

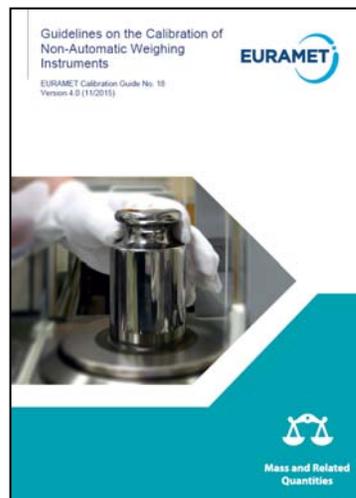


GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, ENERGÍA
Y TURISMO

Novedades en la calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático

*Nueva versión de la guía EURAMET cg 18
“GUIDELINES ON THE CALIBRATION OF NON-AUTOMATIC WEIGHING INSTRUMENTS”*





HISTORIA

- Surgió como una guía EA (EA 10-18) como resultado de las comparaciones interlaboratorios
- En 2009 pasó a depender de EURAMET como guía EURAMET cg 18
- Revisiones en 2010, 2011 y 2015
- Revisión de 2015: *proyecto EURAMET 1205 (comenzado en 2011)*
 - Motivación: *solicitud de fabricantes y laboratorios de calibración*
 - Autores: *grupo de trabajo con representantes de los INM , fabricantes y organismos de acreditación*



IMPACTO

Es la segunda página más visitada de EURAMET

Es el documento más descargado de la página web de EURAMET

Ha sido adoptada por otras organizaciones metrológicas regionales como SIM y APMP

La anterior versión ya ha sido traducida al español, francés, alemán y probablemente a otros idiomas

Se considera no sólo en EUROPA sino a nivel mundial como método validado

En España la versión anterior se tradujo dentro del Subcomité Técnico de Masa y Volumen de ENAC como guía g-ENAC-13



IMPACTO NUEVA VERSIÓN

Periodo: *Noviembre 2015 - Mayo 2016*

1023 descargas

3548 veces se vio la noticia en LinkedIn

10 664 veces se visitó la página que contiene la guía

FORMACIÓN

El CEM ya ha impartido formación sobre la nueva versión:

- Proyecto KEBS-KENAC
- Institute of Transuranium Elements (JRC-EC)



TRADUCCIÓN AL ESPAÑOL

Grupo de trabajo SCTC4 ENAC/ CEM

- Javier Bisbal
- M^a Nieves Medina
- Eduardo Méndez
- Jose Ángel Robles
- José Sanchez
- Eugeni Vilalta

Revisado por CEM (Lab. Masa)

Guía para la Calibración de
Instrumentos de Pesaje de
Funcionamiento No Automático



EURAMET/cg/18
Versión 4.0 (11/2015)

CEM CENTRO ESPAÑOL
DE METROLOGÍA



Publicación en julio





¿QUÉ ES LO QUE NO HA CAMBIADO?

No ha cambiado en lo fundamental:

- Estructura
- Método de calibración
- Expresión general para la determinación de la incertidumbre
- Determinación de los valores de masa y masa convencional
- Tipología de los instrumentos tratados en los ejemplos



OBJETIVOS DE LA REVISIÓN

Tratar aspectos necesarios no contemplados

- Consideraciones específicas para los instrumentos multirango
- Determinación de la pesada mínima
- Consideraciones sobre el efecto del empuje del aire dependiendo del ajuste

Aclarar tratamientos confusos

- Uso de cargas de sustitución
- Especificar las formas de realización del ensayo de excentricidad
- Determinación de la relación entre errores e indicaciones

Facilitar su aplicación

- Novedades en la determinación de la densidad del aire
- Ejemplos más completos



NUEVAS CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS PARA INSTRUMENTOS MULTIRRANGO

- Para cada rango se obtienen resultados de calibración independientes
- El ensayo de excentricidad sólo se realiza para el mayor rango
- Para el ensayo de repetibilidad es suficiente utilizar una carga inferior y cercana al alcance máximo que corresponda al escalón más pequeño



