

SOP N°.7

**Procedimiento normalizado de operación recomendado
para el
Pesaje por sustitución simple
utilizando una balanza mecánica con un solo platillo, una balanza completamente
electrónica o una balanza con indicadores digitales y pesas internas**

1.0 Introducción**1.1. Propósito**

En el procedimiento de sustitución simple un patrón y una pesa desconocida son intercomparados para determinar la diferencia en los pesos. Los errores en cualquier pesa interna o en los indicadores de la balanza son eliminados al usar la balanza sólo como un comparador y al calibrar los indicadores de la balanza a lo largo del intervalo de uso para la medición con una pesa de sensibilidad. Este procedimiento es el método adecuado de calibración cuando se requiera una exactitud moderada y, como un método de sustitución simple, no elimina los errores causados por la deriva. El procedimiento no incorpora pasos de control de la medición para asegurar la validez de los patrones y del proceso de medición; por lo tanto, se deben tomar precauciones adicionales.

1.2. Requisitos esenciales

- 1.2.1. Verificar que hay certificados de calibración válidos disponibles para los patrones utilizados en el ensayo.
- 1.2.2. Verificar que los patrones que serán utilizados tienen incertidumbres estándar lo suficientemente pequeñas para el nivel de calibración previsto. Los patrones primarios no deberían ser utilizados en este nivel.
- 1.2.3. Verificar que la balanza que es utilizada se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento con una desviación estándar del proceso lo suficientemente pequeña, verificada por un gráfico de control válido o experimentos preliminares, para determinar su calidad del funcionamiento cuando una nueva balanza se pone en servicio.
- 1.2.4. Verificar que el operador tiene experiencia en materia de técnicas de pesaje de precisión y que ha recibido adiestramiento específico en el SOP 2, SOP 7, SOP 29, las Buenas prácticas de metrología (GMP) 4 y GMP 10.
- 1.2.5. Verificar que las instalaciones del laboratorio cumplen con las siguientes condiciones mínimas para lograr la incertidumbre prevista posible con este procedimiento.

Tabla 1. Condiciones ambientales

Nivel	Temperatura	Humedad relativa (%)
II	20 °C a 23 °C, un punto de referencia de ± 2 °C, cambio máximo 1.0 °C/h	40 a 60 ± 10 / 4 h
III	18 °C a 27 °C, cambio máximo 2.0 °C/h	40 a 60 ± 20 / 4 h

2. Metodología

2.1. Ámbito de aplicación, precisión, exactitud

Este método es aplicable a todos los pesajes que utilicen una balanza mecánica con un solo platillo, una balanza completamente electrónica o una balanza que combine indicadores digitales con el uso de pesas internas (balanza mixta). La precisión depende de la sensibilidad de la balanza y del cuidado ejercitado al hacer los pesajes requeridos. La exactitud alcanzable con este procedimiento depende de la exactitud de la calibración de los patrones de trabajo y de la precisión de la intercomparación.

2.2. Resumen

La balanza se ajusta, si es necesario, para obtener las lecturas de la balanza para todas las mediciones que se encontrarán dentro del rango de la escala óptica o de los indicadores digitales de la balanza sin cambiar el tarado para las pesas internas, si las hubiera. Se pesa el patrón y se pesa la pesa bajo ensayo. Una pesa pequeña, y calibrada, llamada pesa de sensibilidad, se añade a la pesa bajo ensayo y se pesan.

El procedimiento de sustitución simple es el mismo para todas las balanzas mencionadas anteriormente, pero el ajuste de la balanza para la preparación de la intercomparación así como la selección de la pesa de sensibilidad difieren un poco dependiendo de la balanza utilizada. Cuando se requieran pasos específicos para una balanza en particular, éstos se proporcionan en subsecciones del procedimiento identificadas con una a, b, y c junto con el tipo de la balanza.

