

SOP N°.8

**Procedimiento normalizado de operación recomendado
para la
Calibración, con un grado de exactitud media, de patrones de masa
por medio del
procedimiento de sustitución modificada**

1. Introducción

- 1.1. Este SOP describe procedimientos a seguir para determinar si patrones de masa se encuentran o no dentro de las tolerancias especificadas para una clase de patrones en particular (p. ej., clase F del NIST, clases 5, 6 y 7 de ASTM o clases M_1 , M_2 y M_3 de OIML) donde la incertidumbre es mucho más pequeña que la aplicación de la tolerancia. Los procedimientos descritos permiten al metrólogo informar que las pesas bajo ensayo fueron comparadas contra un patrón de referencia y presentar los resultados en un formulario de informe del laboratorio. La comparación es importante porque las pesas internas de una balanza no representan patrones de laboratorio a menos que éstas hayan sido oficialmente calibradas. Si una ley del Estado o alguna otra regulación requiere que pesas de campo sean comparadas contra los patrones (o patrones de referencia) del Estado, este procedimiento puede ser utilizado para cumplir con este requisito. Este procedimiento es adecuado para realizar una calibración cuando se requiera una exactitud moderada y no elimina 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. La incertidumbre expandida con este procedimiento debe ser $\leq 1/3$ de la tolerancia aplicable según las normas ASTM y OIML. Si las proporciones de incertidumbre a tolerancia son mayores de las recomendadas, se prefiere el uso del SOP 7 (sustitución simple) o del SOP 4 (doble sustitución).

Nota: Si usted utiliza el SOP 8, lo más probable es que esté utilizando patrones de trabajo que son equivalentes a las pesas de su cliente. Si éste es el caso, los patrones de trabajo deberían tener un nivel de calibración mayor que las pesas que están siendo calibradas con ellos. Por lo tanto, necesitará una mejor balanza y procedimiento para calibrar sus patrones de trabajo que los utilizados para calibrar las pesas de su cliente.

1.2. Requisitos esenciales

- 1.2.1. Verificar que hay valores de calibración válidos disponibles para los patrones utilizados en el ensayo.
- 1.2.2. Verificar que los patrones de trabajo 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 la 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 7, SOP 8, SOP 29 y la Buena práctica de metrología (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 (%) |
|-------|---------------------------------------|----------------------|
| 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 todas las calibraciones de masa (pruebas de tolerancia) de niveles más bajos siempre y cuando se puedan cumplir los requisitos de incertidumbre. La precisión que se puede lograr utilizando este procedimiento es adecuada, siempre y cuando la incertidumbre expandida de la medición no sea mayor de un tercio de la tolerancia permitida del patrón de masa bajo ensayo. 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 masa bajo ensayo se compara con un patrón de trabajo calibrado por medio de un procedimiento de sustitución modificada. La comparación puede realizarse mediante el uso de una balanza de un solo platillo, una balanza de brazos iguales o una balanza completamente electrónica. El patrón de referencia se coloca en la balanza para obtener un punto de referencia conveniente y se realiza una prueba de sensibilidad. El error (una desviación del valor nominal) de la pesa bajo ensayo se determina al comparar su lectura con la lectura obtenida para el patrón de referencia. Una 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 esa clase particular de pesa.

2.3. Aparatos /equipo requerido

- 2.3.1. Una balanza de un solo platillo, una balanza de brazos iguales o una balanza completamente electrónica con la capacidad suficiente para la carga bajo ensayo y con una resolución igual o menor a un décimo de la tolerancia aceptable bajo ensayo.
- 2.3.2. Los patrones de masa calibrados con una incertidumbre expandida igual o menor a un décimo de la tolerancia bajo ensayo. Los valores de calibración deben ser trazables al NIST.
- 2.3.3. Pesas de sensibilidad calibradas.

- 2.3.4. Contrapesos sin calibrar, T , de aproximadamente la misma masa que las pesas patrón (para la opción C).

