

**GUÍA TÉCNICA SOBRE
TRAZABILIDAD E INCERTIDUMBRE
EN LOS SERVICIOS DE
CALIBRACIÓN DE BALANZAS DE
PRESIÓN**

México, Revisión 1, Abril de 2008

Derechos reservados ©

PRESENTACIÓN

Para asegurar la uniformidad y validez técnica de la expresión de la trazabilidad de las mediciones y de la estimación de la incertidumbre de las mismas, la entidad mexicana de acreditación, a. c., solicitó al Centro Nacional de Metrología la revisión y elaboración de Guías Técnicas sobre Trazabilidad e Incertidumbre de las Mediciones.

Los Subcomités de evaluación de Laboratorios Acreditados de Calibración y de Ensayo de la entidad mexicana de acreditación se incorporaron a este proyecto transmitiendo sus conocimientos y experiencias relacionados con la trazabilidad e incertidumbre de sus mediciones.

El Centro Nacional de Metrología coordinó la elaboración de las Guías, proponiendo criterios técnicamente sustentados, procurando que las opiniones de los Subcomités fueran apropiadamente consideradas y asegurando la coherencia de las mismas con otros documentos técnicos de referencia.

Las Guías Técnicas de Trazabilidad e Incertidumbre de las Mediciones observan lo establecido en documentos de referencia conocidos ampliamente en la comunidad internacional, en los cuales se fundamentan las políticas de Trazabilidad e Incertidumbre de la entidad mexicana de acreditación.

Las Guías aportan criterios técnicos que sirven de apoyo a la aplicación de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006. La coherencia de las Guías con esta norma y con otros documentos de referencia, contribuye a asegurar la confiabilidad y uniformidad de las mediciones que realizan los laboratorios acreditados.

Abril de 2008.

Dr. Héctor O. Nava Jaimes

María Isabel López Martínez

Director General
Centro Nacional de Metrología

Directora Ejecutiva
entidad mexicana de acreditación, a. c.

AGRADECIMIENTOS

La entidad mexicana de acreditación expresa su reconocimiento al Fondo de Apoyo para la Micro, Pequeña y Mediana Empresa (FONDO PYME), auspiciado por la Secretaría de Economía, por haber proporcionado los recursos financieros para la elaboración de este documento, mediante el proyecto aprobado con folio FP2007-1605 de nombre “Elaboración de guías técnicas sobre trazabilidad e incertidumbre para la medición que permitan el fortalecimiento del Sistema Nacional de Acreditación de Laboratorios de Ensayo y Calibración” y por este medio hace patente su sincero reconocimiento y agradecimiento a la Secretaría de Economía, a la Subsecretaría para la Pequeña y Mediana Empresa, a la Dirección General de Desarrollo Empresarial y Oportunidades de Negocio, y a los profesionales que aportaron su tiempo y conocimiento en su desarrollo, destacando a los responsables de la elaboración:

GRUPO DE TRABAJO

Grupo de Trabajo que participó en la elaboración de la versión 2004 de esta Guía

Louis Buehler, Walter,
Mendiola Ortiz, Francisco,
Santander Romero, Luis Antonio,
Torres Guzmán, Jorge C.,
Villeda Rubín, Roberto Luis,

Caltechnix, S.A de C.V.
Metrotecnica

CENAM
Calpro, S.A. de C.V.

Grupo de Trabajo que participó en la actualización de esta Guía:

Flores Nora
Cedillo López Francisco Javier
Lugo Talavera Mariano
Medrano Alejandro
Jacobó David
Sevilla José Ángel
Lazos Martínez Rubén
Torres Guzmán Jorge C.
Olvera Arana Pablo

Caltechnix, S.A de C.V.
Calpro, S.A. de C.V.
Ciateq
Ciateq
CFE-LAPEM
Grupo Simca, S. A. de C. V.
CENAM
CENAM
CENAM

ÍNDICE

PRESENTACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS	3
GRUPO DE TRABAJO	3
ÍNDICE	4
1. PROPÓSITO DE LA GUÍA TÉCNICA	5
2. ALCANCE DE LA GUÍA TÉCNICA	5
3. TERMINOLOGÍA	6
4. REQUISITOS METROLÓGICOS	11
5. REQUISITOS TÉCNICOS.....	15
6. CONTROLES METROLÓGICOS	17
7. COMPETENCIA TÉCNICA DEL PERSONAL.....	18
8. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y CALIFICACIÓN DE EQUIPOS	19
9. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES.....	20
10. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN	24
11. VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN	28
12. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN	29
13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
ANEXO A MÉTODOS DE PRUEBA.....	32

1. PROPÓSITO DE LA GUÍA TÉCNICA

Establecer criterios y requisitos en la aplicación de la técnica de flotación cruzada para la calibración de balanzas de presión a fin de lograr calibraciones con trazabilidad e incertidumbre confiables.

Esta guía es una recomendación del subcomité de presión, temperatura y humedad de la ema (sin ser un documento normativo) y cualquier modificación deberá analizarse por el cuerpo colegiado correspondiente.

Esta guía establece los requisitos mínimos que debe de cumplir el laboratorio que pretenda realizar los servicios aquí indicados.

El proceso de evaluación del laboratorio no es una asesoría y por lo tanto el evaluado es responsable de demostrar que satisface sistemáticamente los requisitos para ofrecer servicios de calibración técnicamente válidos y trazables.

Proporcionar información de los requisitos normativos para balanzas de presión, de acuerdo a recomendaciones internacionales.

Esta guía técnica de trazabilidad e incertidumbre no sustituye sino pretende facilitar la aplicación de las normas NMX-EC-17025-IMNC-2006, NMX-CH-140-IMNC-2002.

2. ALCANCE DE LA GUÍA TÉCNICA

Esta guía establece los requisitos mínimos para la calibración de balanzas de presión contra otra balanza de presión patrón por el método de flotación cruzada con el fin de garantizar la trazabilidad y uniformidad en la estimación de la incertidumbre de calibración.

Dado que no existen normas mexicanas, ni internacionales se toma como referencia la siguiente recomendación internacional:

- ◆ OIML R 110 International Recommendation, Pressure Balances, Organisation Internationale de Métrologie Légale.

Los requisitos establecidos en los puntos 4, 5 y 6 no son obligatorios para los laboratorios de calibración, pues el objetivo de la guía es para servicios de calibración no de verificación o aprobación de modelo, a menos que se indique que se debe cumplir para propósitos de calibración.

3. TERMINOLOGÍA

La terminología empleada en esta guía es acorde con el Vocabulario internacional de términos básicos y generales en metrología. Además, para propósitos de esta guía se definen los siguientes términos.

3.1 Mensurandos Objetivo

- a) Para balanzas de alta exactitud el mensurando se define como el área efectiva del ensamble pistón cilindro.
- b) Para balanzas de presión tipo industrial se define el mensurando como el error en la presión generada en la balanza.

3.2 Intervalo Típico de Medición

El límite superior de medición quedará acotado por la capacidad de los equipos, sin embargo el límite inferior típicamente se establece al 10 % del alcance de medición.

3.3 Incertidumbre de Medición Esperada

La incertidumbre resultante no podrá ser menor que la incertidumbre de los patrones asociados en la calibración.

Por lo general no se evalúa la conformidad con alguna especificación debido a que el objetivo es calibración, no verificación.

3.4 Método y Sistema de Medición

Se entiende que el resultado de una medición, el cual incluye la expresión de su incertidumbre, depende de diversos elementos, entre otros de un sistema de medición, el cual incluye equipos e instrumentos para medir; las condiciones del laboratorio o del sitio donde se realiza la medición; el método de medición que se utiliza para llevarla a cabo y la competencia del personal que la realice.

3.5 Método de Medición Aplicado

Flotación cruzada: Método de calibración entre dos balanzas de presión conectadas entre sí.

3.6 Características Metrológicas de una Balanza de Presión

3.6.1 Alcance de medición

Alcance de medición de una balanza de presión.

3.6.1.1 Límite superior del alcance de medición (Pmax). Máxima presión que se puede medir.

3.6.1.2 Límite inferior de medición (P_{min}). Mínima presión que se puede medir.

3.6.2 Ecuación de conversión

Ecuación que relaciona la presión generada y la masa de las pesas utilizadas, tomando en cuenta otras magnitudes de influencia y/o de entrada.

3.6.3 Área efectiva

El área determinada de un ensamble pistón – cilindro, la cual es utilizada en la ecuación de conversión para el cálculo de la presión medida.

3.6.4 Posición de trabajo del pistón

La posición del pistón en la cual la balanza de presión mantiene sus características metrológicas.

3.6.5 Velocidad de caída del pistón

La velocidad de caída del pistón en su posición de trabajo, (flotación en la carrera vertical) bajo condiciones específicas.