PESADA MÍNIMA

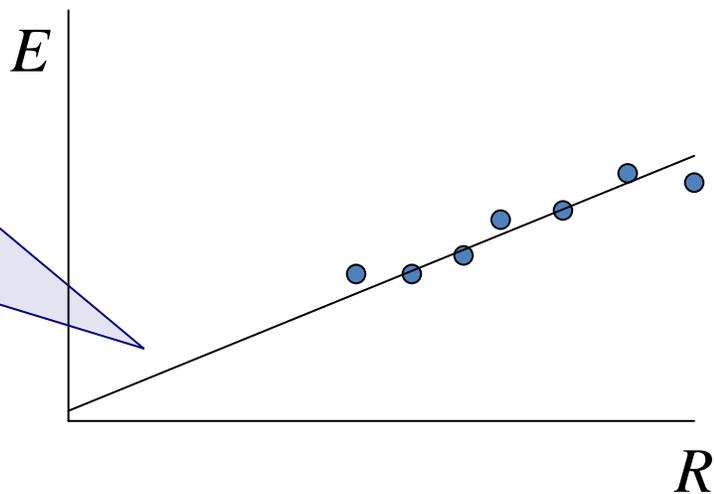
NECESIDAD

La recomendación OIML R 111 no considera pesas inferiores a 1 mg

Existen instrumentos (microbalanzas) con alcances muy inferiores

Dado que como resultado de la calibración se obtiene la relación entre errores e indicaciones

¿Hasta dónde sería válida esta relación por debajo de 1 mg teniendo en cuenta la incertidumbre de uso del instrumento y los requisitos del usuario?



PLANTEAMIENTO

Como resultado de la calibración se tiene una expresión del error en función de la lectura, a partir de la cual se obtiene la lectura corregida

$$W = R - E(R) \pm U(W)$$

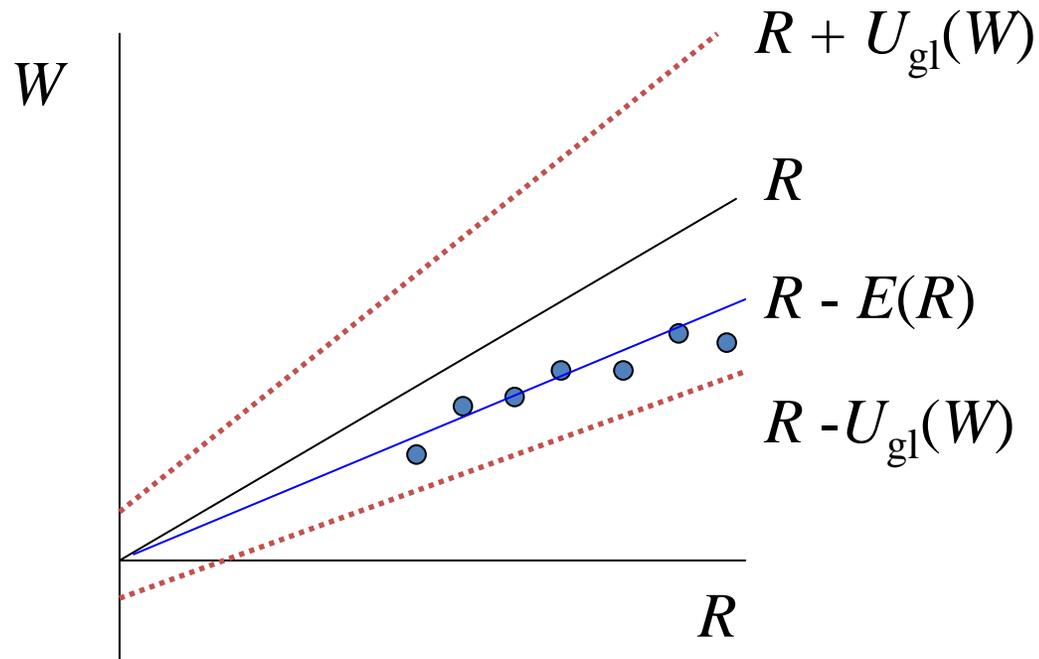
donde para la incertidumbre se han incluido las contribuciones por:

