

**Curso práctico en
cálculo de
incertidumbres**

**De la calibración
al ensayo
(PRÁCTICAS)**

Caltex Sistemas S.L.
www.caltex.es

Enero 2025

Nombre PABLO JIMÉNEZ

Cargo Coordinador de operaciones

E-mail pablo.jimenez@caltex.es

Distribuciones de probabilidad

Caso práctico 1

Según las especificaciones de la Recomendación Internacional OIML R111 la densidad de una pesa patrón de 50 g de clase F1 está comprendida entre 7270 kg/m^3 y 8890 kg/m^3 . El usuario de dicha masa no conoce el valor exacto de la densidad de su masa pero, en cambio, puede hacer una suposición razonable que le solucionará el problema: puede suponer que el valor de la densidad de su masa tiene exactamente la misma probabilidad de ser cualquiera de los valores contenidos en dicho intervalo.

Con esta información, indicad que distribución de probabilidad se podría asignar a la densidad y calculad el **valor medio** y la **desviación típica**.

Distribuciones de probabilidad

Solución caso práctico 1

Puede asignarse una distribución de probabilidad rectangular ya que cualquier valor es equiprobable en el intervalo definido.

Media:
$$\bar{\rho} = \frac{8890 + 7270}{2} = 8080 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Desviación típica:
$$s = \frac{8890 - 7270}{2\sqrt{3}} = 468 \text{ kg} / \text{m}^3$$

El valor de la densidad será:
$$\bar{\rho} = (8080 \pm 468) \text{ kg} / \text{m}^3$$

Distribuciones de probabilidad

Caso práctico 2

Para determinar la masa de un objeto, se decide pesarlo diez veces en una balanza cuya división de escala es 0,1 g. Las medidas se realizan en un almacén en el que no se tienen controladas las condiciones ambientales, la balanza se encuentra al lado de un horno mufla, hay una corriente constante de aire y la balanza está situada cerca de una máquina que produce vibraciones mecánicas. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m (g)	50,1	50,1	50,0	50,2	50,3	50,1	50,2	50,0	50,3	50,1

Calcular la media aritmética y la desviación típica de esta serie de medidas. ¿podríamos decir que la desviación típica calculada es la incertidumbre de la medida o influirán otros factores? ¿en ese caso que factores pueden afectar en la medida que hemos realizado?

¿Qué tipo de distribución crees que sigue esta muestra?

¿Por qué factor habría que multiplicar la desviación típica para obtener un área bajo la curva de la distribución de un 95,45%?

CONCEPTOS DE ESTADÍSTICA

Solución caso práctico 2

Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{En nuestro caso } n = 10$$

$$\bar{x} = \frac{50,1 + 50,1 + 50,0 + 50,2 + 50,3 + 50,1 + 50,2 + 50,0 + 50,3 + 50,1}{10} = 50,14 \text{ g}$$

Desviación típica

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2}$$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$(x_i - \bar{x})^2$	0	0	0,01	0,01	0,04	0	0,01	0,01	0,04	0

$$s = \sqrt{\frac{1}{10-1} (0 + 0 + 0,01 + 0,01 + 0,04 + 0 + 0,01 + 0,01 + 0,04 + 0)} = 0,108 \text{ g}$$

CONCEPTOS DE ESTADÍSTICA

Solución caso práctico 2

La desviación típica solo es una contribución (estadística) a la incertidumbre total de la medida. Otra contribución importante sería la **división de escala** o las **condiciones ambientales** que no pueden controlarse.

Existen otros factores que influyen en la medida. En el ejemplo:

- ✓ Gradientes de temperatura (balanza al lado de una mufla)
- ✓ Vibraciones (balanza al lado de máquina)
- ✓ Corrientes de aire

Estos factores pueden corregirse fácilmente simplemente moviendo la balanza de sitio, con lo que se eliminaría la posible dispersión provocada por ellos.

Si esto no es posible se convertirán en magnitudes de influencia de las que habrá que evaluar su efecto para incluirla en la incertidumbre de medida.

CONCEPTOS DE ESTADÍSTICA

Solución caso práctico 2

¿Qué tipo de distribución crees que sigue esta muestra?

¿Por qué factor habría que multiplicar la desviación típica para obtener un área bajo la curva de la distribución de un 95,45%?

Con 10 medidas, podemos considerar una **distribución normal** (aunque en bibliografía podemos encontrar que el tamaño mínimo de la muestra debería ser de $n=30$)

En esta hipótesis, para asegurar el 95,45% $\rightarrow k=2$

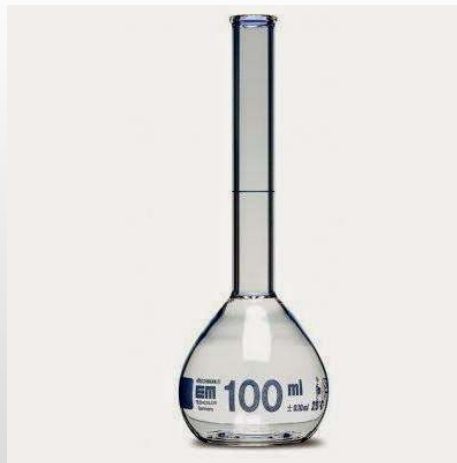
En el caso de considerar una **distribución t-student** con $n-1$ grados de libertad (en el ejemplo 9 grados de libertad). Acudiendo a las tablas con $\alpha=0,025$ (correspondiente al 95%) y 9 grados de libertad: **$t=2,26$**

CONCEPTOS DE ESTADÍSTICA

Caso práctico 3

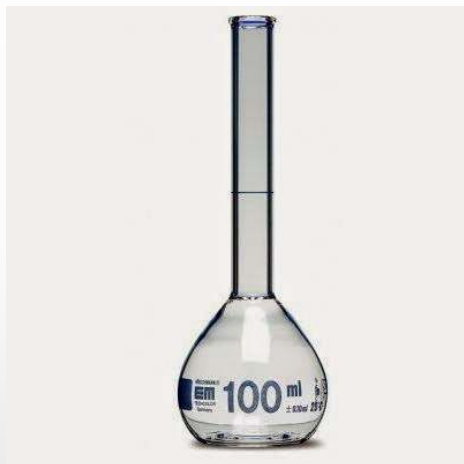
El fabricante de un matraz establece que el volumen es $(100 \pm 0,1)$ ml a 20°C.

Determina la distribución de probabilidad más apropiada, calcula la media y la contribución a la incertidumbre debida a la variación del nominal dado por el fabricante



CONCEPTOS DE ESTADÍSTICA

Solución caso práctico 3



La distribución de probabilidad mas apropiada sería la **triangular** ya que el valor nominal es el más probable

Media y contribución a la incertidumbre:

$$\overline{X} = \frac{100,1 + 99,9}{2} = 100 \text{ ml}$$

$$s = u(x) = \frac{100,1 - 99,9}{2\sqrt{6}} = 0,04 \text{ ml}$$

En caso de duda, **APLICAR LA RECTANGULAR**

$$\overline{X} = \frac{100,1 + 99,9}{2} = 100 \text{ ml}$$

$$s = u(x) = \frac{100,1 - 99,9}{2\sqrt{3}} = 0,06 \text{ ml}$$

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Caso práctico 4

De los siguientes conceptos, indica cuales son **MAGNITUDES DE INFLUENCIA** y cuales pueden considerarse **CONTRIBUCIONES A LA INCERTIDUMBRE**

- El error (o corrección) de calibración
- Condiciones ambientales
- Las tolerancias
- El operador
- Las especificaciones de fabricante
- Las propiedades de la muestra

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Solución caso práctico 4

Error: No es una magnitud de influencia. Tiene que ver con la exactitud del instrumento calibrado. Debe considerarse como fuente de incertidumbre (si al usar el instrumento decidimos no corregir las lecturas)

Condiciones ambientales: Sí, son una fuente de incertidumbre, es una magnitud de influencia que habrá que tener acotada o evaluar su importancia en la medida

Las tolerancias: No es una magnitud de influencia. Son límites de aceptación elegidos para un proceso o producto. Pueden considerarse como fuente de incertidumbre en algunos casos.

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Solución caso práctico 4

El operador: No es una magnitud de influencia. Es una fuente de incertidumbre que en algunos casos de deberá evaluar (con análisis intermedios de precisión). No confundir con los errores que puede cometer el operador o técnico, éstos se deberían evitar trabajando con cuidado, con procedimientos bien definidos y verificando la tarea.

Las especificaciones: No son una magnitud de influencia. Indican lo que se espera de un producto en cuanto a su calidad. En algunas ocasiones podremos hacer uso de las mismas para considerar una determinada fuente de incertidumbre.

Las propiedades de la muestra: La heterogeneidad de la muestra o la falta de repetibilidad, es una propiedad intrínseca. No es una magnitud de influencia pero es una fuente de incertidumbre que habrá que evaluar en los ensayos.

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Caso práctico 5

Determinar la expresión de la incertidumbre expandida de una magnitud, Y, que depende de otra magnitud (X) según la siguiente función modelo:

$$Y = A \cdot X^2 + B \cdot X$$

siendo A y B constantes.