3.6.6 Tiempo de rotación libre del pistón

Tiempo durante el cual el pistón gira libremente, (sin empuje adicional o motor), después de hacerlo girar a su velocidad de rotación especificada, hasta que se detiene.

3.7 Propiedades Metrológicas de una Balanza de Presión

3.7.1 Umbral de Movilidad

El más pequeño cambio en la presión aplicada que produce un cambio perceptible en la respuesta de la balanza de presión.

3.7.2 Repetibilidad

Capacidad de una balanza de presión de proporcionar indicaciones similares de la presión medida por múltiples aplicaciones de la misma carga, bajo condiciones constantes de medición.

3.7.3 Método de indicación de una balanza de presión

3.7.3.1 Indicación adicionando los valores de presión correspondientes a las pesas utilizadas.

3.7.3.2 Indicación adicionando masas y calculando la presión. Indicación obtenida adicionando los valores de masa de las pesas utilizadas y haciendo el cálculo del valor de la presión medida por medio de la ecuación.

3.8 Términos Generales en la Medición de Presión

3.8.1 Valor verdadero de presión

Valor de presión perfectamente consistente con la definición de presión.

3.8.2 Valor convencionalmente verdadero de presión

Valor de presión que se considera suficientemente cercano al correspondiente valor verdadero y es utilizado para propósitos de evaluación del error.

3.8.3 Incertidumbre de la medición de presión

Parámetro asociado con el resultado de la medición de presión que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente pueden ser atribuidos a la presión medida.

3.8.4 Error de la presión medida

El resultado de la medición de presión menos el valor del valor convencionalmente verdadero de la presión medida.

3.8.5 Error máximo tolerado

Diferencia máxima permitida (positiva o negativa) entre la indicación de la balanza de presión y el correspondiente valor convencionalmente verdadero.

3.8.6 Clase de exactitud

Clase de la balanza de presión que cumple con ciertas características metrológicas para mantener el error dentro de límites especificados.

3.8.7 Calibración

Conjunto de operaciones, que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de presión indicados por la balanza de presión y los correspondientes valores de presión realizados por un patrón de referencia.

3.8.8 Sensibilidad de la flotación cruzada

Para una balanza de presión calibrada con una balanza de presión patrón, el cambio mínimo en la masa que resulta en un cambio detectable en el equilibrio de ambas balanzas.

3.9 Condiciones Generales

3.9.1 Condiciones de operación específicas

Condiciones de uso de la balanza de presión para las cuales sus características metrológicas están diseñadas y cumple los requerimientos de error máximo tolerado.

3.9.2 Condiciones de referencia

Las condiciones de uso establecidas de una balanza de presión para las cuales sus características metrológicas deben cumplir los requerimientos del error máximo tolerado.

3.10 Niveles

3.10.1 Nivel de operación del pistón

El nivel de flotación del pistón, definido claramente, respecto a una parte del poste de montaje o de la base de la balanza de presión.

3.10.2 Nivel de referencia de presión

Nivel vertical, definido claramente, respecto a una parte del poste de montaje o a la base de la balanza de presión, a la cual la presión medida es relacionada cuando el pistón está en su nivel de operación.

3.11 Descripción del Instrumento

3.11.1 Generalidades

3.11.1.1 La balanza de presión es un instrumento diseñado para medir la presión de un fluido, basado en el principio de equilibrio de la fuerza producida por la presión medida sobre un área conocida con la fuerza gravitacional de las pesas aplicadas sobre el ensamble pistón – cilindro.

3.11.1.2 En una balanza de presión con carga directa, las pesas actúan directamente sobre el pistón.

3.11.1.3 Balanza de presión con ensamble tipo simple. El sistema de medición consiste de un pistón cilíndrico y un cilindro simple. La presión atmosférica actúa sobre la superficie exterior del cilindro.

3.11.1.4 Balanza de presión con ensamble tipo re-entrante. La presión bajo medición actúa sobre una porción de la superficie exterior del cilindro.

3.11.1.5 Balanza de presión con ensamble tipo huelgo controlado. Una presión controlada e independiente actúa sobre la superficie exterior del cilindro o sobre una porción de la superficie.

3.11.2 Componentes principales

3.11.2.1 El ensamble pistón – cilindro, está compuesto de un pistón de forma cilíndrica insertado en un cilindro. Puede tener un portapesas sobre la parte superior del pistón.

3.11.2.2 La conexión del ensamble pistón – cilindro es la parte que sirve para fijar y sellar el ensamble a la base.

3.11.2.3 La base de la balanza asegura la estabilidad del ensamble y su posición vertical por medio de un dispositivo nivelador y sirve para fijar las partes auxiliares del instrumento, por ejemplo la tubería de presión, válvulas, etc.

3.11.3 Componentes auxiliares

3.11.3.1 El compresor es la parte de la balanza, el cual no necesariamente forma parte de ésta, su función es la de producir y controlar la presión bajo medición por medio de cambios de volumen, comúnmente consiste en un pistón sellado en un cilindro.

3.11.3.2 La tubería son los tubos que sirven para conectar las partes individuales del sistema de presión y cuenta con una o más válvulas para desconectar una o más partes durante la calibración.

3.11.3.3 El juego de pesas son los discos utilizados para generar la presión requerida.

3.11.4 Unidad de medición

La unidad de medición usada en las balanzas de presión es el pascal, Pa. El fabricante debe proporcionar el factor de equivalencia para otras unidades de medición.

4. REQUISITOS METROLÓGICOS

4.1 División del Alcance de Medición

Para la aplicación de errores máximos tolerados, el alcance de la medición de una balanza de presión con $P_{min} < 0,1 P_{max}$ es dividido en dos partes:

- El alcance de la medición principal de $0,1 P_{max}$ a P_{max} , y
- El alcance de la medición suplementario de P_{min} a $0,1 P_{max}$.

Para las balanzas de presión con $P_{min} \geq 0,1 P_{max}$, hay sólo alcance de medición principal de P_{min} a P_{max} .

4.2 Clase de Exactitud

Las balanzas de presión son clasificadas en las siguientes clases de exactitud:

0,005 0,01 0,02 0,05 0,1 0,2

Pueden desarrollarse balanzas de presión de clase de exactitud más alta en el futuro.

4.3 Errores Máximos Tolerados

Los errores máximos tolerados para balanzas de presión serán el mismo para la aprobación de modelo y para las comprobaciones iniciales y subsecuentes.

Los errores máximos tolerados para las balanzas de presión bajo las condiciones de referencia, por ejemplo, a temperatura de $20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ y para la aceleración de la gravedad normal, ($9,80665\text{ m/s}^2$), se dan en la tabla 1 para varias clases de exactitud. Se expresan como porcentajes de la presión medida dentro del alcance de medición principal y como porcentajes del límite más bajo del alcance de medición principal ($0,1 P_{max}$) dentro del alcance de medición suplementario, si existe.

TABLA 1

Clase de exactitud	Máximo error tolerado	
	alcance de medición principal (porcentaje de la lectura)	alcance de medición suplementario (porcentaje del $0,1 P_{max}$)
0,005	0,005	0,005
0,01	0,01	0,01
0,02	0,02	0,02
0,05	0,05	0,05
0,1	0,1	0,1
0,2	0,2	0,2

Nota: la presente guía es para calibración, no para verificación. Los certificados o informes de calibración no requieren incluir el veredicto de cumplimiento con especificaciones.

4.4 Incertidumbre de una Balanza de Presión

Se estimará la incertidumbre de una balanza de presión a partir de la evaluación de las incertidumbres individuales de las magnitudes medidas y aquellas magnitudes predeterminadas usadas para calcular el resultado de la medición.

4.4.1 Incertidumbres individuales

Las incertidumbres de la medición y magnitudes predeterminadas pueden dividirse en los siguientes grupos:

- a) La incertidumbre de la determinación del área efectiva (dado por la incertidumbre de la balanza de presión patrón usada y por ciertas incertidumbres debidas al método) que incluye:
 - La incertidumbre del coeficiente de deformación del ensamble pistón-cilindro.
 - La incertidumbre debida a la influencia de la temperatura (la medición de la temperatura del ensamble y la determinación del coeficiente de expansión térmica del material del ensamble).
- b) Las incertidumbres de las masas de las pesas (la determinación de las masas y su ajuste, si se realizó).
- c) Incertidumbres que son el resultado de otras magnitudes de influencia:
 - La determinación de la aceleración de la gravedad.
 - La desviación de la vertical del pistón.
 - La determinación de la diferencia en los niveles de referencia.
 - La determinación de la densidad del fluido de presión.
 - La sensibilidad de la flotación cruzada.

4.4.2 Incertidumbres que son el resultado de otras magnitudes de influencia

Las incertidumbres listadas en 4.4.1(c) normalmente no se evalúan en las calibraciones. Las instrucciones y constantes proporcionadas en el manual del funcionamiento de la balanza de presión deben ser presentadas de tal manera que el efecto global de estas incertidumbres sea mantenido a un nivel práctico mínimo, menor al 10% de la incertidumbre total (vea 4.4.3).

