

**INSTRUMENTOS DE PESAJE
DE FUNCIONAMIENTO AUTOMÁTICO
(SELECCIONADORAS PONDERALES)**

Bogotá - 2022



www.inm.gov.co



INMdeColombia



Competitividad territorial:
confianza en tus mediciones, calidad en tus productos



Financiado por
la Unión Europea

Esta guía se logró gracias al proyecto ColombiaMide “Calidad para la competitividad- Reduciendo las brechas de calidad en Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Mipymes) en regiones de Colombia”.

Participan:



Guía de calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento automático (Seleccionadoras ponderales) / Jhon Jaiver Escobar Soto [y otros tres] -- Bogotá, (Colombia) : Instituto Nacional de Metrología, 2022.

74 páginas.

Incluye referencias bibliográficas, tablas y foto

ISBN e-Book: 978-958-53805-3-0

1. Calibración de la seleccionadora 2. Certificado de calibración (Colombia)

U.A.E. Instituto Nacional De Metrología (978-958-53642)

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 Técnicos Temáticos o Grupos Técnicos 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 base para la elaboración de procedimientos e instructivos prácticos por parte de los laboratorios de calibración y ensayo.

La elaboración de esta guía surge en el marco del proyecto ColombiaMide “Calidad para la competitividad – Reduciendo las brechas de calidad en Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Mipymes) en regiones de Colombia”, apoyado por el Instituto Nacional de Metrología de Alemania (PTB).

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. d. Laboratorios de calibración acreditados para la calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento automático e. Fabricantes y otros usuarios de instrumentos de pesaje de funcionamiento automático calibrados para realizar mediciones relacionadas con la calidad de producción según requisitos de gestión de calidad.

Preparación editorial

U.A.E. Instituto Nacional De Metrología
(978-958-53642)

Edición:

Instituto Nacional de Metrología - INM.

Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC.

Proyecto ColombiaMide

“Calidad para la competitividad – Reduciendo las brechas de calidad en Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Mipymes) en regiones de Colombia”

Laboratorios de calibración.

Corrección de estilo:

Instituto Nacional de Metrología - INM.

Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC.

Proyecto ColombiaMide

“Calidad para la competitividad – Reduciendo las brechas de calidad en Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Mipymes) en regiones de Colombia”

Laboratorios de calibración.

Diagramación:

Proyecto ColombiaMide

“Calidad para la competitividad – Reduciendo las brechas de calidad en Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Mipymes) en regiones de Colombia”

(Mipymes) en regiones de Colombia”

Línea de atención al cliente: +57 (601) 254 2222.

Línea Nacional: 01 8000112542.

contacto@inm.gov.co

www.inm.gov.co

Citación sugerida:

Escobar Soto, J. J., Barreto Gutiérrez, J. A., Cifuentes Díaz, D. V., & Cusva García, C. A. (2022). Guía de calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento automático (Seleccionadoras ponderales). Instituto Nacional de Metrología.

Fecha de recepción: 16 de diciembre de 2021.

Fecha de evaluación: 13 de diciembre de 2021.

Fecha de aceptación: 30 de diciembre de 2021.

Publicado en Bogotá, Colombia, julio de 2022.

CONTENIDO

1.	OBJETIVO	6
2.	ALCANCE	6
3.	ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS	6
4.	DEFINICIONES	9
5.	ASPECTOS GENERALES DE LA CALIBRACIÓN	9
6.	calibración de la seleccionadora	10
6.1	Generalidades	10
6.1.1	Intervalo de la calibración	10
6.1.2	Operaciones previas	10
6.1.3	Pruebas de calibración	11
6.1.4	Efecto del empuje del aire	12
6.1.4.1	Ensayos estáticos. Pesas patrón	12
6.1.4.2	Ensayos dinámicos. Masas de transferencia	12
6.1.5	Efectos de la convección	13
6.1.6	Valor de referencia de la masa	13
6.2	Equipos y materiales	14
6.2.1	Instrumento de control	14
6.2.2	Cargas de prueba	14
6.2.2.1	Patrón o patrones de trabajo	14
6.2.2.2	Otras cargas de prueba	15
6.2.3	Equipos auxiliares	16
6.3	Condiciones ambientales	16
6.4	Proceso de calibración	16
6.4.1	Instrumentos que pueden pesar en estático	16
6.4.2	Ensayos en funcionamiento automático	16
6.4.2.1	Selección de los puntos de calibración	16
6.4.2.1.1	Selección de los puntos para la prueba de error y repetibilidad	16
6.4.2.1.2	Selección de los puntos para la prueba de excentricidad	17

6.4.3	Proceso de calibración y tratamiento de datos	17
6.4.3.1	Prueba de error de indicación y repetibilidad	17
6.4.3.1.1	Errores de indicación	18
6.4.3.2	Prueba de excentricidad de carga.....	18
6.4.3.3	Mediciones auxiliares.....	19
6.4.3.3.1	Parámetros de funcionamiento	19
6.5	Evaluación de la incertidumbre de medición	20
6.5.1	Fuentes de incertidumbre de medición	20
6.5.1.1	Incertidumbre estándar de la indicación.....	20
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	Contribuciones por excentricidad	22
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	23
6.5.1.2.2	Contribución por corrección por empuje del aire	23
6.5.1.2.3	Contribución por deriva	24
6.5.1.2.4	Contribuciones totales por la masa de referencia.....	24
6.5.1.3	Incertidumbre de la desviación en el instrumento de control	24
6.5.1.4	Incertidumbre estándar del error	25
6.5.2	Incertidumbre expandida de medición	26
7	Certificado de calibración.....	26
7.1	Información general	26
7.2	Información sobre el procedimiento de calibración	27
7.3	Resultados de medida	27
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
ANEXO I	RECOMENDACIONES SOBRE LA ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE	30
ANEXO II	EL EMPUJE DEL AIRE Y LA DETERMINACIÓN DE LAS MASAS DE TRANSFERENCIA EN LA CALIBRACIÓN DE SELECCIONADORAS PONDERALES.....	35
ANEXO III	EJEMPLOS	56

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, Jhon Barreto Gutiérrez, Diana Vanesa Cifuentes y Camila Cusva García); además, se contó con la colaboración de Carlos Niño (INM) y Ángel Lumbreras, experto del Centro Español de Metrología - CEM, además del Organismo Nacional de Acreditación de Colombia – ONAC y los laboratorios de calibración que han participado en las reuniones del grupo técnico.

REVISIÓN

Mesa de Trabajo Técnico Científico de la Subdirección de Metrología Física, Grupo Técnico por Magnitud en Masa – GTM y Ángel Lumbreras, experto del Centro Español de Metrología – CEM.

AGRADECIMIENTOS

A Frutales Las Lajas S.A, empresa colombiana productora, comercializadora y seleccionadora de lima ácida Tahití y aguacate Hass, un especial agradecimiento por permitir el uso sus instalaciones e instrumento de pesaje de funcionamiento automático (seleccionadora ponderal) de aguacate Hass, para el desarrollo de los ensayos y ejemplos prácticos añadidos al documento. A José Luis Vaca, Jorge Andrés Morales y Bernardo Correa un agradecimiento por su colaboración durante las pruebas de calibración. Así mismo, al ingeniero Alexander Campos por su disposición y cooperación durante la visita.

De igual manera un agradecimiento a la empresa productora de aguacate Hass, ARBA Colombia SAS por su colaboración en la gestión para el desarrollo de las pruebas de calibración.

Finalmente, agradecimientos especiales a la doctora María Nieves Medina y a Ángel Lumbreras, expertos del Centro Español de Metrología – INM por su participación y colaboración en el desarrollo de la presente guía.

1. OBJETIVO

Esta guía tiene por objeto describir el método para la calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento automático tipo seleccionadoras ponderales, siguiendo y ampliando los lineamientos establecidos en la Guía G-19 La calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento automático (seleccionadoras ponderales) desarrollado por el Centro Español de Metrología CEM. Adicionalmente, se presenta el modelo para la evaluación de incertidumbre de la medición y ejemplos de su aplicación.

2. ALCANCE

Esta guía aplica para la calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento automático de indicación automática tipo seleccionadoras ponderales (a partir de ahora llamados “seleccionadoras”). En particular en lo que se refiere a: Mediciones a realizar, cálculo de los resultados de medida, evaluación de la incertidumbre de medida, y contenidos de los certificados de calibración. Adicionalmente, contiene orientaciones para la calibración en estático (no automático) de las seleccionadoras, para lo cual se emplea la guía para la calibración de los instrumentos para pesar de funcionamiento no automático desarrollado por el Sistema Interamericano de Metrología SIM MWG7/cg-01/v.00. Con respecto a esto, cabe resaltar que, este documento contiene solamente las particularizaciones necesarias. 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

Min'	Límite inferior especificado del alcance de pesada, $Min' > Min$
N	Número de cargas de prueba individuales
R	Indicación (lectura) de un instrumento no relacionado con una carga de prueba
T	Temperatura
Tol	Valor de tolerancia especificado
U	Incertidumbre expandida
W	Resultado de pesada, pesada en el aire
d	Resolución, la diferencia de masa entre dos indicaciones consecutivas del dispositivo de indicación
d_T	Resolución de uso considerado en las pruebas de calibración
k_L	Número de puntos de calibración
k	Factor de cobertura
m	Masa de un objeto o cuerpo en general
m_c	Valor de masa convencional de un patrón de masa
m_N	Valor nominal un patrón de masa
m_{ref}	Valor de referencia de masa de una carga de prueba durante la calibración de la seleccionadora
m_{cTra}	Valor de masa convencional de una masa de transferencia
n	Número de elementos, como se indique en cada caso
s	Desviación estándar
u	Incertidumbre estándar
δ	Gradiente de contribución o corrección
Δ	Diferencia
ρ	Densidad
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 $\rho_c = 8\,000 \text{ kg/m}^3$
ρ_a	Densidad del aire

ρ_{a2Tra}	Densidad del aire en el momento de la calibración de la seleccionadora
----------------	--

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>adj</i>	Ajuste
<i>appr</i>	Aproximación
<i>ecc</i>	Excentricidad
<i>cal</i>	Calibración
<i>conv</i>	Convección
<i>gl</i>	Global
<i>i</i>	Numeración i-ésimo
<i>j</i>	Numeración j-ésimo
<i>instr</i>	Instrumento de pesaje
<i>max</i>	Valor máximo de una población dada
<i>min</i>	Valor mínimo de una población dada
<i>proc</i>	Procedimiento de pesada
<i>ref</i>	Referencia
<i>rep</i>	Repetibilidad
<i>s</i>	Patrón (masa) ; real en el momento del ajuste
0	Cero, sin carga
<i>Tot</i>	Total

<i>sub</i>	Carga de substitución
<i>tare</i>	Operación de tara
<i>temp</i>	Temperatura
<i>time</i>	Tiempo

4. DEFINICIONES

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.

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 AUTOMÁTICO: Es un instrumento que determina la masa de un producto sin la intervención de un operador y que ejecuta un programa predeterminado de procesos automáticos característico de dicho instrumento [3].

SELECCIONADORA PONDERAL: Instrumento de pesaje de funcionamiento automático que determina la masa de cargas discretas previamente reunidas (por ejemplo, pre envasados) o de cargas individuales de material suelto [3].

CARGAS DE PRUEBA: Objeto o cuerpo sólido utilizado como valor de referencia de masa para la calibración de la seleccionadora.

5. ASPECTOS GENERALES DE LA CALIBRACIÓN

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 consiste en aplicar cargas de prueba a la seleccionadora bajo condiciones específicas para determinar el error del instrumento y su correspondiente incertidumbre [4].

La calibración se debe hacer “en sitio”, en el emplazamiento habitual de la seleccionadora 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. Una vez realizada la calibración, el desplazamiento de la seleccionadora puede variar diversas condiciones como la gravedad, densidad del aire, corrientes de aire, vibraciones, gradientes térmicos, iluminación, entre otros y, por lo tanto, invalidar los resultados de la calibración.

6. CALIBRACIÓN DE LA SELECCIONADORA

6.1 Generalidades

6.1.1 Intervalo de la calibración

El cliente puede especificar una cierta parte del campo de pesaje, limitado por una carga mínima Min' y una carga máxima a pesar Max' , o cargas nominales individuales, para las que solicita el servicio de calibración. La calibración debería extenderse al campo de pesaje completo, es decir, desde Min al alcance máximo Max , considerando los efectos dinámicos [4].

6.1.2 Operaciones previas

Antes de realizar la calibración se debe considerar lo siguiente:

La seleccionadora debe estar conectada a la red eléctrica y en posición de encendido el tiempo que recomiende el fabricante para su estabilización. En ausencia del manual del instrumento es recomendable que este tiempo sea de 24 horas.

El manual de instrucciones de la seleccionadora debe estar disponible en su formato físico o electrónico para asegurar que el personal pueda consultarlo en los casos que se requiera.

La seleccionadora debe encontrarse identificada 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 la seleccionadora 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.

Todas las partes de la seleccionadora a calibrar deben estar libres de efectos de contaminación o daños y todas las funciones esenciales para la calibración deben operar satisfactoriamente [4].

Las condiciones normales de uso (corrientes de aire, vibraciones, estabilidad del puesto de pesaje, etc.) deberían ser adecuadas a la seleccionadora a calibrar [4]. En cualquier caso, la calibración se realiza en las condiciones normales y reales de uso de la seleccionadora.

El instrumento debería ser sometido a una carga aproximadamente igual a la carga máxima de prueba, una vez como mínimo, o, recomendable, de manera repetida [4].

En el caso de las seleccionadoras que posean un dispositivo de ajuste dinámico, es decir aquellos que permiten la introducción manual o automática de un factor de corrección de peso dinámico, con medios disponibles por el usuario, deben ser ajustados a las condiciones de uso, que han de ser indicadas por el cliente. Dichos ajustes deben realizarse con los medios aplicados normalmente por el cliente y siguiendo las instrucciones del fabricante cuando estén disponibles [4].

Debe registrarse, en la medida en que son relevantes para los resultados de la calibración, el estado de los parámetros de configuración del software que pueden ser alterados por el cliente [4].

Las seleccionadoras equipadas con dispositivos de seguimiento de cero o de puesta a cero automática deben calibrarse con el dispositivo en marcha o no, según establezca el cliente. Si no se dice lo contrario, se hará en las condiciones habituales de funcionamiento [4].

6.1.3 Pruebas de calibración

Mediante la calibración se busca conocer dos características metrológicas de la seleccionadora: la exactitud de medida del equipo en el (los) punto(s) o intervalo de calibración 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, error de indicación y repetibilidad.

La prueba de excentricidad determina la diferencia de indicación de la seleccionadora con carga en posiciones periféricas, frente a la posición en el centro del receptor de carga. El efecto de excentricidad se tendrá en cuenta para cuantificar la incertidumbre de medida de la seleccionadora debido a la ubicación de la carga o a la posición. También puede servir para identificar funcionamientos anormales de manera temprana. Esta prueba no se podrá realizar cuando la carga de prueba no pueda aplicarse de forma excéntrica sobre el receptor de carga por la naturaleza y forma del artículo a pesar o por el diseño del receptor de carga. Por ejemplo, por la existencia de guías que se adaptan al ancho del artículo [4].

La prueba de error de indicación y 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. Adicionalmente, funciona para establecer los errores de indicación y su correspondiente incertidumbre de la seleccionadora 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.

Normalmente se realizan pruebas para cada carga / producto y velocidad acordados con el cliente para determinar los errores y la repetibilidad de las indicaciones. Un laboratorio de calibración que decida el número de mediciones de su procedimiento de calibración rutinaria, debe considerar que, en general, un mayor número de mediciones tiende a reducir la incertidumbre de medida pero tiende a aumentar el costo [4].

Los detalles de las pruebas realizadas en una calibración particular pueden fijarse por acuerdo entre el cliente y el laboratorio de calibración, considerando el uso normal del instrumento. Adicionalmente, se pueden acordar pruebas o comprobaciones adicionales que contribuyan a la evaluación del comportamiento del instrumento bajo condiciones especiales de uso. Cualquier acuerdo de este tipo debe ser consistente con el número mínimo de pruebas especificado en los siguientes apartados [4].

En general, en este tipo de instrumentos, al no poderse visualizar el cero, solo se tiene en cuenta la indicación bajo carga. En adición, durante las pruebas de calibración, deben registrarse las indicaciones originales, no los errores ni las variaciones de la indicación. Las indicaciones se obtienen normalmente como múltiplos enteros de la resolución d [4].

6.1.4 Efecto del empuje del aire

Para saber cómo afecta el efecto del empuje del aire en estos ensayos, se puede consultar la Guía SIM sección 7.1.2.2 y Apéndice E [5].

6.1.4.1 Ensayos estáticos. Pesas patrón

Cuando se ensaya la calibradora en estático, se emplean pesas patrón calibradas en términos de la masa convencional m_c .

En el uso de pesas patrón conforme a las especificaciones establecidas en la Recomendación Internacional OIML R 111-1:2004 de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) el efecto del empuje del aire no es mayor a 11 mg/kg a partir de pesas de 100 g clases E y F, y es despreciable para las pesas clases M frente al error máximo permitido (EMP) de las pesas [4,6].

6.1.4.2 Ensayos dinámicos. Masas de transferencia

Cuando se ensaya la seleccionadora en dinámico se usan masas de transferencia que en general no son pesas patrón, y además poseen una densidad considerablemente inferior [4].

Si la determinación del valor de la masa de transferencia se realiza en las mismas condiciones ambientales que la calibración de la seleccionadora y además, se comparan directamente los valores indicados en el instrumento de control y la seleccionadora, los efectos del empuje del aire se cancelan.

No obstante, en el caso de masas de transferencia de una densidad de 1 000 kg/m³ el efecto del empuje del aire puede llegar a ser del orden de 120 mg/kg en ciertas ocasiones [4].

6.1.5 Efectos de la convección

Para evitar efectos debidos a las corrientes de convección, se debe permitir que las pesas de referencia y masas de transferencia alcancen la temperatura del entorno [4]. Si lo anterior no se cumple, revisar lo planteado en el Apéndice F de la Guía SIM [5], en donde se explica de manera detallada dicho efecto y cómo calcularlo.

6.1.6 Valor de referencia de la masa

En el caso dinámico, para determinar los errores de indicación de un instrumento se aplican masas de transferencia de una masa convencional desconocida m_{cTra} . Su densidad ρ_{Tra} es, normalmente diferente del valor de referencia ρ_c . De igual manera, y al especificar la seleccionadora ponderal con el subíndice 2, la densidad del aire en el momento de la calibración de la seleccionadora ρ_{a2Tra} es habitualmente diferente de ρ_0 [4].