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Solución caso práctico 5

Aplicamos **la ley de propagación de varianzas** para obtener una expresión de la incertidumbre típica:

$$u_Y^2 = \left(\frac{\partial Y}{\partial X} \right)^2 u_x^2 = (2AX + B)^2 u_x^2$$

$$u_Y = (2AX + B) \cdot u_x$$

La incertidumbre expandida ($U = k \cdot u$):

$$U_Y = k \cdot (2AX + B) \cdot u_x$$

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Caso práctico 6

Se desea determinar el área (S) de una superficie con forma triangular y su incertidumbre típica, $u(S)$
Para ello se realizan las siguientes medidas:

base, $b = (30 \pm 1) \text{ mm}$

altura, $h = (60 \pm 3) \text{ mm}$

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Solución caso práctico 6

El área de un triángulo es:

$$S = \frac{b \cdot h}{2}$$

$$S = \frac{30 \cdot 60}{2} = 900 \text{ mm}^2$$

$$u(S) = \sqrt{\left(\frac{h}{2} u(b)\right)^2 + \left(\frac{b}{2} u(h)\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{60}{2} \cdot 1\right)^2 + \left(\frac{30}{2} \cdot 3\right)^2} = 54,1 \text{ mm}^2$$

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Caso práctico 7

Calcula la incertidumbre expandida en los dos casos siguientes correspondientes a una medida de masa:

- i) Incertidumbre típica: $u(y) = 1\text{ g}$
Contribución a la incertidumbre por falta de repetibilidad: $u(\text{rep}) = 0,1\text{ g}$
Nº de repeticiones en el ensayo de repetibilidad: $N=3$

- i) Incertidumbre típica: $u(y) = 1\text{ g}$
Contribución a la incertidumbre por falta de repetibilidad: $u(\text{rep}) = 0,9\text{ g}$
Nº repeticiones: $N=3$

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Solución caso práctico 7

Para obtener la incertidumbre expandida hace falta multiplicar por un factor de cobertura, k , adecuado. En este caso, la condición de normalidad no se cumple (solo hemos realizado 3 medidas). Habrá que calcular k por medio de la expresión de Welch-Satterthwaite

$$v_{ef} = \frac{u^4(y)}{\sum_{m=1}^M \frac{u_m^4(y)}{v_m}}$$

v_{ef}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

$$\text{i) } v_{ef} = \frac{u^4(y)}{\sum_{m=1}^M \frac{u_m^4(y)}{v_m}} = \frac{1^4}{\frac{0,1^4}{2}} = 2 \cdot \frac{1}{0,0001} = 20000 \text{ gdl}$$



$$k = 2,05$$

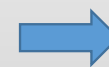


$$U = 2,05 \text{ g}$$

$$\text{ii) } v_{ef} = \frac{u^4(y)}{\sum_{m=1}^M \frac{u_m^4(y)}{v_m}} = \frac{1^4}{\frac{0,9^4}{2}} = 2 \cdot \frac{1}{0,6561} = 3,04 \text{ gdl}$$



$$k = 3,31$$



$$U = 3,31 \text{ g}$$

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Caso práctico 8

Calcula el factor de cobertura apropiado para expandir la incertidumbre típica considerando los datos del caso práctico 2.

Considerad que la incertidumbre típica en dicho ejemplo es $u=0,25$ g

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Solución caso práctico 8

i	m (g)
1	50,1
2	50,1
3	50,0
4	50,2
5	50,3
6	50,1
7	50,2
8	50,0
9	50,3
10	50,1

Media=50,14 g

$u = 0,25$ g

$s=0,1074$ g

$$u_{rep} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0,1074}{\sqrt{10}} = 0,03399$$

Obtenemos los grados efectivos de libertad (Welch-Sattherwaite)

$$v_{ef} = \frac{u^4(y)}{\sum_{m=1}^M \frac{u_m^4(y)}{v_m}} = \frac{0,25^4}{\frac{0,03399^4}{9}} = 26328,18$$

v_{ef}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

K=2,05

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Caso práctico 9

Determinar la expresión de la incertidumbre expandida de una magnitud, Y, que depende de dos medidas independientes (X, Z) según la siguiente función modelo:

$$Y = \frac{A \cdot X + Z}{Z}$$

siendo A una constante.

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Solución caso práctico 9

Aplicamos la ley de propagación de las varianzas para obtener la incertidumbre típica:

$$u_Y^2 = \left(\frac{\partial Y}{\partial X}\right)^2 u_x^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial Z}\right)^2 u_Z^2 = \left(\frac{A}{Z}\right)^2 u_x^2 + \left(\frac{-AX}{Z^2}\right)^2 u_Z^2 = \left(\frac{A}{Z}\right)^2 \left[u_x^2 + \left(\frac{X}{Z}\right)^2 u_Z^2 \right]$$

$$u_Y = \left(\frac{A}{Z}\right) \sqrt{u_x^2 + \left(\frac{X}{Z}\right)^2 u_Z^2}$$

Para obtener la incertidumbre expandida multiplicamos por el factor de cobertura , k:

$$U_Y = k \frac{A}{Z} \sqrt{\left(\frac{U_X}{k_X}\right)^2 + \left(\frac{X}{Z}\right)^2 \left(\frac{U_Z}{k_Z}\right)^2}$$

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Caso práctico 10

Determinar la expresión de la incertidumbre típica de una magnitud, Y, que depende de dos medidas independientes (X, Z) según la siguiente función modelo:

$$Y = \frac{X}{Z}$$

Teniendo en cuenta que las magnitudes de entrada X y Z se encuentran correlacionadas.

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Solución caso práctico 10

$$u_Y^2 = \left(\frac{\partial Y}{\partial X} \right)^2 u_x^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial Z} \right)^2 u_z^2 + 2 \left(\frac{\partial Y}{\partial X} \right) \left(\frac{\partial Y}{\partial Z} \right) u(X, Z)$$

$$u_Y^2 = \left(\frac{1}{Z} \right)^2 u_x^2 + \left(\frac{-X}{Z^2} \right)^2 u_z^2 + 2 \left(\frac{1}{Z} \right) \left(\frac{-X}{Z} \right) r(X, Z) u_x u_z$$

CALIBRACIÓN. INCERTIDUMBRE CALIBRACIÓN

Caso práctico 11

Obtener los **errores y la incertidumbre de calibración** de un pie de rey teniendo en cuenta la información sobre el procedimiento y resultados de la calibración que se detallan a continuación.

El instrumento es un pie de rey de 400 mm de alcance máximo y división de escala de 0,01 mm.

Como patrones de calibración, el Laboratorio dispone de bloques patrón longitudinales de nominales: 50 mm, 100 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm. Éstos se encuentran calibrados por un Laboratorio Acreditado por ENAC y dentro de su periodo de calibración.

La calibración se lleva a cabo desde 0 mm hasta el alcance máximo, en puntos distribuidos de manera uniforme, por ejemplo: 50 mm, 100 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm, realizando diez medidas en cada nominal, tal y como se debería reflejar en el procedimiento de calibración.

La calibración tiene lugar en un local donde las condiciones ambientales se encuentran controladas, además, se registra la máxima variación en los valores de temperatura y humedad durante la calibración.

Los datos obtenidos de la calibración se presentan en la siguiente tabla:

CALIBRACIÓN. INCERTIDUMBRE CALIBRACIÓN

Caso práctico 11

Nominal X_{0i} (mm)	Medidas X_{Cij} (mm)									
j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50	50,00	50,00	50,02	50,01	50,00	50,03	50,00	50,00	50,01	50,00
100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
200	200,00	200,00	200,01	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,00	200,01
300	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
400	400,03	400,00	400,02	400,00	400,00	400,00	400,01	400,01	400,03	400,00

Para cada nominal se tomará la media como el valor representativo de las lecturas del instrumento

Como contribuciones tipo B considerar:

- Patrones empleados: La incertidumbre de los bloques patrón viene dada por la expresión (según el certificado de calibración): $U_{0i} = \pm (0,5 + 0,01 \cdot L_i) \mu\text{m}$, siendo L_i la longitud nominal de cada bloque patrón (en mm). En todos los casos el factor de cobertura es $k=2$.
- Deriva de los patrones: Se estima la deriva de los patrones, obtenida del estudio del histórico de calibraciones como $\delta X_{0i} = \pm 0,8 \mu\text{m}$. Se considera una distribución rectangular para esta contribución.

CALIBRACIÓN. INCERTIDUMBRE CALIBRACIÓN

Solución caso práctico 11

Se calcula la media y la desviación típica para cada nominal

Nominal X_{0i} (mm)	Media X_{Ci} (mm)	Desv. típica s (mm)
50	50,01	0,0106
100	100,00	0,0000
200	200,00	0,0042
300	300,00	0,0000
400	400,01	0,0125

Se toma la media como el valor representativo de las lecturas del instrumento, procediendo a calcular el error de calibración para cada nominal como: $E_c = X_{Ci} - X_{0i}$

Nominal X_{0i} (mm)	Media X_{Ci} (mm)	Error (mm)
50	50,01	0,01
100	100,00	0,00
200	200,00	0,00
300	300,00	0,00
400	400,01	0,01

CALIBRACIÓN. INCERTIDUMBRE CALIBRACIÓN

Solución caso práctico 11

A continuación se enumeran las contribuciones que se han considerado más relevantes para el cálculo de la incertidumbre de calibración:

Contribuciones Tipo A:

1. Contribución debida al número de repeticiones: $u_{ni} = \frac{s_{Ci}}{\sqrt{n}}$

siendo s_{Ci} la desviación típica antes calculada y n el número de medidas (en este caso 10).

Contribuciones Tipo B:

2. Patrón de referencia: $u_{Pi} = \frac{U_{0i}}{k_{0i}}$

Esta incertidumbre viene dada por la expresión: $U_{0i} = \pm (0,5 + 0,01 \cdot L_i) \mu\text{m}$, siendo L_i la longitud nominal de cada bloque patrón (en mm). Según el certificado de calibración, $k=2$

CALIBRACIÓN. INCERTIDUMBRE CALIBRACIÓN

Solución caso práctico 11

3. Deriva del patrón: $u_{d_{0i}} = \frac{\delta X_{0i}}{\sqrt{3}}$

siendo $\delta X_{0i} = \pm 0,8 \mu\text{m}$. Este valor es una estimación de la deriva de nuestros patrones, obtenida del estudio del histórico de calibraciones.