4.4.3 Incertidumbre del total de la balanza de presión

Cada uno de éstos los grupos de incertidumbre se evalúan de manera independiente.

La raíz cuadrada de la suma de cuadrados de todas las incertidumbres, después de la aplicación de todas las correcciones, es recomendable no exceder la mitad el error máximo tolerado, de acuerdo a 4.3.

Nota: Es aconsejable que los valores de los grupos de incertidumbre diferentes, expresados como los porcentajes de la incertidumbre total, siga la distribución:

4.4.1(a): 50%

4.4.1(b): 40%

4.4.1(c): 10%

4.5 Tiempo de Rotación Libre del Pistón

El tiempo de la rotación libre del pistón, de acuerdo a especificaciones del fabricante. En la ausencia de cualquier especificación, el tiempo de la rotación libre del pistón no será menor a los valores de la Tabla 2 bajo las condiciones especificadas en A.4.1.1.

TABLA 2

Límite superior del alcance de medición (MPa)	tiempo de rotación libre (min) para clases de exactitud					
	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2
de 0,1 a 6 (incluido)	4	4	3	2	2	2
más de 6 hasta 500	6	6	5	3	3	3

Nota: Un balanza de presión con rotación del pistón proporcionada por un motor cumplirá con estas condiciones con el motor desconectado.

4.6 Velocidad de Caída del Pistón

La velocidad de caída del pistón cumplirá las especificaciones del fabricante. En ausencia de cualquier especificación, la velocidad de caída del pistón no excederá los valores de la Tabla 3 bajo las condiciones especificadas en A.4.2.1.

TABLA 3

Fluido de presión en el ensamble	Límite superior del alcance de medición (MPa)	velocidad máxima de caída del pistón (mm/min) para clases de exactitud					
		0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2
gas	0,1 a 1 incluido	1	1	1	2	2	-
gas	mayor a 1	2	2	2	3	3	-
líquido	0,6 a 6 incluido	0,4	0,4	0,4	1	2	3
líquido	de 6 a 500 incluido	1,5	1,5	1,5	1,5	3	3

4.7 Ajuste de la Masa de las Pesas

Cuando sea aplicable, las pesas de las balanzas de presión se ajustarán por el fabricante para el uso bajo condiciones específicas, (aceleración de la gravedad, densidad del aire, temperatura del ensamble pistón - cilindro). Los valores de estas pesas no deben diferir del valor calculado en una cantidad mayor a los valores declarados en la Tabla 4. Para las balanzas de presión de exactitud más alta, las pesas no necesitan ajuste según Tabla 4 si su masa real se usa para calcular la presión medida.

TABLA 4

Clase de exactitud	Error máximo permisible (valor relativo) para el ajuste de la masa de las pesas
0,005	$0,5 \times 10^{-5}$
0,01	$1,5 \times 10^{-5}$
0,02	$1,5 \times 10^{-5}$
0,05	5×10^{-5}
0,1	16×10^{-5}
0,2	16×10^{-5}

4.8 Cálculo de la Presión (la indicación de la balanza de presión)

La presión medida es calculada de acuerdo a la ecuación proporcionada en el manual de funcionamiento del fabricante o es determinada por la suma de los valores marcados en las pesas usadas, aplicando las correcciones. Se recomienda que las incertidumbres de los datos usados en el cálculo será tal que la incertidumbre total no excede la mitad del error máximo tolerado de la balanza de presión.

a) Ecuación de balanza alta exactitud

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n m_i g_l \left[1 - \left(\frac{\rho_a}{\rho_{mi}} \right) \right] + \gamma C}{A_0 \left(1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t - t_r) \right) (1 + b p_n)}$$

Donde

- p = presión medida en la parte inferior del pistón.
- m_i = i ésima masa, (masa “real”)
- g_l = aceleración de la gravedad local.
- ρ_a = densidad del aire local.
- ρ_m = densidad de las masas de la balanza.
- C = circunferencia del pistón,
- γ = tensión superficial del fluido.
- A_0 = área efectiva a la temperatura de referencia y presión atm.
- α_p = coeficiente de dilatación térmica del pistón.
- α_c = coeficiente de dilatación térmica del cilindro.
- t = temperatura del pistón al momento de realizar la calibración.
- t_r = temperatura de referencia del pistón.
- b = coeficiente de deformación elástica del pistón.
- p_n = presión nominal

b) Ecuación de balanza de presión tipo industrial

$$p = p_n \cdot \frac{g_l}{g_n} \cdot \frac{1}{1 + (\alpha_p + \alpha_c)(t - t_r)} \cdot \frac{1 - \rho_a / \rho_m}{1 - \rho_{an} / \rho_m}$$

Donde:

- p = presión corregida, generada por el patrón.
- p_n = presión nominal a condiciones normalizadas.
- g_l = aceleración local de la gravedad.
- g_n = 9,806 65 m/s² aceleración normalizada de la gravedad.
- ρ_a = densidad del aire durante la calibración.
- ρ_m = densidad de las masas.
- ρ_{an} = 1,2 kg/m³ densidad normalizada del aire.
- α_p = coeficiente de dilatación térmica del pistón.
- α_c = coeficiente de dilatación térmica del cilindro.
- t = temperatura del pistón – cilindro.
- t_r = 20 °C temperatura de referencia.

4.9 Umbral de movilidad

El valor del umbral de movilidad de una balanza de presión, medido a una presión igual al límite inferior del alcance de medición principal, no excederá el 10% del valor del error máximo tolerado especificado en 4.3.

5. REQUISITOS TÉCNICOS

5.1 Condiciones Ambientales

Generalmente están diseñadas para operar bajo las siguientes condiciones ambientales:

- Temperatura, dentro del intervalo de 15 °C a 30 °C.
- La humedad relativa máxima del aire ambiente: 80%.

Otras condiciones ambientales para el uso de una balanza de presión pueden especificarse por el fabricante.

5.2 Condiciones de la Balanza de Presión

Una balanza de presión no mostrará rastros significativos de corrosión o daño que sea capaz de influir en sus características metrológicas.

5.3 Medios para Observar y Determinar el Nivel Vertical del Pistón

La balanza de presión incorporará un medio o dispositivo para observar y determinar el nivel vertical de pistón durante las mediciones. La sensibilidad del dispositivo deberá ser suficiente para ver cambios en la posición del pistón que corresponda a una variación de presión del 10% del error máximo tolerado correspondiente al límite inferior del alcance de medición principal de la balanza de presión como está especificado en 4.3.

5.4 Dispositivo de Indicación de Nivel

Una balanza de presión tendrá un dispositivo para ajustar la verticalidad del pistón – cilindro y la indicación deberá tener una desviación máxima permisible de 5 min.

5.5 Posición de la Superficie del Portapesas y el Pistón

Si la superficie de carga del portapesas está fija al pistón, éste debe ser perpendicular al eje del pistón de tal manera que el componente de incertidumbre debido a desviación de verticalidad no rebase los requerimientos de 5.4.

5.6 Requisitos para las Pesas

5.6.1 Masa total de las pesas

La masa total de las pesas proporcionada con la balanza de presión será suficiente para alcanzar el límite superior del alcance de la medición.

5.6.2 Graduación de las pesas

La masa de las pesas debe corresponder a los valores de presión nominales de la serie (1, 2, 5) x 10ⁿ unidades de presión donde n es un número del entero. Otros valores pueden usarse en casos especiales (en particular, ver 5.6.3 y 5.6.4).

5.6.3 Masa de la primera pesa

La masa de la primera pesa necesaria para obtener la presión que corresponde al límite inferior del alcance de medición no requiere producir una presión que corresponda a un valor como se especifica en 5.6.2.

5.6.4 Pesas de balanzas de presión de exactitud más alta

Ninguna restricción se pondrá en los valores de masa de balanzas de presión de clases de exactitud 0.005; 0.01 y 0.02 que normalmente se usan para calibración u otros propósitos especiales.

5.6.5 Formas y dimensiones de pesas de masa igual

Las pesas de masa nominal igual que pertenece a la misma balanza de presión deben ser de la misma forma y dimensiones.

5.6.6 Carga de las pesas

Las pesas de la balanza deben apilarse en el portapesas en alineación con el eje de rotación y de manera que se facilite su carga y descarga.

5.6.7 Material de las pesas

Se recomienda que las pesas se fabriquen con materiales resistentes a la abrasión y corrosión o con una capa superficial protectora que las cubra para asegurar la estabilidad de la masa durante el uso. La estabilidad será tal que las variaciones de masa bajo las condiciones normales de uso sean despreciables con respecto a los errores máximos tolerados. Las pesas de balanzas de presión clases de exactitud 0.005; 0.01 y 0.02 se harán de un material non-magnético.