- calibración
- las condiciones de uso del instrumento

Este tipo de instrumentos tiene un comportamiento lineal

$$E(R) = a_1 R \quad \text{y} \quad U(W) \approx U(W = 0) + \left\{ \frac{U(W = Max) - U(W = 0)}{Max} \right\} R$$

Pare este tipo de instrumentos se suele considerar una incertidumbre global que incluya los errores

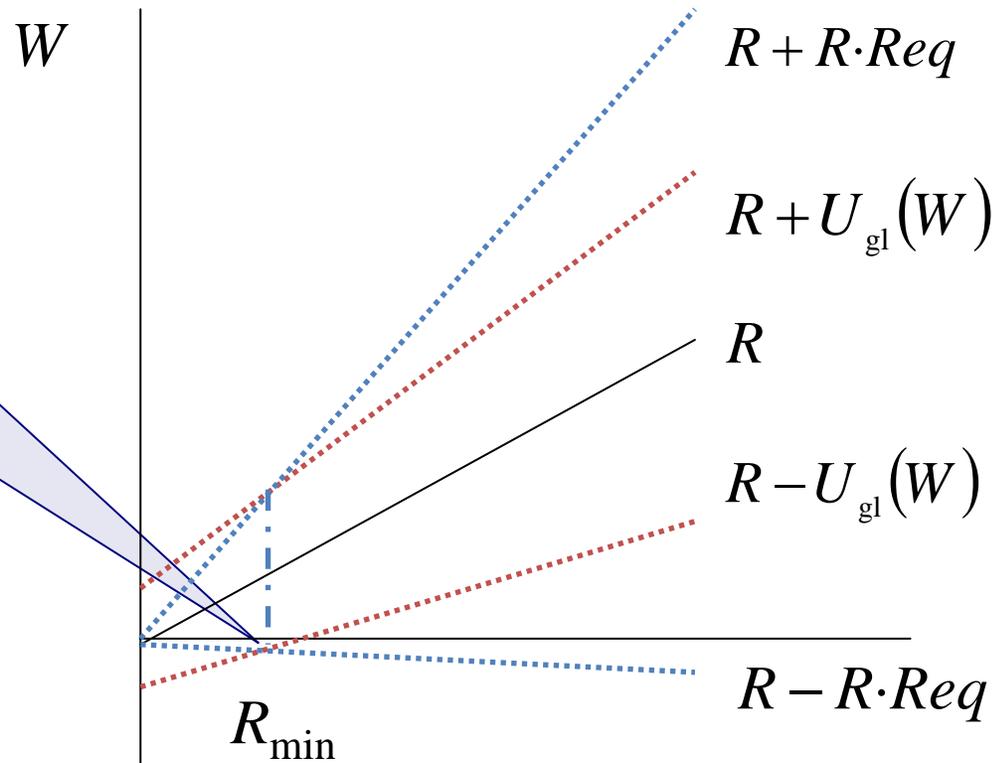


$$U_{gl}(W) \approx U(W = 0) + \left\{ \frac{[U(W = Max) - U(W = 0)]}{Max} \right\} R + |a_1| R = \alpha_{gl} + \beta_{gl} \cdot R$$



Para poder confiar en los resultados de medida, el usuario establece la exactitud de pesada relativa requerida Req

¿Para qué valor R_{\min} (pesada mínima), se tiene que cualquier lectura $R \geq R_{\min}$ cumple $U_{gl}(W) \leq R \cdot Req$?