2.4. Procedimiento - opción A

Uso de una balanza con un solo platillo

- 2.4.1. Seleccione un patrón de referencia con el mismo valor nominal que la pesa bajo ensayo. Coloque el patrón en el platillo de la balanza. Ajuste la lectura de la escala óptica (véase la Buena práctica de metrología (GMP) N°. 4) a aproximadamente la mitad de la escala utilizando pesas de tara sin calibrar y los controles para el ajuste del cero de la balanza, tanto el grueso como el preciso. Este ajuste no debe ser modificado durante una secuencia de mediciones. Anote la lectura como O_1 .
- 2.4.2. Añada una pesa de sensibilidad que equivalga aproximadamente a un cuarto de la escala de lectura completa y anote la lectura como O_2 .
- 2.4.3. Calcule el valor de una división de la escala utilizando la ecuación presentada en la sección 3.2. Si éste se encuentra dentro de $\pm 2 \%$ del valor nominal (caso usual) el valor nominal de una división puede ser utilizado para la evaluación de la tolerancia.
- 2.4.4. Retire la pesa de sensibilidad y ajuste la escala óptica para considerar el valor corregido del patrón utilizado.

Ejemplo: Suponga que el rango nominal de la escala óptica es 100 mg y que el patrón de referencia tiene una corrección de -2.5 mg. La escala óptica se ajusta para leer 47.5 mg cuando el patrón se encuentra colocado en el platillo de la balanza. Bajo esta condición, la lectura de 50.0 mg representa la masa nominal del patrón de referencia.

- 2.4.5. Retire el patrón.
- 2.4.6. Coloque la pesa a evaluar en el platillo de la balanza, lea la escala óptica y anote la lectura como X_n . El error en la pesa es la magnitud por la cual la indicación se desvía del punto medio de la escala de lectura. Si la indicación de la pesa es mayor que el valor del punto medio de la escala, la diferencia indicada equivale al sobrepeso de la pesa; si la indicación es menor que el valor del punto medio de la escala, la pesa es más ligera.
- 2.4.7. Después de que varias pesas han sido evaluadas (no más de 10), coloque el patrón en el platillo de la balanza y anote la lectura. La diferencia encontrada entre esta indicación y la indicación anterior para el patrón indica una deriva de la balanza. Normalmente, esta deriva será muy pequeña. Si la deriva sobrepasa el 10 % de la tolerancia aplicable a las pesas bajo ensayo o si afecta un resultado de la medición al grado de que una pesa podría estar fuera de tolerancia, se debería repetir la medición y se deberían realizar revisiones del patrón con mayor frecuencia o se debería utilizar un procedimiento más apropiado.
- 2.4.8. Reajuste la escala óptica en cualquier momento que se observe una diferencia significativa al volver a revisar el peso de un patrón.

- 2.4.9. Calcule la corrección de masa para las pesas desconocidas utilizando la ecuación apropiada en la sección 3.