5.7 Material del Ensamble Pistón-Cilindro

El material usado por fabricar el ensamble pistón-cilindro cumplirá con los requisitos para el material de las pesas como se especifica en 5.6.7 y tendrán una forma y volumen estables para asegurar la estabilidad a largo plazo en el área efectiva de la balanza de presión. El fabricante debe proporcionar la información acerca de la estabilidad y calidades del material que usaron.

5.8 Fugas en el Sistema de Presión de una Balanza de presión

La velocidad de caída del pistón debe realizarse sin fugas en el sistema de presión para verificar que cumple los requisitos de 4.6.

5.9 Marcas

5.9.1 Una balanza de presión llevará las marcas siguientes:

- Nombre o marca comercial del fabricante.
- Número de serie y modelo.
- Año de fabricación.
- Clase de exactitud.
- Alcance de medición y
- Número de aprobación de modelo.

El número de aprobación de modelo se requiere para las regulaciones nacionales.

6. CONTROLES METROLÓGICOS

6.1 Un laboratorio autorizado llevará a cabo las siguientes pruebas de funcionamiento de acuerdo al Anexo A, o puede aceptar los datos de las prueba de funcionamiento adecuado del instrumento proporcionadas por el fabricante:

- a) La sensibilidad del dispositivo para observar la posición del pistón (5.3).
- b) La alineación del eje del pistón con el campo gravitatorio local (5.4 y A.3.1, A.3.3).

- c) La perpendicularidad del eje del pistón con respecto a la superficie del portapesas, (5.5 y A.3.4).
- d) La verificación de no fugas en el sistema de presión (5.8 y A.3.5).
- e) El tiempo de la rotación libre del pistón (4.5 y A.4.1).
- f) Velocidad de caída del pistón (4.6 y A.4.2).
- g) El umbral de movilidad (4.9 y A.4.3).
- h) La determinación de masa del pistón y pesas (4.7, 5.6).
- i) La determinación del área efectiva (A.4.5). (para balanzas de alta exactitud)
- j) Pruebas de la masa del pistón con el portapesas y con las demás masas. (A.4.4).
- k) Coeficiente de deformación por presión, (A.4.5.4.1.2). (para balanzas de alta exactitud).
- l) Incertidumbre total de la balanza de presión (4.4 y A.4.5.3.1).
- m) Error de la balanza de presión (para balanzas tipo industriales)

6.2 Los informes de calibración de una balanza de presión emitidos por un laboratorio de calibración deberán incluir en los informes los resultados de los incisos (e), (f), (i), (k), (l) y/o (m), dependiendo del tipo de balanza calibrada.

7. COMPETENCIA TÉCNICA DEL PERSONAL

El responsable técnico debe cumplir con los siguientes requisitos:

Deberá cumplir con los requisitos del signatario, además de tener la capacidad de supervisar los trabajos realizados del laboratorio, así como desarrollar y/o revisar los procedimientos y cálculos de las calibraciones.

El personal signatario debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Demostrar la competencia técnica en términos de su educación formal como mínimo carrera técnica.
- b) Experiencia mínima de un año en metrología relacionada con la magnitud, conocimientos y habilidades específicas en la calibración de balanzas de presión en la magnitud de presión, comprobable mediante una evaluación teórica y/o práctica, requeridas para alcanzar la incertidumbre de las mediciones acreditada.

El técnico de calibración debe de cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Demostrar la competencia técnica en términos de su educación formal como mínimo secundaria.
- b) Experiencia mínima de 20 calibraciones bajo supervisión en el manejo del equipo, patrones y elementos auxiliares para la calibración de balanzas de presión.
- c) Conocimientos y habilidades específicas básicas en la magnitud de presión, en calibración de balanzas de presión.

8. CONFIRMACIÓN METROLÓGICA Y CALIFICACIÓN DE EQUIPOS

8.1 Confirmación Metrológica

Para asegurar que la balanza de presión puede ser usada dentro del alcance de la calibración se debe asegurar su buen funcionamiento y el entorno donde es usado. Los siguientes puntos deben de considerarse:

1. Se dispone de los informes de calibración que cumplen los criterios de la trazabilidad, según lo establecido por ema.
 - Masas: la condición física de las pesas es conocida y corresponde a la que prevalecía durante la última calibración. Una desviación de esta condición es perceptible visualmente (ralladuras, golpes, suciedad, aceite, etc.).
 - Ensamble pistón-cilindro: La condición física del ensamble podrá estar descrita en el informe de calibración correspondiente u obtenida por ensayos inmediatamente después de recibir el instrumento. Los fabricantes frecuentemente describen estas condiciones en sus manuales.
 - Se usan las pruebas de velocidad de caída del pistón y tiempo de giro libre para la validación de la condición del ensamble. Una velocidad de caída del pistón rápida podrá indicar una fuga interna del instrumento patrón o un desgaste excesivo en el ensamble. El tiempo de giro libre indica la movilidad del pistón dentro del cilindro. Un tiempo corto de giro indicará normalmente problemas de fricción, suciedad e inclusive la presencia de un fluido manométrico de propiedades de viscosidad distintas a aquellas que prevalecían durante la calibración.
 - Los parámetros ambientales (temperatura, humedad, presión barométrica, aceleración de la gravedad), son conocidos y disponibles para ser considerados para su eventual compensación.
2. Verificación de la exactitud de los patrones. El laboratorio debe disponer de parámetros que permitan juzgar el funcionamiento adecuado de la balanza de presión patrón. Se requiere al menos una verificación intermedia en el período de calibración, al menos en un punto de medición y el resultado de esta medición deberá ser evaluado por error normalizado con resultado menor que 1, (utilizando factor de cobertura $k=2$). Se debe de realizar con un instrumento que tenga al menos la misma incertidumbre.
3. El alcance de medición de la balanza de presión debe cubrir aquel del equipo bajo calibración. Se debe poner atención especial al límite inferior donde la incertidumbre del patrón debe ser suficiente.
4. El fluido manométrico debe ser compatible con el equipo examinado o se tienen implementadas las consideraciones necesarias. Sus niveles de referencia y propiedades son identificados y considerados para una eventual compensación.

9. TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES

Los criterios expuestos en esta Guía Técnica son acordes con la política de la ema y definiciones aplicables [7].

9.1 Definiciones de Trazabilidad, Calibración y Patrón

Trazabilidad: Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, tal que éstos puedan ser relacionados con referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas incertidumbres determinadas [1].

NOTAS:

- i. Este concepto se expresa frecuentemente por el adjetivo trazable.
- ii. La cadena ininterrumpida de comparaciones es llamada cadena de trazabilidad.

Patrón: Medida materializada, aparato de medición o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad, o uno o varios valores conocidos de una magnitud, para servir de referencia [1].

Un material de referencia certificado también es un patrón de medición.

Calibración: Conjunto de operaciones que establecen bajo condiciones especificadas, la relación entre los valores indicados por un aparato o sistema de medición o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud realizada por los patrones [1].

Verificación: Confirmación y provisión de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos especificados.

Debe notarse que la calibración NO incluye operaciones de ajuste, y tampoco implica la comprobación del cumplimiento de especificaciones, por lo que debe entenderse que la verificación es una actividad no incluida en la calibración, aunque sean necesarios los resultados de una calibración para soportarla.

9.2 Características de la Trazabilidad

9.2.1 Cadena no interrumpida de comparaciones

La trazabilidad como cualidad de un resultado de medición o calibración o del valor de un patrón, obliga por definición a que las balanzas de presión de alta exactitud y que son empleadas como patrones de referencia, sean calibradas en el Centro Nacional de Metrología (CENAM) y, a que, la diseminación de la exactitud de la magnitud presión hasta instrumentos industriales sea practicada bajo un esquema definido y documentado.

Cuando la definición habla de “referencias determinadas” se refiere también a “eslabones” de la cadena o sea patrones de medición, para el caso, balanzas de presión.

En cada eslabón descendente, la incertidumbre deberá ser conocida y cumplir con una relación de trazabilidad razonable y aceptada.

La definición se refiere a “comparaciones” entendiéndose éstas como “calibraciones”.

Además de otras causas, la trazabilidad se invalida por:

- abandono de los plazos para la calibración periódica,
- daño oculto e imperceptible del patrón,
- operación del patrón fuera del intervalo de calibración,
- operación del patrón fuera de la relación de trazabilidad,
- operación inadecuada y técnicamente deficiente del patrón.

La realización de la magnitud presión, como unidad derivada, es dada como fuerza por unidad de área donde el área pertenece a longitud y fuerza a la masa por la aceleración de la gravedad.

Existen dos tipos de balanzas de presión: las de tipo industrial y las de alta exactitud para laboratorio.

Para dar trazabilidad a las balanzas de tipo industrial (cuyas pesas tienen asociadas valores en unidades de presión) basta con que sean calibradas, se determine el error y la incertidumbre..