El error de indicación E es

$$E = I - m_{ref} \quad (1)$$

Donde m_{ref} es una masa convencional, llamada posteriormente valor de referencia de la masa. Debido a los efectos de empuje del aire, deriva y otros que pueden aportar términos menores de corrección δm_x , m_{ref} no es exactamente igual a m_{cTra} [4]:

$$m_{ref} = m_{cTra} + \delta m_{B2} + \delta m_{conv} + \delta m \dots \quad (2)$$

Si se consideran solamente aquellos a los que no se les atribuye una esperanza matemática nula, se obtiene [4]:

$$m_{ref2} = m_{cTra} + \delta m_{B2} \quad (3)$$

6.2 Equipos y materiales

Para la calibración de la seleccionadora, se utilizan unas cargas de prueba y el valor de masa de estas cargas de prueba deberá ser calculado previamente. Por lo anterior, los equipos y materiales necesarios para la calibración son los siguientes:

6.2.1 Instrumento de control

Se dispone de un instrumento de control, el cual se utiliza para determinar el valor convencionalmente verdadero de la masa de una carga de prueba. El instrumento de control puede ser un instrumento diferente a la seleccionadora sometida a calibración o la misma seleccionadora, cuando esta dispone de un modo de pesaje en estático con la exactitud necesaria [4].

En el caso de ser un instrumento diferente a la seleccionadora sometida a ensayo, el instrumento de control debe tener una resolución mejor o igual que la de la seleccionadora y, deben realizarse sobre el instrumento de control las pruebas necesarias que permitan determinar la incertidumbre de las cargas de prueba, que debe ser adecuada a la incertidumbre de calibración esperada del equipo, en base a la documentación de referencia Guía SIM [4,5].

6.2.2 Cargas de prueba

Las cargas de prueba deberían consistir, preferiblemente, en pesas patrón calibradas y con certificado de calibración trazables a la unidad de masa del Sistema Internacional de Unidades (SI)¹, para los ensayos en estático y otras cargas de prueba, adaptadas al uso previsto de la seleccionadora, para los ensayos en dinámico [4].

Adicionalmente, es necesario calcular la masa de estas cargas de prueba antes de realizar la calibración de la seleccionadora, para lo cual, se utilizan pesas patrón calibradas y un instrumento de control.

6.2.2.1 Patrón o patrones de trabajo

Tanto en la calibración en estático de la seleccionadora como en la verificación del instrumento de control, se usan pesas patrón de clase de exactitud adecuada a las características de la seleccionadora. Por lo anterior, deberían emplearse patrones de masa trazables al SI, que cumplan con las especificaciones establecidas en la Recomendación Internacional OIML R 111-1:2004 de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) [6], acordes con la clase de la seleccionadora o con la resolución de la misma, y que permitan realizar mediciones

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].

homogéneamente distribuidas a lo largo del intervalo de pesaje, a menos que el cliente especifique el intervalo de calibración de la seleccionadora. Las pesas deberían estar convenientemente protegidas y con su certificado de calibración vigente.

6.2.2.2 Otras cargas de prueba

Lo más habitual es que el cliente proporcione las cargas de prueba en forma de producto, será necesario calcular la masa de estas cargas de prueba antes de la calibración de la seleccionadora. Estas cargas de prueba deberán tener las siguientes características [4]:

- Forma, material, composición que debe permitir un fácil manejo.
- Forma, material, composición que debe permitir estimar fácilmente la posición del centro de gravedad.
- Su masa debe permanecer constante durante todo el período en que se usan para la calibración.

Y, si no se determina su masa en el mismo momento de la calibración de la seleccionadora [4],

- Su densidad debería ser fácil de estimar.
- Las cargas de baja densidad (por ejemplo, cajas de cartón rellenas con material, papel, etc.) pueden requerir una especial atención debido al empuje del aire.

Adicionalmente, puede ser necesario el seguimiento de la temperatura y la presión barométrica durante todo el período de uso de las cargas a lo largo de la calibración [4].

La masa de estas cargas de prueba se calcula previamente mediante el instrumento de control, según el Anexo II.

Cuando la determinación de la masa de las cargas de prueba se realiza en el mismo momento de la calibración de la seleccionadora, los términos de empuje del aire quedan como [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) \quad (5)$$

Esta expresión es la misma que se obtendría si la calibración de la seleccionadora se realiza con las mismas pesas patrón empleadas para la verificación del instrumento de control, en lugar de hacerlo con la masa de transferencia. Por consiguiente, cuando todas las operaciones de verificación y pesaje se realizan en el mismo momento de la calibración de la seleccionadora, no es preciso conocer la densidad de la masa de transferencia, además, no aporta ninguna contribución al empuje del aire, ni a su incertidumbre. Considerando lo anterior la ecuación 3 queda como [4]:

$$m_{ref2} = R_L - R_0 - I_{L1} + I_{01} + m_c - m_N(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) \quad (6)$$

Para la determinación de la masa de estas cargas de prueba mediante el instrumento de control, se utiliza alguno de los procedimientos indicados en el anexo II. En adición, las pruebas se realizan con varias cargas de prueba L_{Tj} que deben seleccionarse de manera que, sean valores cercanos a las cargas de utilización del instrumento, o seleccionando valores de cargas de ensayo que incluyan, por ejemplo, los valores de alcance máximo, alcance mínimo y valores cercanos, pero no superiores, de los puntos críticos entre el alcance máximo y el alcance mínimo [4].

6.2.3 Equipos auxiliares

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

6.3 Condiciones ambientales

La calibración de la seleccionadora, 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 bajo las cuales fue calibrada la seleccionadora.

6.4 Proceso de calibración

6.4.1 Instrumentos que pueden pesar en estático

La calibración en estático de la seleccionadora (si aplica), se realiza como si fuera un instrumento de pesaje de funcionamiento no automático, de acuerdo a lo indicado en la Guía SIM [4,5].

6.4.2 Ensayos en funcionamiento automático

6.4.2.1 Selección de los puntos de calibración

6.4.2.1.1 Selección de los puntos para la prueba de error y repetibilidad

La prueba puede realizarse en más de un punto, con cargas de prueba L_{Tj} , $1 \leq j \leq k_L$ donde k_L = número de puntos de prueba.

Por ejemplo: la carga mínima, máxima y una o dos entre estos valores, siempre de acuerdo con el cliente. Adicionalmente, es posible acordar con el cliente uno (o varios) valores de L_{Tj} que se justifica(n) dependiendo de la aplicación específica del instrumento. No obstante, cada carga de prueba debería consistir en un solo cuerpo, y cuya masa ha de haber sido determinada previamente mediante el instrumento de control [4].

6.4.2.1.2 Selección de los puntos para la prueba de excentricidad

La prueba se realiza con las mismas cargas de prueba que en el ensayo de error y repetibilidad.

6.4.3 Proceso de calibración y tratamiento de datos

La secuencia de ejecución de las pruebas no está pre-establecida, sin embargo, es importante considerar las características específicas de la seleccionadora, como su ubicación, instalación, equipos disponibles, entre otros, para su desarrollo.

6.4.3.1. Prueba de error de indicación y repetibilidad

La prueba consiste en hacer pasar de forma repetida la misma carga por el receptor de carga, en la medida de lo posible, bajo condiciones idénticas de manejo de la carga y de la seleccionadora y bajo condiciones de prueba constantes [4].

Antes de la prueba se debe ajustar el valor de cero (si es posible), seleccionar la velocidad del sistema de transporte de carga a cada valor especificado por el cliente y, cuando proceda, seleccionar el factor de corrección dinámico correspondiente. Se debe permitir que los ajustes automáticos de cero estén operativos (si existen) [4].

Se introduce el artículo en el receptor de carga, preferiblemente usando el transportador de la propia seleccionadora, haciéndolo pasar por el receptor. El número de ensayos por valor de carga de ensayo será al menos las especificadas en la Tabla 1 [4]:

Tabla 1. Número de ensayos por valor de carga de ensayo, tomada de [4]

Masa nominal de la carga de ensayo m_N	Número de ensayos
$m_N \leq 10 \text{ kg}$	30
$10 \text{ kg} < m_N \leq 20 \text{ kg}$	20
$20 \text{ kg} < m_N$	10

La desviación estándar s_j se calcula a partir de las n indicaciones I_{ji} para una carga de prueba dada L_{Tj} [4],

$$s(I_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_{ji} - \bar{I}_j)^2} \quad (7)$$

$$\bar{I}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{ji} \quad (8)$$

6.4.3.1.1 Errores de indicación

Para cada carga de prueba L_{Tj} , el error de indicación se calcula de la siguiente manera [4]:

$$E_j = \bar{I}_j - m_{ref,j} \quad (9)$$

Donde $\bar{I}_j$ es el valor medio según (8).

6.4.3.2 Prueba de excentricidad de carga

Antes de realizar la prueba, se debe ajustar el cero si es necesario. Además, se debe permitir que los ajustes automáticos de cero estén operativos. La prueba comprende en hacer pasar cada carga de prueba L_{Tj} por el receptor de carga tal como se muestra a continuación [4]:

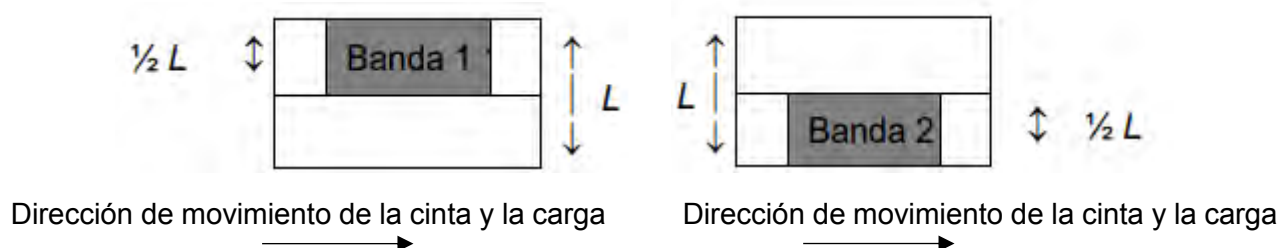


Figura 1. Esquema de la prueba de excentricidad de carga. Tomada de [4].

Donde en la figura 1 la letra L representa el ancho de la banda cuando no existen guías o el ancho entre guías cuando estas existen [4].

La prueba se realiza con las mismas cargas de prueba que en el ensayo de error y repetibilidad. El mínimo número de pasadas en cada posición viene dada por la Tabla 2 [4]:

Tabla 2. Mínimo número de repeticiones en cada posición por cada carga de ensayo, tomada de [4]

Masa nominal de la carga de ensayo m_N	Mínimo número de repeticiones , p
$m_N \leq 10 \text{ kg}$	6
$10 \text{ kg} < m_N \leq 20 \text{ kg}$	5
$20 \text{ kg} < m_N$	3

La prueba no es aplicable cuando la carga de prueba no puede aplicarse excéntricamente sobre el receptor de carga debido a la naturaleza y forma del artículo a pesar o al diseño del receptor de carga. Por ejemplo, debido a la existencia de guías mecánicas, adaptadas al ancho del artículo a pesar [4].

A partir de las indicaciones I_i obtenidas en las diferentes posiciones de la carga, para cada banda b (1 o 2) del sistema de transporte de carga y cada carga de ensayo j se calculan las diferencias ΔI_{ecc} de la siguiente manera [4]:

$$\Delta I_{ecc,bj} = \bar{I}_{bj} - \bar{I}_j \quad (10)$$

Para una determinada carga se elige el mayor de las dos bandas. Adicionalmente,

$$\bar{I}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{ij} \quad (11)$$

$$\bar{I}_{bj} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p I_{bij} \quad (12)$$

6.4.3.3 Mediciones auxiliares

Se recomiendan las siguientes mediciones (o registros) auxiliares, particularmente, cuando se trata de realizar la calibración con la mínima incertidumbre posible. Considerando los efectos de empuje del aire, debe medirse la temperatura del aire razonablemente próximo a la seleccionadora, como mínimo una vez durante la calibración. Cuando la seleccionadora se utiliza en un ambiente controlado, debe anotarse el margen de variación de la temperatura, por ejemplo, a partir de un gráfico, de las posiciones de los mandos del dispositivo de control, entre otros [4].

Adicionalmente, puede ser útil la presión barométrica, o al menos, la altitud sobre el nivel del mar del lugar de calibración [4].

6.4.3.3.1 Parámetros de funcionamiento

Deben determinarse las dimensiones del artículo a pesar, la longitud de la plataforma y la velocidad de la cinta. Se debe anotar la configuración de velocidad (velocidad / cadencia indicada o posición del selector) para cada caso. A partir de la velocidad de la cinta v , y la longitud de la plataforma l , se calcula una cadencia máxima c_{max} de acuerdo con la siguiente expresión:

$$c_{max} = \frac{v}{l} \quad (13)$$

Las dimensiones del artículo se dan de la siguiente forma normalizada $a \times b \times c$ siendo

- a Longitud, en la dirección de avance de la cinta
- b Anchura, perpendicular a la longitud en el plano de la cinta

c Altura, perpendicular al plano de la cinta

6.5 Evaluación de la incertidumbre de medición

En esta sección y las siguientes se encuentran términos de incertidumbre que se asignan a las correcciones y que son proporcionales a un valor de masa especificado o a una indicación especificada [4].

Para la estimación de la incertidumbre se parte de la ecuación básica de la calibración [4]. Para cada carga y condiciones determinadas:

$$E = I - m_{ref} = I - m'_{ref} + \Delta I_{IC} \quad (14)$$

Donde ΔI_{IC} es la desviación en el instrumento de control entre el patrón de masa y la masa de transferencia. Si para la determinación de la masa de transferencia se utilizaron los patrones de masa de referencia necesarios para que la indicación en el instrumento de control fuese la misma para los patrones de masa de referencia y la masa de transferencia, ΔI_{IC} sería nula y la masa de los patrones de referencia, m'_{ref} sería igual a la masa de transferencia, m_{ref} . En general, esto no es práctico y m'_{ref} será próxima pero no igual a m_{ref} [4].

Sin embargo, por comodidad en el desarrollo y teniendo en cuenta que, según los términos del Anexo II, conviene tratar conjuntamente los términos de empuje del aire sobre las masas de transferencia y los patrones de referencia, los términos de incertidumbre asociados a efectos físicos sobre las masas se agrupan en m'_{ref} y los términos de incertidumbre asociados al instrumento de control se agrupan en ΔI_{IC} [4].

A partir de la ecuación (14), el modelo matemático para la evaluación de la incertidumbre de medición es

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m'_{ref}) + u^2(\Delta I_{IC}) \quad (15)$$

Estos términos serán expandidos a continuación.

6.5.1 Fuentes de incertidumbre de medición

6.5.1.1 Incertidumbre estándar de la indicación

Para tomar en consideración las fuentes de variabilidad de la indicación, se consideran los términos de corrección δI_{xx} de la siguiente manera [4]:

$$I = I_L + \delta I_{digL} + \delta I_{rep} + \delta I_{ecc} - I_0 - \delta I_{digo} \quad (16)$$

Debido a que, en funcionamiento dinámico los instrumentos de pesaje no permiten tomar la indicación a carga nula, se tomará I_0 como valor nulo y a su vez no se debe incluir la corrección

de la indicación con resolución sin carga (δI_{dig0}). Por el contrario, cuando se tiene en funcionamiento estático sí es posible tomar la indicación a carga nula.

Adicionalmente, todas las correcciones representadas en la ecuación (16) tienen esperanza matemática nula [4].

6.5.1.1.1 Contribución por resolución del instrumento

La contribución por resolución incluye el error de redondeo por la indicación sin carga y con carga. En primer lugar, término δI_{dig0} da cuenta del error de redondeo de la indicación a carga nula. Sus límites son $\pm \frac{d_0}{2}$ y se les suponen distribuciones rectangulares, por lo que [4]:

$$u(\delta I_{dig0}) = \frac{d_0}{2\sqrt{3}} \quad (17)$$

En un instrumento que tiene aprobación de modelo según OIML R 51-1:2006 [7], el error de redondeo de una indicación de cero después de una operación de puesta a cero o de equilibrio de tara está limitado por $d_0/2$, por lo que [4]:

$$u(\delta I_{dig0}) = \frac{d_0}{4\sqrt{3}} \quad (18)$$

En segundo lugar, el término δI_{digL} da cuenta del error de redondeo de la indicación con carga. Sus límites son $\pm \frac{d_I}{2}$ y se les suponen distribuciones rectangulares, por lo que [4]:

$$u(\delta I_{digL}) = \frac{d_I}{2\sqrt{3}} \quad (19)$$

Con respecto al término d_I presente en la ecuación, es importante resaltar que este corresponde a la resolución de uso habitual de la seleccionadora, es decir d_T el cual puede ser diferente a la resolución de la seleccionadora entregada por el fabricante.

NOTA: En un instrumento con varios valores de resolución, d_I varía con I [4]

6.5.1.1.2 Contribuciones por repetibilidad

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

$$u(\delta I_{rep}) = \frac{s(I_j)}{\sqrt{n}} \quad (20)$$

Con $s(I_j)$ calculado según la ecuación (7) y la indicación I_j como media de las n lecturas [4].

6.5.1.1.3 Contribuciones por excentricidad

Da cuenta del error debido al paso de una carga de prueba por el receptor en una posición descentrada. Este efecto puede producirse cuando la seleccionadora no dispone de guías para centrar la carga de prueba o cuando las guías no son adecuadas a ese artículo u objeto a pesar. Cuando no se puede despreciar el efecto, una estimación de su valor puede basarse en las siguientes suposiciones [4]:

Las diferencias determinadas según la ecuación (10) son proporcionales al valor de la carga [4].

En la aplicación de calibraciones reales, se considera que el efecto no es mayor que $\frac{1}{2}$ del valor de la prueba de excentricidad [4].