SOLUCIÓN

$$U_{gl}(W) = \alpha_{gl} + \beta_{gl} \cdot R \leq R \cdot Req$$



$$R_{\min} = \frac{\alpha_{gl}}{Req - \beta_{gl}}$$

En algunos casos el usuario establece un factor de seguridad SF de forma que el requisito del usuario es Req/SF

$$R_{\min, SF} = \frac{\alpha_{gl} \cdot SF}{Req - \beta_{gl} \cdot SF}$$



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, ENERGÍA
Y TURISMO

FORMAS DE REALIZAR EL ENSAYO DE EXCENTRICIDAD





USO DE CARGAS DE SUSTITUCIÓN

NECESIDAD

Se utilizan si no es posible utilizar patrones de masa para calibrar el rango entero del instrumento

PROCEDIMIENTO

El valor de la carga de sustitución se obtiene utilizando el instrumento en calibración como comparador:

1. Una primera carga de ensayo formada por patrones de masa se coloca en el instrumento

$$L_{T1} = m_{\text{ref}}$$

2. Se retira esta carga y se coloca carga de sustitución hasta dar aproximadamente la misma indicación

$$I(L_{\text{sub1}}) \approx I(m_{\text{ref}}) \implies L_{\text{sub1}} = m_{\text{ref}} + I(L_{\text{sub1}}) - I(m_{\text{ref}}) = m_{\text{ref}} + \Delta I_1$$

3. La segunda carga de ensayo se obtiene añadiendo la carga formada por los patrones de masa

$$L_{T2} = L_{\text{sub1}} + m_{\text{ref}} = 2m_{\text{ref}} + \Delta I_1$$

4. Ésta se reemplaza nuevamente por una carga de sustitución de forma que se obtenga aproximadamente la misma indicación

$$I(L_{\text{sub2}}) \approx I(L_{T2}) \Rightarrow L_{\text{sub2}} = L_{T2} + I(L_{\text{sub2}}) - I(L_{T2}) = 2m_{\text{ref}} + \Delta I_1 + \Delta I_2$$

5. La tercera carga de ensayo se obtiene añadiendo de nuevo la carga formada por los patrones de masa

$$L_{T3} = L_{\text{sub2}} + m_{\text{ref}} = 3m_{\text{ref}} + \Delta I_1 + \Delta I_2$$

Este proceso puede repetirse para generar múltiples cargas de ensayo

$$L_{Tn} = nm_{\text{ref}} + \Delta I_1 + \Delta I_2 + \dots + \Delta I_{n-1}$$



NOVEDAD

Se incluye el caso en el que se obtienen cargas de ensayo adicionales si se utilizan los distintos patrones de masa o grupos de los mismos por separado.

Una vez realizada la sustitución se pueden añadir cargas formadas por estos patrones de masa que han de cumplir

$$m_{\text{ref},1} < m_{\text{ref},2} < \dots < m_{\text{ref},N} = m_{\text{ref}} = L_{T1}$$



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

DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

En el caso general contemplado por ambas versiones

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

En el caso adicional contemplado por la nueva versión

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

Existe correlación



DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LOS ERRORES Y LAS INDICACIONES

En el anexo C se describe cómo realizar la aproximación basándose en el enfoque de mínima χ^2 :

$$\chi^2 = \sum p_j v_j^2 = \sum p_j (f(I_j) - E_j)^2 = \text{mínima}$$

En ambas versiones se tiene que la aproximación es consistente si

$$\chi^2_{\text{obs}} \leq n - n_{\text{par}}$$

NOVEDAD: Según la nueva versión se puede utilizar también esta otra condición de consistencia (más restrictiva)

$$\max \left(\frac{|f(I_j) - E_j|}{U(f(I_j))} \right) < 1$$

NOVEDAD

Aparece la expresión para la matriz de ponderación utilizada en el caso de que aproximación sea un polinomio (el enfoque de mínima χ^2 se transforma en una ecuación matricial)

$$\mathbf{P} = \mathbf{U}(\mathbf{e})^{-1} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{U}(\mathbf{e}) = \mathbf{U}(m_{\text{ref}}) + \mathbf{U}(I_{\text{Cal}}) + \mathbf{U}(\text{mod})$$

$$\mathbf{U}(m_{\text{ref}}) = \mathbf{s}_{m_{\text{ref}}} \mathbf{s}_{m_{\text{ref}}}^T \quad \Rightarrow \quad \mathbf{s}_{m_{\text{ref}}} = \text{vector columna de elementos } u_j(m_{\text{ref},j})$$

$$\mathbf{U}(I_{\text{Cal}}) = \text{matriz diagonal con elementos } u_{jj} = u^2(I_j)$$

$$\mathbf{U}(\text{mod}) = s_m^2 \mathbf{I} \quad \Rightarrow \quad s_m = \text{incertidumbre debida al modelo}$$