Las balanzas de presión de alta exactitud (cuyas pesas se conocen en valores de masa) hacen uso del valor del “área efectiva” del ensamble pistón - cilindro, el cual es determinado mediante calibración en presión y con lo cual se establece el eslabón fundamental de la cadena. Sin embargo, en este tipo de balanzas participan varias cadenas de trazabilidad, que en conjunto garantizan la trazabilidad del resultado, éstas son: para el área efectiva, para las masas y para la aceleración de la gravedad, cuya medición también es trazable en términos de aceleración.

Adicionalmente es importante dar trazabilidad a la instrumentación auxiliar que permite la aplicación de correcciones, ésta puede incluir: la necesaria para la determinación de la densidad del aire, para la temperatura del ensamble pistón - cilindro, para la diferencia de alturas de los niveles de referencia, etc.

9.2.2 Incertidumbre de calibración

Todos y cada uno de los eslabones de la cadena de trazabilidad deben contar con una declaración de incertidumbre, calculada de acuerdo a la norma NMX-CH-140, expresada con un factor de cobertura $k = 2$, en unidades del SI (Pa) y en porcentaje de la lectura.

9.2.3 Documentación

Del resultado

El resultado de medición o calibración, presentado en un informe de calibración debe ser acompañado por los datos de trazabilidad del patrón empleado en la calibración. Los datos de trazabilidad deben incluir como mínimo: el nombre e identificación del patrón empleado en la calibración, número de identificación del certificado o informe de calibración del patrón, fecha del certificado o informe de calibración, nombre del laboratorio que realizó la calibración. Estos datos deben corresponder con la información declarada en la carta de trazabilidad del laboratorio.

De la carta de trazabilidad

La cadena de trazabilidad y sus detalles deben ser documentados a partir de un documento denominado Carta de Trazabilidad.

La carta de trazabilidad debe contener información de todos los patrones, de referencia, de transferencia y de trabajo que sean empleados por el laboratorio. La información en la Carta de Trazabilidad cambia en el curso del tiempo, debido a motivos naturales como pueden ser: nuevos datos de calibración, adición o baja de patrones, cambio de fuente de trazabilidad, etc. por lo que, la Carta de Trazabilidad debe ser actualizada en forma regular y periódica o bien cuando ocurra algún cambio.

La Carta de Trazabilidad, sus cambios y la documentación que la soporta deberán conservarse por el mismo tiempo que la documentación que sustenta las actividades del laboratorio (tres a cinco años).

La información contenida en la Carta de Trazabilidad deberá ser la siguiente para cada eslabón:

PATRÓN DE REFERENCIA (TRABAJO)

Alcance: kPa
Incertidumbre ($k = 2$): kPa % L
Certificado No: Fecha:
Período de calibración:
Nombre:
ID (ó No de Serie):
Marca:
Modelo:
Fluido:
Procedimiento:
Relación de trazabilidad:

y estará debidamente sustentada con los documentos pertinentes.

9.2.4 Competencia

La capacidad y competencia de los laboratorios para realizar uno o mas eslabones de la Cadena de Trazabilidad será demostrada por los resultados de ensayos de aptitud en los que participe.

9.2.5 Calibración periódica

Los patrones de referencia, de transferencia y de trabajo, así como la instrumentación auxiliar, deberán ser sometidos a calibración periódica, siendo tres años el tiempo máximo entre calibraciones para el caso de las balanzas de alta exactitud que operan como patrones de referencia del laboratorio y de un año para el caso de las balanzas industriales.

El laboratorio deberá proponer de manera documentada y de acuerdo a sus posibilidades los mecanismos de comprobación que garanticen el mantenimiento de la trazabilidad.

Estos mecanismos podrán ser:

Para las balanzas de presión en general: verificación trimestral de la velocidad de caída del pistón con el 100 % de las masas y del tiempo de rotación libre al 20 % de su capacidad, con estos datos el laboratorio puede construir un registro o un gráfico de control donde podrá observar la estabilidad con que se conserva el sistema o detectar tendencias anormales.

Cuando el laboratorio disponga de varios patrones que se cruzan en una línea común de presión, el laboratorio podrá conectarlos en serie, para obtener lecturas comparativas, con las consideraciones que impongan las distintas incertidumbres.

Cuando el laboratorio cuente con varios ensambles pistón – cilindro y masas suficientes para poder comparar algunos puntos que sean comunes a ambos o diversos sistemas, es deseable que el laboratorio proponga un esquema de comparación interna de sus patrones y que sea documentado de tal manera que permita demostrar la vigilancia y el control sobre el mantenimiento de la trazabilidad en sus patrones.

10. INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

Incetidumbre: Parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente, ser atribuidos al mesurando.

La incertidumbre de la medición para cada paso en la cadena de trazabilidad debe ser calculada de acuerdo a los métodos definidos en la norma NMX-CH-140, debe ser declarada a cada paso de la cadena de tal manera que la incertidumbre para la cadena completa pueda ser calculada. Estas incertidumbres deben estar soportadas matemáticamente y estarán representadas como incertidumbres expandidas usando un nivel de confianza de aproximadamente el 95% y su factor de cobertura correspondiente, a menos que el laboratorio pueda demostrar otro nivel de confianza.

Todo resultado de medición debe ser acompañado de una estimación de su incertidumbre.

Deben incluirse los siguientes elementos sobre incertidumbre de la medición:

- a) El modelo matemático de la medición, expresado mediante una ecuación acompañada de la nomenclatura correspondiente, y la mención explícita de las hipótesis necesarias para su validez.
- b) La lista y la descripción breve pero suficiente de las fuentes de incertidumbres significativas.
- c) La mención a fuentes de incertidumbre que típicamente no aportan contribuciones significativas, pero que se conviertan en significativas bajo condiciones que pudieran ocurrir probablemente en el transcurso de una medición.
- d) Una tabla con el “presupuesto de incertidumbre” típico que contenga al menos, para cada fuente de incertidumbre, su variabilidad, la distribución de probabilidad que se le asocie, el coeficiente de sensibilidad y su contribución a la incertidumbre estándar combinada de la medición. La tabla también debe mostrar la incertidumbre estándar combinada con las consideraciones a la correlación entre fuentes.
- e) Una nota relativa a la correlación entre fuentes.
- f) Una nota relativa a la distribución de probabilidad del mensurando.
- g) Recomendaciones sobre el cálculo y la expresión de la incertidumbre expandida de la medición, incluyendo preferentemente y cuando aplique los grados de libertad asociados a cada contribución y el número efectivo de grados de libertad.
- h) Una nota de advertencia sobre el propósito sólo de ilustración de la tabla presentada y sobre la obligación de cada laboratorio a realizar sus propias pruebas y consideraciones

sobre la estimación de la incertidumbre de sus mediciones.

TABLA 5. CONTRIBUCIONES A LA INCERTIDUMBRE

	fuelle	variabilidad	distribución	incertidumbre estándar	coeficiente de sensibilidad	contribución
1						
2						
3						
					incertidumbre estándar combinada	
					incertidumbre expandida	

La mayoría de los organismos de metrología, incluyendo a los laboratorios nacionales de cada país, han adoptado el método recomendado por el BIPM, el cual se explica en la *Guide to the expression of uncertainty in measurement (La GUM)*, que detalla los principios bajo los cuales se basan los criterios para la estimación de la Incertidumbre. En México, este mismo método se describe en la norma mexicana NMX-CH-140-IMNC-2002.

Por lo tanto, para determinar la incertidumbre con la que realizamos una medición, aplicamos la ley de propagación de incertidumbres de acuerdo a la ecuación:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j)$$

En esta ecuación, el segundo término se emplea solo en los casos de que exista una correlación al realizar la calibración, en calibraciones directas este término es cero.

Al realizar una calibración de balanzas de presión tipo industrial, determinamos el error del calibrando, nuestro mesurando es el error, por lo que el modelo matemático que define al error del instrumento bajo prueba es:

$$E_{CAL} = V_{med} - V_{Patrón}$$

En donde:

V_{med}	Valor de indicación del instrumento bajo prueba
E_{CAL}	Error del instrumento bajo calibración
$V_{Patrón}$	Valor del Patrón (a la temperatura y presión de la medición)

10.1 Evaluación Tipo A de la Incertidumbre:

Son las que se determinan por medios estadísticos.