2.3. Aparatos /equipo requerido

- 2.3.1. Una balanza de precisión con la capacidad y sensibilidad suficientes para las calibraciones planificadas.
- 2.3.2. Patrones de trabajo y pesas de sensibilidad calibrados con valores recientes de calibración trazables al NIST.
- 2.3.3. Patrones pequeños calibrados con valores recientes de calibración trazables al NIST que serán usados como pesas de tara.
- 2.3.4. Pesas sin calibrar que serán utilizadas para ajustar la balanza en el rango de lectura deseado.
- 2.3.5. Pinzas para manipular las pesas o guantes que serán usados si las pesas son movidas con la mano.
- 2.3.6. Cronómetro u otro dispositivo de tiempo para observar el tiempo de cada medición.

- 2.3.7. Un barómetro calibrado con una exactitud de ± 66.5 Pa (0.5 mm Hg) con valores de calibración recientes trazables al NIST para determinar la presión atmosférica.
- 2.3.8. Un termómetro calibrado con una exactitud de ± 0.10 °C con valores de calibración recientes trazables al NIST para determinar la temperatura del aire.
- 2.3.9. Un higrómetro calibrado con una exactitud de ± 10 % con valores de calibración recientes trazables al NIST para determinar la humedad relativa.¹

2.4. Símbolos

Tabla 2. Símbolos utilizados en este procedimiento

Símbolo	Descripción
S	pesa patrón
X	pesa calibrada
t	pequeña pesa de tara calibrada. Un subíndice s o x se utiliza para indicar la pesa mayor con la que está siendo asociada.
sw	pesa pequeña calibrada utilizada para evaluar la sensibilidad de la balanza
M	la masa (masa verdadera) de una pesa específica. Los subíndices s , x , t , sw son utilizados para identificar la pesa (equivale al peso nominal más la corrección).
N	el valor nominal de una pesa específica. Los subíndices s , x , son utilizados para identificar la pesa.
C	la corrección para una pesa específica. Los subíndices s , x , son utilizados para identificar la pesa.
CM	la masa convencional de una pesa específica. Los subíndices s , x , t , sw son utilizados para identificar la pesa.
ρ_a	la densidad del aire en el momento de la calibración
ρ_n	densidad del aire normal (1.2 kg/m^3)
ρ	la densidad de las masas. Los subíndices s , x , t_s , t_x , sw son utilizados para identificar la pesa.

2.5. Procedimiento

2.5.1. Procedimiento preliminar

- 2.5.1.1. Coloque la pesa bajo ensayo y los patrones en la cámara de la balanza o cerca de la balanza para que permanezcan ahí durante

1

El barómetro, termómetro e higrómetro son utilizados para determinar la densidad del aire en el momento de la medición. La densidad del aire se utiliza para hacer una corrección por el empuje del aire. Las exactitudes especificadas se recomiendan para la calibración de alta precisión. Se puede utilizar equipo de menor exactitud resultando en tan sólo una pérdida pequeña de la exactitud general de la medición.

la noche permitiendo que las pesas y la balanza alcancen el equilibrio térmico.

- 2.5.1.2. Realice mediciones preliminares para obtener un valor aproximado de la diferencia entre el patrón y la pesa desconocida, para determinar dónde ocurren las lecturas en la balanza, a fin de determinar si se requieren pesas de tara, determinar qué pesa de sensibilidad debe ser utilizada así como el intervalo requerido para que el indicador de lectura de la balanza se estabilice.

Casi nunca se necesitan pesas de tara para los patrones de masa de alta precisión. Si se requieren pesas de tara, lleve pesas de tara, t_s y t_x , con el patrón y la pesa desconocida, S y X , respectivamente. Las pesas de tara deben ser patrones calibrados con incertidumbres válidas que son evaluadas en el proceso de la determinación de las incertidumbres de la calibración. El patrón y su pesa de tara, $S + t_s$, deberían tener "casi la misma masa" así como la pesa desconocida y su pesa de tara, $X + t_x$. "Casi la misma masa" depende de la balanza que está siendo utilizada (véase la Buena práctica de metrología "GMP" 14, en la Tabla 1). Seleccione t_s y t_x de tal manera que la diferencia en la masa entre $S + t_s$ y $X + t_x$ sea:

- a. Balanza mecánica con un solo platillo: menor que $\frac{1}{10}$ del rango de la escala óptica.
- b. Balanza completamente electrónica: menor que el 0.05 % de la capacidad de la balanza.
- c. Balanza mixta: menor que $\frac{1}{10}$ del rango de los indicadores digitales.