Se puede aumentar hasta cumplir la condición de consistencia



ECUACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE

Las únicas ecuaciones que aparecen:

- Ecuación CIPM 2007: *sólo se hace referencia*
- Versión simplificada de la fórmula del CIPM, versión exponencial: *la que tiene menos incertidumbre sin ser la ecuación CIPM 2007*

$$\rho_a = \frac{0,34848 p - 0,009 RH \exp(0,061t)}{273,15 + t}$$

- Densidad media del aire: *es muy útil si no se miden las condiciones ambientales y como novedad se incluye su incertidumbre asociada, 1,2 %*

$$\rho_a = \rho_0 \exp\left(-\frac{\rho_0}{p_0} g h_{SL}\right)$$



NUEVA ESTIMACIÓN PARA LA INCERTIDUMBRE DE LA DENSIDAD DEL AIRE POR VARIACIÓN DE TEMPERATURA

Suponiendo:

- una variación máxima de la humedad relativa del 100 %,
- la variación de la presión atmosférica en un lugar tiene una distribución normal con desviación típica 10 hPa,
- la variación máxima de la temperatura se incluye como ΔT

$$\frac{u(\rho_a)}{\rho_a} = \sqrt{1,07 \times 10^{-4} + 1,33 \times 10^{-6} \text{K}^{-2} \Delta T^2}$$

CONSIDERACIONES EN EL EFECTO DEL EMPUJE DEL AIRE DEPENDIENDO DEL AJUSTE

PROBLEMÁTICA: Corrección por empuje del aire

$$\delta m_B = -m_c [(\rho_a - \rho_0)(1/\rho - 1/\rho_c) + (\rho_a - \rho_{as})/\rho_c]$$

DEPENDE DE:

- Si se ajusta o no el instrumento antes de la calibración
- Si se ajusta o no el instrumento antes de su uso



CASOS PARA LA CALIBRACIÓN:

- Se ajusta el instrumento antes de la calibración:



No hay novedades

$$\delta m_B = -m_c (\rho_a - \rho_0) (1/\rho - 1/\rho_c)$$

- No se ajusta el instrumento antes de la calibración



Sí hay novedades

VERSION ANTERIOR: CASOS

- Si el instrumento se ha ajustado en el mismo lugar que se realiza la calibración

$$\delta m_B = -m_c [(\rho_a - \rho_0)(1/\rho - 1/\rho_c) + (\rho_a - \rho_{as})/\rho_c]$$

En la práctica se considera como contribución a la incertidumbre

- O se asume que durante el ajuste la densidad del aire fue 1,2 kg/m³

$$\delta m_B = -m_c (\rho_a - \rho_0)/\rho$$

VERSION NUEVA

Siempre la corrección a aplicar será

$$\delta m_B = -m_c (\rho_a - \rho_0) (1/\rho - 1/\rho_c)$$

Si no se ha ajustado el instrumento antes de la calibración:

$$\delta m_B = -m_c [(\rho_a - \rho_0) (1/\rho - 1/\rho_c) + (\rho_a - \rho_{as})/\rho_c]$$

Forma parte intrínseca del error de calibración

RECOMENDACIÓN: los instrumentos con resolución relativa mejor que 1×10^{-5} del fondo de escala se han de ajustar siempre antes de la calibración y el uso

CASOS Y DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUBRE

- Si se estiman la densidad el aire y la densidad de los patrones de masa con sus incertidumbres respectivas