Basándose en la mayor de las diferencias calculadas según la ecuación (10), se estima que el efecto es [4]:

$$\delta I_{ecc} \leq \left\{ \frac{|\Delta I_{ecc,bj}|_{max}}{2L_{ecc}} \right\} I \quad (21)$$

Por último, se supone una distribución de probabilidad rectangular, por lo tanto, la incertidumbre estándar viene dada por la siguiente ecuación [4]:

$$u(\delta I_{ecc}) = \frac{|\Delta I_{ecc,bj}|_{max}}{2\sqrt{3}} \quad (22)$$

6.5.1.1.4 Contribuciones totales por indicación

La incertidumbre estándar de la indicación se obtiene por:

$$u^2(I) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc}) \quad (23)$$

6.5.1.2 Incertidumbre estándar de la masa de referencia

A partir de la ecuación (6), excluyendo los términos relativos a las indicaciones en el instrumento de control, el valor de referencia de la masa es [4]:

$$m'_{ref} = m_N + \delta m_c + \delta m_D + \delta m_{BTot} + \delta m_{conv} + \delta m \dots \quad (24)$$

El último término representa correcciones ulteriores que pueden ser necesarios aplicar en condiciones especiales [4]; las componentes y su tratamiento se indican en el Anexo II. A continuación, se detalla cada una de las correcciones planteadas en la ecuación (24).

6.5.1.2.1 Contribución por corrección de la masa convencional

El término δm_c es la corrección al valor nominal m_N , con esto resulta la masa convencional m_c , dada en el certificado de calibración de los patrones, junto con la incertidumbre de calibración U y el factor de cobertura k . La incertidumbre estándar es [4]:

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

Adicionalmente, cuando el patrón se calibra con respecto a unas tolerancias especificadas Tol , por ejemplo los errores máximos permitidos dados en la OIML R 111-1:2004 [6], y se usa con su valor nominal m_N , $\delta m_c = 0$. Adicionalmente, si se supone una distribución rectangular, entonces la expresión (25) queda [4]:

$$u(\delta m_c) = \frac{Tol}{\sqrt{3}} \quad (26)$$

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

$$u_{m_c} = \sum_{i=1}^n u_i \quad (27)$$

6.5.1.2.2 Contribución por corrección por empuje del aire

El término δm_{BTot} es la corrección por el empuje del aire introducida en el numeral 6.1.4. Su valor depende de la densidad del patrón de ajuste ρ_{Cal} , del alcance de variación supuesto para la densidad del aire ρ_a , y de la verificación del instrumento de control (ver Guía SIM [5]). En el presente documento se considera el caso en el que la verificación del instrumento de control se realiza en el momento de la calibración de la seleccionadora [4].

Considerando lo anterior y retomando la ecuación (5) la incertidumbre estándar es [4]:

$$u(\delta m_{BTot}) = -m_N(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) \quad (28)$$

$$u(\delta m_{BTot}) \approx 0 \quad (29)$$

Si no se conoce la densidad ρ_{Cal} y su incertidumbre estándar, sus valores pueden estimarse a partir de valores consensuados. En adición, la densidad del aire ρ_a y su incertidumbre estándar se pueden calcular a partir de la temperatura, presión barométrica y humedad relativa si están disponibles [4]. En el Anexo I se plantean varias fórmulas, así como información sobre las varianzas esperadas.

No obstante, si se establece conformidad de los patrones con la OIML R 111-1:2004 y no se dispone de información sobre las densidades ρ_{Cal} y ρ_a , puede recurrirse a la sección 10 de la

OIML R 111-1:2004 [6], en este caso no se aplica ninguna corrección y la incertidumbre estándar viene dada por [4]:

$$u(\delta m_{BTot}) = \frac{EMP}{4\sqrt{3}} \quad (30)$$

6.5.1.2.3 Contribución por deriva

La deriva se debe a posibles variaciones de los patrones de masa entre calibraciones sucesivas, el término δm_D es una corrección por la posible deriva de m_c desde la última calibración. El valor límite D se estima basándose en la diferencia evidente en sucesivas calibraciones de las pesas patrón. Este dato se obtiene después de periodos largos de tiempo, por lo que, muchas veces es un dato desconocido.

En ausencia de información del valor de deriva, D puede estimarse considerando la calidad de los patrones, el cuidado y frecuencia de su uso, en un múltiplo de su incertidumbre expandida $U(m_c)$ [4]:

$$D = k_D U(m_c) \quad (31)$$

Donde k_D puede escogerse entre 1 y 3

No se recomienda aplicar una corrección, sino suponer una distribución de probabilidad uniforme (distribución rectangular) dentro de límites $\pm D$ [4]. La incertidumbre estándar es entonces:

$$u(\delta m_D) = \frac{D}{\sqrt{3}} \quad (32)$$

6.5.1.2.4 Contribuciones totales por la masa de referencia

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

$$u^2(m'_{ref}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_{BTot}) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{conv}) \quad (33)$$

6.5.1.3 Incertidumbre de la desviación en el instrumento de control

A partir de las ecuaciones relevantes presentes en la Guía SIM [5], para el proceso de uso de los patrones de masa y establecimiento de las masas de transferencia se obtiene [4]:

$$\Delta I_{IC} = (I_{L1} - I_{01} - R_L + R_0) - \delta R_{digL} + \delta R_{dig0} + \delta I_{digL1} - \delta I_{dig0} + \delta I_{rep1} + \delta I_{ecc1} + \delta R_{rep} + \delta R_{ecc1} + \delta R_{instr} + \delta R_{proc} \quad (34)$$

y para la incertidumbre estándar [4]:

$$u^2(\Delta I_{IC}) = u^2(I_{L1} - I_{01} - R_L + R_0) - u^2(\delta R_{digL}) + u^2(\delta R_{dig0}) + u^2(\delta I_{digL1}) + u^2(\delta I_{dig0}) + u^2(\delta I_{rep1}) + u^2(\delta I_{ecc1}) + u^2(\delta R_{rep}) + u^2(\delta R_{ecc}) + u^2(\delta R_{instr}) + u^2(\delta R_{proc}) \quad (35)$$

Donde todos los términos excepto el primero se calculan según lo indicado en la Guía SIM [5]. De igual manera, las condiciones en las que se realiza la transferencia son tales que [4]:

$$u^2(\delta R_{instr}) \approx u^2(\delta R_{proc}) \approx 0$$

Además, los términos $u^2(\delta I_{rep1}) + u^2(\delta I_{ecc1}) + u^2(\delta R_{rep}) + u^2(\delta R_{ecc})$ aparecen así si la determinación de la masa de las cargas de transferencia se realiza separadamente en un instrumento de control que ha sido verificado con patrones de masas de referencia en otro momento. El término $u^2(\delta R_{ecc})$, con las precauciones habituales del laboratorio será igual a $u^2(\delta I_{ecc1})$. En este caso, además, $u^2(I_{L1} - I_{01} - R_L + R_0)$ es la incertidumbre del error del instrumento de control a la carga R , $u^2(E_{Rc})$ determinada según la Guía SIM [5] y, para el valor esperado, se tiene $\Delta I_{IC} = (I_{L1} - I_{01} - R_L + R_0) = E_{Rc}$ [4].

Si se procura que las masas de transferencia y los valores calibrados del instrumento de control estén lo suficientemente próximos, la incertidumbre del error es la indicada en el certificado de calibración para ese punto. Si no se produce dicha proximidad, es necesario aplicar técnicas similares a las indicadas en el Anexo C de la Guía SIM [5]. Por otra parte, al realizarse la determinación de la masa de las cargas de transferencia y la verificación del instrumento de control en momentos distintos, puede ser necesario considerar componentes adicionales de incertidumbre asociadas al instrumento de control [4], como se describe en el Anexo II.

Adicionalmente, si la determinación de la masa de las cargas de transferencia se realiza por comparación con los patrones de referencia en el mismo momento, los términos $u^2(\delta I_{rep1}) + u^2(\delta I_{ecc1}) + u^2(\delta R_{rep}) + u^2(\delta R_{ecc})$ no tienen existencia experimental separada, en su lugar, aparecen conjuntamente como una repetibilidad del proceso, $u^2(\delta I_{rep})$. En la mayor parte de casos solamente se realiza un ciclo de comparación, por lo que la repetibilidad debe conocerse previamente; si no, para alguna de las cargas deben realizarse más ciclos de comparación para conocer su repetibilidad. En este caso, además, $u^2(I_{L1} - I_{01} - R_L + R_0)$ es la incertidumbre asociada a la falta de linealidad del instrumento de control en las proximidades de R_L , $u^2(\Delta I)$ que, en general es despreciable, si el nominal de las pesas patrón se aproxima suficientemente al valor de las masas de transferencia [4].

6.5.1.4 Incertidumbre estándar del error

La incertidumbre estándar del error se calcula, con los términos adecuados de 6.4.1.1, 6.4.1.2 y 6.4.1.3 mediante [4]:

$$u^2(E) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_{BTot}) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{conv}) + u^2(\Delta I_{IC}) \quad (36)$$

En segundo lugar, se considera que no hay correlaciones entre las magnitudes de entrada, por lo que no se toman en consideración posibles covarianzas [4].

6.5.2 Incertidumbre expandida de medición

La incertidumbre expandida del error es

$$U(E) = ku(E) \quad (37)$$

Donde el factor de cobertura k debería ser escogido de tal forma que la incertidumbre expandida corresponda a un nivel de confianza del 95% aproximadamente. El valor de $k = 2$, correspondiente a una probabilidad del 95.45% se aplica cuando, puede atribuirse una distribución normal (Gaussiana) al error de indicación y, la incertidumbre estándar $u(E)$ merece suficiente confianza, es decir, tiene un número suficiente de grados de libertad [4].

Es aceptable determinar solamente un valor de k , para la situación de “peor caso” determinada por la experiencia, que puede aplicarse a las incertidumbres estándar de todos los errores del mismo campo de pesaje [4].

7. CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Esta sección contiene directrices sobre la información que podría ser útil dar en un certificado de calibración, pretendiendo ser coherente con los requisitos indicados en ISO/IEC 17025 [8]. Adicionalmente, si el certificado contiene resultados de la calibración en modo no automático, es aplicable también lo indicado en la Guía SIM [5], para la calibración de instrumentos de pesar de funcionamiento no automático [4].

Los resultados se deben presentar de manera exacta, clara, inequívoca y objetiva, además, se debe incluir toda la información necesaria para la interpretación de los resultados de medición y una descripción del método utilizado.

7.1 Información general

Identificación del Laboratorio de Calibración.

Identificación del certificado (número de calibración, fecha de expedición, número de páginas).

Firma(s) de la(s) persona(s) autorizadas(s).

Identificación del cliente.

Identificación del instrumento calibrado (seleccionadora).

Información del instrumento (fabricante, tipo de instrumento, modelo, Max , d , d_T , lugar de instalación).

7.2 Información sobre el procedimiento de calibración

Fecha de las mediciones.

Lugar de la calibración.

Condiciones ambientales y / o uso que pueda afectar a los resultados de la calibración.

Dimensiones del artículo a pesar.

Longitud de la plataforma.

Velocidad de avance de la cinta.

Configuración de velocidad.

Cadencia máxima.

Valor pesado del artículo.

Otras condiciones de uso que puedan afectar a los resultados de calibración.

Información sobre el instrumento (factor de ajuste dinámico, anomalías de funcionamiento, parámetros de configuración del software en la medida que es relevante para la calibración, entre otros).

Información sobre la trazabilidad de los resultados de medida.

Si el instrumento solo se calibra en estático, se debe indicar expresamente que los resultados no son válidos para el funcionamiento dinámico del mismo.

7.3 Resultados de medida

Indicaciones y/o los errores para las cargas de prueba aplicadas, o los errores relacionados a las indicaciones.

Los detalles del procedimiento de carga si es relevante para entender lo mencionado anteriormente.

La(s) desviaciones estándar(es) determinadas, identificada(s) como relacionada(s) a una sola indicación o al promedio de varias indicaciones.

La incertidumbre expandida de medición para los resultados declarados.

Indicación del factor de cobertura k , con el comentario sobre la probabilidad de cobertura, y la razón para $k \neq 2$ cuando proceda.

Cuando las indicaciones (o los errores) no han sido determinados por lecturas normales (lecturas únicas con la resolución normal del instrumento), se debe advertir que la incertidumbre declarada es más pequeña que la que se obtendría por lecturas normales.

Para clientes con menor conocimiento (del tema), podría ser útil dar información cuando proceda, sobre:

- La definición del error del de indicación.
- Cómo interpretar las indicaciones y/o los errores declarados con decimales menores que la resolución d .

8. 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] Laumas. ¿Qué son los instrumentos de pesaje de funcionamiento automático (Automatic weighing instruments, conformes a la directiva 2014/32/UE, mejor conocida como directiva M.I.D. (Measuring Instruments Directive)? [Online]. Available: <https://www.laumas.com/de/haeufig-gestellte-fragen-faq/mid-directive-automatic-weighing-instruments/>.

[4] Guía para la calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento automático (seleccionadora ponderal) G-19 Centro Español de Metrología, versión digital. 2019.

[5] Guía para la calibración de instrumentos para pesar de funcionamiento no automático SIM MWG7/cg-01/v.00:2009.

[6] 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.

[7] International Recommendation OIML R51-1 Edition 2006. Automatic catchweighing instruments. Part I: Metrological and technical requirements – Test.

[8] ISO/IEC 17025, Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración, 2017.

- [9] A. Picard, R.S. Davis, M. Gläser, k. Fujii: Revised formula for the density of moist air (CIPM-20079. Metrologia 45 (2008), p. 149-155.
- [10] Determination of Mass – Part 1: Dissemination of the unit of mass, by R. Balhorn, D. Buer, M. Gläser and M. Kochsiek. PTB-Bericht MA-24, 2nd revised edition, Braunschweig, April 1992.
- [11] International Recommendation OIML R 76-1 Edition 2006. Non Automatic Weighing Instruments Part 1: Metrological Requirements Tests.
- [12] NTC 2031 Instrumentos de pesaje de funcionamiento no automáticos. Requisitos metrológicos y técnicos. Pruebas.

ANEXO I: RECOMENDACIONES SOBRE LA ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE

1. Fórmulas para la densidad del aire
 - 1.1 Versión simplificada de la fórmula del BIPM, versión exponencial
 - 1.2 Versión simplificada de la fórmula del BIPM, versión normal
2. Variaciones de los parámetros que contribuyen a la densidad del aire
 - 2.1 Presión barométrica
 - 2.2 Temperatura
 - 2.3 Humedad relativa
3. Incertidumbre de la densidad del aire

Nota: en el Anexo I, los símbolos son T para la temperatura medida en unidades de Kelvin y t para la temperatura medida en grados Celsius.

1. FÓRMULAS PARA LA DENSIDAD DEL AIRE

La fórmula de mayor exactitud para determinar la densidad del aire en la mayoría de los casos, es la recomendada por el CIPM [9]². Para el objetivo de esta guía, es suficiente el uso de fórmulas menos sofisticadas que arrojan resultados ligeramente menos exactos [5].

1.1 Versión simplificada de la fórmula CIPM, versión exponencial

De [6] sección E3

$$\rho_a = \frac{0.34848 p - 0.009 h_r \exp(0.061 t)}{273.15 + t} \quad (\text{A1.1-1})$$

Donde

- ρ_a Densidad del aire en kg/m³
 p Presión barométrica en hPa
 h_r Humedad relativa del aire en %
 t Temperatura del aire en °C

La fórmula ofrece resultados con $u_{form}/\rho_a \leq 2.4 \times 10^{-4}$ bajo las siguientes condiciones ambientales (las incertidumbres de medida de p, h_r, t no están incluidas)

² Los intervalos de temperatura y presión recomendados para la aplicación de la fórmula CIPM-2007 son $600 \text{ hPa} \leq p \leq 1100 \text{ hPa}$, $15^\circ\text{C} \leq t \leq 27^\circ\text{C}$

$$20 \% \leq h_r \leq 80 \%$$

$$15\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t \leq 27\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$600\text{ hPa} \leq p \leq 1\text{ }100\text{ hPa}$$

1.2 Versión simplificada de la fórmula CIPM, versión normal

Se puede citar esa expresión de [10]

$$\rho_a = \frac{0.348444 p - h_r (0.00252 t - 0.020582)}{273.15 + t} \quad (\text{A1.1-2})$$

Con los símbolos anteriores

La fórmula ofrece resultados con $\Delta\rho_{a,form} \leq 0,001\text{ }41\text{ kg/m}^3$ bajo las siguientes condiciones ambientales (las incertidumbres de medida de p , h_r , t no están incluidas) [5]:

$$600\text{ hPa} \leq p \leq 1\text{ }100\text{ hPa}$$

$$20 \% \leq h_r \leq 80 \%$$

$$15\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t \leq 27\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$\Delta\rho_{a,form}$ es la diferencia entre valores dados por esta fórmula y los valores correspondientes de la fórmula del CIPM [5].

2. VARIACIONES DE LOS PARÁMETROS QUE CONTRIBUYEN A LA DENSIDAD DEL AIRE

2.1 Presión barométrica

La presión barométrica promedio p_{av} se puede estimar a partir de la altitud h en m sobre el nivel del mar SL de la locación, usando la relación

$$p(h) = p(SL) - h \times (0,12\text{ hPa/m}) \quad (\text{A1.2-1})$$

Con $p(SL) = 1\text{ }013.12\text{ hPa}$

En cualquier lugar, la variación máxima es $\Delta p = \pm 40$ hPa sobre la media³. Dentro de esos límites, la distribución no es rectangular, debido a que los valores extremos ocurren solamente una vez en varios años. Es más realista suponer una distribución normal, tomando a Δp como un valor de “2 σ ” o incluso “3 σ ”. Por tanto

$$u(p) = 20 \text{ hPa (para } k = 2) \text{ o } u(p) = 13.3 \text{ hPa (para } k = 3) \quad (\text{A1.2-2})$$

2.2 Temperatura

La posible variación $\Delta t = t_{\max} - t_{\min}$ de la temperatura en el lugar de uso del instrumento, puede estimarse a partir de información fácil de obtener:

- Límites mencionados por el cliente a partir de su experiencia.
- Promedio de lecturas de registros apropiados.
- Configuración del instrumento de control, cuando el lugar está climatizado o en temperatura controlada.

En su defecto se debería aplicar algún criterio fundamentado, por ejemplo, a:

17 °C $\leq t \leq$ 27 °C para una oficina o laboratorio cerrado, con ventanas, $\Delta t \leq 5$ K para habitaciones cerradas sin ventanas en el centro de un edificio, -10 °C $\leq t \leq$ + 30 °C o $\leq$ + 40 °C para talleres abiertos, salas de fabricación.

Igual que en el caso de la presión barométrica, es improbable que se dé una distribución rectangular para talleres abiertos o salas de fabricación, en donde domina la temperatura atmosférica. Sin embargo, para evitar suposiciones diferentes para distintas condiciones de la sala, se recomienda asumir una distribución rectangular, quedando,

$$u(t) = \Delta t / \sqrt{12} \quad (\text{A1.2-3})$$

2.3 Humedad relativa

La posible variación de la humedad relativa $\Delta h_r = h_{r,\max} - h_{r,\min}$ en el lugar de uso del instrumento, puede estimarse a partir de información que es fácil de obtener:

- Límites mencionados por el cliente a partir de su experiencia.
- Promedio de lecturas de registros apropiados.