2.5. Procedimiento - opción A₁

Uso de una balanza con un solo platillo

- 2.5.1. Seleccione un patrón de referencia con el mismo valor nominal que la pesa bajo ensayo. Coloque el patrón en el platillo de la balanza. Ajuste la lectura de la escala óptica (véase la Buena práctica de metrología (GMP) N°. 4) a la mitad de la escala utilizando pesas de tara sin calibrar y los controles para el ajuste del cero de la balanza, tanto el grueso como el preciso. Este ajuste no debe ser modificado durante una secuencia de mediciones. Anote la lectura como O_1 .
- 2.5.2. Añada una pesa de sensibilidad que equivalga aproximadamente a un cuarto de la escala de lectura completa y anote la lectura como O_2 .
- 2.5.3. Calcule el valor de una división de la escala utilizando la ecuación presentada en la sección 3.2. Si la sensibilidad se encuentra dentro de ± 2 % del valor nominal (caso usual) de la división de la escala, el valor nominal de una división podría ser utilizado.
- 2.5.4. Si la indicación ha cambiado de aquella establecida en la sección 2.5.1, retire la pesa de sensibilidad y reajuste la escala óptica para obtener una indicación a media escala.
- 2.5.5. Retire el patrón.
- 2.5.6. Coloque la pesa a evaluar en el platillo de la balanza, lea la escala óptica y anote la indicación como X_n . El error en la pesa es la magnitud por la cual la indicación se desvía del punto medio de la escala de lectura. Si la indicación de la pesa es mayor que el valor del punto medio de la escala, la pesa es más pesada que el patrón por una magnitud equivalente a la diferencia indicada; si la indicación es menor que el valor del punto medio de la escala, la pesa es más ligera que el patrón.
- 2.5.7. Después de que varias pesas han sido evaluadas (no más de 10 sin volver a revisar el peso del patrón), coloque el patrón en el platillo de la balanza y anote la lectura. La diferencia encontrada entre esta indicación y la indicación anterior para el patrón indica una deriva de la balanza. Normalmente, esta deriva será muy pequeña. Si la deriva sobrepasa el 10 % de la tolerancia aplicable a las pesas bajo ensayo o si afecta un resultado de la medición al grado de que una pesa podría estar fuera de tolerancia, se debería repetir la medición y se deberían realizar revisiones del patrón con mayor frecuencia o se debería utilizar un procedimiento más apropiado.
- 2.5.8. Reajuste la escala óptica en cualquier momento que se observe una diferencia significativa al volver a revisar el peso de un patrón.
- 2.5.9. Calcule la corrección de la pesa desconocida utilizando la ecuación:

$$C_x = C_s + (X_n - O_1).$$

2.6. Procedimiento - opción B

Uso de una balanza completamente electrónica

- 2.6.1. Seleccione un patrón de referencia con el mismo valor nominal que la pesa bajo ensayo. Coloque el patrón en el platillo de la balanza. Ajuste el cero de la balanza y anote la lectura como O_I .
- 2.6.2. Añada una pesa de sensibilidad calibrada ($sw \geq$ el doble de la tolerancia pero que no sobrepase el 1 % de la capacidad de la balanza) y anote la lectura como O_2 . Verifique si la división de la escala nominal se encuentra o no dentro de ± 2 % del valor nominal de la división de la escala utilizando la ecuación en la sección 3.2. En caso afirmativo, el valor nominal de la división de la escala podría ser utilizado.
- 2.6.3. Retire la pesa de sensibilidad y ajuste el cero de la balanza para que las diferencias de peso, d , puedan ser leídas directamente de las indicaciones de la balanza.
- 2.6.4. Retire todas las pesas del platillo de la balanza.
- 2.6.5. Coloque la pesa bajo ensayo en el platillo de la balanza. Anote la lectura como X_n .
- 2.6.6. Después de que varias pesas han sido evaluadas (no más de 10 sin volver a revisar el peso del patrón), vuelva a revisar el ajuste del cero de la balanza como se indicó en la sección 2.5.3 y anote la lectura. La diferencia encontrada entre esta indicación y la indicación anterior para el patrón indica una deriva de la balanza. Normalmente, esta deriva será pequeña. Si la deriva sobrepasa el 10 % de la tolerancia aplicable a las pesas bajo ensayo o si afecta un resultado de la medición al grado de que una pesa podría estar fuera de tolerancia, se debería repetir la medición y se deberían realizar revisiones del patrón con mayor frecuencia o se debería utilizar un procedimiento más apropiado.
- 2.6.7. Reajuste el cero de la balanza en cualquier momento que se observe una diferencia significativa al volver a revisar el peso de un patrón.
- 2.6.8. Calcule la corrección de masa para cada pesa utilizando la ecuación:

$$C_x = C_s + (X_n - O_I) = C_s + X_n \text{ (cuando se ajusta el cero para } O_I)$$

2.7. Procedimiento - opción C

Uso de una balanza de brazos iguales

- 2.7.1. Seleccione un patrón de referencia con el mismo valor nominal que la pesa bajo ensayo. Coloque el patrón en el platillo izquierdo de la balanza junto con pequeñas pesas calibradas que equivalgan a la corrección requerida para el patrón, siempre y cuando éste sea ligero. Si (y sólo si) el

patrón es pesado, no haga nada más a partir de este punto pero siga las instrucciones presentadas en la sección 2.6.4. Añada suficiente contrapeso al platillo derecho de la balanza para obtener una suma de los puntos de retorno aproximadamente igual al doble del valor del punto medio de la escala. Si es necesario, enumere la escala graduada de tal manera que el añadir pesas al platillo izquierdo aumente la lectura de la balanza. Anote la suma de los puntos de retorno como O_1 .