4. División de escala: $u_E = \frac{E / 2}{\sqrt{3}}$

siendo E la división de escala del pie de rey

Aplicando la ley de propagación de varianzas, obtendremos la incertidumbre típica en cada punto de calibración como:

$$u_{ci} = \sqrt{u_{ni}^2 + u_{pi}^2 + u_{di}^2 + u_E^2}$$

CALIBRACIÓN. INCERTIDUMBRE CALIBRACIÓN

Solución caso práctico 11

Multiplicando la incertidumbre típica por el factor de cobertura $k=2$, se obtiene la incertidumbre expandida en cada punto de calibración

$$U_{ci} = k \cdot u_{ci}$$

Aplicando las anteriores ecuaciones a cada punto de calibración se obtienen los siguientes resultados:

X_{0i} (mm)	Repetibilidad (mm)	Patrón (mm)	Deriva patrón (mm)	Div. escala (mm)	Incert. típica (mm)	Incert. expandida (mm) (k=2)
50	0,0033	0,0005	0,0005	0,0029	0,0045	0,009
100	0,0000	0,00075	0,0005	0,0029	0,0030	0,006
200	0,0013	0,00125	0,0005	0,0029	0,0034	0,007
300	0,0000	0,00175	0,0005	0,0029	0,0034	0,007
400	0,0039	0,00225	0,0005	0,0029	0,0054	0,011

CALIBRACIÓN. INCERTIDUMBRE CALIBRACIÓN

Caso práctico 12-13-14

CALIBRACION DE INSTRUMENTO DE PESAJE
Formato IL-PG006 Número: CC 008 /2007

INSTRUMENTO	BASCULA TOLVA
FABRICANTE	GRAVITON
MODELO	GA7
NUMERO DE SERIE	
PETICIONARIO	
FECHA DE CALIBRACION	14 / 03 / 2007
USO : PROPIO	REF. INTERNA : B. CEMENTO
FECHA DE EMISION	16/03/2007
TECNICO	

Página 1 de 3

Formato IL-PG006 Número: CC 008 /2007

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL INSTRUMENTO

Clase Precisión: III

Max (kgs):	600	Min (kgs):	2
e (kgs):	0.100	d (kgs):	0.100

Tipo de Báscula:

ELECTRONICA

Dispositivo Receptor (plataforma):

TOLVA METALICA HIBRIDA 1000 mm x 1000 mm

Dispositivo transmisor:

Número de apoyos:	4	Nº células:	1
Célula de carga:	Marca: SENSOCAR	Modelo:	SC
	C. Nominal:	75 KGS	

Dispositivo Indicador:

ELECTRONICO GRAVITON MOD.GA7 Nº

Página 2 de 3

CALIBRACIÓN. INCERTIDUMBRE CALIBRACIÓN

Caso práctico 12-13-14

CALIBRACION DE INSTRUMENTO DE PESAJE
Formato II-PC00 Número: CC 008 /2007

Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales durante la contrastación han sido las siguientes:

	Inicial	Final	
Temperatura	16	16	°C
Humedad rel.	52	52	%

Patrones y Trazabilidad:

Los patrones utilizados han sido calibrados por Laboratorios acreditados por ENAC, que tienen trazabilidad con el patrón nacional de masa y por el procedimiento interno IT-04-PL02. Así mismo, se ha utilizado equipo auxiliar e instrumentos medidores de temperatura y humedad.

Resultado:

Se ha realizado una contrastación de la báscula puente de su propiedad, realizando diferentes pesadas a lo largo del campo de medida hasta un máximo de 500 Kg, colocadas sobre el dispositivo receptor de carga, teniendo un **RESULTADO POSITIVO**.

Signatario/s autorizado/s Fecha de emisión
16 MARZO 2007

Esta contrastación no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Nota: Los resultados obtenidos son válidos únicamente en el momento y condiciones en que se realizaron las medidas.

Página 3 de 3

CALIBRACIÓN. INCERTIDUMBRE CALIBRACIÓN

Caso práctico 12-13-14

LABORATORIO
METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of calibration

Número
Number
107-B

Página 1 de 6 páginas
Page 1 of 6 pages

LABORATORIO
METROLOGÍA

OBJETO
Item
Balance electrónica monoplato, indicación digital

MARCA
Mark
Scaltec

MODELO
Model
d6200CB

IDENTIFICACIÓN
Identification
57840009

SOLICITANTE
Applicant
[Redacted]

FECHAS DE CALIBRACIÓN
Dates of calibration
04/10/2007

Signatarios autorizados
Authorized signatories
[Redacted] Aprobado por:
[Redacted]

Fecha de emisión
date of issue
4 de octubre de 2007

Jefe de Laboratorio
firmas electrónicas
39.953.1600000000
Jefe de Laboratorio

LABORATORIO
METROLOGÍA

CERTIFICADO
DE CALIBRACION
Laboratorio metrología

NÚMERO: 107-B
Fecha: 4/10/07
Página 2 de 6
495C-06 Ed.2

CLIENTE:
DIRECCIÓN:
Ubicación
Alicante
ÁREA:
Laboratorio

1 REVISIÓN GENERAL

La máquina se somete a una revisión de mantenimiento anual. Se revisa especialmente el sistema de medida de la escalas.

2 REPARACIONES

No se realizan.

3 AJUSTES

No se realizan.

4 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realiza por comparación con masas patrón. El método seguido para realizar la calibración y la clasificación se describe en el procedimiento FEC-ATME-02.

5 INCERTIDUMBRE

"La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%. La incertidumbre típica de medida se ha determinado conforme al documento EAL-R2." La incertidumbre sólo se refiere al momento de la calibración y no incluye efectos a largo plazo.

6 TRAZABILIDAD

Los patrones de masa utilizados en la realización de la calibración del instrumento objeto del presente certificado poseen trazabilidad a patrones nacionales de masa, vía laboratorios acreditados por ENAC.

Los patrones utilizados para materializar los puntos de calibración son de clase F2 y se encuentran identificados con el código CMB P.FAR

CALTEX

www.caltex.es | TU PROVEEDOR ÚNICO EN CALIBRACIÓN | | Av. Juan de la Cierva y Codornú 10, Parque tecnológico de Paterna (Valencia) CP: 46980 - Spain | TLF: +34 961 82 99 02

CALIBRACIÓN. INCERTIDUMBRE CALIBRACIÓN

Caso práctico 12-13-14

LABORATORIO METROLOGÍA **CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN** **Laboratorio metrología**

NÚMERO: 107-B
Fecha: 4/10/07
Página 3 de 6
4-POC-06 Ed.2

CLIENTE: **[REDACTED]**
DIRECCIÓN: **[REDACTED]**
Ubicación: **[REDACTED]** Alicante **[REDACTED]** ÁREA: **[REDACTED]** Laboratorio

7 CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura durante la calibración: MIN: 22 °C. MAX: 22

La calibración se ha efectuado en el ambiente normal del lugar de realización, habiendo comprobado no obstante la estabilidad de dicho ambiente, según los criterios descritos en la norma UNE - EN - 45501

8 DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO CALIBRADO

Tipo de máquina: Balanza electrónica monoplato, indicación digital Nº de serie: 57840009
Fabricante: Cobos Nº de escalas: 1
Modelo: d8200CB
Capacidad: 8000,00 g Resolución: 0,001 g

9 INSTRUMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA CALIBRACIÓN

Todos los instrumentos que intervienen se encuentran descritos a continuación:

INSTRUMENTOS PATRONES

Código	Descripción	Rango	Clase	Nº Certificado y vencimiento
E-3-01	Termómetro	0 - 100 °C	1	ITMA 042372 - 10/2008

INSTRUMENTOS AUXILIARES

Código	Descripción
--------	-------------

10 TÉCNICO CALIBRADOR

[REDACTED]

LABORATORIO METROLOGÍA **CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN** **Laboratorio metrología**

NÚMERO: 107-B
Fecha: 4/10/07
Página 4 de 6
4-POC-06 Ed.2

CLIENTE: **[REDACTED]**
DIRECCIÓN: **[REDACTED]**
Ubicación: **[REDACTED]** Alicante **[REDACTED]** ÁREA: **[REDACTED]** Laboratorio

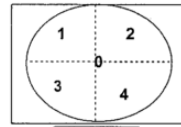
11 RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Instrumento:	Balanza electrónica monoplato, indicación digital	Fabricante:	Cobos
Nº de serie:	57840009	Modelo:	d8200CB

ESCALA I		Fabricante:	Cobos
Nº de serie:	57840009	Modelo:	d8200CB
Tipo de escala:	Digital	Capacidad:	8000,00 g
a (%):	0,01	Resolución:	0,001 g

P	masa patrón m	Indicación I	error de indicación E (kg)	incertidumbre U
0'	0,00	0,0000	0	0,00
1	10,00	9,9900	-0,01	+/-0,002g
2	25,00	24,9800	-0,02	+/-0,005 g (k=2)
3	50,00	49,9200	-0,08	+/-0,009 g (k=2)
4	100,00	99,9000	-0,1	+/-0,009 g (k=2)
5	200,00	198,8000	-1,11	+/-0,006 g (k=2)
6	500,00	499,2000	-0,8	+/-0,011 g (k=2)
7	1000,00	1000,0000	0	+/-0,012 g (k=2)
8	1500,00	1498,0000	-2	+/-0,1 g (k=2)
9	2000,00	1997,0000	-3	+/-0,2 g (k=2)
10	4000,00	3995,0000	-5	+/-0,22 g (k=2)
11	6000,00	5998,0000	-2	+/-0,4 g (k=2)
12	8000,00	7989,0000	-11	+/-0,42 g (k=2)
0	0,00	0,0000	0	0,00

Además se ha caracterizado el funcionamiento del instrumento en cuanto a su comportamiento a carga descentrada, obteniendo la indicación para un valor de masa de referencia, situada en las zonas detalladas en el croquis adjunto.




zona	0	1	2	3	4
Indicación	1498,22	1500,12	1498,2	1500	1499,25

CALIBRACIÓN. INCERTIDUMBRE CALIBRACIÓN

Caso práctico 12-13-14

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	
	
Certificate of Calibration Número 3039-705 <i>Number</i> Página 1 de 4 páginas <i>Page of pages</i>	
CALTEX SISTEMAS, S.L LABORATORIO DE CALIBRACIÓN Av. Juan de la Cierva, 10. 46980 Paterna (VALENCIA) Tel.: 96 182 99 02 – Fax: 96 143 82 72 e-mail: caltex@caltex.es Web: http://www.caltex.es	
	
OBJETO	INSTRUMENTO DE PESAJE (IPFNA)
<i>Item</i>	BALANZA MONOPLATO
MARCA	METTLER TOLEDO
<i>Mark</i>	
MODELO	KA30-3 COMPARATOR
<i>Model</i>	
IDENTIFICACION	CÓDIGO : 5008
<i>Identification</i>	Nº SERIE : 2280252
SOLICITANTE	CALTEX SISTEMAS SL
<i>Applicant</i>	AVDA JUAN DE LA CIERVA, 10, N-7 46980 PATERNA VALENCIA
FECHA/S DE CALIBRACIÓN	19/01/2018
<i>Date/s of calibration</i>	
Signatario/s autorizado/s	Fecha de emisión
<i>Authorized signatory/ies</i>	<i>Date of issue</i>
  Responsable del centro	Rafael Juan Jiménez Villar Revisión 2018-01-23 09:46+02:00 <i>martes, 23 de enero de 2018</i>
<p>Este certificado se expide de acuerdo con las condiciones de la acreditación concedida por ENAC que ha comprobado las capacidades de medida y su trazabilidad a patrones nacionales o internacionales. ENAC es el firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MLA) de calibración de European Cooperation for Accreditation (EA) y de International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de calibración CALTEX SISTEMAS.</p> <p>This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC which has assessed the measurement capability of the laboratory and its traceability to national standards. ENAC is one of the signatories of the Multilateral Agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory CALTEX SISTEMAS.</p>	
 CALTEX colabora con el medio ambiente. IMPRESIÓN A DOBLE CARA Ver 34.0	