Una pesa de sensibilidad debe ser utilizada en balanzas de brazos iguales, y es normalmente utilizada en balanzas mecánicas con un solo platillo y en balanzas electrónicas, a fin de asegurar que las diferencias determinadas mediante el uso de la escala óptica o el rango electrónico tengan una exactitud y trazabilidad válidas (p. ej., la escala óptica es *calibrada* cada vez que el procedimiento se realiza mediante el uso de una pesa de sensibilidad). La incertidumbre de la pesa de sensibilidad no necesita generalmente ser incluida en los cálculos de la incertidumbre debido a que el valor de la incertidumbre está distribuido a lo largo del intervalo de uso.

Si se utilizará una pesa de sensibilidad, seleccione una que sea (véase la Buena práctica de metrología "GMP" 14, en la Tabla 2):

- a. Balanza mecánica con un solo platillo: entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ del rango de la escala óptica y por lo menos 4 veces la diferencia de masa entre X y S .
- b. Balanza completamente electrónica: por lo menos 4 veces la diferencia de masa entre X y S pero que no sobrepase el 1 % de la capacidad de la balanza.
- c. Balanza mixta: entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ del rango de los indicadores digitales y por lo menos 4 veces la diferencia de masa entre X y S .

2.5.1.3. Determine qué secuencia opcional será utilizada, la A o la B. La secuencia opcional A utiliza el patrón en la balanza para la primera observación y la pesa desconocida en la balanza para la segunda observación y la tercera observación; esto se conoce frecuentemente como la secuencia "SXX". La secuencia opcional B inicia con la pesa desconocida en la balanza para la primera observación y el patrón en la balanza para la segunda observación y la tercera observación; esto se conoce frecuentemente como la secuencia "XSS".

2.5.1.4. Ajuste la balanza de un solo platillo o la balanza mixta de manera que las dos primeras lecturas de la sustitución simple se encuentren en el primer cuarto de la escala óptica o de los indicadores digitales. El ajuste del cero de la balanza y el ajuste de tara pueden ser utilizados. Se pueden colocar pesas pequeñas en el platillo de la balanza para alcanzar el rango de lectura deseado. Estas pesas permanecen en el platillo de la balanza a lo largo del procedimiento de sustitución simple. Una vez que la balanza ha sido ajustada en la posición deseada, no se deben cambiar durante la medición: las perillas de ajuste de la balanza, el ajuste del cero, la tara, ni las pesas pequeñas colocadas en el platillo de la balanza.

2.5.1.5. Si la balanza tiene un mecanismo de frenado para el platillo, detenga el platillo entre cada observación (lectura).

2.5.2. Procedimiento de medición, secuencia opcional A (SXX)

Tabla 3. Secuencia opcional A

Nº. de medición	Pesas en el platillo	Observación (lectura)
1	$S + t_s$	O_1
2	$X + t_x$	O_2
3	$X + t_x + sw$	O_3

Todas las observaciones deberían ser anotadas en formularios de datos adecuados, tales como aquellos presentados en el apéndice. Anote la temperatura ambiente, la presión barométrica y la humedad relativa del laboratorio.

2.5.1.1. Observación 1. Coloque las pesas patrón, S , junto con t_s en el platillo de la balanza. Si la balanza tiene un mecanismo de frenado para el platillo, desarreste el platillo de la balanza. Cuando desarreste el platillo, active el cronómetro y anote la observación O_1 una vez que el indicador de lectura de la balanza se haya estabilizado.

2.5.1.2. Observación 2. Retire la(s) pesa(s) S y t_s y reemplácelas con la pesa bajo ensayo X y su pesa de tara, t_x . Desarreste el platillo de la balanza, tome el tiempo del intervalo y anote la observación O_2 .

2.5.1.3. Observación 3. Añada la pesa de sensibilidad, sw , a las pesas de la observación 2. Desarreste el platillo de la balanza, tome el tiempo del intervalo y anote la observación O_3 .