- 2.7.2. Añada una pesa de sensibilidad calibrada apropiada al platillo izquierdo de la balanza y anote la suma de los puntos de retorno como O_2 . Calcule la sensibilidad,

$$sensitividad = \frac{CM_{sw}}{(O_2 - O_1)}$$

donde CM_{sw} es la masa convencional de la pesa de sensibilidad.

- 2.7.3. Retire todas las pesas del platillo izquierdo de la balanza.

- 2.7.4. Coloque la pesa bajo ensayo en el platillo izquierdo de la balanza. Si el patrón utilizado en la sección 2.6.1 era pesado, añada pesas de corrección pequeñas al platillo izquierdo de la balanza, equivalentes a la corrección requerida para el patrón. Añada pequeñas pesas de tara calibradas ya sea en el platillo izquierdo o derecho de la balanza, según sea requerido, para obtener un equilibrio aproximado y anote la suma de los puntos de retorno como X_n .

- 2.7.5. Calcule la corrección de masa de la pesa bajo ensayo de la siguiente manera.

- 2.7.5.1. Si se añaden, las pesas de tara se colocan en el platillo izquierdo de la balanza (t_x).

$$C_x = (X_n - O_1) \left[\frac{CM_{sw}}{(O_2 - O_1)} \right] - CM_{t_x}$$

- 2.7.5.2. Si se añaden, las pesas de tara se colocan en el platillo derecho de la balanza (t_s)

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

- 2.7.6. Después de que varias pesas han sido evaluadas (no más de 10 sin volver a revisar el peso del patrón), vuelva a revisar el punto de retorno O_1 , como se describió en la sección 2.6.1. Sólo se debería observar una pequeña diferencia. Si la diferencia sobrepasa el 2 % de la suma de los puntos de retorno en O_1 , se debería repetir la medición y se deberían realizar revisiones del patrón con mayor frecuencia o se debería utilizar un procedimiento más apropiado.

2.8. Evaluación de la tolerancia

- 2.8.1. Compare la corrección más la incertidumbre expandida de la pesa bajo ensayo con la tolerancia para la clase de pesas a la que ésta corresponde. Si el valor absoluto de la corrección más la incertidumbre expandida es numéricamente más pequeño que la tolerancia, la pesa se considera a estar dentro de los límites de tolerancia. Si la corrección es mayor que el valor permitido, la pesa se considera fuera de los límites de tolerancia y deberían tomarse las acciones apropiadas. Se recomienda que las pesas cuyo valor absoluto de la corrección sobrepase el 75 % del límite de tolerancia sean ajustadas.

Tabla 2. Ejemplo de la secuencia de pesaje

| Nº. de medición | Pesas en el platillo | Observación (lectura) |
|-----------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | S | O_1 |
| 2 | $S + sw$ | O_2 |
| 3 | S | O_3 |
| 4 | X_1 | O_4 |
| 5 | X_2 | O_5 |
| 6 | X_3 | O_6 |
| 7 | X_4 | O_7 |
| 8 | X_5 | O_8 |
| 9 | X_6 | O_9 |
| 10 | X_7 | O_{10} |
| 11 | X_8 | O_{11} |
| 12 | X_9 | O_{12} |
| 13 | S_c | O_{13} |
| 14 | S | O_{14} |

3. Cálculos

- 3.1. Por lo general, *no* se realizan correcciones por el empuje del aire con el método de la sustitución modificada. 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, se incluyen las correcciones de masa convencional para la(s) pesa(s) patrón.