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	
	
3039-705 Página 2 de 4 páginas <i>Page of pages</i>	
El resultado de las medidas incluidas en el presente certificado ha sido obtenido aplicando el procedimiento N°. LM-PC-01 <i>The measurement results reported in this certificate were obtained following</i>	
CONDICIONES AMBIENTALES DE CALIBRACIÓN:	
Temperatura:	(20,5 ~ 23,6) °C Condiciones ambientales 8020
Humedad Relativa:	(40,6 ~ 31,3) %Hr medidas con el patrón:
PATRONES EMPLEADOS	
Patrones empleados :	5019 5020
CONDICIONES DE CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO:	
Rango del instrumento:	0 a 30 kg
Resolución/es:	0,00001 kg
Rango de calibración :	1 a 20 kg
NOTAS:	
Lugar de las medidas:	Instalaciones permanentes de CALTEX SISTEMAS
<i>El valor de la gravedad local en las instalaciones de Caltex Sistemas es, g=9,80108444 m/s².</i>	
El instrumento se encuentra nivelado antes de realizar las medidas. . El instrumento no ha sido nivelado	
<p>La realización del ajuste de usuario indicado, siempre que el comportamiento del instrumento se mantenga estable en cuanto al resto de parámetros considerados en la calibración (excentricidad, repetibilidad, etc) llevará al instrumento al estado previo a la calibración, con lo que los resultados del presente certificado no quedarían invalidados. Todo ajuste al instrumento distinto al ajuste de usuario indicado puede invalidar los resultados del presente certificado.</p>	
INCERTIDUMBRES :	
<p>Las contribuciones consideradas para el cálculo de la incertidumbre han sido todas las que afectan al método de calibración, incluyendo la resolución y la estabilidad a corto plazo del instrumento en calibración. No ha sido considerada la componente relativa a la estabilidad a largo plazo. La incertidumbre expandida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k=2, que para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de aproximadamente el 95 %. El cálculo se ha efectuado conforme a la guía europea EA-4/02 M:2013. Los valores e incertidumbres reportados en este documento, corresponden al momento y condiciones de las medidas.</p>	
 CALTEX colabora con el medio ambiente. IMPRESIÓN A DOBLE CARA Ver 34.0	

CALIBRACIÓN. INCERTIDUMBRE CALIBRACIÓN

Caso práctico 12-13-14

ilac-MRA

ENAC

CALIBRACIÓN

Nº 152 / LC10-115

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN :

3039-705

Página 3

de 4

páginas

Page

of

pages

MEDIDAS PREVIAS A LA CALIBRACIÓN

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

POSICIÓN	INDICACIÓN (kg)
1	9,999 84
2	--
3	--
4	--
5	--
APORTACIÓN	--

3

2 1 4

5

El objetivo del **ensayo de excentricidad** es cuantificar la diferencia en la indicación del instrumento cuando depositamos una carga en diferentes posiciones del dispositivo receptor.

El objetivo del **ensayo de indicación inicial** es comprobar que existe concordancia entre la indicación del instrumento y el valor de masa de los patrones depositados sobre el plato.

AJUSTES

No se han realizado ajustes al instrumento.

ENSAYO DE INDICACIÓN

CARGA (kg)	INDICACIÓN (kg)
1,000 00	0,999 95
2,000 00	1,999 92
5,000 00	4,999 85
10,000 00	9,999 76
20,000 00	19,999 49
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--
--	--

El objetivo de este ensayo es comprobar que existe concordancia entre la indicación del instrumento y el valor de masa de los patrones depositados sobre el plato. Con este ensayo obtendremos el error del instrumento.

El sentido de la carga ha sido creciente y el proceso de aplicación de la misma ha sido DISCONTINUO. No se evalúa la histéresis del instrumento.

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

El objetivo de este ensayo es determinar la capacidad que tiene el instrumento para dar el mismo resultado de pesada cuando se deposita la misma carga repetidas veces sobre el plato receptor en condiciones de repetibilidad.

Valor nominal de la carga de ensayo: 10 kg

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9,999 75	9,999 75	9,999 74	9,999 74	9,999 74	9,999 75	9,999 75	9,999 74	9,999 75	9,999 74

Repetibilidad característica del instrumento: 0,000 01 kg

CALTEX colabora con el medio ambiente. IMPRESIÓN A DOBLE CARA

Ver 34.0

ilac-MRA

ENAC

CALIBRACIÓN

Nº 152 / LC10-115

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

3039-705

Página 4

de 4

páginas

Page

of

pages

RESULTADOS OBTENIDOS

RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN

TODOS LOS VALORES EXPRESADOS EN, kg

Carga de ensayo.	Indicación instrumento.	Error instrumento.	Incertidumbre expandida U (k=2).
1,000 00	0,999 95	- 0,000 05	0,000 01
2,000 00	1,999 92	- 0,000 08	0,000 02
5,000 00	4,999 85	- 0,000 15	0,000 05
10,000 00	9,999 76	- 0,000 24	0,000 10
20,000 00	19,999 49	- 0,000 51	0,000 20
--	--	--	--
--	--	--	--
--	--	--	--
--	--	--	--
--	--	--	--
--	--	--	--
--	--	--	--
--	--	--	--
--	--	--	--
--	--	--	--
--	--	--	--

DATOS FINALES CALIBRACIÓN

Gráfica Indicación - Error

OBSERVACIONES

Los valores expresados en las tablas son resultado del cálculo de la media aritmética de las indicaciones observadas en el instrumento durante los ensayos, por lo que el número de dígitos que aparecen en dichas tablas puede no corresponder con el número de dígitos leídos en el instrumento objeto de calibración.

CALTEX colabora con el medio ambiente. IMPRESIÓN A DOBLE CARA

Ver 34.0

CALTEX

www.caltex.es | TU PROVEEDOR ÚNICO EN CALIBRACIÓN | | Av. Juan de la Cierva y Codornú 10, Parque tecnológico de Paterna (Valencia) CP: 46980 - Spain | TLF: +34 961 82 99 02

INCERTIDUMBRE DE USO

Caso práctico 15

Supongamos una balanza monoplato analítica de 200 g de alcance nominal y 0,1 mg de división de escala calibrada en los puntos 10 mg, 1 g, 5 g, 10 g, 20 g, 50 g, 100 g, 150 g y 200 g, dando como resultado unas correcciones de calibración e incertidumbres recogidas en el certificado de calibración y resumidas en la siguiente tabla:

Lectura patrón (g)	Lectura equipo (g)	Corrección de calibración (mg)	Incertidumbre de calibración expandida (k=2) (mg)
0,010	0,0100	0,0	0,121
1	0,9999	0,1	0,122
5	4,9999	0,1	0,125
10	9,9999	0,1	0,129
20	19,9999	0,1	0,136
50	50,0002	-0,2	0,171
100	100,0003	-0,3	0,264
150	150,0006	-0,6	0,372
200	200,0010	-1,0	0,542

INCERTIDUMBRE DE USO

Caso práctico 15

Calcular la incertidumbre de uso de la balanza considerando únicamente las contribuciones a la incertidumbre debidas a la **incertidumbre de calibración**, a la **corrección de calibración** y a la **división de escala**, es decir, vamos a considerar que el usuario la emplea en unas condiciones tan controladas que el resto de las magnitudes de influencia son totalmente despreciables.

INCERTIDUMBRE DE USO

Solución caso práctico 15

$$U_{uso}(x) = 2 \cdot \sqrt{u^2(x') + u^2(c_{\Delta}) + u^2(c_E)}$$

Contribución debida a la **calibración**: $u(x') = \frac{U(x')}{k} = \frac{0,542}{2} = 0,271 \text{ mg}$

Contribución debida a la **división de escala**: $u(c_E) = \frac{E}{\sqrt{12}} = \frac{0,1}{\sqrt{12}} = 0,029 \text{ mg}$

Contribución debida a las **CORRECCIONES (ERROR)**: $u(c_{\Delta}) = \frac{|c_{\Delta_i \max}|}{\sqrt{3}}$

INCERTIDUMBRE DE USO

Solución caso práctico 15

Vamos a ir aplicando cada uno de los **modelos de corrección** vistos anteriormente y qué consecuencias tiene la aplicación de los mismos

1) CORRECCIONES PUNTUALES

No tiene mucho sentido en este tipo de equipo. Solo sería aplicable a los puntos corregidos y no a toda la escala, implicaría usar el instrumento en los puntos de calibración.

INCERTIDUMBRE DE USO

Solución caso práctico 15

2) CORRECCIÓN GLOBAL NULA

$$u(c_{\Delta}) = \frac{|c_{\Delta_i \max}|}{\sqrt{3}} = \frac{|-1|}{\sqrt{3}} = 0,577 \text{ mg}$$

$$U_{uso} = 2 \cdot \sqrt{(0,271)^2 + (0,029)^2 + (0,577)^2} = 1,277 \text{ mg}$$

Suma lineal de los máximos:

$$U_{uso} = \max(U_{c_i}) + \max|c_{ci}|$$

$$U_{uso} = 0,542 \text{ mg} + 1,0 \text{ mg} = 1,542 \text{ mg}$$

INCERTIDUMBRE DE USO

Solución caso práctico 15

3) CORRECCIÓN GLOBAL NO NULA

3.1) **Media** $\bar{c} = -0,1889 \text{ mg}$

Lectura patrón (g)	Lectura equipo (g)	Corrección residual (c-cmed) (mg)	Incertidumbre de calibración expandida (k=2) (mg)
0,010	0,0100	0,1889	0,121
1	0,9999	0,2889	0,122
5	4,9999	0,2889	0,125
10	9,9999	0,2889	0,129
20	19,9999	0,2889	0,136
50	50,0002	-0,0111	0,171
100	100,0003	-0,1111	0,264
150	150,0006	-0,4111	0,372
200	200,0010	-0,8111	0,542

INCERTIDUMBRE DE USO

Solución caso práctico 15

3) CORRECCIÓN GLOBAL NO NULA

La contribución debida a las correcciones residuales no realizadas:

$$u(c_{\Delta}) = \frac{|c_{\Delta_i \max}|}{\sqrt{3}} = \frac{|0,8111|}{\sqrt{3}} = 0,47 \text{ mg}$$