- Variabilidad en las mediciones

10.2 Evaluación Tipo B de la Incertidumbre:

Son las que se determinan por otros medios:

- Incertidumbre por umbral de movilidad del instrumento bajo prueba
- Incertidumbre de calibración del patrón.
- Incertidumbre por deriva del patrón, (masas, área).
- Incertidumbre derivada de la ecuación para la determinación de la densidad del aire
- Incertidumbre por corrección de temperatura
- Incertidumbre por corrección de presión atmosférica
- Incertidumbre debida a la flotación de las pesas en aire
- Incertidumbre por la corrección por presión de columna o presión hidrostática.
- Incertidumbre del método de medición instrumentado por el laboratorio. Ésta puede ser determinada mediante el uso de los resultados de ensayos de aptitud, pruebas R y r, análisis de varianzas o cualquier otro método que asegure la confiabilidad en las mediciones derivadas de factores humanos.
- Incertidumbre por el factor de conversión utilizado cuando los resultados son expresados en unidades SI y además en otras unidades, a solicitud del cliente.

Existen otras fuentes de incertidumbre como los errores numéricos de cálculo, la propia incertidumbre del termómetro, y algunas otras, sin embargo, se considera que estas no contribuyen de manera significativa a la incertidumbre total, pero pueden ser significativas bajo condiciones que pudieran ocurrir en el transcurso de la medición.

10.3 Incertidumbre Combinada

La incertidumbre combinada es la suma cuadrática de las incertidumbres involucradas en el modelo matemático.

$$u_{E_{Cal}}^2 = u_{V_{med}}^2 + u_{V_{Patrón}}^2$$

10.4 Coeficientes de Sensibilidad

Los coeficientes de sensibilidad se obtienen derivando en forma parcial la Incertidumbre combinada.

$$u_{E_{Cal}}^2 = \left(\frac{(\partial u_{E_{CAL}})}{(\partial V_{med})} \right)^2 u_{V_{med}}^2 + \left(\frac{(\partial u_{E_{CAL}})}{(\partial V_{Patrón})} \right)^2 u_{V_{Patrón}}^2$$

En la ecuación anterior se tienen tres coeficientes de sensibilidad, los cuales son:

$$\frac{(\partial u_{E_{CAL}})}{(\partial V_{med})} = \frac{\partial V_{med}}{\partial V_{med}} - \frac{\partial V_{Patrón}}{\partial V_{med}} + \frac{\partial E_{Patrón}}{\partial V_{med}} = 1$$

$$\frac{(\partial u_{E_{CAL}})}{(\partial V_{Patrón})} = \frac{\partial V_{med}}{\partial V_{Patrón}} - \frac{\partial V_{Patrón}}{\partial V_{Patrón}} + \frac{\partial E_{Patrón}}{\partial V_{Patrón}} = -1$$

10.5 Grados Efectivos de Libertad.

Si la relación de incertidumbres de calibración entre el patrón y el instrumento calibrado, (RIC) es menor a 10 $RIC < 10$, calcular los grados de libertad con la fórmula de Welch-Satterthwaite y con el valor obtenido, seleccionar el valor de k para un nivel de confianza aproximado del 95%:

$$V_{ef} = \frac{u_{c(y)}^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_{i(y)}^4}{V_i}} \quad \text{donde: } \nu_i = n - 1$$

En el caso de que la relación sea mayor o igual a 10 $RIC \geq 10$, utilizar $k = 2$.

10.6 Incertidumbre Expandida

La Incertidumbre expandida se obtiene al multiplicar la incertidumbre combinada por el factor de cobertura k :

$$U_{E_{Cal}} = k \cdot u_{E_{Cal}}$$

10.7 Expresión de la Incertidumbre

La incertidumbre expandida U_e se debe indicar como un intervalo centrado en el mejor estimado del error y con un nivel de confianza del 95%.

$$E_{cal} \pm U_e$$

11. VALIDACIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN

Validación del método: Demostrar que las características de desempeño de un método de medición son adecuadas para la exactitud requerida.

Para asegurar que la trazabilidad de las mediciones se mantiene y que el valor de la incertidumbre de la medición es válido, el laboratorio evaluado puede demostrarlo mediante lo siguiente:

- a) Comparación de resultados alcanzados con otros métodos.
El nuevo método se puede validar si al comparar los resultados obtenidos entre éste y otro método diferente validado los resultados que se obtienen son comparables entre ambos métodos.
- b) Comparaciones entre laboratorios.
Cuando se comparan los resultados obtenidos por uno o más laboratorios externos (preferentemente acreditados y/o que pertenezcan al SNC) utilizando un método. Se analizan por medio de normas y/o documentos técnicamente válidos, p. e. ISO-5725 o NMX-CH-13528-IMNC-2007.
- c) Evaluación sistemática de los factores que tienen influencia en los resultados.
Consiste en cuantificar la variabilidad de cada factor que afecta los resultados de la medición; dicha cuantificación se realiza de manera individual, suele aplicarse cuando no se cuenta con un modelo matemático que incluya todas las variables de influencia. A esto se le llama también caracterización.

Esto también puede hacerse para mejora de incertidumbre sobre un modelo matemático ya conocido.

- d) Evaluación de la incertidumbre de los resultados con base en el conocimiento científico de los principios teóricos del método y de la experiencia práctica.

Esta evaluación aplica principalmente cuando el laboratorio desea mejorar su incertidumbre o no tiene bien caracterizadas las variables de influencia que afectan las mediciones durante la calibración de balanzas de presión.

Nota: Cuando se hacen algunos cambios en los métodos no normalizados validados, la influencia de tales cambios debe ser documentada.

- e) Evaluación de la incertidumbre del laboratorio. Ésta puede ser determinada mediante el uso de los resultados de ensayos de aptitud, pruebas R y r, análisis de varianzas o cualquier otro método que asegure la confiabilidad en las mediciones derivadas de factores humanos.

La validación del método debe incluir las especificaciones de los requisitos, determinación de las características del método, una verificación de que se pueden cumplir los requisitos usando dicho método y una declaración en la validez.

Se pueden aplicar uno o varios de los incisos anteriores, tomando en cuenta que el fin es demostrar que el método se encuentra validado y que se identificaron y validaron los aspectos que puedan influir sobre la trazabilidad y la incertidumbre de las mediciones.

12. BUENAS PRÁCTICAS DE MEDICIÓN

Para las buenas prácticas de calibración de balanzas de presión es requisito indispensable cumplir con lo siguiente:

El patrón de trabajo debe:

- ❑ Tener el alcance de medición, exactitud e incertidumbre suficiente para calibrar el instrumento bajo prueba de acuerdo al punto A.4.5.2.1 de esta guía.
- ❑ Estar vigente en su calibración y dentro del control “estadístico” (cartas de control), que mantenga el laboratorio para el patrón.
- ❑ Utilizar el mismo fluido manométrico con el que se calibró.
- ❑ Estar en óptimas condiciones de funcionamiento, manteniendo constantes las características de tiempo de rotación libre del pistón y velocidad de caída del pistón, determinadas en la calibración..
- ❑ Aplicar las correcciones necesarias de acuerdo al patrón utilizado, sea una balanza de presión industrial o de alta exactitud, utilizando el modelo matemático necesario de acuerdo al nivel de incertidumbre requerido y/o solicitado.
- ❑ Asegurar la trazabilidad al patrón nacional de presión.

Las Instalaciones deben cumplir con las especificaciones y el personal debe de:

- ❑ Registrar continuamente las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa y presión barométrica) del laboratorio.
- ❑ Mantener una temperatura ambiente estable de acuerdo al nivel de incertidumbre requerido y/o solicitado en la medición.
- ❑ Mantener una humedad adecuada (que no exceda el 80%) de acuerdo al nivel de incertidumbre requerido y/o solicitado en la medición.
- ❑ Mantener las instalaciones limpias y ordenadas.
- ❑ Evitar el introducir alimentos y/o bebidas al área de calibración.
- ❑ Evitar el acceso a personas no autorizadas.
- ❑ Supervisar el mantenimiento del área de calibración evitando cualquier daño a los patrones de trabajo y/o referencia.

El equipo auxiliar (termómetro, barómetro, higrómetro, medidor de alturas, etc.) debe:

- ❑ Estar vigente en su calibración dentro del control “estadístico” (cartas de control), que mantiene el laboratorio para el equipo auxiliar, cuando sea necesario.

- ❑ Tener el alcance de medición, exactitud e incertidumbre suficiente para calibrar el instrumento bajo prueba y considerando el nivel de incertidumbre requerido y/o solicitado.
- ❑ Estar en óptimas condiciones de funcionamiento, cumpliendo con sus programas de mantenimiento preventivo, cables, conectores y empaques limpios y en buen estado de funcionamiento).

Método y/o procedimiento de medición debe:

- ❑ Asegurar su trazabilidad al patrón nacional de presión.
- ❑ Estar documentado con suficiente detalle de acuerdo a los patrones, condiciones ambientales con que cuenta el laboratorio y al nivel de incertidumbre solicitado.
- ❑ Ser revisado periódicamente.