³ Ejemplo: En Bogotá, Colombia la presión máxima se produce dos veces al día, aproximadamente a las 10:00 h y a las 22:00 h y la mínima sobre las 4:00 h y 16:00 h. La amplitud de esta variación oscila entre 1.4 hPa y 2.9 hPa. (Información del IDEAM, Servicio meteorológico Colombiano).

- Configuración del instrumento de control, cuando el lugar está climatizado o en temperatura controlada.

En su defecto se debería aplicar algún criterio fundamentado, por ejemplo, a:

30 % $\leq h_r \leq$ 80 % para una oficina o laboratorio cerrado, con ventanas, $\Delta h_r \leq$ 30 % para habitaciones cerradas sin ventanas, en el centro de un edificio, 20 % $\leq h_r \leq$ 80 % para talleres abiertos, salas de fabricación.

Se debería tener presente que

- a valores de $h_r < 40$ % los efectos electrostáticos pueden influir en los resultados de pesada de instrumentos de alta resolución.
- a $h_r > 60$ % puede empezar a producirse corrosión.

Como en el caso de la presión barométrica, no es muy probable que se dé una distribución rectangular para talleres abiertos o salas de fabricación, en donde la humedad relativa atmosférica prevalece. No obstante, para evitar suposiciones diferentes para distintas condiciones de las salas, se recomienda asumir una distribución rectangular, quedando

$$u(\Delta h_r) = \Delta h_r / \sqrt{12} \quad (\text{A1.2-4})$$

3. INCERTIDUMBRE DE LA DENSIDAD DEL AIRE

La incertidumbre estándar de la densidad del aire $u(\rho_a) / \rho_a$ puede calcularse mediante

$$u(\rho_a) / \rho_a = \sqrt{(u_p(\rho_a) / \rho_a \cdot u(p))^2 + (u_t(\rho_a) / \rho_a \cdot u(t))^2 + (u_{h_r}(\rho_a) / \rho_a \cdot u(h_r))^2 + (u_{form}(\rho_a) / (\rho_a)^2)} \quad (\text{A1.3-1})$$

Con los coeficientes de sensibilidad (derivados de la fórmula del CIPM para la densidad de aire):

$$u_p(\rho_a) / \rho_a = 1 \times 10^{-3} \text{ hPa}^{-1} \text{ para la presión barométrica}$$

$$u_t(\rho_a) / \rho_a = -4 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \text{ para la temperatura del aire}$$

$$u_{h_r}(\rho_a) / \rho_a = -9 \times 10^{-3} \text{ para la humedad relativa}$$

A continuación, se presentan algunos ejemplos de incertidumbre estándar de la densidad del aire, calculados para diferentes parámetros, utilizando la fórmula CIPM-2007:

$\Delta p / \text{hPa}$	$\Delta t / ^\circ\text{C}$	Δh_r	$\frac{u_p(\rho_a)}{\rho_a} u(p)$	$\frac{u_t(\rho_a)}{\rho_a} u(t)$	$\frac{u_{h_r}(\rho_a)}{\rho_a} u(h_r)$	$\frac{u_{form}(\rho_a)}{\rho_a}$	$u(\rho_a) / \rho_a$
-------------------------	-----------------------------	--------------	-----------------------------------	-----------------------------------	---	-----------------------------------	----------------------

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE PESAJE DE
FUNCIONAMIENTO AUTOMÁTICO (SELECCIONADORAS PONDERALES)

40	2	0.2	1.15×10^{-2}	$- 2.31 \times 10^{-3}$	$- 5.20 \times 10^{-4}$	2.20×10^{-5}	1.18×10^{-2}
40	2	1	1.15×10^{-2}	$- 2.31 \times 10^{-3}$	$- 2.60 \times 10^{-3}$	2.20×10^{-5}	1.21×10^{-2}
40	5	0.2	1.15×10^{-2}	$- 5.77 \times 10^{-3}$	$- 5.20 \times 10^{-4}$	2.20×10^{-5}	1.29×10^{-2}
40	5	1	1.15×10^{-2}	$- 5.77 \times 10^{-3}$	$- 2.60 \times 10^{-3}$	2.20×10^{-5}	1.32×10^{-2}
40	10	0.2	1.15×10^{-2}	$- 1.15 \times 10^{-2}$	$- 5.20 \times 10^{-4}$	2.20×10^{-5}	1.63×10^{-2}
40	10	1	1.15×10^{-2}	$- 1.15 \times 10^{-2}$	$- 2.60 \times 10^{-3}$	2.20×10^{-5}	1.65×10^{-2}
40	20	0.2	1.15×10^{-2}	$- 2.31 \times 10^{-2}$	$- 5.20 \times 10^{-4}$	2.20×10^{-5}	2.58×10^{-2}
40	20	1	1.15×10^{-2}	$- 2.31 \times 10^{-2}$	$- 2.60 \times 10^{-3}$	2.20×10^{-5}	2.60×10^{-2}
40	30	0.2	1.15×10^{-2}	$- 3.46 \times 10^{-2}$	$- 5.20 \times 10^{-4}$	2.20×10^{-5}	3.65×10^{-2}
40	30	1	1.15×10^{-2}	$- 3.46 \times 10^{-2}$	$- 2.60 \times 10^{-3}$	2.20×10^{-5}	3.66×10^{-2}
40	40	0.2	1.15×10^{-2}	$- 4.62 \times 10^{-2}$	$- 5.20 \times 10^{-4}$	2.20×10^{-5}	4.76×10^{-2}
40	40	1	1.15×10^{-2}	$- 4.62 \times 10^{-2}$	$- 2.60 \times 10^{-3}$	2.20×10^{-5}	4.77×10^{-2}
40	50	0.2	1.15×10^{-2}	$- 5.77 \times 10^{-2}$	$- 5.20 \times 10^{-4}$	2.20×10^{-5}	5.89×10^{-2}
40	50	1	1.15×10^{-2}	$- 5.77 \times 10^{-2}$	$- 2.60 \times 10^{-3}$	2.20×10^{-5}	5.89×10^{-2}

La incertidumbre relativa debida a la fórmula del CIPM es 2.20×10^{-5} [9].

Para las aproximaciones A1.1-1 y A1.1-2 se debe sustituir apropiadamente la incertidumbre relativa debida a la fórmula de aproximación correspondiente, $\frac{u_{form}(\rho_a)}{\rho_a}$.

ANEXO II: EL EMPUJE DEL AIRE Y LA DETERMINACIÓN DE LAS MASAS DE TRANSFERENCIA EN LA CALIBRACIÓN DE SELECCIONADORAS PONDERALES

1. Generalidades
 - 1.1 Introducción y símbolos
 - 1.2 Ajustes
 - 1.3 Determinación del valor de la masa de transferencia
 - 1.4 Formas de composición de las cargas de transferencia
 - 1.5 Componentes adicionales de la incertidumbre
 - 1.6 Valor de la carga de transferencia
2. Cargas de transferencia compuestas solamente por masas de transferencia
 - 2.1 Calibración de la seleccionadora, verificación del instrumento de control, determinación de las masas de las cargas de transferencia y ajustes en el mismo momento
 - 2.2 Determinación de las masas de las cargas de transferencia, verificación del instrumento de control y calibración de la seleccionadora ponderal realizada a la vez, pero con ajuste del instrumento de control realizado previamente
 - 2.3 Verificación del instrumento de control realizado previamente
 - 2.4 Verificación del instrumento de control, determinación de las masas de las cargas de transferencia realizadas previamente y a la vez
 - 2.5 Verificación del instrumento de control y determinación de las masas de las cargas de transferencia realizadas previamente, de forma separada
 - 2.6 Determinación de las masas de las cargas de transferencia con un instrumento de control que ha sido verificado previamente
3. Cargas de transferencia compuestas por cargas mixtas
 - 3.1 Verificación del instrumento de control, determinación de las masas de las cargas de transferencia, calibración de la seleccionadora y ajustes realizados en el mismo momento
 - 3.2 Determinación de las masas de las cargas de transferencia, verificación del instrumento de control y calibración de la seleccionadora ponderal realizada a la vez, pero con ajuste previo del instrumento de control
 - 3.3 Verificación del instrumento de control realizada previamente
 - 3.4 Verificación del instrumento de control y determinación de las masas de las cargas de transferencia realizadas previamente y a la vez
 - 3.5 Verificación del instrumento de control y determinación de las masas de las cargas de transferencia realizadas previamente, de forma separada
 - 3.6 Determinación de las masas de las cargas de transferencia con un instrumento de control que previamente ha sido verificado

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción y símbolos

En los apartados 6.2.2.2 y 6.5.1.2 se considera solamente el caso en el que, la densidad de los patrones de masa es la referencia, es decir, ρ_c y la determinación del valor de las masas de transferencia se realiza como parte del proceso de calibración de la seleccionadora ponderal, además, en ese proceso se lleva a cabo la verificación del instrumento de control y determinación de la masa de las cargas de transferencia [4].

En el presente Anexo se consideran casos más generales y complejos. A continuación, se listan los símbolos implementados en esta sección del documento.

Símbolo	Definición
ρ_{as1}	Densidad del aire en el momento del ajuste del instrumento de control
ρ_{as2}	Densidad del aire en el momento del ajuste de la seleccionadora ponderal
$\rho_a C_{al1}$	Densidad del aire al verificar el instrumento de control con patrones de masa
$\rho_a C_{al2}$	Densidad del aire en el momento de la calibración de la seleccionadora ponderal
ρ_{at}	Densidad del aire al momento de determinar la masa de las cargas de transferencia en el instrumento de control
ρ_0	Densidad de referencia del aire, 1.2 kg/m ³
ρ_{cal}	Densidad de los patrones de calibración
ρ_t	Densidad de las masas de transferencia
ρ_c	Densidad de referencia de las pesas, 8000 kg/m ³
m_c	Masa convencional de los patrones de masa empleados en la verificación del instrumento de control
δm_{B1}	Efecto del empuje del aire en el momento en el que se determina el valor de la masa de transferencia mediante el instrumento de control
m'_N	Masa convencional de los patrones en la carga simulada en la seleccionadora ponderal
R	Lectura con carga del instrumento de control al poner la masa de transferencia
R_0	Lectura de cero del instrumento de control al poner la masa de transferencia
I_{L1}	Indicación con carga del instrumento de control al poner el patrón de masa
I_{01}	Indicación de cero del instrumento de control al poner el patrón de masa

1.2 Ajustes

En la totalidad de los casos, y en lo que respecta al tratamiento de los resultados en este Anexo, lo que se indica para el ajuste de los instrumentos de pesaje aplica igualmente si se comprueba experimentalmente que no es necesario el ajuste y por lo tanto, se decide no realizarlo. En ese caso, las menciones a los patrones utilizados en el ajuste hacen referencia a los patrones empleados para la comprobación de que el ajuste no es requerido [4].

1.3 Determinación del valor de la masa de transferencia

Existen tres procedimientos diferentes para la determinación del valor de la masa de transferencia en el instrumento de control.

En el primero, la verificación del instrumento de control y determinación de la masa de la carga de transferencia se realizan a la vez, y solamente hace falta realizar la verificación del instrumento de control en los puntos correspondientes a las masas de transferencia. Adicionalmente, no se tienen términos relacionados con la variación del ajuste del instrumento de control, ni a la variación de temperatura entre su verificación y la determinación de las masas de transferencia. Desde el punto de vista de la calibración de la seleccionadora ponderal, es indiferente que [4]:

- a) Se haya realizado primero una calibración del instrumento de control según la Guía SIM [5] a esas cargas con el modo de aplicación discreto y luego se realice en el instrumento de control el pesaje de las masas de transferencia, considerando los errores certificados, o
- b) que no se realice la verificación del instrumento de control y la determinación de las masas de las cargas de transferencia de manera separada sino que, para cada una de las masas de transferencia se realicen ciclos de comparación entre la masa de transferencia y los patrones de masa. En general, considerando la incertidumbre buscada y lo establecido en la OIML R 111-1:2004 [6], un ciclo ABBA por masa de transferencia es suficiente [4].

Este primer procedimiento es el considerado en todos los casos de este Anexo, cuando se indique que la verificación del instrumento de control y la determinación de la masa de las cargas de transferencia se realiza a la vez.

En el segundo procedimiento, se ha realizado primero la calibración del instrumento de control según Guía SIM [5] con el modo de aplicación discreto, o con un modo que se haya demostrado equivalente para ese instrumento y aplicación. Posteriormente, se realiza la determinación de las masas de las cargas de transferencia mediante pesada directa en el instrumento de control, teniendo en cuenta los errores del mismo. En este procedimiento hay términos correspondientes a la variación del ajuste del instrumento de control, a la variación de temperatura entre su verificación y la determinación de las masas de las cargas de transferencia, así como sus incertidumbres, conforme a la Guía SIM [5]. Si el instrumento de control no forma parte de los

equipos del laboratorio, este necesita tener acceso a la información que considere relevante para la determinación de la masa de las cargas de transferencia [4].

En el desarrollo de este Anexo se considera siempre que la verificación del instrumento de control se realiza a nominales suficientemente próximos a los de las masas de transferencia, con el fin de que el error del instrumento de control sea el mismo. Si esta condición no se cumple, el segundo procedimiento requeriría el uso de técnicas como las descritas en el Anexo C de la Guía SIM [5], con sus componentes de incertidumbre asociadas, o podría emplearse también el tercer procedimiento [4].

Este segundo procedimiento es el considerado en todos los casos de este Anexo, cuando se indique que la verificación del instrumento de control y determinación de las masas de las cargas de transferencia se realiza en momentos diferentes [4].

En el tercer procedimiento, se ha realizado primero:

- a) la verificación del instrumento de control según la Guía SIM [5] con el modo de aplicación discreto, o con un modo que se haya demostrado equivalente para ese instrumento y aplicación, además, se ha comprobado que los errores de verificación son inferiores a un determinado criterio, o
- b) se ha realizado una verificación legal, conforme a OIML R 76-1:2006 [11] o NTC 2031:2014 [12], del instrumento de control que, en general, es o se trata como una verificación en servicio.

Posteriormente las masas de las cargas de transferencia son determinadas mediante pesada directa en el instrumento de control, sin tener en cuenta los errores del instrumento de control. En este procedimiento, no hay términos correspondientes a la variación del ajuste del instrumento ni a la variación de temperatura entre su verificación y la determinación de masas de las cargas de transferencia [4].

Este tercer procedimiento es el considerado en todos los casos del presente Anexo, cuando se indique que el instrumento de control ha sido verificado, siendo la única diferencia entre los casos a) y b) que, en el primero, el error máximo aceptado se establece privadamente en función del uso previsto y las características del instrumento, y en el segundo, se establece legalmente [4].

1.4 Formas de composición de las cargas de transferencia

Hay dos maneras de componer las cargas de transferencia, estas son:

- a) Mediante masas de transferencia
- b) Mediante masas de transferencia y pesas patrón

Los casos a) se tratan en los apartados 2 y los casos b) en los apartados 3. De acuerdo con la tabla que se muestra a continuación [4]:

Tabla 3. Distribución de casos con respecto a las cargas de transferencia

	Masas de transferencia	Masas de transferencia y pesas patrón
La calibración, verificación, determinación de las masas de transferencia y ajustes en el mismo momento	2.1	3.1
La calibración y determinación de las masas de transferencia a la vez, pero la verificación del instrumento de control es realizada previamente	2.2	3.2
Verificación del instrumento de control realizado previamente	2.3	3.3
Verificación del instrumento de control y determinación de la masa de la carga de transferencia, realizadas previamente y a la vez	2.4	3.4
Verificación del instrumento de control y determinación de la masa de la carga de transferencia, realizadas previamente y de manera separada	2.5	3.5
Determinación de la masa de la carga de transferencia con un instrumento de control que ha sido verificado previamente	2.6	3.6

1.5 Componentes adicionales de la incertidumbre

Además de la componente de incertidumbre asociada al empuje del aire, la cual se trata detalladamente en este Anexo, otras componentes que influyen en el valor de la masa de referencia son las asociadas a los patrones de masa de referencia y las asociadas a las indicaciones del instrumento de control [4].

Las componentes asociadas a los patrones de masa de referencia se tratan en el apartado 6.4.1.2 y las asociadas a las indicaciones del instrumento de control se tratan en el apartado 6.4.1.3. Si la determinación de la masa de la carga de transferencia no se realiza en el momento de su utilización, puede ser necesario tener en cuenta una componente de incertidumbre asociada a su deriva, a no ser que la diferencia de tiempo sea adecuadamente breve. Esta componente, por analogía a la componente considerada en la sección 6.4.1.2.3, tiene la expresión [4]:

$$u(\delta m_{DT}) = \frac{D_t}{\sqrt{3}} \quad (\text{A2.1-1})$$

Donde D_t es la deriva máxima admitida entre determinaciones de las masas de las cargas de transferencia cuando son multiusos y determinadas periódicamente, o la deriva máxima esperada a medio plazo, cuando la determinación de la masa de las cargas se realiza para un uso concreto, pero no es inmediato [4].

Adicionalmente, si la verificación del instrumento de control no se realiza en el momento de la determinación de las masas de las cargas de transferencia, puede ser necesario tener en cuenta componentes de incertidumbre correspondientes a la variación del ajuste del instrumento de control y a la variación de temperatura entre su verificación y la determinación de las masas de las cargas de transferencia, a no ser que la diferencia de tiempo sea adecuadamente breve [4].

La componente correspondiente a la variación del ajuste está descrita en la sección 7.4.3.3 de la Guía SIM [5] y tiene como expresión [4]:

$$u_{rel}(R_{adj}) = \frac{|\Delta E(Max)|}{Max\sqrt{3}} \quad (\text{A2.1-2})$$

Donde el término $\Delta E(Max)$ hace referencia a la mayor diferencia de los errores en o cercano al Max entre dos calibraciones cualesquiera consecutivas. Por defecto, debería tomarse de las especificaciones del fabricante del instrumento.