La incertidumbre de uso será:

$$U_{uso} = 2 \cdot \sqrt{(0,271)^2 + (0,029)^2 + (0,47)^2} = 1,09 \text{ mg}$$

INCERTIDUMBRE DE USO

Solución caso práctico 15

Resumen

CORRECCIÓN GLOBAL NULA

Suma lineal de los máximos $U_{uso} = 1,542 \text{ mg}$

Contribución rectangular $U_{uso} = 1,277 \text{ mg}$

CORRECCIÓN GLOBAL NO NULA

$$c_{ci} - \overline{c_c} \quad U_{uso} = 1,09 \text{ mg}$$

INCERTIDUMBRE DE USO

Caso práctico 16

Tras la calibración de una báscula de 2000 kg de alcance máximo y 1 kg de división de escala, se obtiene la siguiente información:

Carga (kg)	Corrección de calibración (kg)	Incertidumbre (k=2) (kg)
100	2	1,3
400	8	1,4
800	18	1,5
1000	26	1,6
1300	32	2,4
1600	38	2,5
2000	48	2,8

Calcula la incertidumbre de uso teniendo en cuenta los siguientes casos:

- i) Corrección global nula
- ii) Corrección global basada en un ajuste lineal

INCERTIDUMBRE DE USO

Solución caso práctico 16

$$U_{uso}(x) = 2 \cdot \sqrt{u^2(x') + u^2(c_{\Delta}) + u^2(c_E)}$$

Contribución debida a la **calibración** $u(x') = \frac{U(x')}{k} = \frac{2,8}{2} = 1,4 \text{ kg}$

Contribución debida a la **división de escala** $u(c_E) = \frac{E}{\sqrt{12}} = \frac{1}{\sqrt{12}} = 0,289 \text{ kg}$

Contribución debida a las correcciones (**modelo de corrección global nula**):

$$u(c_{\Delta}) = \frac{|c_{\Delta_i \max}|}{\sqrt{3}} = \frac{|48|}{\sqrt{3}} = 27,7 \text{ kg}$$

INCERTIDUMBRE DE USO

Solución caso práctico 16

$$U_{uso} = 2 \cdot \sqrt{(1,4)^2 + (0,289)^2 + (27,7)^2} = 55,5 \text{ kg}$$

En este tipo de situaciones se puede disminuir la incertidumbre de uso, haciendo un tratamiento adecuado de las correcciones.

MODELO DE CORRECCIÓN GLOBAL BASADA EN AJUSTE (polinomio grado 1)

En este tipo de equipo lo lógico es aplicar un criterio globalizador, como puede ser un polinomio. Lógicamente, después de corregir las medidas aún tendremos algo de corrección residual ya que el polinomio es un método de aproximación, nunca obtendremos los valores exactos

INCERTIDUMBRE DE USO

Solución caso práctico 16

MODELO DE CORRECCIÓN GLOBAL BASADA EN AJUSTE (polinomio grado 1)

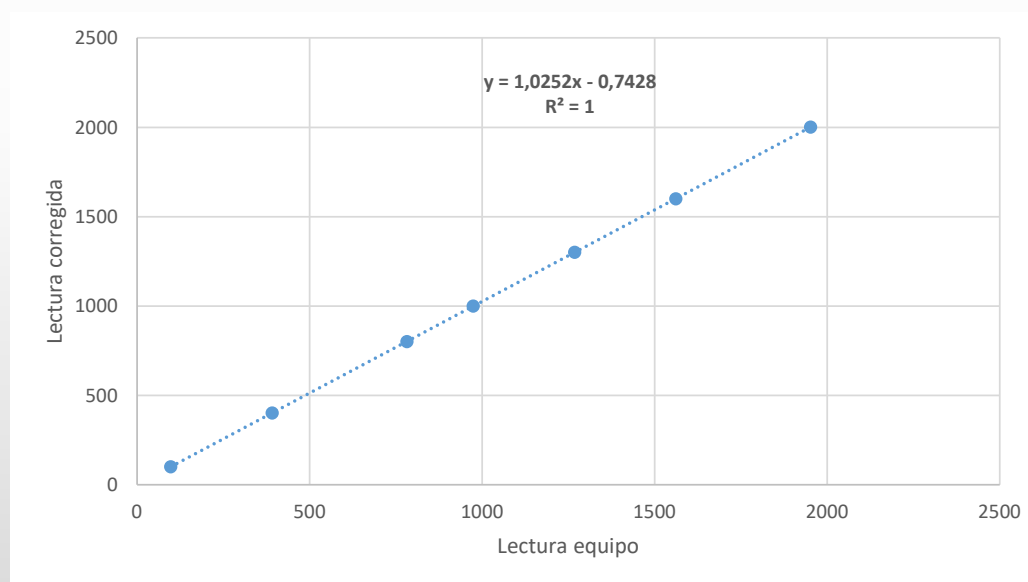
Valores nominales (kg)	Valores medidos (kg)	Correcciones de calibración (C_{ci}) (kg)
100	98	2
400	392	8
800	782	18
1000	974	26
1300	1268	32
1600	1562	38
2000	1952	48

De la representación de los valores nominales frente a los valores medidos obtendremos el polinomio que mejor se aproxime:

INCERTIDUMBRE DE USO

Solución caso práctico 16

MODELO DE CORRECCIÓN GLOBAL BASADA EN AJUSTE (polinomio grado 1)



INCERTIDUMBRE DE USO

Solución caso práctico 16

MODELO DE CORRECCIÓN GLOBAL BASADA EN AJUSTE (polinomio grado 1)

$$L_{\text{corregida}} = 1,025 \cdot L_{\text{medida}} - 0,74$$

Al pasar las lecturas por el polinomio obtendremos

Valores nominales (kg)	Valores corregidos (kg)	Correcciones no realizadas (residuales) ($c_{\Delta i}$) (kg)
100	99,71	0,29
400	401,06	-1,06
800	800,81	-0,81
1000	997,61	2,39
1300	1298,96	1,04
1600	1600,31	-0,31
2000	2000,06	-0,06

INCERTIDUMBRE DE USO

Solución caso práctico 16

MODELO DE CORRECCIÓN GLOBAL BASADA EN AJUSTE (polinomio grado 1)

$$u(c_{\Delta}) = \frac{|c_{\Delta, \max}|}{\sqrt{3}} = \frac{|2,39|}{\sqrt{3}} = 1,38 \text{ kg}$$

$$U_{uso} = 2 \cdot \sqrt{(1,4)^2 + (0,289)^2 + (1,38)^2} = 3,97 \text{ kg}$$

Aplicar correcciones implica un trabajo extra a la hora de medir, pero tiene una gran ventaja en la incertidumbre

Corrección global nula $U_{uso} = 55,5 \text{ kg}$

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (GUM)

Caso práctico 17

Se desea determinar el espesor de una pieza, para lo cual se realizan 10 medidas con un pie de rey digital calibrado, cuya división de escala es de 0,1 mm, siendo el resultado del ensayo la media de esas diez determinaciones.

Tras numerosos ensayos se ha podido comprobar que existe una alta variabilidad en los resultados del ensayo debido a la realización por diferentes operarios. Debido a la variabilidad observada, se decide realizar un análisis de aseguramiento interno de la calidad. En él se ha estudiado la reproducibilidad del ensayo por diferentes operarios, obteniendo una desviación típica de reproducibilidad intralaboratorio: **$s_R = 0,3$ mm**.

Dar el resultado del ensayo (con su incertidumbre de ensayo), suponiendo que las diez medidas (en mm) son las representadas en la tabla siguiente y teniendo en cuenta que la incertidumbre de uso del pie de rey, calculada a partir de su certificado de calibración es: **$U_u = 0,2$ mm**

y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10
25,6	25,6	25,7	25,6	25,8	25,7	25,6	25,7	25,6	25,6

Medidas en mm

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (GUM)

Solución caso práctico 17

El valor medio $\bar{y} = 25,65 \text{ mm}$

En cuanto a la incertidumbre de ensayo, partiremos de la expresión general

$$U_E = k \cdot u_E = k \cdot \sqrt{u_Y^2 + u_r^2 + u_R^2}$$

Por tratarse de una medida directa la incertidumbre del espesor, u_y , coincide con la incertidumbre de uso del pie de rey, u_u . Por tanto

$$u_y = u_u = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ mm}$$

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (GUM)

Solución caso práctico 17

La contribución debida a la repetibilidad vendrá dada por la desviación típica de las 10 determinaciones

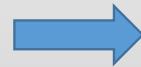
$$u_r = \frac{s_r}{\sqrt{n}} = \frac{0,071}{\sqrt{10}} = 0,0225 \text{ mm}$$

Por último, la contribución debida a la reproducibilidad intralaboratorio obtenida en el estudio antes mencionado da un valor de incertidumbre de

$$s_R = 0,3 \text{ mm} \rightarrow u_R = 0,3 \text{ mm}$$

$$u_y = \sqrt{0,1^2 + 0,0225^2 + 0,3^2} = 0,317 \text{ mm}$$

$$U_y = k \cdot u_y = 2 \cdot 0,317 = 0,634 \text{ mm}$$



$$\bar{x} = (25,7 \pm 0,6) \text{ mm}$$

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (GUM)

Caso práctico 18

Se realiza un ensayo de rotura a tracción de una probeta cilíndrica de acero para determinar el esfuerzo (σ) y la deformación específica (ε), definidas como:

$$\sigma = \frac{F}{S}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

F = Carga de rotura en el instante de rotura (medida con una máquina de ensayos) $F=3730\pm 23$ N

S = Sección de la probeta, $S = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2$ $D=6,33\pm 0,01$ mm

ΔL = Deformación medida con extensómetro incorporado en máquina de ensayos, $\Delta L=5,51\pm 0,01$ mm

L = Longitud inicial de la probeta; $L=254,4\pm 0,1$ mm

Obtener el valor de σ y ε y sus correspondientes incertidumbres expandidas

Nota. Todas las incertidumbres anteriores son expandidas ($k=2$)

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (GUM)