Instrumento bajo prueba debe:

- ❑ Estar en condiciones de funcionamiento, limpio y no contaminado, que pueda dañar al patrón.
- ❑ Contar con el manual del fabricante, que debe ser leído antes de su calibración, para revisar su funcionamiento, especificaciones y el fluido manométrico que puede utilizar para no dañarlo.
- ❑ Cumplir con la relación de exactitudes para su calibración, propuesta en esta guía en A.4.5.2.1.
- ❑ Evitar aplicar sobre presión, de acuerdo a su alcance de medición.

El personal debe:

- ❑ Tener los conocimientos necesarios para cumplir con su actividad desempeñada dentro del laboratorio (técnico, signatario, responsable técnico, etc.).
- ❑ Estar en un esquema de evaluación periódica que asegure la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones.
- ❑ Estar dentro de un programa de actualización.

Los informes de calibración deben:

- ❑ Contener la información necesaria para reproducir las mediciones.
- ❑ Ser claros y sin ambigüedad para el cliente.
- ❑ Contener gráficos cuando sea necesario.
- ❑ Asegurar la trazabilidad de las mediciones y/o resultados del informe, al patrón nacional de presión cumpliendo con lo estipulado en el punto VI de esta guía.
- ❑ Estimar la incertidumbre del resultado de la medición.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NMX-Z-055:1996 IMNC Metrología – Vocabulario de términos fundamentales y generales; equivalente al documento International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1993.
- [2] NMX-EC-17025-IMNC-2006 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
- [3] NOM- 008-SCFI Sistema General de Unidades de Medida.
- [4] NMX-CC-9000-IMNC-2000 Sistemas de gestión de la calidad – Fundamentos y vocabulario.
- [5] NMX-CC-10012-IMNC-2004 Sistema de gestión de las mediciones – Requisitos para procesos de medición y equipos de medición.
- [6] Política referente a la trazabilidad de las mediciones, ema, <http://www.ema.org.mx/ema/pdf/PROCEDIMIENTOS/TRAZABILIDAD%20E%20INCERTIDUMBRE%20SC-2002-12-12.pdf>, 2002.
- [7] The mutual recognition arrangement, BIPM, (1999). También en <http://www.bipm.fr/en/convention/mra>
- [8] Política referente a la incertidumbre de mediciones, ema, <http://www.ema.org.mx/ema/pdf/PROCEDIMIENTOS/TRAZABILIDAD%20E%20INCERTIDUMBRE%20SC-2002-12-12.pdf>, 2002.
- [9] NMX-CH-140-IMNC-2002 Guía para la expresión de la incertidumbre de las mediciones; equivalente al documento Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1995.
- [10] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Supplement 1. Numerical Methods for the Propagation of Distributions. Preparado por miembros de JCGM/WG1/SC1, diciembre 2002.
- [11] NMX-CH-064 Terminología de metrología de presión.
- [12] Curso de Metrología de Presión, Centro Nacional de Metrología, mayo de 2007.
- [13] CNM-MMF-PT-003 Balanzas de Presión, Torres J., Santander L. A., Olvera P., Centro Nacional de Metrología. Septiembre 2005.
- [14] OIML R 110 International Recommendation, Pressure Balances, Organisation Internationale de Métrologie Légale. 1994.
- [15] EAL-G26, Calibration of Pressure Balances, European cooperation for Accreditation of Laboratories. 1997.
- [16] NORDTEST NT MECH 009, Pressure balances, Calibration.
- [17] NMX-CH-13528-IMNC-2007 “Métodos estadísticos para su uso en ensayos de aptitud por comparaciones interlaboratorios”

ANEXO A MÉTODOS DE PRUEBA

A.1 Equipo de Calibración

- Balanza de presión patrón con apropiado alcance de la medición y clase de exactitud, de acuerdo a A.4.5.2.1.
- Equipo auxiliar como indicador de nivel, termómetro, indicador de posición, etc.

A.2 Pruebas y Condiciones de la Referencia

Las calibraciones se llevarán a cabo en un laboratorio con temperatura controlada, bajo las siguientes condiciones:

- a) Temperatura ambiente: $20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$; la humedad relativa $50\% \pm 30\%$.
- b) Estabilidad de temperatura ambiente alrededor del instrumento mejor que 1 °C/h durante la calibración.
- c) Instalación de la balanza de presión y equipo a calibrar en el laboratorio por lo menos 6 horas antes de la prueba.
- d) Balanza de presión apropiadamente nivelada, de acuerdo al manual del fabricante.
- e) Medición de temperatura del ensamble pistón-cilindro de la balanza de presión con un termómetro apropiado, con una incertidumbre máxima de $\pm 0.1\text{ °C}$.
- f) Condiciones de la referencia serán:
 - Temperatura de: $20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$.
 - Aceleración normal de la gravedad ($9,806\ 65\text{ m/s}^2$). El informe de la calibración se emitirá para estas condiciones de referencia.

A.3 Pruebas de Cumplimiento de los Requisitos Técnicos

A.3.1 Instalación inicial

La balanza de presión debe instalarse de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, usando las herramientas y los instrumentos de medición incluidos con los accesorios de la balanza de presión o recomendados por el fabricante. Debe darse especial atención a la limpieza del sistema, sobre todo al pistón y cilindro, y a la verticalidad del eje del pistón.

A.3.2 Dispositivos para observar el nivel vertical del pistón

Los medios usados por observar el nivel vertical del pistón deben ser verificados con un catetómetro o cualquier instrumento equivalente.

A.3.3 Instrumento indicador de nivel

La prueba se llevará a cabo antes de cargar las pesas. La verticalidad del eje del pistón se verifica con un nivel de la burbuja calibrado.

Si el fabricante no describe un procedimiento específico para verificar la alineación del eje del pistón con la vertical, el siguiente procedimiento debe usarse:

- Nivelar la balanza usando como referencia el nivel incluido en la base.
- Flotar el pistón a su posición de operación.
- Colocar un nivel de la burbuja calibrado en la superficie superior del pistón o en un lugar especial diseñado para este propósito; la incertidumbre del nivel de burbuja calibrado debe estar dentro de ± 1 min.

A.3.4 Perpendicularidad del eje del pistón y el portapesas

Esta prueba aplica cuando el portapesas y el pistón están permanentemente conectados y debe ser realizada antes de cargar las pesas. Después de que el eje del pistón ha sido alineado verticalmente, el nivel de la burbuja calibrado se coloca en la superficie superior del portapesas en dos direcciones perpendiculares entre si.

A.3.5 Prueba de fugas en la balanza

La presión en el instrumento se incrementa al límite superior del alcance de medición de la balanza de presión; esta presión se mantendrá hasta que el sistema alcance el equilibrio térmico, (5 min –30 min). El sistema de presión se desconecta del instrumento y la fuga se observará midiendo la velocidad de caída de pistón con el pistón girando.

A.4 Prueba para el Cumplimiento de los Requisitos Metrológicos

A.4.1 Tiempo de la rotación Libre del pistón

A.4.1.1 El tiempo de la rotación libre de pistón se determinará bajo las siguientes condiciones:

- a) El sistema de medición del instrumento tendrá un fluido de presión de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
- b) La presión se incrementa al 20 % del alcance de medición.
- c) La velocidad de la rotación inicial del pistón no excederá el valor especificado por el fabricante, o $(2 \pm 0,15) \text{ s}^{-1}$ cuando ningún valor se especifica.
- d) La temperatura del ensamble pistón-cilindro estará a la temperatura de referencia o a la temperatura especificada por el fabricante, (vea A.4.1.2).
- e) Se realizarán dos pruebas sucesivas con el pistón girando en sentidos opuestos.

A.4.1.2 En el caso de que la temperatura del ensamble pistón-cilindro se desvíe de la temperatura de referencia por más de 2 °C, el tiempo de la rotación libre se calculará de acuerdo a la ecuación:

$$\tau_r = \tau \cdot \frac{\eta}{\eta_r}$$

Donde

τ_r = tiempo de rotación libre del pistón a la temperatura de referencia.

τ = tiempo de rotación libre del pistón a la temperatura de medición.

η_r = viscosidad dinámica del fluido de presión a la temperatura de referencia.

η = viscosidad dinámica del fluido de presión a la temperatura de medición.

Nota: La ecuación es válida si el pistón y el cilindro son hechos del mismo material.

A.4.1.3 La exactitud de las mediciones de tiempo, rotación, y temperatura será como sigue:

- El tiempo de rotación libre del pistón se medirá con una incertidumbre no mayor ± 10 segundos.
- La temperatura del ensamble pistón-cilindro se medirá con una incertidumbre no mayor $\pm 0,5$ °C.
- La velocidad inicial de rotación de pistón se medirá con una incertidumbre menor a $0,15 \text{ s}^{-1}$.