La componente correspondiente a la variación de temperatura, se encuentra descrita en la sección 7.4.3.1 de la Guía SIM [5] y tiene como expresión [4]:

$$u_{rel}(R_{temp}) = \frac{TC\Delta T}{\sqrt{12}} \quad (\text{A2.1-3})$$

1.6 Valor de la carga de transferencia

Cuando la masa de transferencia se utiliza en la seleccionadora ponderal, el valor de referencia se determina según la ecuación (3) [4]:

$$m_{ref2} = m_{cTra} + \delta m_{B2} \quad (3)$$

Y cuando la masa de transferencia se coloca en el instrumento de control para determinar su valor, se obtiene según la siguiente ecuación, en donde se ignoran los términos de esperanza matemática nula [4]:

$$m_{cTra} = R - R_0 - I_{L1} + I_{O1} + m_N + \delta m_{B1} + m_N (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) \quad (A2.1-4)$$

A partir de las ecuaciones 6.2-1a, 7.1-1, 7.1.2-1, 7.4-1a y 7.4-1b presentes en la GUIA SIM [5], donde los símbolos se utilizan como en dicha Guía, con su mismo significado, excepto por los subíndices 1, que se refieren al instrumento de control, y subíndice t el cual hace referencia a la masa de transferencia o al momento de la transferencia. Substituyendo este valor en la ecuación precedente, se obtiene [4]:

$$m_{ref2} = R_L - R_0 - I_{L1} + I_{O1} + m_N + \delta m_{B1} + m_N (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \delta m_{B2} \quad (A2.1-5)$$

Al enfocarse en los términos asociados al empuje del aire: $\delta m_{B1} + m_N (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \delta m_{B2} = \delta m_{BTot}$, a partir de la ecuación 4.2.4-3 de la Guía SIM [5]:

$$\delta m_{Bi} = -m_{cCal} [(\rho_{aCali} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cali}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + (\rho_{aCali} - \rho_{asi}) / \rho_c] \quad (A2.1-6)$$

Y con $m_{cCal} = m_N$, $\rho_{Cal1} = \rho_{Cal}$ y $\rho_{Cal2} = \rho_t$ pueden escribirse como [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_{aCal1} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal1} - \rho_{as1}}{\rho_c} + (\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} - (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \quad (A2.1-7)$$

Si las cargas contienen además patrones de masa y suponiendo que son de la misma densidad que las utilizadas en la verificación del instrumento de control, se obtiene [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_{aCal1} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal1} - \rho_{as1}}{\rho_c} + (\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} - (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] - m'_N \left[(\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \quad (A2.1-8)$$

2. CARGAS DE TRANSFERENCIA COMPUESTAS SOLAMENTE POR MASAS DE TRANSFERENCIA

2.1 Calibración de la seleccionadora, verificación del instrumento de control, determinación de las masas de las cargas de transferencia y ajustes en el mismo momento.

Este caso corresponde al desarrollado en los apartados 6.2.4 y 6.5.1.2.2 del documento y se incluye en esta sección para su comparación en las siguientes situaciones [4].

En este caso, tanto el pesaje de las masas de transferencia como la verificación del instrumento de control se realizan in situ, como parte del proceso de calibración de la seleccionadora ponderal. Esta situación corresponde, por ejemplo, a un laboratorio que desplaza las masas de referencia y utiliza un instrumento de control aportado in situ por el cliente, el cual el laboratorio ajusta y verifica como parte del proceso de calibración de la seleccionadora ponderal y también a una situación en la que, el laboratorio desplaza las masas de referencia y el instrumento de control propio que se ajusta y verifica previamente al uso [4].

La ecuación de partida es la general, establecida en el apartado 6.2.2

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_{aCal1} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal1} - \rho_{as1}}{\rho_c} + (\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} - (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \quad (A2.2-1)$$

Además, si los ajustes de los dos instrumentos de pesaje se realizan en el mismo momento de la calibración, puede suponerse que la densidad del aire se mantiene constante durante las diferentes operaciones de ajuste y pesaje, es decir, $\rho_{Cal1} = \rho_{as1} = \rho_{aCal2} = \rho_{as2} = \rho_{at}$ y si se adopta para todas ellas el símbolo ρ_a . Los términos de empuje del aire quedan como [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N (\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} + \frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} - \frac{1}{\rho_t} + \frac{1}{\rho_c} \right) = -m_N (\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) \quad (A2.2-2)$$

Esta expresión es la misma que se obtiene si la calibración de la seleccionadora ponderal se realiza con las mismas pesas patrón que se usan para la verificación del instrumento de control, en lugar de hacerlo con la masa de transferencia. Por tanto, cuando todas las operaciones de verificación y pesaje se realizan en el mismo momento de la calibración de la seleccionadora, no es preciso conocer la densidad de la masa de transferencia y no aporta ninguna contribución al empuje del aire, ni a su incertidumbre. Su incertidumbre estándar relativa es [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_a) (1/\rho_{Cal} - 1/\rho_c)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho_{Cal}) / (\rho_{Cal})^4 \quad (A2.2-3)$$

Para una densidad del aire de 1.1 kg/m³ y una densidad de las masas de referencia de 7 950 kg/m³ con incertidumbres 0.03 kg/m³ y 70 kg/m³, respectivamente, la incertidumbre relativa sería del orden de 1.2 x 10⁻⁷ [4].

Además, la expresión para el valor de la masa convencional de referencia queda como [4]:

$$m_{ref2} = R_L - R_0 - I_{L1} + I_{01} + m_N - m_N (\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) \quad (6)$$

2.2 Determinación de las masas de las cargas de transferencia, verificación del instrumento de control y calibración de la seleccionadora ponderal realizada a la vez, pero con ajuste del instrumento de control realizado previamente

Un caso poco frecuente, es aquel en que, si bien el pesaje de las masas de transferencia se realiza in situ, el ajuste del instrumento de control se realiza previamente en un momento distinto (y, en

general, en un lugar diferente). Corresponde, por ejemplo, a una situación en la que, el laboratorio desplaza las masas de transferencia y utiliza un instrumento de control aportado in situ por el cliente, el cual no se puede ajustar. También corresponde a una situación en la que, el laboratorio desplaza las masas de transferencia y el instrumento de control, el cual además de ser propio del laboratorio, no se ajusta previamente al uso. Adicionalmente, la verificación del instrumento de control y la determinación de las masas de las cargas de transferencia se realiza de manera simultánea [4].

La ecuación de partida es la general, planteada anteriormente en la sección 2.1 de Anexos II, ecuación (A2.2-1). Si los ajustes de los instrumentos de pesaje se realizan en momentos distintos, la densidad del aire se mantiene constante solamente durante las operaciones de pesaje. Es decir, $\rho_{as1} \neq \rho_{as2} \neq \rho_{aCal1} = \rho_{aCal2} = \rho_{at}$. Al adoptar solamente para las que son iguales el símbolo ρ_a , esto es, $\rho_a = \rho_{aCal1} = \rho_{aCal2} = \rho_{at}$. Entonces, los términos de empuje quedan como [4]:

$$\begin{aligned} \delta m_{BTot} &= -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} + \frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} - \frac{1}{\rho_t} + \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_a - \rho_{as1}}{\rho_c} + \frac{\rho_a - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \\ &= -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{2\rho_a - \rho_{as1} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \end{aligned} \quad (A2.2-4)$$

La cual, sigue sin estar afectada por el material de transferencia, pero donde intervienen las densidades del aire en el momento del ajuste de los instrumentos. Su incertidumbre estándar relativa es [4].

$$\begin{aligned} u_{rel}^2(m_{BTot}) &= u^2(\rho_a)(1/\rho_{Cal} - 1/\rho_c)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho_{Cal})/(\rho_{Cal})^4 \\ &\quad + u^2(\rho_{as1})(1/\rho_c)^2 + u^2(\rho_{as2})(1/\rho_c)^2 \end{aligned} \quad (A2.2-5)$$

Raramente se realiza el ajuste de la seleccionadora en un momento diferente al de la calibración, por lo que, habitualmente, se tendrá que $\rho_{as2} = \rho_a$. Por consiguiente [4]:

$$\begin{aligned} \delta m_{BTot} &= -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{2\rho_a - \rho_{as1} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] = -m_N \\ &\quad \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_a - \rho_{as1}}{\rho_c} \right] \end{aligned} \quad (A2.2-6)$$

Con incertidumbre estándar relativa [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_a)(1/\rho_{Cal})^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho_{Cal})/(\rho_{Cal})^4 + u^2(\rho_{as1})(1/\rho_c)^2 \quad (A2.2-7)$$

Para una densidad del aire de 1.1 kg/m³ y una densidad de las masas de transferencia de 7 950 kg/m³, con incertidumbres 0.03 kg/m³ y 70 kg/m³, respectivamente, la incertidumbre relativa sería del orden de 5.3 x 10⁻⁶ [4].

2.3 Verificación del instrumento de control realizada previamente

Esta situación se presenta cuando el instrumento de control es verificado y ajustado previamente, adicionalmente, la determinación de la masa de transferencia se realiza in situ, durante la calibración de la seleccionadora ponderal. Corresponde, por ejemplo, a una situación en la que, el laboratorio no desplaza las masas de referencia y utiliza un instrumento de control verificado, el cual es aportado in situ por el cliente, también a una situación en la que, el laboratorio no desplaza las masas de referencia, pero si desplaza el instrumento de control el cual es propio y ya se encuentra verificado, además este no se ajusta previo al uso. La determinación de las masas de las cargas de transferencia se realiza por pesada directa y se utilizan las correcciones de verificación del instrumento de control [4].

Nuevamente, la ecuación de partida es la general, planteada anteriormente en la sección 2.1 de Anexos II, ecuación (A2.2-1). Si el instrumento de control ha sido verificado previamente y el material de transferencia se pesa en el instrumento de control durante la calibración de la seleccionadora ponderal, se tiene que, $\rho_{as1} \neq \rho_{as2} \neq \rho_{aCal1} \neq \rho_{aCal2} = \rho_{at}$, al adoptar el símbolo ρ_a solamente para las que son iguales. Es decir, $\rho_a = \rho_{aCal2} = \rho_{at}$, los términos de empuje de la ecuación (A2.2-1) quedan como [4]:

$$\begin{aligned} \delta m_{BTot} = & -m_N \left[(\rho_{aCal1} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal1} - \rho_{as1}}{\rho_c} + \frac{\rho_a - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] = \\ & -m_N \left[(\rho_{aCal1} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal1} - \rho_{as1} + \rho_a - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \end{aligned} \quad (A2.2-8)$$

Una vez más, independientes del material de transferencia. Su incertidumbre estándar relativa es [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_{aCal1})(1/\rho_{Cal})^2 + (\rho_{aCal1} - \rho_0)^2 u^2(\rho_{Cal})/(\rho_{Cal})^4 + u^2(\rho_{as1})(1/\rho_c)^2 + u^2(\rho_{as2})(1/\rho_c)^2 + u^2(\rho_a)(1/\rho_c)^2 \quad (A2.2-9)$$

Raramente se realiza el ajuste de la seleccionadora en un momento diferente al de la calibración, por lo que, habitualmente, se tendrá que $\rho_{as2} = \rho_a$, y [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_{aCal1} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal1} - \rho_{as1}}{\rho_c} \right] \quad (A2.2-10)$$

Con Incertidumbre estándar relativa [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_{aCal1})(1/\rho_{Cal})^2 + (\rho_{aCal1} - \rho_0)^2 u^2(\rho_{Cal})/(\rho_{Cal})^4 + u^2(\rho_{as1})(1/\rho_c)^2 \quad (A2.2-11)$$

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_a)(1/\rho_{cal} - 1/\rho_t)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho_{cal})/(\rho_{cal})^4 + u^2(\rho_{acal2})(1/\rho_t)^2 + (\rho_{acal2} - \rho_a)^2 u^2(\rho_t)/(\rho_t)^4 + u^2(\rho_{as2})(1/\rho_c)^2 \quad (A2.2-15)$$

Raramente se realiza el ajuste de la seleccionadora en un momento diferente al de la calibración, por lo que, habitualmente se tendrá que, $\rho_{as2} = \rho_{acal2}$, y [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{cal}} - \frac{1}{\rho_t} \right) + (\rho_{acal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \quad (A2.2-16)$$

Con Incertidumbre estándar relativa [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_a)(1/\rho_{cal} - 1/\rho_t)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho_{cal})/(\rho_{cal})^4 + u^2(\rho_{acal2})(1/\rho_t - 1/\rho_c)^2 + (\rho_{acal2} - \rho_a)^2 u^2(\rho_t)/(\rho_t)^4 \quad (A2.2-17)$$

Para una densidad del aire de 1.1 kg/m³ y una densidad de las masas de referencia de 7 950 kg/m³, con incertidumbres 0.03 kg/m³ y 70 kg/m³, respectivamente, y con una densidad de las masas de transferencia de 1 500 kg/m³, con una incertidumbre de 200 kg/m³, la incertidumbre relativa sería del orden de 2.5 x 10⁻⁵ [4].

Dado que interviene la densidad de las masas de transferencia, solamente se recomienda utilizarlo cuando el término y su incertidumbre son despreciables. Adicionalmente, en la determinación de la incertidumbre de la masa de transferencia, pueden ser relevantes los términos asociados a su deriva [4].

2.5 Verificación del instrumento de control y determinación de las masas de las cargas de transferencia realizadas previamente, de forma separada

Esta situación se da cuando el instrumento de control se verifica previamente y el material de transferencia se pesa en el instrumento de control en otro momento, que también es diferente al de la calibración de la seleccionadora ponderal. Corresponde, por ejemplo, a una situación en la que, el instrumento de control no se traslada al lugar de calibración de la seleccionadora ponderal y las masas de transferencia se determinan en el instrumento de control sin hacer comparación con los patrones de masa, por lectura directa, utilizando las correcciones de la verificación del instrumento de control [4].

Una vez más, la ecuación de partida es la general, desarrollada anteriormente en la sección 2.1 de Anexos II, ecuación (A2.2-1). Si el instrumento de control es verificado previamente y el material de transferencia no se pesa en el instrumento de control en ese mismo momento, se tiene que, $\rho_{as1} = \rho_{acal1} \neq \rho_{at} \neq \rho_{as2} \neq \rho_{acal2}$ al adoptar solamente para las que son iguales el símbolo ρ_a . Es decir, $\rho_a = \rho_{as1} = \rho_{acal1}$. Los términos de empuje del aire de la ecuación (A2.2-1) quedan como [4]:

En la mayoría de los casos, la única ecuación disponible para el cálculo de ρ_{aCal1} es la establecida en el Anexo A de la Guía SIM [4,5].

Si se tiene constancia de que $\rho_{as1} = \rho_{aCal1}$, entonces

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_{aCal1} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \quad (A2.2-12)$$

Con incertidumbre estándar relativa [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_{aCal1})(1/\rho_{Cal} - 1/\rho_c)^2 + (\rho_{aCal1} - \rho_0)^2 u^2(\rho_{Cal})/(\rho_{Cal})^4 \quad (A2.2-13)$$

Para una densidad del aire de 1.1 kg/m³ y una densidad de las masas de referencia de 7 950 kg/m³, con incertidumbres 0.03 kg/m³ y 70 kg/m³, respectivamente, la incertidumbre relativa sería del orden de 1.2×10^{-7} [4].

En la determinación de la incertidumbre de la masa de transferencia, pueden ser relevantes los términos asociados a la variación del ajuste y variación del instrumento de control con la temperatura. Si no se traslada el instrumento, el término relevante es el asociado al transcurso del tiempo, y si el instrumento se traslada, son relevantes los términos indicados en la Guía SIM [5], incluyendo la variación de la gravedad [4].

2.4 Verificación del instrumento de control y determinación de las masas de las cargas de transferencia realizadas previamente y a la vez

Esta situación se presenta cuando la verificación del instrumento de control y la determinación de la masa de la carga de transferencia se realiza en el mismo momento, que es diferente del correspondiente a la calibración de la seleccionadora ponderal. Dicha situación corresponde, por ejemplo, a un caso en el que, no se traslada el instrumento de control al lugar de calibración de la seleccionadora ponderal y las masas de transferencia se determinan en la ubicación del instrumento de control (normalmente, el laboratorio permanente) simultáneamente a la verificación del instrumento de control [4].

La ecuación de partida es la general, establecida en el apartado 6.2.2 y desarrollada anteriormente en la sección 2.1 de Anexos II, ecuación (A2.2-1). Si el instrumento de control ha sido verificado previamente y el material de transferencia se pesa en el instrumento de control en el mismo momento, se cumple, $\rho_{as1} = \rho_{aCal1} = \rho_{at} \neq \rho_{as2} \neq \rho_{aCal2}$, al adoptar solamente para las que son iguales, el símbolo ρ_a . Es decir, $\rho_a = \rho_{as1} = \rho_{aCal1} = \rho_{at}$. Entonces los términos de empuje de la ecuación (A2.2-1) quedan como [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_t} \right) + (\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \quad (A2.2-14)$$

Por consiguiente, no se anula la contribución del material de transferencia, como tampoco sucedería en cualquier si se cumple que, $\rho_{aCal2} \neq \rho_{at}$. Su incertidumbre estándar relativa es [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + (\rho_{acal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{acal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} - (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \quad (A2.2-18)$$

Con incertidumbre estándar relativa [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_a)(1/\rho_{cal} - 1/\rho_c)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho_{cal})/(\rho_{cal})^4 + u^2(\rho_{acal2})(1/\rho_t)^2 + u^2(\rho_{at})(1/\rho_t - 1/\rho_c)^2 + (\rho_{acal2} - \rho_{at})^2 u^2(\rho_t)/(\rho_t)^4 \quad (A2.2-19)$$

Raramente, se realiza el ajuste de la seleccionadora en un momento diferente al de la calibración, por lo que, habitualmente, se tendrá que $\rho_{as2} = \rho_{acal2}$, y [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + (\rho_{acal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) - (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \quad (A2.2-20)$$

Con incertidumbre estándar relativa [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_a)(1/\rho_{cal} - 1/\rho_c)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho_{cal})/(\rho_{cal})^4 + u^2(\rho_{acal2})(1/\rho_t - 1/\rho_c)^2 + u^2(\rho_{at})(1/\rho_t - 1/\rho_c)^2 + (\rho_{acal2} - \rho_{at})^2 u^2(\rho_t)/(\rho_t)^4 \quad (A2.2-21)$$

Para una densidad del aire de 1.1 kg/m³ y una densidad de las masas de referencia de 7 950 kg/m³, con incertidumbres 0.03 kg/m³ y 70 kg/m³, respectivamente, y con una densidad de las masas de transferencia de 1 500 kg/m³, con una incertidumbre de 200 kg/m³, la incertidumbre relativa sería del orden de 2.5 x 10⁻⁵ [4].