2.5.1.4. Si se realizan repeticiones de las sustituciones simples, los valores entre las pruebas sucesivas no deberían diferir el uno del otro por más de ± 2 desviaciones estándar de la balanza. Si esta diferencia es mayor, rechace los datos y tome una nueva serie de mediciones que concuerden de esta manera.

2.5.3. Procedimiento de medición, secuencia opcional B (XSS)

Tabla 4. Secuencia opcional B

Nº. de medición	Pesas en el platillo	Observación (lectura)
1	$X + t_x$	O_1
2	$S + t_s$	O_2
3	$S + t_s + sw$	O_3

Las mediciones para la opción B son realizadas de la manera descrita en la opción A excepto que X , S , t_x , y t_s son intercambiadas.

3. Cálculos

- 3.1. No se realiza ninguna corrección por empuje del aire. Calcule la corrección de masa convencional, C_x , para la pesa bajo ensayo de la siguiente manera, conforme a la secuencia opcional utilizada. En cada caso, las correcciones de masa convencional para la(s) pesa(s) patrón, C_s , la masa convencional de las pesas de tara, CM_{t_s} y CM_{t_x} , la masa convencional de la pesa de sensibilidad, CM_{sw} , son incluidas. Los símbolos N_s y N_x se refieren a los valores nominales de S y X , respectivamente. Si no se utilizan las pesas de tara, y se utilizan valores nominales iguales, aquellos términos pueden ser todos cancelados en las ecuaciones.

3.1.1. Secuencia opcional A (SXX)

$$C_x = C_s + CM_{t_s} - CM_{t_x} + (O_2 - O_1) \left[\frac{CM_{sw}}{(O_3 - O_2)} \right] + N_s - N_x$$

3.1.2. Secuencia opcional B (XSS)

$$C_x = C_s + CM_{t_s} - CM_{t_x} + (O_1 - O_2) \left[\frac{CM_{sw}}{(O_3 - O_2)} \right] + N_s - N_x$$

3.2. Corrección por empuje del aire

- 3.2.1. Calcule la densidad del aire, ρ_a , como se describe en el Apéndice del SOP N° 2.

- 3.2.2. Calcule la masa de la pesa bajo ensayo, M_x , y su corrección de masa C_x utilizando la masa de la(s) pesa(s) patrón, las pesas de tara y las pesas de sensibilidad de acuerdo a la secuencia opcional utilizada.

3.2.2.1. Secuencia opcional A (SXX)

$$M_x = \frac{M_s \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_s} \right) + M_{t_s} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{t_s}} \right) - M_{t_x} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{t_x}} \right) + (O_2 - O_1) \left[\frac{M_{sw} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{sw}} \right)}{(O_3 - O_2)} \right]}{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_x} \right)}$$

3.2.2.2. Secuencia opcional B (XSS)

$$M_x = \frac{M_s \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_s} \right) + M_{t_s} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{t_s}} \right) - M_{t_x} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{t_x}} \right) + (O_1 - O_2) \left[\frac{M_{sw} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{sw}} \right)}{(O_3 - O_2)} \right]}{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_x} \right)}$$

3.2.3. Calcule la corrección de masa C_x , de la siguiente manera:

$$C_x = M_x - N_x$$

donde N_x es el valor nominal para X.

3.2.4. Calcule la masa convencional² de X, CM_x . Se recomienda que se informe la masa convencional.

3.2.4.1. Masa convencional

$$CM_x = \frac{M_x \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_x} \right)}{\left(1 - \frac{\rho_n}{8.0} \right)}$$

3.2.5. Si se solicita, se podría calcular la masa aparente contra la densidad de referencia del latón. Este valor debería ser utilizado solamente cuando se calibren balanzas mecánicas que han sido ajustadas con esta densidad de referencia.