Tabla 3. Símbolos utilizados

| Símbolo | Descripción |
|---------|----------------------------------|
| CM_i | masa convencional de la pesa i |
| N_s | valor nominal de S |
| N_x | valor nominal de X |

- 3.2. Evalúe la sensibilidad de la balanza:

$$sensitividad = \frac{CM_{sw}}{(O_2 - O_1)}$$

Si el error de sensibilidad es menor que el 2 % del valor nominal de una división en la escala óptica o en el rango electrónico de operación, continúe con el procedimiento de sustitución modificada. Si el error de sensibilidad es mayor, el SOP 7, procedimiento de sustitución simple, podría ser aceptable.

- 3.3. Calcule la corrección de masa de cada pesa desconocida de la siguiente manera si la corrección para el patrón NO SE utiliza en la determinación de un punto de referencia en la balanza:

$$C_x = C_s + d$$

$$C_x = C_s + (X_n - O_I)$$

Nota: si se utiliza una balanza electrónica y se ajusta el cero con el patrón colocado en la balanza, O_I es "0" y d se convierte en la lectura de la balanza X_n .

- 3.4. Calcule la corrección de masa de cada pesa desconocida de la siguiente manera si la corrección para el patrón SÍ se utiliza en la determinación de un punto de referencia nominal en la balanza:

$$C_x = (X_{lectura\ de\ la\ balanza} - N_{punto\ de\ referencia\ nominal})$$

Nota: en este caso, el patrón y su corrección se utilizan para *establecer* artificialmente un punto de referencia nominal perfecto para ser utilizado en la comparación de las pesas desconocidas.

- 3.5. Si se utilizan pesas de tara y valores nominales distintos, utilice la siguiente ecuación para modificar la de la sección 3.3:

$$C_x = C_s + CM_{ts} - CM_{tx} + (X_n - O_I) + N_s - N_x$$

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 N°. 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. Desviación estándar del proceso de medición obtenida del rendimiento del gráfico de control (véase el SOP N°. 9). El valor para s_p se obtiene de los datos del gráfico de control para los patrones de verificación utilizando mediciones de sustitución modificada.
- 5.3. Otras incertidumbres estándar usualmente incluidas en este nivel de calibración incluyen incertidumbres asociadas con la ausencia de correcciones de empuje y pueden ser determinadas utilizando la ecuación presentada en el SOP N°. 2 para la magnitud de la corrección por el empuje del aire. Las correcciones de empuje no son generalmente necesarias en el nivel de incertidumbre para el que este procedimiento fue diseñado.
- 5.4. La incertidumbre expandida, U , debe ser $\leq 1/3$ de la tolerancia aplicable según ASTM E617-97 y OIML R111.

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 modificada

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. expandida: Del informe de cal. | Incert.: factor k | Densidad g/cm ³ |
|-------|---------------|---------------------|---|----------------------|-------------------------------|
| S | | | | | |
| X | | | | | |
| sw | | | | | |
| t_x | | | | | |
| t_s | | | | | |
| | | | | | |

*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 observación | Pesas | Observaciones (lecturas) de la balanza, unidades | |
|---|----------|--|--|
| Hora: | | | |
| 1 (O_1) | S | | |
| 2 (O_2) | $S + sw$ | | |
| ¿Error < 2 % de la escala óptica o del rango electrónico? Sí No | | | |
| 3 (O_3) | S | | |
| 4 (O_4) | X_1 | | |
| 5 (O_5) | X_2 | | |
| 6 (O_6) | X_3 | | |
| 7 (O_7) | S_c | | |
| 8 (O_8) | S | | |
| Hora: | | ¿Deriva < 1/10 Tol. ? : Sí No | |

Este procedimiento se puede utilizar para evaluar hasta 10 pesas desconocidas si la deriva es menor de 1/10 de la tolerancia.

