la incertidumbre combinada para el punto de 53 922 kg es:

$$u^2(E) \approx (26.658 \text{ kg})^2 + (1.473 \text{ kg})^2 + (18.488 \text{ kg})^2$$

$$u(E) \approx 32.475 \text{ kg}$$

- Incertidumbre expandida

Para determinar la incertidumbre expandida se calculan los grados efectivos de libertad mediante la ecuación 41. Una vez calculados, se evalúa la función estadística t-student tomando un nivel de confianza de 95 % aproximadamente. Para el caso de 53 922 kg se tiene:

$$v_{eff} = 191.3$$

$$k = 1.93$$

$$U(E) \approx 63 \text{ kg}$$

A continuación, se presenta la tabla resumen con la incertidumbre expandida para todos los puntos de la prueba de error de indicación.

Carga (kg)	$E(I)$ (kg)	$U(E)$ (kg)
200	0	13
7 000	20	14
15 000	9	18
24 000	19	25
30 001	9	30
53 922	38	63

NOTA: Los resultados obtenidos se presentan según lo descrito en este documento, la forma definitiva en que se reportan los resultados está bajo la consideración de los usuarios de esta guía.

Curva característica del alcance de pesada y aproximación de la incertidumbre del error a una línea recta

De acuerdo con lo indicado en los numerales 6.6.1 y 6.6.2 se determinan las siguientes curvas:

$$E(R)(\text{kg}) = 7.6 \times 10^{-4} R(\text{kg})$$

$$u^2(E_{\text{appr}})(\text{kg}^2) = 2.1 \times 10^{-5} + 7.5 \times 10^{-8} R^2(\text{kg}^2)$$



***Instituto Nacional de Metrología de Colombia - INM
Subdirección de Metrología Física, Red Colombiana de Metrología.***

Av. Cra 50 No 26-55 Int. 2 CAN - Bogotá, D.C. Colombia

Conmutador: (571) 254 22 22

E-mail: contacto@inm.gov.co

www.inm.gov.co

Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC

Av. Calle 26 # 57 – 83, Torre 8, Oficina 1001 - Bogotá, D.C. Colombia

PBX: +571 742 7592

E-mail: onac@onac.org.co