3.2.5.1. Masa aparente contra latón

$$AM_{x \text{ contra latón}} = \frac{M_x \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_x} \right)}{\left(1 - \frac{\rho_n}{8.3909} \right)}$$

² La masa convencional: “El valor convencional del resultado de pesar un cuerpo en el aire equivale a la masa de un patrón, de una densidad convencionalmente elegida, a una temperatura convencionalmente elegida, lo que da equilibrio a este cuerpo a esta temperatura de referencia, en aire de densidad convencionalmente elegida”. Las convenciones son: una densidad de referencia de 8.0 g/cm³; una temperatura de referencia de 20 °C; una densidad del aire *normal* de 0.0012 g/cm³. La masa convencional era antiguamente llamada “Masa aparente versus 8.0 g/cm³” en los Estados Unidos de América. Véase OIML IR 33 (1973, 1979), bajo proceso de revisión.

4. Aseguramiento metrológico

- 4.1. Duplique el proceso con un patrón de verificación adecuado (véase GLP 1, SOP 9, SOP 30, y Sec. 7.4).
- 4.2. Trace el valor del patrón de verificación y verifique que se encuentre dentro de los límites establecidos; una prueba t podría ser incorporada para verificar el valor observado contra el valor aceptado.
- 4.3. La media del patrón de verificación se utiliza para evaluar el sesgo y la deriva con el tiempo.
- 4.4. Las observaciones del patrón de verificación se utilizan para calcular la desviación estándar del proceso de medición, s_p .

5. Asignación de la incertidumbre

Los límites de la incertidumbre expandida, U , incluyen estimaciones de la incertidumbre estándar de los patrones de masa utilizados, u_s , estimaciones de la desviación estándar del proceso de la medición, s_p , y estimaciones del efecto de otros componentes asociados con este procedimiento, u_o . Estas estimaciones deberían ser combinadas utilizando el método de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (RSS), y la incertidumbre expandida, U , informada con un factor de cobertura igual a dos ($k = 2$), para darnos aproximadamente un nivel de confianza del 95 por ciento. Véase el SOP 29 para consultar el procedimiento normalizado de operación completo para el cálculo de la incertidumbre.

- 5.1. La incertidumbre expandida para el patrón, U , se obtiene del informe de calibración. Se utiliza la incertidumbre estándar combinada, u_c , y no la incertidumbre expandida, U , por lo tanto, la incertidumbre informada para el patrón usualmente necesitará ser dividida entre el factor de cobertura k .
- 5.2. El valor para s_p se obtiene de los datos del gráfico de control para los patrones de verificación utilizando mediciones de sustitución simple (véase el SOP N°. 9).
- 5.3. Otras incertidumbres estándar usualmente incluyen en este nivel de calibración incertidumbres asociadas con el cálculo de la densidad del aire e incertidumbres estándar asociadas con la densidad de los patrones utilizados.
- 5.4. Evaluación respecto al cumplimiento. La incertidumbre expandida, U , debe ser $\leq 1/3$ de la tolerancia aplicable según ASTM E 617-97 y OIML R 111, si se utilizan declaraciones de cumplimiento.

6. Informe

Informe los resultados como se describe en el SOP N°. 1, Preparación de informes de calibración / ensayos.

Apéndice
Formulario de datos para el método de sustitución simple
(Secuencia opcional A)
SXX

Datos y condiciones del laboratorio:

Operador			
Fecha		Temperatura	
Balanza		Presión	
Carga		Humedad relativa	
Desviación estándar del proceso obtenida del gráfico de control, s_p			

Datos de los patrones de masa:

Id.	Valor nominal	Corrección de masa*	Incert.: Del informe de cal.	Incert.: factor k	Densidad g/cm ³
S					
X					
sw					
t_s					
t_x					

*Corrección de masa = *Masa verdadera* si se utiliza la corrección de empuje. Corrección de masa = *Masa convencional* si NO se utiliza la corrección de empuje. La densidad se utiliza sólo con las correcciones de empuje.

Observaciones:

Nº. de medición	Pesas	Observaciones (lecturas) de la balanza, unidades _____
Hora:		
1 (O_1)	$S + t_s$	
2 (O_2)	$X + t_x$	
3 (O_3)	$X + t_x + sw$	
Hora:		

Aseguramiento metrológico (Duplicación del proceso):

Nº. de medición	Pesas	Observaciones (lecturas) de la balanza, unidades _____
Hora:		
1 (O_1)	$S + t_s$	
2 (O_2)	$S_c + t_{Sc}$	
3 (O_3)	$S_c + t_{Sc} + sw$	
Hora:		

Nota: la raya punteada representa al punto decimal.