En la determinación de la incertidumbre de la masa de transferencia pueden ser relevantes los términos asociados a la variación del ajuste, variación del instrumento de control con la temperatura y los términos asociados a la deriva de la masa de transferencia [4].

2.6 Determinación de las masas de las cargas de transferencia con un instrumento de control que ha sido verificado previamente

Adicionalmente, se puede presentar el caso en el cual, el pesaje de las masas de transferencia se realiza in situ, y como instrumento de control se utiliza uno que ha sido [4]:

- Verificado legalmente en un momento previo, sin que se disponga de las correcciones de calibración, sino que solamente se sabe que la verificación legal ha tenido resultado favorable, o
- ha sido verificado previamente, sin que se disponga de las correcciones de calibración, sino que solamente se sabe que son inferiores a un determinado criterio conocido.

Cuando la masa de transferencia se utiliza en la seleccionadora ponderal, el valor de referencia se determina según la ecuación (3) planteada en la sección 6.1.6:

$$m_{ref2} = m_{cTra} + \delta m_{B2} \quad (3)$$

En adición, cuando la masa de transferencia se coloca en el instrumento de control para determinar su valor se obtiene, ignorando los términos de esperanza matemática nula,

$$m_{cTra} = R - R_0 + m_N (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) \quad (A2.2-22)$$

A partir de la ecuación 7.4-1a de la Guía SIM [5], donde los símbolos se utilizan con su mismo significado, excepto por el subíndice t , que se refiere a la masa de transferencia o el momento de la transferencia. Substituyendo este valor en la ecuación anterior, se obtiene [4]:

$$m_{ref2} = R_L - R_0 + m_N (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \delta m_{B2} \quad (A2.2-23)$$

Al centrarse en los términos asociados al empuje del aire $m_N (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \delta m_{B2}$, a partir de la ecuación 4.2.4-3 de la Guía SIM [5],

$$\delta m_{Bi} = -m_{cCal} [(\rho_{aCali} - \rho_0)(1/\rho_{Cali} - 1/\rho_c) + (\rho_{aCali} - \rho_{asi})/\rho_c] \quad (A2.2-24)$$

Con $m_{cCal} = m_N$ y $\rho_{Cal2} = \rho_t$, puede escribirse como [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_{aCal2} - \rho_{at}) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \quad (A2.2-25)$$

Y no se anula la contribución del material de transferencia, como tampoco sucedería en cualquier caso en que $\rho_{aCal2} \neq \rho_{at}$. Su incertidumbre estándar relativa es [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = \frac{u^2(\rho_{aCal2})(1/\rho_t)^2 + u^2(\rho_{as2})/(\rho_c)^2 + u^2(\rho_{at})(1/\rho_t - 1/\rho_c)^2 + (\rho_{aCal2} - \rho_{at})^2 u^2(\rho_t)/(\rho_t)^4}{(\rho_{aCal2} - \rho_{at})^2 u^2(\rho_t)/(\rho_t)^4} \quad (A2.2-26)$$

Para una densidad del aire de 1.1 kg/m³ y una densidad de las masas de referencia de 7 950 kg/m³, con incertidumbres 0.03 kg/m³ y 70 kg/m³, respectivamente, y con una densidad de las masas de transferencia de 1 500 kg/m³, con una incertidumbre de 200 kg/m³, la incertidumbre relativa sería del orden de 2.2 x 10⁻⁵ [4].

Dado que interviene la densidad de las masas de transferencia solamente se recomienda utilizarlo cuando el término y su incertidumbre son despreciables [4].

Si el pesaje de la masa de transferencia se realiza en el momento de la calibración de la seleccionadora ponderal, se tiene que $\rho_{at} = \rho_{aCal2}$, y

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[\frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \quad (A2.2-27)$$

Anulándose la contribución del material de transferencia. Con incertidumbre estándar relativa [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_{aCal2})(1/\rho_c)^2 + u^2(\rho_{as2})/(\rho_c)^2 \quad (A2.2-28)$$

Escasamente, se realiza el ajuste de la seleccionadora en un momento diferente al de la calibración, por lo que, habitualmente, se tendrá que $\rho_{as2} = \rho_{aCal2}$, y

$$\delta m_{BTot} = 0 \quad (29)$$

3. MASAS DE TRANSFERENCIA COMPUESTAS POR CARGAS MIXTAS

En ciertos casos, las cargas aplicadas sobre la seleccionadora ponderal están formadas por una masa de transferencia hueca, que contiene pesas patrón [4].

3.1 Verificación del instrumento de control, determinación de las masas de las cargas de transferencia, calibración de la seleccionadora y ajustes realizados en el mismo momento

En este caso, el pesaje de las masas de transferencia se realiza in situ y el ajuste del instrumento de control se realiza también in situ, como parte del proceso de calibración de la seleccionadora ponderal. Corresponde, por ejemplo, a una situación en la que, el laboratorio desplaza las masas de referencia y utiliza un instrumento de control aportado in situ por el cliente, adicionalmente, el laboratorio ajusta y verifica al instrumento de control como parte del proceso de calibración de la seleccionadora ponderal. También corresponde a una situación en la que, el laboratorio desplaza las masas de referencia y el instrumento de control, el cual es propio del laboratorio y es verificado previamente al uso [4].

La ecuación de partida es la general, establecida en el apartado 6.2.2 para cargas mixtas

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_{aCal1} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal1} - \rho_{as1}}{\rho_c} + (\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} - (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] - m'_N \left[(\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \quad (A2.3-1)$$

Adicionalmente, si los ajustes de los dos instrumentos de pesaje se realizan en el mismo momento de la calibración, puede suponerse que la densidad del aire se mantiene constante durante las diferentes operaciones de ajuste y pesaje. Es decir, $\rho_{aCal1} = \rho_{as1} = \rho_{aCal2} = \rho_{as2} = \rho_{at}$, al adoptar para todas ellas el símbolo ρ_a . Entonces, los términos de empuje quedan como [4]:

$$\delta m_{BTot} = -(m_N + m'_N) \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \quad (A2.3-2)$$

Con incertidumbre estándar relativa:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_a)(1/\rho_{Cal} - 1/\rho_c)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho_{Cal})/(\rho_{Cal})^4 \quad (A2.3-3)$$

3.2 Determinación de las masas de las cargas de transferencia, verificación del instrumento de control y calibración de la seleccionadora ponderal realizada a la vez, pero con ajuste previo del instrumento de control

Un caso, probablemente infrecuente, es aquel en que, si bien el pesaje de las masas de transferencia se realiza in situ, el ajuste del instrumento de control se realiza previamente en un momento distinto (y, en general, en un lugar diferente). Corresponde, por ejemplo, a una situación en la que, el laboratorio desplaza las masas de referencia y utiliza un instrumento de control aportado in situ por el cliente, el cual no se puede ajustar. También corresponde a una situación en la que, el laboratorio desplaza tanto las masas de referencia como el instrumento de control, siendo este propio y al cual no se le ha realizado ajuste previo. La verificación del instrumento de control y la determinación de las masas de las cargas de transferencia se realizan de manera simultánea. [4].

Nuevamente, la ecuación de partida es la planteada anteriormente en el apartado 3.1 de Anexos II, ecuación (A2.3-1). Si los ajustes de los dos instrumentos de pesaje se realizan en momentos distintos, la densidad del aire se mantiene constante solamente durante las operaciones de pesaje, esto es, $\rho_{as1} \neq \rho_{as2} \neq \rho_{aCal1} = \rho_{aCal2} = \rho_{at}$. Al adoptar solamente para las que son iguales el símbolo ρ_a , $\rho_a = \rho_{aCal2} = \rho_{at}$. Entonces, los términos de empuje quedan como [4]:

$$\begin{aligned} \delta m_{BTot} = & -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} + \frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} - \frac{1}{\rho_t} + \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_a - \rho_{as1}}{\rho_c} + \frac{\rho_a - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \\ & -m'_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_a - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] = \\ & -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{2\rho_a - \rho_{as1} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] - m'_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_a - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \end{aligned} \quad (A2.3-4)$$

Que sigue sin estar afectada por el material de transferencia, pero donde intervienen las densidades del aire en el momento del ajuste de los instrumentos. Su incertidumbre estándar relativa es [4]:

$$\begin{aligned} u_{rel}^2(m_{BTot}) = & u^2(\rho_a) [1/\rho_{Cal} + 1/\rho_c] + m_N/(m_N + m'_N) (1/\rho_c)^2 + \\ & (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho_{Cal})/(\rho_{Cal})^4 + u^2(\rho_{as1}) [m_N/(m_N + m'_N)]^2 (1/\rho_c)^2 + u^2(\rho_{as2}) (1/\rho_c)^2 \end{aligned} \quad (A2.3-5)$$

Raramente, se realiza el ajuste de la seleccionadora en un momento diferente al de la calibración, por consiguiente, normalmente, se tendrá que $\rho_{as2} = \rho_a$. Entonces [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_a - \rho_{as1}}{\rho_c} \right] - m'_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \quad (A2.3-6)$$

Con incertidumbre estándar relativa [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_a) [1/\rho_{Cal} + 1/\rho_c] + m_N/(m_N + m'_N) (1/\rho_c)^2 +$$

$$(\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho_{cal})/(\rho_{cal})^4 + u^2(\rho_{as1})[m_N/(m_N + m'_N)]^2(1/\rho_c)^2 \quad (A2.3-7)$$

En la determinación de la incertidumbre de la masa de referencia pueden ser relevantes los términos asociados a la variación del ajuste y de la variación del instrumento de control con la temperatura [4].

3.3 Verificación del instrumento de control realizada previamente

Esta situación se da cuando el instrumento de control es verificado y ajustado previamente, además, la determinación de la masa de transferencia se realiza in situ, durante la calibración de la seleccionadora ponderal. Corresponde, por ejemplo, a una situación en la que, el laboratorio no desplaza las masas de referencia y utiliza un instrumento de control verificado aportado in situ por el cliente. También corresponde a una situación en la que, el laboratorio no desplaza las masas de referencia pero si desplaza el instrumento de control el cual es propio y ya se encuentra verificado. Adicionalmente, no es ajustado previo al uso. La determinación de las masas de las cargas de transferencia se realiza por pesada directa y se utilizan las correcciones de verificación del instrumento de control [4].

La ecuación de partida es la planteada anteriormente en el apartado 3.1 de Anexos II, ecuación (A2.3-1). Si el instrumento de control ha sido verificado previamente y el material de transferencia se pesa en el instrumento de control durante la calibración de la seleccionadora ponderal, es decir, $\rho_{as1} \neq \rho_{as2} \neq \rho_{aCal1} \neq \rho_{aCal2} = \rho_{at}$. Al adoptar solamente para las que son iguales el símbolo ρ_a , $\rho_a = \rho_{aCal2} = \rho_{at}$. Entonces, los términos de empuje quedan como [4]:

$$\begin{aligned} \delta m_{BTot} = & -m_N \left[(\rho_{aCal1} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{cal}} - \frac{1}{\rho_t} \right) + \frac{\rho_{aCal1} - \rho_{as1} + \rho_s - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \\ & -m'_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_a - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \end{aligned} \quad (A2.3-8)$$

Una vez más, independientes del material de transferencia, su incertidumbre estándar relativa es [4]:

$$\begin{aligned} u_{rel}^2(m_{BTot}) = & (m_N)^2/(m_N + m'_N)^2 [u^2(\rho_{aCal1})(1/\rho_{cal})^2 + u^2(\rho_{as1})(1/\rho_c)^2] + \\ & u^2(\rho_{as2})(1/\rho_c)^2 + [m_N(1/\rho_c) + m'_N(1/\rho_{cal})]^2/(m_N + m'_N)^2 u^2(\rho_a) + [m'_N(\rho_a - \rho_0) + \\ & m_N(\rho_{aCal1} - \rho_0)]^2/(m_N + m'_N)^2 u^2(\rho_{cal})/(\rho_{cal})^4 \end{aligned} \quad (A2.3-9)$$

Raramente se realiza el ajuste de la seleccionadora en un momento diferente al de la calibración, por lo que, habitualmente, se tendrá que $\rho_{as2} = \rho_a$, y [4]:

$$m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal1} - \rho_{as1}}{\rho_c} \right] - m'_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \quad (A2.3-10)$$

Con incertidumbre estándar relativa [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = (m_N)^2/(m_N + m'_N)^2 [u^2(\rho_{aCal1})(1/\rho_{Cal})^2 + u^2(\rho_{as1})(1/\rho_c)^2] + (m'_N)^2/(m_N + m'_N)^2 u^2(\rho_a)(1/\rho_{Cal} - 1/\rho_c)^2 + [m'_N(\rho_a - \rho_0) + m_N(\rho_{aCal1} - \rho_0)]^2/(m_N + m'_N)^2 u^2(\rho_{Cal})/(\rho_{Cal})^4 \quad (A2.3-11)$$

3.4 Verificación del instrumento de control y determinación de las masas de las cargas de transferencia realizadas previamente y a la vez

Esta situación se da cuando la verificación del instrumento de control y determinación de las masas de las cargas de transferencia se realizan en el mismo momento, siendo este diferente del correspondiente a la calibración de la seleccionadora ponderal. Corresponde, por ejemplo, a una situación en la que, el instrumento de control no se traslada al lugar de calibración de la seleccionadora ponderal, adicionalmente, las masas de transferencia se determinan en la ubicación del instrumento de control (normalmente, el laboratorio permanente) simultáneamente a la verificación del instrumento de control [4].

La ecuación de partida, es la planteada en la sección 3.1 de Anexos II, ecuación (A2.3-1). Si el instrumento de control ha sido verificado previamente y el material de transferencia se pesa en el instrumento de control en el mismo momento, se tiene, $\rho_{as1} = \rho_{aCal1} = \rho_{at} \neq \rho_{as2} \neq \rho_{aCal2}$, al adoptar solamente para las que son iguales el símbolo ρ_a , $\rho_a = \rho_{as1} = \rho_{aCal1} = \rho_{at}$. Entonces, los términos de empuje quedan como [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_t} \right) + (\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] - m'_N \left[(\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \quad (A2.3-12)$$

Y ya no se anula la contribución del material de transferencia, como tampoco sucede sucedería en cualquier caso en que $\rho_{aCal2} \neq \rho_{at}$. Su incertidumbre estándar relativa es [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = (m_N)^2/(m_N + m'_N)^2 [u^2(\rho_a)(1/\rho_{Cal} - 1/\rho_t)^2 + (\rho_{aCal2} - \rho_a)^2 u^2(\rho_t)/(\rho_t)^4] + [m_N(\rho_a - \rho_0) + m'_N(\rho_{aCal2} - \rho_0)]^2/(m_N + m'_N)^2 u^2(\rho_{Cal})/(\rho_{Cal})^4 + [m'_N(1/\rho_{Cal}) + m_N(1/\rho_t)]^2/(m_N + m'_N)^2 u^2(\rho_{aCal2}) + [m'_N(1/\rho_{Cal} - 1/\rho_c) + (1/\rho_c)^2 u^2(\rho_{as2})] \quad (A2.3-13)$$

Raramente se realiza el ajuste de la seleccionadora en un momento diferente al de la calibración, por lo que, habitualmente, se tendrá que, $\rho_{as2} = \rho_{aCal2}$, y

$$m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_t} \right) + (\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \quad (A2.3-14)$$

$$-m'_N \left[(\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right]$$

Con incertidumbre estándar relativa [4]:

$$\begin{aligned} u_{rel}^2(m_{BTot}) = & (m_N)^2 / (m_N + m'_N)^2 [u^2(\rho_a)(1/\rho_{Cal} - 1/\rho_t)^2 + (\rho_{aCal2} - \rho_a)^2 u^2(\rho_t)/(\rho_t)^4] + \\ & [m_N (\rho_a - \rho_0) + m'_N (\rho_{aCal2} - \rho_0)] / (m_N + m'_N)^2 u^2(\rho_{Cal}) / (\rho_{Cal})^4 + [m'_N (1/\rho_{Cal} - 1/\rho_c) \\ & + m_N (1/\rho_t - 1/\rho_c)]^2 / (m_N + m'_N)^2 u^2(\rho_{aCal2}) \end{aligned} \quad (A2.3-15)$$

Dado que interviene la densidad de las masas de transferencia solamente se recomienda utilizarlo cuando el término y su incertidumbre sean despreciables, en la determinación de la incertidumbre de la masa de referencia pueden ser relevantes los términos asociados a la deriva de la masa de transferencia [4].

3.5 Verificación del instrumento de control y determinación de las masas de las cargas de transferencias realizadas previamente, de forma separada.

Esta situación se da cuando el instrumento de control ha sido verificado previamente y el material de transferencia se ha pesado en el instrumento de control en otro momento, que a su vez es diferente del correspondiente a la calibración de la seleccionadora ponderal. Corresponde, por ejemplo, a una situación en la que, no se traslada el instrumento de control al lugar de calibración de la seleccionadora ponderal, adicionalmente, la determinación de las masas de las cargas de transferencia se realiza previamente en el instrumento de control sin hacer comparación con los patrones de masa, por lectura directa, utilizando las correcciones de verificación del instrumento de control [4].

Nuevamente, la ecuación de partida es la ecuación (A2.3-1), planteada en la sección 3.1 de Anexos II. Si el instrumento de control ha sido verificado previamente y el material de transferencia no se pesa en el instrumento de control en ese mismo momento, se cumple, $\rho_{as1} = \rho_{aCal1} \neq \rho_{at} \neq \rho_{as2} \neq \rho_{aCal2}$, al adoptar solamente para las que son iguales el símbolo ρ_a , $\rho_a = \rho_{as1} = \rho_{aCal1}$. Entonces, los términos de empuje quedan como [4]:

$$\begin{aligned} \delta m_{BTot} = & -m_N \left[(\rho_a - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + (\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} - (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \\ & -m'_N \left[(\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \end{aligned} \quad (A2.3-16)$$

Con incertidumbre estándar relativa [4]:

$$\begin{aligned} u_{rel}^2(m_{BTot}) = & (m_N)^2 / (m_N + m'_N)^2 [u^2(\rho_a)(1/\rho_{Cal} - 1/\rho_c)^2 + u^2(\rho_{at})(1/\rho_t - 1/\rho_c)^2 + \\ & (\rho_{aCal2} - \rho_{at})^2 u^2(\rho_t)/(\rho_t)^4] + [m_N (\rho_a - \rho_0) + m'_N (\rho_{aCal2} - \rho_0)]^2 / (m_N + m'_N)^2 u^2(\rho_{Cal}) \\ & / (\rho_{Cal})^4 + [m'_N (1/\rho_{Cal} - 1/\rho_c) + m_N (1/\rho_t - 1/\rho_c)]^2 / (m_N + m'_N)^2 u^2(\rho_{aCal2}) \end{aligned} \quad (A2.3-17)$$

En la determinación de la incertidumbre de la masa de referencia pueden ser relevantes los términos asociados a la variación del ajuste, a la variación del instrumento de control con la temperatura y los términos asociados a la deriva de la masa de transferencia [4].