Corrección

$$\delta m_B = -m_c (\rho_a - \rho_0) (1/\rho - 1/\rho_c)$$

Estimación de incertidumbre

$$u_{\text{rel}}^2(\delta m_B) = u^2(\rho_a) (1/\rho - 1/\rho_c)^2 + (\rho_a - \rho_0) [(\rho_a - \rho_0) - 2(\rho_{a1} - \rho_0)] u^2(\rho) / \rho^4$$

NOVEDAD: Contribución adicional OIML R 111 C.6.3-1 (útil para grandes altitudes)



- Si no se estima la densidad del aire ni de los patrones de masa ni sus incertidumbres y se trabaja con patrones conformes a OIML R 111

Corrección

$$\delta m_B = 0$$

Estimación de incertidumbre

- Si el instrumento se ajusta antes de la calibración

$$u_{\text{rel}}(\delta m_B) \approx emp / (4m_N \sqrt{3})$$

La densidad de las pesas OIML es tal que una desviación de la densidad del aire del 10 % respecto de 1,2 kg/m³ produce un error menor que 1/4 emp

- Si el instrumento no se ajusta antes de la calibración y no se puede asumir nada

$$u_{\text{rel}}(\delta m_B) \approx (0,1\rho_0/\rho_c + emp/(4m_N))/\sqrt{3}$$

Se asume que la variación máxima de la densidad del aire entre ajustes ha de ser 0,12 kg/m³

- NOVEDAD: Si el instrumento no se ajusta antes de la calibración, pero se puede asumir la máxima variación de la temperatura entre ajustes

$$u_{\text{rel}}(\delta m_B) \approx \sqrt{1,07 \times 10^{-4} + 1,33 \times 10^{-6} \text{K}^{-2} \Delta T^2} \cdot \rho_0/\rho_c + emp/(4m_N \sqrt{3})$$

Se considera la incertidumbre relativa máxima para la densidad del aire en el lugar por esa variación de temperatura

CONTRIBUCIÓN A LA INCERTIDUMBRE POR CAMBIO DEL AJUSTE DEL INSTRUMENTO DEBIDO A LA VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DEL AIRE

NECESIDAD: cuantificar el efecto de la variación del ajuste del instrumento por la variación del empuje del aire debida a cambios en la densidad del aire

NOVEDAD: Se ha especificado mucho más, dependiendo de cuándo se ajusta el instrumento

CASOS

- Cuando se ajusta el instrumento siempre antes de su uso

$$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{bouy}}) = \frac{\Delta \rho_a}{\rho_c} u(\rho_s)$$

- Cuando no se ajusta el instrumento siempre antes de su uso

$$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{bouy}}) = \frac{\Delta \rho_a}{\rho_c}$$



Consideraciones posibles sobre la variación de la densidad del aire durante el uso (si no se determina experimentalmente)

- No se dispone de información: *se asume el 10 % de 1,2 kg/m³*

$$\Delta\rho_a = \frac{0,1 \cdot \rho_0}{\sqrt{3}}$$

- Se dispone información de cuál es la máxima variación de la temperatura entre ajustes

$$\Delta\rho_a = \sqrt{1,07 \times 10^{-4} + 1,33 \times 10^{-6} \text{K}^{-2} \Delta T^2} \cdot \rho_0$$



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, ENERGÍA
Y TURISMO

Guidelines on the Calibration of
Non-Automatic Weighing
Instruments



EURAMET Calibration Guide No. 18
Version 4.0 (11/2015)

Guía para la Calibración de
Instrumentos de Pesaje de
Funcionamiento No Automático



EURAMET/cg/18
Versión 4.0 (11/2015)

CEM CENTRO ESPAÑOL
DE METROLOGÍA

Gracias por su atención



Mass and Related
Quantities



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE INDUSTRIA, ENERGÍA
Y TURISMO

*El CEM ofrece cursos a medida, contactar con:
Nieves Medina (mnmedina@cem.minetur.es)*