Apéndice
Formulario de datos para el método de sustitución simple
(Secuencia opcional B)
XSS

Datos y condiciones del laboratorio:

Operador			
Fecha		Temperatura	
Balanza		Presión	
Carga		Humedad relativa	
Desviación estándar del proceso obtenida del gráfico de control, s_p			

Datos de los patrones de masa:

Id.	Valor nominal	Corrección de masa*	Incert.: Del informe de cal.	Incert.: factor k	Densidad g/cm ³
X					
S					
sw					
t_s					
t_x					

*Corrección de masa = *Masa verdadera* si se utiliza la corrección de empuje. Corrección de masa = *Masa convencional* si NO se utiliza la corrección de empuje. La densidad se utiliza sólo con las correcciones de empuje.

Observaciones:

Nº. de medición	Pesas	Observaciones (lecturas) de la balanza, unidades _____
Hora:		
1 (O_1)	$X + t_x$	
2 (O_2)	$S + t_s$	
3 (O_3)	$S + t_s + sw$	
Hora:		

Aseguramiento metrológico (Duplicación del proceso):

Nº. de medición	Pesas	Observaciones (lecturas) de la balanza, unidades _____
Hora:		
1 (O_1)	$S + t_s$	
2 (O_2)	$S_c + t_{Sc}$	
3 (O_3)	$S_c + t_{Sc} + sw$	
Hora:		

Nota: la raya punteada representa al punto decimal.

Ejemplo: Sin correcciones de empuje
Formulario de datos para el método de sustitución simple
(Secuencia opcional A)
SXX

Datos y condiciones del laboratorio:

Operador	HO		
Fecha	27/8/86	Temperatura	22.6 °C
Balanza	H 20	Presión	751.7 mm Hg
Carga	50 g	Humedad relativa	50 %
Desviación estándar del proceso obtenida del gráfico de control, s_p			0.018 mg

Datos de los patrones de masa:

Id.	Valor nominal	Corrección de masa	Incert.: Del informe de cal.	Incert.: factor k	Densidad g/cm ³
S	50 g	0.255 mg	0.033 mg	3	8.00
X	50 g				7.95
sw	50 mg	-0.084 mg	0.000 85 mg	2	8.5
t_s					
t_x					
S_c	50 g	0.315 mg	0.045 mg	2	8.00

Corrección de masa = *Masa verdadera* si se utiliza la corrección de empuje. Corrección de masa = *Masa convencional* si NO se utiliza la corrección de empuje. La densidad se utiliza sólo con las correcciones de empuje.

Observaciones:

Nº. de medición	Pesas	Observaciones (lecturas) de la balanza, unidades ____mg____
Hora:	3:40 p.m.	
1 (O_1)	$S + t_s$	12 62
2 (O_2)	$X + t_x$	12 51
3 (O_3)	$X + t_x + sw$	62 37
Hora:	3:45 p.m.	

Aseguramiento metrológico (Duplicación del proceso):

Nº. de medición	Pesas	Observaciones (lecturas) de la balanza, unidades ____mg____
Hora:	3:50 p.m.	
1 (O_1)	$S + t_s$	12 67
2 (O_2)	$S_c + t_{Sc}$	12 73
3 (O_3)	$S_c + t_{Sc} + sw$	62 60
Hora:	3:55 p.m.	

Nota: la raya punteada representa al punto decimal.