Solución caso práctico 18

$$u_{\sigma}^2 = \left(\frac{\partial \sigma}{\partial F} \right)^2 u^2(F) + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial S} \right)^2 u^2(S) = \left(\frac{1}{S} \right)^2 u^2(F) + \left(\frac{-F}{S^2} \right)^2 u^2(S) = \left(\frac{1}{S} \right)^2 u^2(F) + \left(\frac{F}{S^2} \right)^2 \left(\frac{\pi D}{2} \right)^2 u^2(D)$$

$$u^2(S) = \left(\frac{\partial S}{\partial D} \right)^2 u^2(D) = \left(\frac{\pi D}{2} \right)^2 u^2(D)$$

$$U = \frac{k}{S} \sqrt{\left(\frac{U(F)}{2} \right)^2 + (\sigma)^2 \left(\frac{\pi D}{2} \right)^2 \left(\frac{U(D)}{2} \right)^2}$$

$$\sigma = 118,52 \pm 0,82 \text{ N / mm}^2$$

$$u_{\varepsilon}^2 = \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \Delta L} \right)^2 u^2(\Delta L) + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial L_0} \right)^2 u^2(L_0) = \left(\frac{1}{L_0} \right)^2 u^2(\Delta L) + \left(\frac{-\Delta L}{L_0^2} \right)^2 u^2(L_0)$$

$$U_{\varepsilon} = \frac{k}{L_0} \sqrt{\left(\frac{U_{\Delta L}}{2} \right)^2 + \varepsilon^2 \left(\frac{U_{L_0}}{2} \right)^2}$$

$$\varepsilon = (2,162 \pm 0,004) \cdot 10^{-2}$$

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (GUM)

Caso práctico 19

Se desea determinar la tensión de rotura a la flexión (σ) de una baldosa, la cual obtendremos a partir de otras medidas, según la expresión:

$$\sigma = \frac{3 \cdot G \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

G = Carga de rotura en el instante de rotura (medida con una máquina de ensayos)

L = Separación entre rodillos de la prensa (medido con una regla metálica lateral incorporada en la prensa)

b = anchura de la baldosa (medida con una regla metálica)

h = espesor de la baldosa (medida con un pie de rey)

Obtener una expresión general para la incertidumbre expandida del ensayo, teniendo en cuenta que sólo contribuyen los equipos de medida (de los que previamente se ha calculado su incertidumbre de uso).

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (GUM)

Solución caso práctico 19

$$U_{\sigma} = k \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial \sigma}{\partial G}\right)^2 \left(\frac{U_G}{k_G}\right)^2 + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial L}\right)^2 \left(\frac{U_L}{k_L}\right)^2 + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial b}\right)^2 \left(\frac{U_b}{k_b}\right)^2 + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial h}\right)^2 \left(\frac{U_h}{k_h}\right)^2}$$

$$\left(\frac{\partial \sigma}{\partial G}\right) = \frac{3 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad \left(\frac{\partial \sigma}{\partial b}\right) = \frac{-3 \cdot G \cdot L}{2 \cdot b^2 \cdot h^2} \quad \left(\frac{\partial \sigma}{\partial L}\right) = \frac{3 \cdot G}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad \left(\frac{\partial \sigma}{\partial h}\right) = \frac{-3 \cdot G \cdot L}{b \cdot h^3}$$

$$\begin{aligned} U_{\sigma} &= k \sqrt{\left(\frac{3 \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}\right)^2 \left(\frac{U_G}{k_G}\right)^2 + \left(\frac{3 \cdot G}{2 \cdot b \cdot h^2}\right)^2 \left(\frac{U_L}{k_L}\right)^2 + \left(\frac{3 \cdot G \cdot L}{2 \cdot b^2 \cdot h^2}\right)^2 \left(\frac{U_b}{k_b}\right)^2 + \left(\frac{3 \cdot G \cdot L}{b \cdot h^3}\right)^2 \left(\frac{U_h}{k_h}\right)^2} = \\ &= k \cdot \sigma \sqrt{\frac{1}{G^2} \left(\frac{U_G}{k_G}\right)^2 + \frac{1}{L^2} \left(\frac{U_L}{k_L}\right)^2 + \frac{1}{b^2} \left(\frac{U_b}{k_b}\right)^2 + \frac{2^2}{h^2} \left(\frac{U_h}{k_h}\right)^2} \end{aligned}$$

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (GUM)

Solución caso práctico 19

$U_G = U_{\text{uso_prensa}}$ (incertidumbre de uso de la máquina de ensayos)

$U_L = U_{\text{uso_regla}}$ (Incertidumbre de uso de la regla de la prensa)

U_{regla} = incertidumbre de uso de la regla metálica utilizada para medir b

$U_h = U_{\text{uso_pie de rey}}$ (Incertidumbre de uso del pie de rey)

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (GUM)

Caso práctico 20

Obtener la expresión de la incertidumbre de un ensayo consistente en determinar el contenido de dióxido de carbono (%) de una cal por medio de la siguiente expresión:

$$CO_2(\%) = \frac{(M_3 - M_1) + (M_4 - M_2)}{M} \cdot 100$$

M = masa de la muestra de ensayo (g)

M1 = peso inicial tubo G (g)

M2 = peso inicial tubo H (g)

M3 = peso final tubo G (g)

M4 = peso final tubo H (g)

Se dará el resultado del ensayo como la media de **tres determinaciones** de la misma muestra.

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (GUM)

Solución caso práctico 20

Para las medidas de las diferentes masas únicamente vamos a considerar la contribución debida a la balanza con la que se miden ($U_{\text{uso_balanza}}$).

Aplicaremos la ley de propagación de las varianzas a la expresión anterior obtendremos la incertidumbre asociada al %CO₂ para cada determinación:

$$U_{CO_2i}(\%) = k \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial CO_{2i}(\%)}{\partial M_1}\right)^2 \left(\frac{U_{M1}}{k_{M1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial CO_{2i}(\%)}{\partial M_2}\right)^2 \left(\frac{U_{M2}}{k_{M2}}\right)^2 + \left(\frac{\partial CO_{2i}(\%)}{\partial M_3}\right)^2 \left(\frac{U_{M3}}{k_{M3}}\right)^2 + \left(\frac{\partial CO_{2i}(\%)}{\partial M_4}\right)^2 \left(\frac{U_{M4}}{k_{M4}}\right)^2 + \left(\frac{\partial CO_{2i}(\%)}{\partial M}\right)^2 \left(\frac{U_M}{k_M}\right)^2}$$

$$\left(\frac{\partial CO_{2i}(\%)}{\partial M_1}\right) = \frac{-100}{M}$$

$$\left(\frac{\partial CO_{2i}(\%)}{\partial M_2}\right) = \frac{-100}{M}$$

$$\left(\frac{\partial CO_{2i}(\%)}{\partial M_3}\right) = \frac{100}{M}$$

$$\left(\frac{\partial CO_{2i}(\%)}{\partial M_4}\right) = \frac{100}{M}$$

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (GUM)

Solución caso práctico 20

$$\left(\frac{\partial CO_{2i}(\%)}{\partial M} \right) = \frac{-100 \cdot [(M_3 - M_1) + (M_4 - M_2)]}{M^2}$$

Sustituyendo y teniendo en cuenta que $U_{M1} = U_{M2} = U_{M3} = U_{M4} = U_M = U_{\text{uso balanza}}$

$$U_{CO_{2i}}(\%) = k \cdot \frac{1}{M} \cdot \frac{U_{\text{usobalanza}}}{k_{\text{usobalanza}}} \cdot \sqrt{4 + \left(\frac{M_3 - M_1 + M_4 - M_2}{M} \right)^2}$$

Que será la expresión de la incertidumbre expandida de cada determinación, pero el resultado final del ensayo será la **media de tres determinaciones**, con lo que la expresión de la incertidumbre expandida asociada a la media quedará:

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (GUM)

Solución caso práctico 20

$$U_{co_2} (\%) = k \cdot \sqrt{\max \left(\frac{U_{co_{2i}} (\%)}{k_{co_2}} \right)^2 + \left(\frac{s_{co_{2i}}}{\sqrt{n}} \right)^2}$$

Siendo:

$s_{CO_{2i}}$ = desviación típica de las tres determinaciones del porcentaje de C_{O_2} obtenido

n = número de observaciones independientes, $n= 3$

$U_{CO_{2i}}$ = incertidumbre asociada al % CO_2 en cada determinación, calculada anteriormente.

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (VALIDACIÓN DE MÉTODOS)

Caso práctico 21

Determinar la incertidumbre en la determinación de clenbuterol en hígado mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Datos:

$$C_{clenbuterol} = \frac{C_{HPLC} \cdot V_{ex}}{R \cdot m_{higado}} \cdot F_{hom}$$

C_{HPLC} (µg/kg) : Concentración del extracto analizado mediante cromatógrafo

V_{ex} (l): Volumen final del extracto

R: Recuperación del proceso de extracción (pretratamientos)

m_{higado} (kg) : masa de hígado analizada

F_{hom} : factor debido a la heterogeneidad de la muestra

Para el estudio de la trazabilidad se dispone de un material de referencia certificado (CRM). Se trata de una muestra de hígado liofilizado cuya concentración de clenbuterol certificada es $1,2 \pm 0,11$ µg/kg ($k=2,2$).

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (VALIDACIÓN DE MÉTODOS)

Caso práctico 21

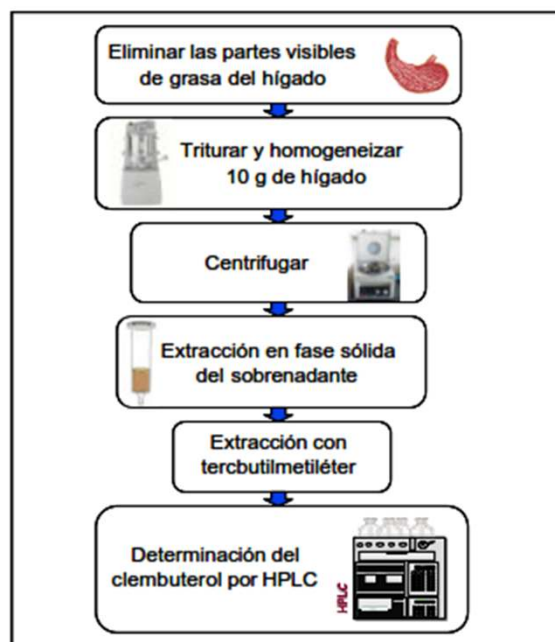


Figura 1. Etapas del método analítico para determinar clenbuterol en hígado por análisis cromatográfico.