Apéndice

Formulario de datos para el método de sustitución modificada

Datos y condiciones del laboratorio:

| | | | |
|--|---------------------|------------------|------------|
| Operador | GH | | |
| Fecha | 30/9/96 | Temperatura | 22.5 °C |
| Balanza | PM 2000 MC (2300 g) | Presión | 747.5 mmHg |
| Carga | 5 lb | Humedad relativa | 45 % |
| Desviación estándar del proceso obtenida del gráfico de control, s_p | | | 0.85 mg |

Datos de los patrones de masa:

| Id. | Valor nominal | Corrección de masa | Incert. expandida: Del informe de cal. | Incert.: factor k | Densidad g/cm ³ |
|-------|---------------|--------------------|---|----------------------|-------------------------------|
| S | 5 lb | 7.5 mg | 0.50 mg | 3 | 7.85 |
| X | 5 lb | | | | 7.85 |
| sw | 5 g | 0.000 002 g | | | |
| t_x | Ninguno | | | | |
| t_s | Ninguno | | | | |
| S_c | 5 lb | 2.4 mg | 0.73 mg | 2 | 7.95 |

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 observación | Pesas | Observaciones (lecturas) de la balanza, unidades 0.001 g |
|--|----------|--|
| Hora: 11:00 a.m. | | |
| 1 (O_1) | S | 0000 |
| 2 (O_2) | $S + sw$ | 4999 |
| ¿Error < 2 % de la escala óptica o del rango electrónico? Sí No | | |
| 3 (O_3) | S | 0000 |
| 4 (O_4) | X_1 | 0205 |
| 5 (O_5) | X_2 | 0104 |
| 6 (O_6) | X_3 | - 0089 |
| 7 (O_7) | S_c | - 0005 |
| 8 (O_8) | S | 0003 |
| Hora: 11:20 a.m. | | ¿Deriva < 1/10 Tol. ? : Sí No |

Este procedimiento se puede utilizar para evaluar hasta 10 pesas desconocidas si la deriva es menor de 1/10 de la tolerancia.

Las pautas de sensibilidad indican una pesa de sensibilidad, mayor o igual al doble de la tolerancia (460 mg) pero que no sobrepasa el 1 % de la capacidad de la balanza (23 g). Para una carga de 5 lb, la tolerancia para la clase F es de 230 mg, por lo tanto, se seleccionó una pesa de 5 g.

Un error de sensibilidad del 2 % en un rango de 5 gramos permitiría lecturas entre 4.900 g y 5.100 g en la prueba de sensibilidad. Calcule la sensibilidad:

$$\text{sensibilidad} = \frac{5.000\,002\text{ g}}{4.999\text{ div}} = 1.000\,200\,4\text{ g/div}$$

que tiene una desviación menor al 2 % del valor nominal de una división.

La deriva observada fue de 3 mg y es menor de 1/10 de la tolerancia y se podrían permitir 23 mg, por lo tanto, el error para cada pesa nominal podría ser calculado de la siguiente manera.

$$C_{x_1} = 7.5\text{ mg} + (205\text{ mg} - 0) = 212.5\text{ mg}$$

$$C_{x_2} = 7.5\text{ mg} + (104\text{ mg} - 0) = 111.5\text{ mg}$$

$$C_{x_3} = 7.5\text{ mg} + (-89\text{ mg} - 0) = -81.5\text{ mg}$$

$$C_{Sc} = 7.5\text{ mg} + (-5\text{ mg} - 0) = 2.5\text{ mg}$$

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 debe ser dividida entre el factor k para el patrón y la pesa de tara para determinar la u_s de cada uno de ellos. La 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. Debido a que el patrón de trabajo fue previamente calibrado con correcciones de empuje y es la misma densidad que la de las pesas desconocidas, la incertidumbre para la corrección de empuje se cancela en la ecuación.

$$u_c = \sqrt{(0.167)^2 + (0.85)^2}$$

$$u_c = 0.866\,19\text{ mg}$$

$$U = 0.866\,19 * 2 = 1.732\,38\text{ mg}$$

La incertidumbre expandida es menor de 1/3 de la tolerancia (76 mg) así que las pesas desconocidas pueden ser informadas a estar “dentro de los límites de tolerancia” o se pueden informar los valores y las incertidumbres. El valor más la incertidumbre para la primera pesa desconocida X_1 se encuentra dentro del 25 % de la tolerancia para la clase F, por lo tanto, sería beneficioso ajustar el peso para que estuviera más próximo al valor nominal, aunque tomando las tolerancias e incertidumbres como base se puede declarar como una pesa “dentro de los límites de tolerancia”.