Cálculo de la masa convencional

Utilice la ecuación 3.1.1 para la secuencia opcional A (SXX) sin correcciones de empuje³:

Debido a que no se utilizaron pesas de tara y a que se utilizaron valores nominales iguales, la ecuación puede ser simplificada de la siguiente manera:

$$C_x = C_s + (O_2 - O_1) \left[\frac{CM_{sw}}{(O_3 - O_2)} \right]$$

$$C_x = 0.255 \text{ mg} + (12.51 - 12.62) \left[\frac{49.916 \text{ mg}}{(62.37 - 12.51)} \right]$$

$$C_x = 0.255 \text{ mg} + (-0.110124) \text{ mg}$$

$$C_x = 0.144876 \text{ mg}$$

Cálculo de la incertidumbre

Calcule la incertidumbre para la calibración:

$$U = u_c * 2$$

$$u_c = \sqrt{u_s^2 + s_p^2 + u_o^2}$$

La incertidumbre para el patrón encontrada en el informe de calibración (o formulario de datos) debe ser dividida entre el factor k para determinar la u_s . Consulte el SOP N°. 29 para el uso de múltiples patrones. Una incertidumbre adicional que resulta de no realizar la corrección por el empuje del aire puede ser determinada utilizando la magnitud de la corrección por el empuje del aire del SOP N°. 2.

$$u_c = \sqrt{(0.011)^2 + (0.018)^2 + (0.0010)^2}$$

$$u_c = 0.0213307 \text{ mg}$$

$$U = 0.0213307 * 2 = 0.0426615 \text{ mg}$$

Declaración de la incertidumbre

La incertidumbre informada es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la incertidumbre estándar del patrón, la desviación estándar del proceso y un error sistemático sin corrección por la falta de correcciones de empuje, multiplicada por un factor de cobertura igual a 2 ($k = 2$) para obtener un intervalo de confianza del 95 por ciento aproximadamente. Los factores que no se incluyen en la evaluación son: el magnetismo (se considera que las pesas cumplen con las especificaciones magnéticas a menos que se noten aberraciones en la medición), el

³ Tenga en mente que estas ecuaciones pueden ser truncadas para efectos de este ejemplo y que puede que se vean pequeñas diferencias en los últimos lugares decimales debido al uso de calculadoras u hojas de cálculo.

descentramiento y la linealidad de la balanza (estos factores son considerados como parte del proceso de la medición cuando se obtiene la desviación estándar del proceso).

Evaluación del cumplimiento

Puede que usted necesite evaluar la corrección de masa convencional y su incertidumbre correspondiente para determinar si una pesa se encuentra o no dentro de las tolerancias especificadas. La magnitud de la incertidumbre expandida tiene que ser menor que 1/3 de la tolerancia para ser capaz de realizar esa evaluación, según las normas documentales ASTM E 617-97 y OIML R111.

Carga = 50 g

ASTM E 617		OIML R111	
Clase	Tolerancia (mg)	Clase	Tolerancia (mg)
1	0.12	E ₂	0.10
2	0.25	F ₁	0.30

Si vemos lo que sería el triple del valor de la incertidumbre expandida calculada: $0.043 \text{ mg} \times 3 = 0.129 \text{ mg}$, nos damos cuenta de que la incertidumbre cumple con la regla de 1/3 conforme a la clase 2 de ASTM y a la clase F₁ de OIML, pero no a la clase 1 de ASTM ni a la clase E₂ de OIML.

Luego, el valor de la pesa se considera a estar dentro de la tolerancia cuando el valor absoluto de su error más su incertidumbre no sobrepasa la tolerancia establecida para la clase de pesa en cuestión.

Valor e incertidumbre: $0.145 \text{ mg} \pm 0.043 \text{ mg}$.

$0.145 \text{ mg} + 0.043 \text{ mg} = 0.188 \text{ mg}$ (límite superior del valor o barra de error si se grafica)

$0.145 \text{ mg} - 0.043 \text{ mg} = 0.102 \text{ mg}$ (límite inferior del valor o barra de error si se grafica)

Podemos observar que la corrección de 0.145 se encuentra dentro de estos límites: $0.102 \leq C_x \leq 0.188$, por lo tanto, el valor también cumple con la clase 2 de ASTM y la clase F₁ de OIML, y se puede incluir una declaración de cumplimiento en el informe de calibración.

Informes

La corrección de masa convencional y la incertidumbre son informadas de la siguiente manera:

$$C_x = 0.145 \text{ mg} \pm 0.043 \text{ mg}$$