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (VALIDACIÓN DE MÉTODOS)

Caso práctico 21

Se realiza el estudio de la trazabilidad analizando 10 veces el CRM en condiciones intermedias de precisión (se analizan diferentes series, variando equipos y analistas). Resultados del estudio:

Análisis	Resultado
1	1.21
2	1.28
3	1.32
4	1.34
5	1.36
6	1.19
7	1.25
8	1.30
9	1.26
10	1.22
Media	1.27
Desviación estándar	0.057

Tabla 1. Resultados del análisis del CRM

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (VALIDACIÓN DE MÉTODOS)

Caso práctico 21

Para evaluar la heterogeneidad de la muestra, se realiza otro estudio consistente en homogeneizar 6 porciones de 10 g de una muestra de hígado. Se analiza cada una de las 6 porciones con el método analítico (HPLC) en condiciones de repetibilidad (mismo operador, mismo equipo, corto periodo de tiempo), obteniendo los siguientes resultados:

Porción	Resultado
1	1.05
2	1.08
3	1.01
4	1.17
5	1.22
6	1.12
Media	1.11
Desviación estándar, $s_{\text{porciones}}$	0.078

Tabla 2. Resultados de las 6 porciones homogeneizadas de una muestra hígado.

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (VALIDACIÓN DE MÉTODOS)

Solución caso práctico 21

Fuentes de incertidumbre:

- C_{HPLC} : incertidumbre debida cromatógrafo
- V_{ex} : debida al material volumétrico
- R: recuperación del proceso. Análisis cromatográfico, pretratamientos realizados para extraer clenbuterol
- m: balanza
- F_{hom} : debida al proceso de homogenización de la muestra (el factor F toma un valor de 1 pero la incertidumbre no es nula)

La aplicación del método GUM puede ser complicado, incluso podemos encontrar que algunas fuentes de incertidumbre no sea posible evaluarlas.

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (VALIDACIÓN DE MÉTODOS)

Solución caso práctico 21

Aplicaremos el método globalizador basado en la validación del método (teniendo en cuenta los estudios de trazabilidad por parámetros intermedios de precisión).

$$U = k \sqrt{u_{precision}^2 + u_{trazabilidad}^2 + u_{heterogeneidad}^2 + u_{otros}^2}$$

1) Incertidumbre debida a la **precisión**

De los estudios de la trazabilidad a través de los parámetros intermedios de precisión (analizando varias series, por diferentes operarios, con diferentes equipos) se obtienen los resultados de la tabla 1. Por tanto

$$u_{precision} = s_I = 0,057 \mu g / kg$$

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (VALIDACIÓN DE MÉTODOS)

Solución caso práctico 21

2) Incertidumbre debida al proceso de **verificación de la trazabilidad**

$$u_{trazab} = \sqrt{u(c_{ref})^2 + u(\bar{c}_{prec})^2} = \sqrt{u(c_{ref})^2 + \frac{s_I^2}{n}} = \sqrt{\left(\frac{0,11}{2,2}\right)^2 + \left(\frac{0,057}{\sqrt{10}}\right)^2} = 0,053 \mu g / kg$$

3) Incertidumbre debida a la **heterogeneidad de la muestra**

Para calcular la contribución debida a la heterogeneidad de la muestra, se realiza un estudio para evaluarla, consistente en tomar 6 porciones de una muestra de hígado y analizándolas en condiciones de repetibilidad (minimizamos el efecto de todas las magnitudes de influencia y solo variamos la muestra, objeto de estudio).

Según los resultados de la tabla 2: $u_{heterogeneidad} = s_{Ipret} = 0,078 \mu g / kg$

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (VALIDACIÓN DE MÉTODOS)

Solución caso práctico 21

$$U = k\sqrt{u_{precision}^2 + u_{trazabilidad}^2 + u_{heterogeneidad}^2} = 2\sqrt{0,057^2 + 0,053^2 + 0,078^2} = 0,22 \mu g / kg$$

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (MMC)

Caso práctico 22

Obtener la incertidumbre del ejercicio 18 aplicando el MÉTODO DE MONTECARLO

$$\sigma = \frac{F}{S} ; \quad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

F = Carga de rotura en el instante de rotura (medida con una máquina de ensayos) F=3730±23 N

S = Sección de la probeta, $S = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2$ D=6,33±0,01 mm

ΔL = Deformación medida con extensómetro incorporado en máquina de ensayos, ΔL=5,51±0,01 mm

L = Longitud inicial de la probeta; L=254,4±0,1 mm

Obtener el valor de σ y ε y sus correspondientes incertidumbres expandidas

Nota. Todas las incertidumbres anteriores son expandidas (k=2)

INCERTIDUMBRE DE ENSAYO (MMC)

Caso práctico 23

Obtener la expresión de la incertidumbre en la medida de dos resistencias. Las medidas obtenidas fueron:

Resistencia R1		Resistencia R2	
V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)
10,002	25,003	9,996	39,989
10	24,995	9,998	40
10,002	25,003	10,001	40,003
9,999	24,997	9,999	40,005
10,003	25,004	10,005	40,019
9,998	24,997	10,001	40,009
9,997	24,99	9,998	39,998
10	25,006	9,999	39,994
10,001	25,004	9,999	40,001
9,995	24,988	9,997	39,992

Datos:

$U(V) (k=2) = 0,012 \text{ V}$
 $U(I) (k=2) = 0,00976 \text{ mA}$
 $r(V1, I1)=0,871$
 $r(V2, I2)=0,928$
 $r(R1, R2)=0,957$

$$R_s = R_1 + R_2$$

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

- Obtener los valores de R1 y R2 y sus correspondientes incertidumbres
- Considerad un montaje en serie y calculad la resistencia resultante y su incertidumbre
- Considerad un montaje en paralelo y calculad la resistencia resultante y su incertidumbre

CONFORMIDAD METROLÓGICA

Caso práctico 24

Supongamos que el usuario de la balanza del **caso práctico 15** la usa habitualmente en el intervalo comprendido entre 0 g y 20 g y, ocasionalmente, en el punto 100 g.

Punto de calibración (g)	Corrección de calibración (mg)	Incertidumbre de calibración expandida (k=2) (mg)
0,010	0,0	0,121
1	0,1	0,122
5	0,1	0,125
10	0,1	0,129
20	0,1	0,136
50	-0,2	0,171
100	-0,3	0,264
150	-0,6	0,372
200	-1,0	0,542

Estimar si esta balanza es adecuada o no suponiendo que la norma bajo la cual se realizan los ensayos admite una exactitud en el instrumento empleado de hasta 0,5 mg.

CONFORMIDAD METROLÓGICA

Solución caso práctico 24

Vamos a ir aplicando cada uno de los modelos vistos anteriormente y viendo qué consecuencias tiene en la aceptabilidad del equipo.

i) MODELO CORRECCIÓN GLOBAL NULA

Suma lineal máximo

$$U_{uso} = \max(U_{c_i}) + \max|c_{ci}| \quad U_{uso} = 0,542 \text{ mg} + 1,0 \text{ mg} = 1,542 \text{ mg}$$

la balanza no sería adecuada para este ensayo.

CONFORMIDAD METROLÓGICA

Solución caso práctico 24

Aplicamos el modelo de corrección global nula suponiendo que las correcciones contribuyen como una **distribución rectangular**.

$$U_{uso}(x) = 2 \cdot \sqrt{u^2(x') + u^2(c_{\Delta}) + u^2(c_E)}$$

Contribución debida a la calibración $u(x') = \frac{U(x')}{k} = \frac{0,542}{2} = 0,271 \text{ mg}$

Contribución debida a la división de escala $u(c_E) = \frac{E}{\sqrt{12}} = \frac{0,1}{\sqrt{12}} = 0,029 \text{ mg}$

Contribución debida a las correcciones $u(c_{\Delta}) = \frac{|c_{\Delta, \max}|}{\sqrt{3}} = \frac{|-1|}{\sqrt{3}} = 0,577 \text{ mg}$

CONFORMIDAD METROLÓGICA

Solución caso práctico 24

$$U_{uso} = 2 \cdot \sqrt{(0,271)^2 + (0,029)^2 + (0,577)^2} = 1,277 \text{ mg}$$

Esta estimación es más realista y sigue indicando que la balanza no es adecuada.

Reducción del rango

Pero, ¿qué pasaría si el usuario decidiera limitar el uso del equipo a 100 g? Hemos dicho anteriormente que no la usaba nunca por encima de ese valor así que no necesita tener información más allá de dicho valor. En tal caso la incertidumbre más desfavorable sería, en el **primer caso**:

$$U_{uso} = 0,264 + 0,3 = 0,564 \approx 0,6 \text{ mg}$$

y, en el **segundo**:

$$U_{uso} = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,264}{2}\right)^2 + (0,029)^2 + \left(\frac{0,3}{\sqrt{3}}\right)^2} = 2 \cdot \sqrt{(0,132)^2 + (0,029)^2 + (0,173)^2} = 0,439 \text{ mg}$$

El primer tratamiento dejaría fuera de uso el equipo y, según el segundo tratamiento, se podría usar estando de acuerdo con los requisitos de la norma

TOLERANCIA Y SU VERIFICACIÓN

Caso práctico 25

El secado de una muestra se debe realizar a $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para ello el laboratorio dispone de una estufa de desecación por aire forzado calibrada en dicho punto.

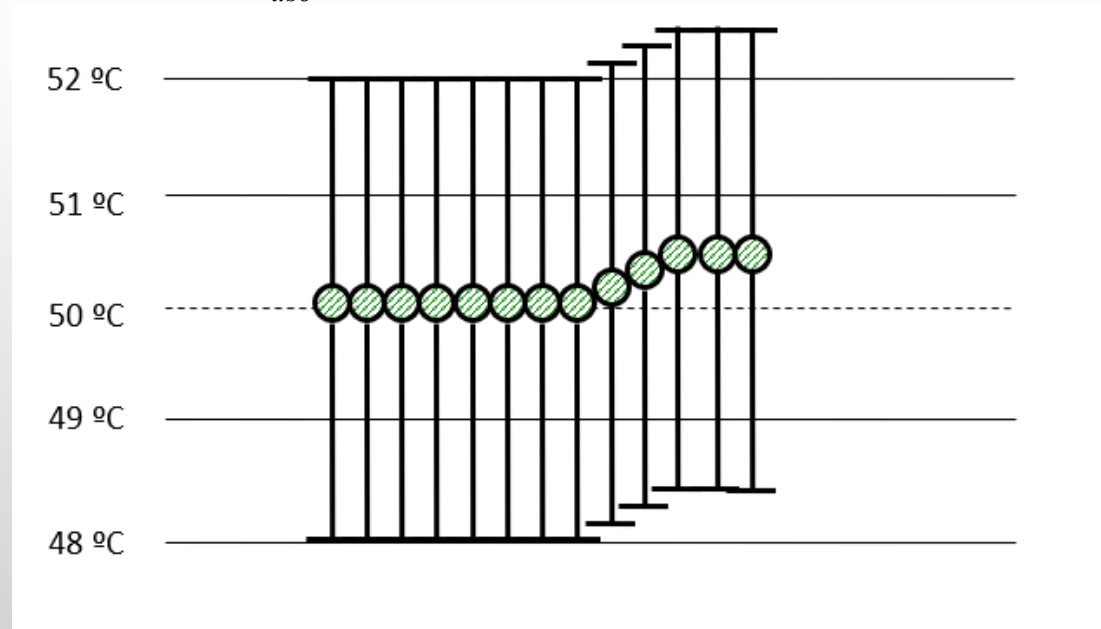
- a) ¿Qué criterio de aceptación debe tener la estufa en el punto $50\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- b) Suponiendo que el criterio de aceptación asignado haya sido $U_u \leq \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, ¿qué lecturas de la estufa serán aceptables durante el proceso de secado?