3.6 Determinación de las masas de las cargas de transferencia con un instrumento de control que previamente ha sido verificado

Otro caso, es aquel en que, el pesaje de las masas de transferencia se realiza in situ, y como instrumento de control se utiliza uno que ha sido [4]:

- Verificado legalmente en un momento previo, sin que se disponga de las correcciones de calibración, sino que solamente se sabe que la verificación legal ha tenido resultado favorable, o
- ha sido verificado previamente, sin que se disponga de las correcciones de calibración, sino que solamente se sabe que son inferiores a un determinado criterio conocido.

Cuando la masa de transferencia se utiliza en la seleccionadora ponderal, el valor de referencia se determina según la ecuación (3) planteada en la sección 6.1.6:

$$m_{ref2} = m_{cTra} + \delta m_{B2} \quad (3)$$

En adición, cuando la masa de transferencia se ha colocado en el instrumento de control para determinar su valor se obtiene según la ecuación A2.2-22 desarrollada en la sección 2.6 de Anexos II, en donde se ignoran los términos de esperanza matemática nula [4].

A partir de la ecuación 7.4-1a de la Guía SIM [5], donde los símbolos se utilizan con su mismo significado, excepto por el subíndice t , que se refiere a la masa de transferencia o el momento de la transferencia. Substituyendo este valor en la ecuación anterior, se obtiene la ecuación A2.2-23 planteada en la sección 2.6 de Anexos II [4].

Al centrarse en los términos asociados al empuje del aire $m_N (\rho_{at} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \delta m_{B2}$, a partir de la ecuación 4.2.4-3 de la Guía SIM [5],

$$\delta m_{Bi} = -m_{cCal} [(\rho_{aCali} - \rho_0)(1/\rho_{Cali} - 1/\rho_c) + (\rho_{aCali} - \rho_{asi})/\rho_c] \quad (A2.2-24)$$

Con $m_{cCal} = m_N$ y $\rho_{Cal2} = \rho_t$, puede escribirse como se plantea en la ecuación A2.2-25 desarrollada en la sección 2.6 de Anexos II, y añadiendo las masas patrón para componer la carga mixta [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[(\rho_{aCal2} - \rho_{at}) \left(\frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \quad (A2.3-12)$$

$$-m'_N \left[(\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right]$$

Y no se anula la contribución del material de transferencia, como tampoco sucedería en cualquier caso en que $\rho_{aCal2} \neq \rho_{at}$. Su incertidumbre estándar relativa es [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_{aCal2}) \left[(m_N/(m_N + m'_N)(1/\rho_t) + (m'_N)/(m_N + m'_N)(1/\rho_{Cal}))^2 + u^2(\rho_{as2})/(\rho_c)^2 + u^2(\rho_{at})(m_N)^2/(m_N + m'_N)^2(1/\rho_t - 1/\rho_c)^2 + (m_N)^2/(m_N + m'_N)^2(\rho_{aCal2} - \rho_{at})^2 u^2(\rho_t)/(\rho_t)^4 + (m'_N)^2/(m_N + m'_N)^2(\rho_{aCal2} - \rho_0)^2 u^2(\rho_{Cal})/(\rho_{Cal})^4 \right] \quad (A2.3-13)$$

Dado que interviene la densidad de las masas de transferencia solamente se recomienda utilizarlo cuando el término y su incertidumbre son despreciables. Si el pesaje de la masa de transferencia se realiza en el momento de la calibración de la seleccionadora ponderal. Es decir, $\rho_{at} = \rho_{aCal2}$ y [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m_N \left[\frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] - m'_N \left[(\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) + \frac{\rho_{aCal2} - \rho_{as2}}{\rho_c} \right] \quad (A2.3-14)$$

Anulándose la contribución del material de transferencia, con incertidumbre estándar relativa [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_{aCal2}) \left[(m_N/(m_N + m'_N)(1/\rho_c) + (m'_N)/(m_N + m'_N)(1/\rho_{Cal}))^2 + u^2(\rho_{as2})/(\rho_c)^2 + (m'_N)^2/(m_N + m'_N)^2(\rho_{aCal2} - \rho_0)^2 u^2(\rho_{Cal})/(\rho_{Cal})^4 \right] \quad (A2.3-15)$$

Raramente se realiza el ajuste de la seleccionadora en un momento diferente al de la calibración, por lo que, habitualmente, se tendrá que, $\rho_{a2} = \rho_{aCal2}$ y [4]:

$$\delta m_{BTot} = -m'_N \left[(\rho_{aCal2} - \rho_0) \left(\frac{1}{\rho_{Cal}} - \frac{1}{\rho_c} \right) \right] \quad (A2.3-16)$$

Con incertidumbre estándar relativa [4]:

$$u_{rel}^2(m_{BTot}) = u^2(\rho_{aCal2}) \left[(m'_N/(m_N + m'_N)(1/\rho_{Cal} - 1/\rho_c))^2 + (m'_N)^2/(m_N + m'_N)^2(\rho_{aCal2} - \rho_0)^2 u^2(\rho_{Cal})/(\rho_{Cal})^4 \right] \quad (A2.3-17)$$

ANEXO III EJEMPLOS

1. INTRODUCCIÓN

2. EJEMPLO 1

2.1 Datos generales de la calibración

2.2 Verificación del instrumento de control

2.3 Determinación de la masa de la carga de transferencia

2.4 Ensayos en funcionamiento automático

2.4.1 Prueba de error de indicación y repetibilidad

2.4.2 Prueba de excentricidad

2.5 Incertidumbre de medida

2.5.1 Fórmulas empleadas para la determinación de la incertidumbre

2.5.2 incertidumbre expandida de medición

3. EJEMPLO 2

3.1 Datos generales de la calibración

3.2 Verificación del instrumento de control

3.3 Determinación de las masas de las cargas de transferencia

3.3.1 Determinación de la masa de la carga de transferencia A

3.3.2 Determinación de la masa de la carga de transferencia B

3.3.3 Determinación de la masa de la carga de transferencia C

3.4 Ensayos en funcionamiento automático

3.4.1 Prueba de error de indicación y repetibilidad

3.4.1.1 Prueba de error de indicación y repetibilidad, masa de transferencia A

3.4.1.2 Prueba de error de indicación y repetibilidad, masa de transferencia B

3.4.1.3 Prueba de error de indicación y repetibilidad, masa de transferencia C

3.4.2 Prueba de excentricidad

3.5 Incertidumbre de medida

3.5.1 Fórmulas empleadas para la determinación de la incertidumbre

3.5.2 Incertidumbre expandida en la calibración, masa de transferencia A

3.5.3 Incertidumbre expandida en la calibración, masa de transferencia B

3.5.4 Incertidumbre expandida en la calibración, masa de transferencia C

1. INTRODUCCIÓN

Los ejemplos presentados en este Anexo muestran, de diferentes maneras, cómo pueden aplicarse las reglas contenidas en esta guía. Los ejemplos no tienen la intención de indicar ninguna preferencia de ciertos procedimientos sobre otros para los que no se dan ejemplos.

Las calibraciones son desarrolladas en su totalidad en Frutales Las Lajas S.A empresa colombiana productora, comercializadora y seleccionadora de lima ácida Tahití y aguacate Hass. El instrumento de pesaje de funcionamiento automático a calibrar consiste en una seleccionadora ponderal marca CIU, la cual es empleada para la selección de aguacate Hass. Adicionalmente, presenta seis líneas con 26 salidas y capacidad de hasta treinta toneladas por hora.

En adición, la seleccionadora ponderal no dispone de indicación en estático, además, dispone de guías para el centrado del artículo que pesa, (aguacate Hass) por lo que, en ambos ejemplos no procede la prueba de excentricidad en dinámico. La totalidad de las calibraciones se llevan a cabo en el lugar de instalación y uso de la seleccionadora ponderal.

2. EJEMPLO 1

2.1 Datos generales de la calibración

En el primer ejemplo, se considera la calibración de la línea número cinco de una seleccionadora ponderal, para esto se utiliza un aguacate Hass como masa de transferencia y una sola velocidad siendo esta la habitual o empleada por Frutales Las Lajas en su proceso. Como se mencionó anteriormente, la seleccionadora no dispone de indicación en estático, por lo tanto, se emplea una balanza como instrumento de control, la balanza tiene menor resolución que la seleccionadora. Asimismo, la seleccionadora dispone de guías para el centrado del aguacate, por lo que, no procede la prueba de excentricidad en dinámico.

A continuación, en la tabla 1 se lista información disponible de la seleccionadora, masa de transferencia, y demás información relevante para la calibración de la seleccionadora:

Tabla 1. Características de la seleccionadora, masa de transferencia, entre otros

Magnitud	Símbolo	Valor
Alcance máximo (celdas de carga)	Max	5 kg
Resolución de uso de la seleccionadora	d_T	1 g
Velocidad del proceso	v	66.5 Hz
Cadencia máxima		30 t/h
Longitud de la plataforma	l	25 m

Resolución del instrumento de control	d_{IC}	0.1 g
Número de masas de transferencia		1 unidad
Masa de transferencia (artículo)		Aguacate Hass
Valor nominal de la masa de transferencia		195.7 g
Temperatura inicial		27.3 °C
Temperatura final		31.7 °C

Para la determinación de la masa de la carga de transferencia, se emplean pesas patrón de clase M_1 de valor nominal próximo al del aguacate. A continuación, en la tabla 2 se listan las pesas patrón utilizadas, cada una con su respectivo valor nominal, masa convencional e incertidumbre expandida:

Tabla 2. Valor nominal e incertidumbre expandida de las pesas patrón

Valor nominal (g)	Masa convencional	Incertidumbre expandida (g) (factor de cobertura $k = 2$)
100	100 g – 0.5 mg	0.001 6
50	50 g + 0.5 mg	0.001 0
20	20 g + 0.6 mg	0.000 8
20	20 g + 0.6 mg	0.000 8

2.2 Verificación del instrumento de control

Se realiza la verificación de la balanza utilizada como instrumento de control, conforme a la Guía SIM [5], que incluye una prueba de repetibilidad de 6 repeticiones realizadas con una pesa de clase M_1 de valor nominal de 500 g, obteniéndose la desviación estándar del instrumento de control. En este caso se obtienen seis lecturas iguales por lo que, resulta $s_{IC} = 0.0$ g.

Adicionalmente, se realiza una prueba de excentricidad con la misma pesa patrón empleada en la prueba de repetibilidad. La prueba consiste en poner la carga de prueba en diferentes posiciones sobre el receptor de carga de la balanza, de tal manera que el centro de gravedad de la carga lo ocupe tanto como sea posible. A partir de las indicaciones obtenidas en las diferentes posiciones de la carga se obtiene la diferencia de excentricidad para cada posición, en el presente caso se obtienen lecturas iguales en todas las posiciones, por consiguiente, $\Delta I_{ecc,IC} = 0.0$ g.

2.3 Determinación de la masa de la carga de transferencia

Se determina el valor de la masa de transferencia utilizando una balanza como instrumento de control. La balanza tiene una resolución de 0.1 g siendo esta mejor que la resolución de la seleccionadora. Se usan como patrón pesas de clase M_1 de valor nominal próximo al de la masa de transferencia (ver tabla 2), aplicando un ciclo de pesadas *ABBA*. Adicionalmente, como la calibración de la seleccionadora y la determinación de la masa de la carga de transferencia se realizan en la misma actuación, las contribuciones por empuje del aire se anulan. De igual manera, al permitir un tiempo de aclimatación suficiente para las pesas patrón y masa de transferencia con la seleccionadora, el efecto de la convección resulta despreciable.

A continuación, en la tabla 3 se muestran las lecturas obtenidas del ciclo de pesadas *ABBA* realizado con la masa de transferencia y pesas patrón. En la tabla 4 se presentan los resultados y ecuaciones empleadas.

Tabla 3. Lecturas ciclo *ABBA* pesas patrón y masa de transferencia

A1	B1	B2	A2
Pesas patrón (g)	Masa de transferencia (g)	Masa de transferencia (g)	Pesas Patrón (g)
190.0	195.7	195.7	190.0
Diferencia de indicación (g) $\Delta I = (B1 - A1 - A2 + B2)/2$			5.7

Tabla 4. Resultados determinación de la masa de la carga de transferencia

Magnitud	Símbolo	Ecuación	Valor (g)
Valor nominal pesas patrón	m_N		190
Diferencia de indicación	ΔI	$\Delta I = (B1 - A1 - A2 + B2)/2$	5.7
Masa de transferencia	m_{Tra}	$m_{Tra} = m_N + \Delta I$	195.7
Masa de referencia	m_{ref}	$m_{ref} = m_{Tra} + \delta m_{BTot}$	195.7

2.4 Ensayos en funcionamiento automático

2.4.1 Prueba de error de indicación y repetibilidad

Dado que el valor de la masa de transferencia no es superior a 10 kg, según la tabla 1 de la sección 6.4.3.1 del presente documento se realizan treinta pasadas con el aguacate, obteniéndose el error de indicación, la media y desviación estándar de las treinta lecturas. La prueba se realiza

a la velocidad de proceso normalmente empleada en el uso de la seleccionadora, siendo esta de 66.5 Hz. En la tabla 5 y 6 se muestra la lectura obtenida en cada una de las treinta pasadas y los resultados de la prueba respectivamente.

Tabla 5. Lecturas Prueba de error de indicación y repetibilidad

NÚMERO DE PASADAS (n)			30
PASADA	INDICACIÓN (g)	PASADA	INDICACIÓN (g)
1	197	16	186
2	194	17	197
3	202	18	201
4	201	19	197
5	193	20	194
6	190	21	196
7	198	22	197
8	201	23	191
9	195	24	202
10	193	25	200
11	185	26	199
12	187	27	183
13	199	28	189
14	198	29	191
15	192	30	204

Tabla 6. Resultados prueba de error de indicación y repetibilidad

Magnitud	Símbolo	Ecuación	Valor (g)
Desviación estándar	s_{ij}	$(s_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_{ji} - \bar{I}_j)^2}$	5.5
Media de las indicaciones	$\bar{I}_j$	$\bar{I}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{ji}$	195.0
Masa de referencia	m_{ref}	$m_{ref} = m_{Tra} + \delta m_{BTot}$	195.7
Error	E	$E = \bar{I}_j - m_{ref}$	-0.63

2.4.2 Prueba de excentricidad

La seleccionadora ponderal, dispone de guías que se adaptan al ancho del producto (aguacates), por lo que no procede realizar la prueba de excentricidad.

2.5 Incertidumbre de medida

A continuación, se listan las ecuaciones básicas necesarias para la determinación de la incertidumbre estándar de la indicación, incertidumbre estándar de la masa de referencia,

incertidumbre estándar del instrumento de control, incertidumbre estándar del error e incertidumbre expandida de medición.

2.5.1 Ecuaciones empleadas para la determinación de la incertidumbre

Tabla 7. Ecuaciones utilizadas para la estimación de la incertidumbre de medición

Influencia	Símbolo	Ecuación	Número de ecuación
Incertidumbre por repetibilidad	$u(\delta I_{rep})$	$u(\delta I_{rep}) = s(I_j)/\sqrt{n}$	20
Incertidumbre por resolución de la seleccionadora (con carga)	$u(\delta I_{digL})$	$u(\delta I_{digL}) = \frac{d_l}{2\sqrt{3}}$	19
Incertidumbre por excentricidad	$u(\delta I_{ecc})$	$u(\delta I_{ecc}) = \frac{ \Delta I_{ecc,bj} _{max}}{2\sqrt{3}}$	22
Incertidumbre estándar de la indicación	$u(I)$	$u^2(I) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc})$	23
Incertidumbre por pesas patrón	$u(\delta m_c)$	$u(\delta m_c) = \frac{U}{k}$	25
Incertidumbre por deriva	$u(\delta m_D)$	$u(\delta m_D) = \frac{D}{\sqrt{3}}$	31
Incertidumbre estándar de la masa de referencia	$u(m'_{ref})$	$u^2(m'_{ref}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_{BTot}) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{Conv})$	33
Incertidumbre estándar del instrumento de control	$u(\Delta I_{IC})$	$u^2(I_{L1} - I_{01} - R_L + R_0) - u^2(\delta R_{digL}) + u^2(\delta R_{dig0}) + u^2(\delta I_{digL1}) + u^2(\delta I_{dig0}) + u^2(\delta I_{rep1}) + u^2(\delta I_{ecc1}) + u^2(\delta R_{rep}) + u^2(\delta R_{ecc}) + u^2(\delta R_{instr}) + u^2(\delta R_{proc})$	35
Incertidumbre estándar del error	$u(E)$	$u^2(E) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_{BTot}) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{Conv}) + u^2(\Delta I_{IC})$	36

Incertidumbre expandida de medición	$U(E)$	$U(E) = u(E)k$	38
-------------------------------------	--------	----------------	----

2.4.2 Incertidumbre expandida de medición

Siguiendo las ecuaciones listadas en la tabla 7 para la estimación de la incertidumbre de medición, resultan los siguientes valores. Adicionalmente, se plantea la distribución de probabilidad para cada una de las contribuciones de incertidumbre.

Tabla 8. Incertidumbre expandida de medición

Influencia	Símbolo	Contribución (g)	Distribución
Incertidumbre por repetibilidad	$u(\delta I_{rep})$	1.005	Normal
Incertidumbre por resolución de la seleccionadora	$u(\delta I_{digL})$	0.288	Rectangular
Incertidumbre por excentricidad	$u(\delta I_{ecc})$	No aplica	Rectangular
Incertidumbre estándar de la indicación	$u(I)$	1.046	Normal
Incertidumbre por pesas patrón	$u(\delta m_c)$	0.002	Normal
Incertidumbre por deriva	$u(\delta m_D)$	0.007	Rectangular
Incertidumbre por empuje	$u(\delta m_{BTot})$	Despreciable	Rectangular
Incertidumbre por convección	$u(\delta m_{conv})$	Despreciable	Rectangular
Incertidumbre estándar de la masa de referencia	$u(m'_{ref})$	0.007	Normal
Incertidumbre estándar del instrumento de control	$u(\Delta I_{IC})$	0.057	Normal
Incertidumbre estándar del error	$u(E)$	1.047	
Factor de cobertura	k	2	
Incertidumbre expandida de medición	$U(E)$	2.095	

Otras contribuciones se consideran despreciables, debido a que se ha utilizado el instrumento de control para un ciclo ABBA, y además el valor de las pesas patrón y de la masa de transferencia son suficientemente próximos [4].