TOLERANCIA Y SU VERIFICACIÓN

Solución caso práctico 25

a) La incertidumbre de uso de la estufa debe ser $\leq \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ pero hay que ser consecuente con la elección del valor final puesto que éste tendrá implicaciones en el uso de la misma.

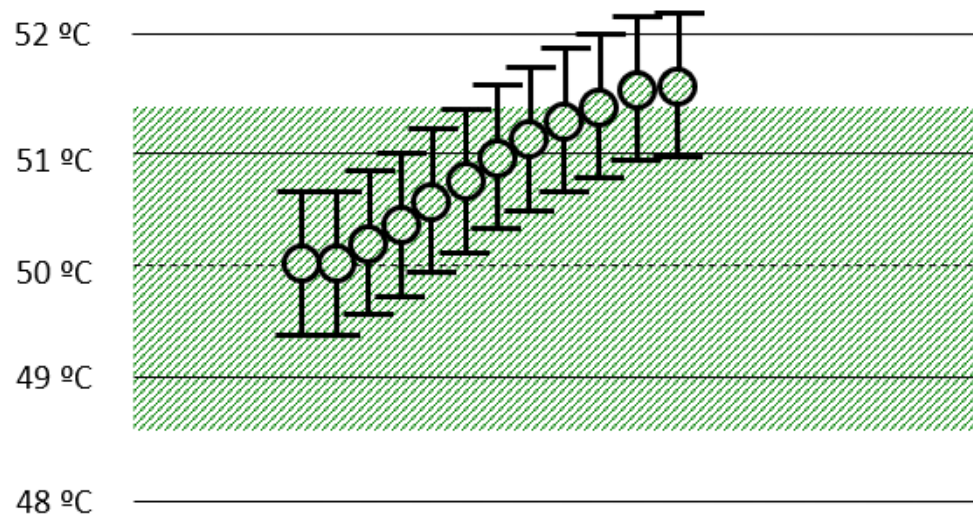
$$U_{uso} = Tol = 2\text{ }^{\circ}\text{C} \Rightarrow EMP = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$$



TOLERANCIA Y SU VERIFICACIÓN

Solución caso práctico 25

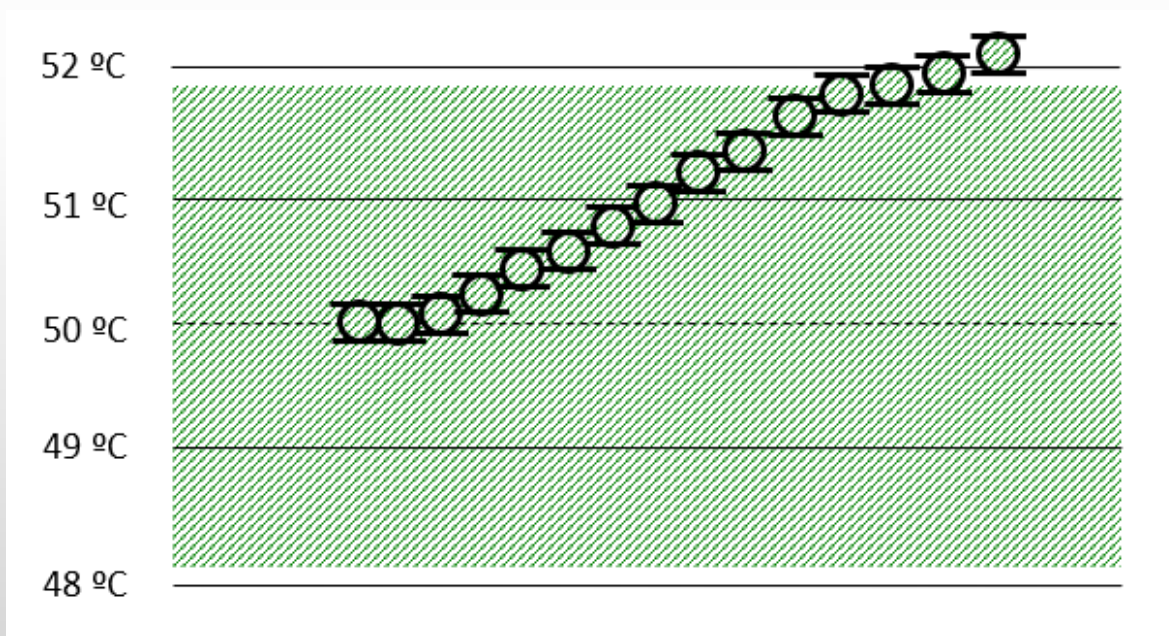
$$U_{uso} = \frac{Tol}{3} = \frac{2}{3} = 0,67 \text{ }^{\circ}\text{C} \Rightarrow EMP = Tol - U_{uso} = \left(2 - \frac{2}{3} \right) = 1,33 \text{ }^{\circ}\text{C}$$



TOLERANCIA Y SU VERIFICACIÓN

Solución caso práctico 25

$$U_{uso} = \frac{Tol}{10} = \frac{2}{10} = 0,2 \text{ } ^\circ C \Rightarrow EMP = Tol - U_{uso} = \left(2 - \frac{2}{10}\right) = 1,8 \text{ } ^\circ C$$



TOLERANCIA Y SU VERIFICACIÓN

Solución caso práctico 25

b) De forma análoga a los ejemplos del apartado anterior:

$$U_{uso} = 1 \text{ }^{\circ}\text{C} \Rightarrow EMP = Tol - U_{uso} = (2 - 1) = 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Lecturas aceptables serán aquellas cuyos valores estén comprendidos entre 49 °C y 51 °C.

TOLERANCIA Y SU VERIFICACIÓN

Caso práctico 26

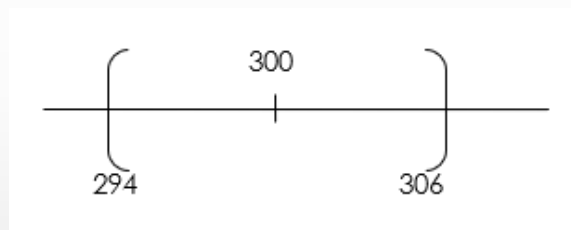
Según una norma de ensayos, para dar conformidad a una probeta, su altura debe ser de 300 ± 6 mm. Esa cota se mide con un pie de rey calibrado cuya incertidumbre de uso es $U_u=1$ mm. Se realiza una medida y se obtiene una altura de 294 mm:

- a) ¿Es conforme esta probeta?
- b) Si el equipo siempre lo usamos para esta aplicación, ¿qué criterio de aceptación/rechazo podemos establecer?

TOLERANCIA Y SU VERIFICACIÓN

Solución caso práctico 26

a) Según la norma la altura de la probeta debe ser 300 ± 6 mm. Es decir, que cualquier medida que tomemos debe estar comprendida entre 294 mm y 306 mm.



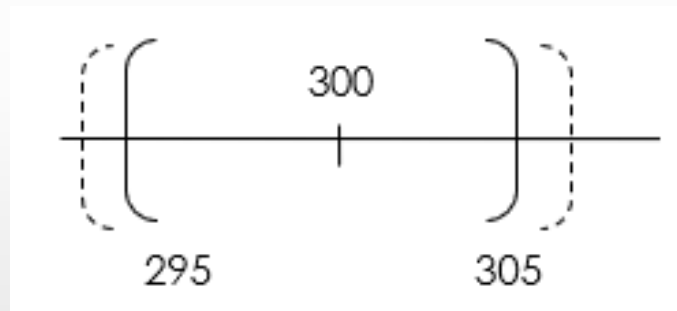
En realidad estamos utilizando un instrumento de medida con una **incertidumbre de uso de 1 mm**, lo que nos define una nueva tolerancia (tolerancia efectiva):

$$T_{ef} = T - 2 \cdot U = 12 - 2 \cdot 1 = 10 \text{ mm}$$

TOLERANCIA Y SU VERIFICACIÓN

Solución caso práctico 26

$$T_{ef} = T - 2 \cdot U = 12 - 2 \cdot 1 = 10 \text{ mm} \quad \longrightarrow \quad 300 \pm 5 \text{ mm}$$



Por lo tanto, una medida de 294 mm con este equipo en particular es **no conforme**.

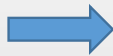
TOLERANCIA Y SU VERIFICACIÓN

Solución caso práctico 26

b) En este ejemplo podemos ver la importancia de la incertidumbre ya que si no la hubiéramos tenido en cuenta, estaríamos dando por válida una medida que no lo es.

Es importante tener en cuenta la incertidumbre del equipo de medida para verificar una característica, e incluso el Laboratorio debería establecerse unos criterios de aceptación /rechazo en función de la Incertidumbre de uso.

Posibles Criterios de aceptación/rechazo:

1) $U_{\text{uso}} \leq 6 \text{ mm}$ (semi-intervalo definido por la tolerancia)  $T_{\text{ef}} = T - 2U = 12 - 2 \cdot 6 = 0 \text{ mm}$

- ✓ Solo podríamos dar por buenas aquellas probetas cuya altura fuera exactamente de 300 mm
- ✓ Es una opción muy poco exigente con el equipo de medida pero perjudicial para el resultado de la medida

TOLERANCIA Y SU VERIFICACIÓN

Solución caso práctico 26

2) $U_{\text{uso}} \leq 3 \text{ mm}$ → Permitiría que la altura de las probetas variaran en el intervalo [297, 303] mm

3) $U_{\text{uso}} \leq 2 \text{ mm}$ → permitiría un variación en las lecturas entre [296,304] mm