3. EJEMPLO 2

3.1 Datos generales de la calibración

En el segundo ejemplo, se contempla la calibración de la línea número dos de la seleccionadora ponderal, para la cual se utilizan tres masas de transferencia, siendo estas tres aguacates Hass. Adicionalmente, la velocidad del proceso es la misma para todos los casos, siendo esta de 66.5 Hz. Nuevamente, se utiliza una balanza como instrumento de control, debido a que, la seleccionadora no dispone de indicación en estático, la balanza es la descrita en el ejemplo 1.

A continuación, en la tabla 9 se lista la información disponible de la seleccionadora, masas de transferencia, y demás información relevante para la calibración de la seleccionadora.

Tabla 9. Características de la seleccionadora, masa de transferencia, entre otros

Magnitud	Símbolo	Valor
Alcance máximo (celdas de carga)	Max	5 kg
Resolución de uso de la seleccionadora	d_T	1 g
Velocidad del proceso	v	66.5 Hz
Cadencia máxima		30 t/h
Longitud de la plataforma	l	25 m
Resolución del instrumento de control	d_{IC}	0.1 g
Número de masas de transferencia		5 unidades
Masa de transferencia A (artículo)		Aguacate Hass
Valor nominal de la masa de transferencia A		108.3 g
Masa de transferencia B (artículo)		Aguacate Hass
Valor nominal de la masa de transferencia B		195.7 g
Masa de transferencia C (artículo)		Aguacate Hass
Valor nominal de la masa de transferencia C		326.7 g
Temperatura inicial		27.3 °C

Temperatura final		31.7 °C
-------------------	--	---------

Para la determinación de las masas de las cargas de transferencia, se emplean pesas patrón de clase M_1 de valores nominales próximos al de cada aguacate. A continuación, en la tabla 10 se listan las pesas patrón utilizadas, con sus respectivos valores nominales e incertidumbres expandidas:

Tabla 10. Valor nominal e incertidumbre expandida de las pesas patrón

Valor nominal (g)	Incertidumbre expandida (g)
200	0.003 0
100	0.001 6
50	0.001 0
20	0.000 8
5	0.000 5
2	0.000 4

3.2 Verificación del instrumento de control

Se realiza la verificación de la balanza utilizada como instrumento de control, conforme a la Guía SIM [5], que incluye una prueba de repetibilidad de seis repeticiones realizadas con una pesa de clase M_1 de valor nominal 500 g, obteniéndose la desviación estándar del instrumento de control. En este caso se obtienen seis lecturas iguales por lo que, resulta $s_{IC} = 0.0$ g.

Adicionalmente, se realiza una prueba de excentricidad con la misma pesa patrón empleada en la prueba de repetibilidad. La prueba consiste en poner la carga de prueba en diferentes posiciones sobre el receptor de carga de la balanza, de tal manera que el centro de gravedad de la carga lo ocupe tanto como sea posible. A partir de las indicaciones obtenidas en las diferentes posiciones de la carga se obtiene la diferencia de excentricidad para cada posición, en el presente caso se obtienen lecturas iguales en todas las posiciones, por consiguiente, $\Delta I_{ecc,IC} = 0.0$ g.

3.3 Determinación de las masas de las cargas de transferencia

Se determina el valor de las tres masas de transferencia utilizando una balanza como instrumento de control. La balanza tiene una resolución de 0.1 g siendo esta mejor que la resolución de la seleccionadora. Se usan como patrón, pesas de clase M_1 de valores nominales próximos al de todas las masas de transferencia (tabla 10), aplicando un ciclo de pesadas ABBA. Adicionalmente, como la calibración de la seleccionadora y la determinación de las masas de las cargas de transferencia se realizan en la misma actuación, las contribuciones por empuje del aire se anulan.

De igual manera, al permitir un tiempo de aclimatación suficiente para las pesas patrón y masas de transferencia con la seleccionadora, el efecto de la convección resulta despreciable.

3.3.1 Determinación de la masa de la carga de transferencia A

A continuación, en la tabla 11 se muestran las lecturas obtenidas del ciclo de pesadas ABBA realizado con la masa de transferencia A (aguacate Hass) y pesas patrón. En la tabla 12 se presentan los resultados y las ecuaciones empleadas.

Tabla 11. Lecturas ciclo ABBA pesas patrón y masa de transferencia A

A1	B1	B2	A2
Pesas patrón (g)	Masa de transferencia A (g)	Masa de transferencia A(g)	Pesas Patrón (g)
107.0	108.2	108.2	107.0
Diferencia de indicación (g) $\Delta I = (B1 - A1 - A2 + B2)/2$			1.2

Tabla 12. Resultados determinación de la masa de la carga de transferencia A

Magnitud	Símbolo	Ecuación	Valor (g)
Valor nominal pesas patrón	m_N		107
Diferencia de indicación	ΔI	$\Delta I = (B1 - A1 - A2 + B2)/2$	1.2
Masa de transferencia	m_{TraA}	$m_{TraA} = m_N + \Delta I$	108.2
Masa de referencia	m_{refA}	$m_{refA} = m_{TraA} + \delta m_{BTot}$	108.2

3.3.2 Determinación de la masa de la carga de transferencia B

En la tabla 13 se presentan las lecturas obtenidas del ciclo de pesadas ABBA realizado con la masa de transferencia B (aguacate Hass) y pesas patrón. En la tabla 14 se presentan los resultados y ecuaciones empleadas.

Tabla 13. Lecturas ciclo ABBA pesas patrón y masa de transferencia B

A1	B1	B2	A2
Pesas patrón (g)	Masa de transferencia B (g)	Masa de transferencia B (g)	Pesas Patrón (g)
190.0	195.7	195.7	190.0
Diferencia de indicación (g) $\Delta I = (B1 - A1 - A2 + B2)/2$			5.7

Tabla 14. Resultados determinación de la masa de la carga de transferencia B

Magnitud	Símbolo	Ecuación	Valor (g)
Valor nominal pesas patrón	m_N		190
Diferencia de indicación	ΔI	$\Delta I = (B1 - A1 - A2 + B2)/2$	5.7
Masa de transferencia	m_{TraB}	$m_{TraB} = m_N + \Delta I$	195.7
Masa de referencia	m_{refB}	$m_{refB} = m_{TraB} + \delta m_{BTot}$	195.7

3.3.3 Determinación de la masa de la carga de transferencia C

A continuación, en la tabla 15 se muestran las lecturas obtenidas del ciclo de pesadas ABBA realizado con la masa de transferencia C (aguacate Hass) y pesas patrón. En la tabla 16 se presentan los resultados y las ecuaciones empleadas.

Tabla 15. Lecturas ciclo ABBA pesas patrón y masa de transferencia C

A1	B1	B2	A2
Pesas patrón (g)	Masa de transferencia C (g)	Masa de transferencia C (g)	Pesas Patrón (g)
320.0	326.7	326.7	320.0
Diferencia de indicación (g) $\Delta I = (B1 - A1 - A2 + B2)/2$			6.7

Tabla 16. Resultados determinación de la masa de la carga de transferencia C

Magnitud	Símbolo	Ecuación	Valor (g)
Valor nominal pesas patrón	m_N		320
Diferencia de indicación	ΔI	$\Delta I = (B1 - A1 - A2 + B2)/2$	6.7
Masa de transferencia	m_{TraC}	$m_{TraC} = m_N + \Delta I$	326.7
Masa de referencia	m_{refC}	$m_{refC} = m_{TraC} + \delta m_{BTot}$	326.7

3.4 Ensayos en funcionamiento automático

3.4.1 Prueba de error de indicación y repetibilidad

Dado que el valor de las tres masas de transferencia no es superior a 10 kg, según la tabla 1 de la sección 6.4.3.1 de este documento, se realizan treinta pasadas con cada una de las masas de transferencia. De esta prueba resulta para cada masa de transferencia el error, la media y desviación estándar de las treinta lecturas. La totalidad de las pruebas se realizan por petición del cliente, a la velocidad de proceso habitualmente empleada en el uso de la seleccionadora ponderal, siendo esta de 66.5 Hz.

3.4.1.1 Prueba de error de indicación y repetibilidad, masa de transferencia A

En la tabla 17 y 18 se muestra la lectura obtenida en cada una de las treinta pasadas de la masa de transferencia A y los resultados de la prueba respectivamente.

Tabla 17. Lecturas Prueba de error de indicación y repetibilidad, masa de transferencia A

NÚMERO DE PASADAS (n)			30
PASADA	INDICACIÓN (g)	PASADA	INDICACIÓN (g)
1	109	16	104
2	106	17	109
3	106	18	109
4	110	19	109
5	109	20	108
6	106	21	105
7	109	22	107
8	107	23	107
9	106	24	109
10	107	25	109
11	108	26	107
12	109	27	108
13	110	28	105
14	108	29	106
15	106	30	106

Tabla 18. Resultados prueba de error de indicación y repetibilidad, masas de transferencia A

Magnitud	Símbolo	Ecuación	Valor (g)
Desviación estándar	s_{ij}	$(s_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ji} - \bar{I}_j)^2}$	1.6
Media de las indicaciones	$\bar{I}_B$	$\bar{I}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{ji}$	107.5
Masa de referencia	m_{refA}	$m_{refA} = m_{TraA} + \delta m_{BTot}$	108.2

Error	E_A	$E_A = \bar{I}_A - m_{refA}$	-0.7

3.4.1.2 Prueba de error de indicación y repetibilidad, masa de transferencia B

En la tabla 19 y 20 se muestra la lectura obtenida en cada una de las treinta pasadas de la masa de transferencia B y los resultados de la prueba respectivamente.

Tabla 19. Lecturas Prueba de error de indicación y repetibilidad, masa de transferencia B

NÚMERO DE PASADAS (n)			30
PASADA	INDICACIÓN (g)	PASADA	INDICACIÓN (g)
1	195	16	198
2	197	17	191
3	199	18	195
4	192	19	199
5	192	20	186
6	190	21	197
7	197	22	190
8	202	23	197
9	195	24	199
10	196	25	196
11	194	26	196
12	198	27	193
13	195	28	199
14	192	29	193
15	198	30	190

Tabla 20. Resultados prueba de error de indicación y repetibilidad, masas de transferencia B

Magnitud	Símbolo	Ecuación	Valor (g)
Desviación estándar	s_{ij}	$(s_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_{ji} - \bar{I}_j)^2}$	3.6
Media de las indicaciones	$\bar{I}_B$	$\bar{I}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{ji}$	195.0
Masa de referencia	m_{refB}	$m_{refB} = m_{TraB} + \delta m_{BTot}$	195.7
Error	E_B	$E_B = \bar{I}_B - m_{refB}$	-0.7

3.4.1.3 Prueba de error de indicación y repetibilidad, masa de transferencia C

En la tabla 21 y 22 se muestra la lectura obtenida en cada una de las treinta pasadas de la masa de transferencia C y los resultados de la prueba respectivamente.

Tabla 21. Lecturas Prueba de error de indicación y repetibilidad, masa de transferencia C

NÚMERO DE PASADAS (n)			30
PASADA	INDICACIÓN (g)	PASADA	INDICACIÓN (g)
1	325	16	326
2	329	17	326
3	327	18	328
4	323	19	323
5	318	20	322
6	326	21	325
7	329	22	329
8	324	23	337
9	318	24	324
10	321	25	322
11	324	26	324
12	326	27	324
13	334	28	325
14	322	29	327
15	318	30	325

Tabla 22. Resultados prueba de error de indicación y repetibilidad, masas de transferencia C

Magnitud	Símbolo	Ecuación	Valor (g)
Desviación estándar	s_{ij}	$(s_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_{ji} - \bar{I}_j)^2}$	4.1
Media de las indicaciones	$\bar{I}_C$	$\bar{I}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{ji}$	325.0
Masa de referencia	m_{refC}	$m_{refC} = m_{Trac} + \delta m_{BTot}$	326.7
Error	E_C	$E_C = \bar{I}_C - m_{refC}$	-1.7

3.4.2 Prueba de excentricidad

La seleccionadora ponderal, dispone de guías que se adaptan al ancho de los productos utilizados como masas de transferencia (aguacates), por lo que no procede realizar la prueba de excentricidad.

3.5 Incertidumbre de medida

3.5.1 Ecuaciones empleadas para la determinación de la incertidumbre

Las ecuaciones básicas necesarias para la determinación de la incertidumbre estándar de la indicación, incertidumbre estándar de la masa de referencia, incertidumbre estándar del instrumento de control, incertidumbre estándar del error e incertidumbre expandida de medición para cada uno de los tres casos, son las planteadas anteriormente en la tabla 7 de la sección 2.5.1 de Anexos III.

3.5.2 Incertidumbre expandida de medición, masa de transferencia A

Siguiendo las ecuaciones listadas en la tabla 7 de la sección 2.5.1 del presente Anexo para la estimación de la incertidumbre de medición, resultan los siguientes valores para la masa de transferencia A.

Tabla 23. Incertidumbre expandida de medición, masa de transferencia A

Influencia	Símbolo	Contribución (g)	Distribución
Incertidumbre por repetibilidad	$u(\delta I_{rep})$	0.294	Normal
Incertidumbre por resolución de la seleccionadora	$u(\delta I_{digL})$	0.288	Rectangular
Incertidumbre por excentricidad	$u(\delta I_{ecc})$	No aplica	Rectangular
Incertidumbre estándar de la indicación	$u(I)$	0.412	Normal
Incertidumbre por pesas patrón	$u(\delta m_c)$	0.001	Normal
Incertidumbre por deriva	$u(\delta m_D)$	0.004	Rectangular
Incertidumbre por empuje	$u(\delta m_{BTot})$	Despreciable	Rectangular
Incertidumbre por convección	$u(\delta m_{conv})$	Despreciable	Rectangular
Incertidumbre estándar de la masa de referencia	$u(m'_{ref})$	0.004	Normal
Incertidumbre estándar del instrumento de control	$u(\Delta I_{IC})$	0.057	Normal
Incertidumbre estándar del error	$u(E)$	0.416	

Factor de cobertura	k	2	
Incertidumbre expandida de medición	$U(E)$	0.832	
Otras contribuciones se consideran despreciables, debido a que se ha utilizado el instrumento de control para un ciclo ABBA, y además el valor de las pesas patrón y de la masa de transferencia son suficientemente próximos [4].			

3.5.3 Incertidumbre expandida de medición, masa de transferencia B

Siguiendo las ecuaciones listadas en la tabla 7 de la sección 2.5.1 del presente Anexo, para la estimación de la incertidumbre de medición, resultan los siguientes valores para la masa de transferencia B.

Tabla 24. Incertidumbre expandida de medición, masa de transferencia B

Influencia	Símbolo	Contribución (g)	Distribución
Incertidumbre por repetibilidad	$u(\delta I_{rep})$	0.649	Normal
Incertidumbre por resolución de la seleccionadora	$u(\delta I_{digL})$	0.288	Rectangular
Incertidumbre por excentricidad	$u(\delta I_{ecc})$	No aplica	Rectangular
Incertidumbre estándar de la indicación	$u(I)$	0.710	Normal
Incertidumbre por pesas patrón	$u(\delta m_c)$	0.002	Normal
Incertidumbre por deriva	$u(\delta m_D)$	0.007	Rectangular
Incertidumbre por empuje	$u(\delta m_{BTot})$	Despreciable	Rectangular
Incertidumbre por convección	$u(\delta m_{conv})$	Despreciable	Rectangular
Incertidumbre estándar de la masa de referencia	$u(m'_{ref})$	0.007	Normal
Incertidumbre estándar del instrumento de control	$u(\Delta I_{IC})$	0.057	Normal
Incertidumbre estándar del error	$u(E)$	0.713	
Factor de cobertura	k	2	

Incertidumbre expandida de medición	$U(E)$	1.426	
Otras contribuciones se consideran despreciables, debido a que se ha utilizado el instrumento de control para un ciclo ABBA , y además el valor de las pesas patrón y de la masa de transferencia son suficientemente próximos [4].			

3.5.4 Incertidumbre expandida de medición, masa de transferencia C

Siguiendo las ecuaciones listadas en la tabla 7 de la sección 2.5.1 del presente Anexo, para la estimación de la incertidumbre de medición, resultan los siguientes valores para la masa de transferencia C.

Tabla 25. Incertidumbre expandida de medición, masa de transferencia C

Influencia	Símbolo	Contribución (g)	Distribución
Incertidumbre por repetibilidad	$u(\delta I_{rep})$	0.755	Normal
Incertidumbre por resolución de la seleccionadora	$u(\delta I_{digL})$	0.288	Rectangular
Incertidumbre por excentricidad	$u(\delta I_{ecc})$	No aplica	Rectangular
Incertidumbre estándar de la indicación	$u(I)$	0.809	Normal
Incertidumbre por pesas patrón	$u(\delta m_c)$	0.002	Normal
Incertidumbre por deriva	$u(\delta m_D)$	0.009	Rectangular
Incertidumbre por empuje	$u(\delta m_{BTot})$	Despreciable	Rectangular
Incertidumbre por convección	$u(\delta m_{conv})$	Despreciable	Rectangular
Incertidumbre estándar de la masa de referencia	$u(m'_{ref})$	0.009	Normal
Incertidumbre estándar del instrumento de control	$u(\Delta I_{IC})$	0.057	Normal
Incertidumbre estándar del error	$u(E)$	0.811	
Factor de cobertura	k	2	

Incertidumbre expandida de medición	$U(E)$	1.622	
Otras contribuciones se consideran despreciables, debido a que se ha utilizado el instrumento de control para un ciclo <i>ABBA</i> , y además el valor de las pesas patrón y de la masa de transferencia son suficientemente próximos [4].			



**MINISTERIO DE COMERCIO,
INDUSTRIA Y TURISMO**

**Subdirección de
METROLOGÍA FÍSICA**

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE

**INSTRUMENTOS DE PESAJE
DE FUNCIONAMIENTO AUTOMÁTICO
(SELECCIONADORAS PONDERALES)**

ISBN e-Book: 978-958-53805-3-0

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: (57 601) 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: (57 601) 742 7592
E-mail: onac@onac.org.co
www.onac.org.co