A.4.2 Velocidad de caída del pistón

A.4.2.1 La velocidad de caída del pistón se determinará bajo las siguientes condiciones:

- a) El sistema de medición del instrumento debe tener un fluido de presión acorde a las especificaciones del fabricante.
- b) La máxima presión debe ser igual al límite superior del alcance de la medición.
- c) El ensamble pistón-cilindro debe estar cerca de la temperatura de la referencia o dentro de la temperatura de operación especificada por el fabricante (vea A.4.2.2).
- d) El instrumento debe estar aislado, lo más lejos posible de otro sistema.

A.4.2.2 En caso de que la temperatura del ensamble pistón-cilindro se desvíe de la temperatura de referencia en más de 1°C, la velocidad de caída se calculará de acuerdo a la ecuación:

$$V_r = V \cdot \frac{\eta}{\eta_r}$$

Donde

V_r = Velocidad de caída del pistón a la temperatura de referencia.

V = Velocidad de caída del pistón a la temperatura de medición.

η_r = viscosidad dinámica del fluido de presión a la temperatura de referencia.

η = viscosidad dinámica del fluido de presión a la temperatura de medición.

A.4.2.3 La velocidad de caída del pistón se debe medir con una incertidumbre relativa menor al 5% y la medición se llevará a cabo hasta que el equilibrio térmico haya sido logrado.

A.4.2.4 La prueba se repetirá tres veces y el valor promedio de las tres mediciones será considerado como el resultado de la prueba.

A.4.3 Umbral de Movilidad

A.4.3.1 La prueba de umbral de movilidad se llevará a cabo a una presión correspondiente al límite superior del alcance de la medición.

A.4.3.2 Esta prueba se llevará a cabo por comparación con una balanza de presión patrón. Se agrega una masa correspondiente a una variación de presión del 10% del error máximo tolerado de la balanza de presión bajo la prueba.

A.4.3.3 Un cambio medible en la velocidad de caída del pistón o se observará la indicación de un cambio en la presión diferencial.

A.4.4 Determinación de la masa del pistón y de las pesas individuales.

A.4.4.1 La masa del pistón con el portapesas y las pesas individuales se determinará por calibración en masa.

Nota: La determinación de masa no es necesaria si el solicitante tiene un certificado de calibración en masa emitido por un laboratorio autorizado.

A.4.5 Determinación del área efectiva

A.4.5.1 Método de determinación

A.4.5.1.1 La determinación del área efectiva de una balanza de presión se llevará a cabo por comparación con una balanza de presión patrón por el método de flotación cruzada bajo las condiciones declaradas en A.4.5.3.

A.4.5.1.2 La comparación con una balanza de presión patrón se hará por el método siguiente.

Balance directo:

La comparación de la balanza de presión se realizará en varios puntos de presión, cargando las pesas adecuadas y agregando pesas pequeñas sobre la balanza de presión patrón para lograr el equilibrio de presiones en ambas balanzas.

A.4.5.2 Requisitos Generales

A.4.5.2.1 La balanza de presión patrón seleccionada para calibrar una balanza de presión de clase de exactitud 0,05; 0,1; ó 0,2, deberá tener una mejor incertidumbre, en una relación de 2:1 que la clase de exactitud de la balanza bajo calibración.

La balanza de presión patrón seleccionada para calibrar un balanza de presión de clase de exactitud 0,005; 0,01; ó 0,02, deberá tener una incertidumbre tal que, combinada con la incertidumbre del método, la incertidumbre total sea mejor que 0,005%; 0,01%; ó 0,02%, respectivamente, del valor de la presión.

A.4.5.2.2 La calibración debe de realizarse a valores de presión que se aumentan gradualmente

hasta el límite superior del instrumento y entonces gradualmente se disminuyen, hasta completar un ciclo. Se deben de medir al menos dos ciclos en las balanzas de presión de alta exactitud y ciclo y medio en las balanzas tipo industriales.

El número de puntos de medición y su distribución se determinarán según Tabla A1.

TABLA A1
NÚMERO DE PUNTOS DE CALIBRACIÓN Y SU DISTRIBUCIÓN

Clase de exactitud			Número de puntos	valor nominal de los valores de presión como porcentaje del límite superior del alcance de medición del instrumento										
0,01	0,01	0,02		10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,05	0,1	0,2	6	10	20	40	60	80	100					

Nota: Al calibrar una balanza de presión de clase de exactitud de 0,005; 0,01; ó 0,02, se pueden omitir tres puntos de calibración con tal de que ellos no sean adyacentes.

A.4.5.2.3 Se deberán nivelar las dos balanzas con una exactitud adecuada para asegurar que la incertidumbre debida a esta magnitud de influencia no exceda 10% del error máximo tolerado.

A.4.5.2.4 Durante la calibración, la velocidad de rotación del pistón en cada punto de la prueba, cuando los pistones de las dos las balanzas de presión están en su nivel de medición, deberá ser donde tengan una sensibilidad óptima, especificada en los manuales.

A.4.5.2.5 Durante la calibración, se considera que el equilibrio es suficiente cuando no se observan cambios en la velocidad de caída de los pistones. En este estado, la adición o levantamiento de una pequeña pesa de un valor que corresponde a la presión del 10% del error máximo tolerado del instrumento, causará un cambio obvio en la velocidad de caída del pistón.

Nota: Durante la calibración, la balanza de presión bajo calibración puede separarse de la balanza patrón por medio de un manómetro diferencial que se utiliza como detector de nulos para facilitar la observación del equilibrio entre ambas balanzas.

A.4.5.3 Cálculo del área efectiva

En el método de flotación cruzada se iguala la presión de la balanza a calibrar con la balanza patrón por lo que el área efectiva del calibrando, A_{ec} en función de la presión, se determina de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$A_{ec} = \frac{[A_o(1 + \alpha \Delta t)(1 + bp)]_p \left(\sum_{n=1}^n m_i \left[1 - \left(\frac{\rho_a}{\rho_m} \right) \right] g + \gamma C \right)_c}{[(1 + \alpha \Delta t)]_c \left(\sum_{n=1}^n m_i \left[1 - \left(\frac{\rho_a}{\rho_m} \right) \right] g + \gamma C \right)_p}$$

Donde:

A_{ec} es el área efectiva del calibrando, en función de la presión.

A_o Área efectiva del patrón, sin presión.

α es la suma de los coeficientes térmicos del pistón y el cilindro.

Δt es la diferencia de la temperatura del pistón menos su temperatura de referencia.

(El subíndice p significa patrón).

(El subíndice c , significa calibrando).

$\sum m_i$ suma de las masas colocadas sobre el pistón de la balanza.

ρ_a densidad de las masas.

ρ_m densidad de las masas.

g aceleración de la gravedad.

γ tensión superficial del fluido manométrico.

C circunferencia del pistón.

b coeficiente de deformación elástico del ensamble.

p presión.

A.4.5.3.1 Incertidumbre del área efectiva

La incertidumbre en A_{ec} se puede determinar para cada punto de medición de:

$$uA_{ec} = A_{ec} \sqrt{\left[\left(\frac{uA_o}{A_o} \right)_p^2 + (u\alpha \Delta t)_p^2 + (u\Delta t \alpha)_p^2 + (ubp)_p^2 + (upb)_p^2 + \left(\frac{um}{m} \right)_p^2 + \left(\frac{u\rho_a}{\rho_m} \right)_p^2 + \left(\frac{u\rho_m \rho_a}{\rho_m^2} \right)_p^2 + 2 \left(\frac{ug}{g} \right)^2 + \left(\frac{u\gamma C}{gm} \right)_p^2 + \left(\frac{u C \gamma}{gm} \right)_p^2 + (u\alpha \Delta t)_c^2 + (u\Delta t \alpha)_c^2 + \left(\frac{um}{m} \right)_c^2 + \left(\frac{u\rho_a}{\rho_m} \right)_c^2 + \left(\frac{u\rho_m \rho_a}{\rho_m^2} \right)_c^2 + \left(\frac{u\gamma C}{gm} \right)_c^2 + \left(\frac{u C \gamma}{gm} \right)_c^2 \right]}$$

A.4.5.4 Determinación de A_o

A.4.5.4.1 Método de regresión lineal

A_o se determina como la ordenada al origen de una regresión lineal por mínimos cuadrados, la presión del patrón contra el área efectiva del calibrando.

$$A_{ec} = A_o \cdot (1 + bp)$$

Donde:

A_{ec} es el área efectiva del calibrando en función de la presión.

A_o es el área efectiva del calibrando, a presión cero y a la temperatura de referencia.

b es el coeficiente de deformación elástico.

p es la presión del patrón.

Considerando este modelo como el de una recta donde la ordenada al origen se determina:

$$A_o = \frac{\sum A_{ec} \cdot \sum p^2 - \sum p A_{ec} \cdot \sum p}{n \cdot \sum p^2 - (\sum p)^2}$$

A.4.5.4.1.1 Determinación de la incertidumbre de A_o por regresión lineal

La incertidumbre de A_o se determina:

$$u_{A_o} = \sqrt{(u_{A_{ec}(\max)})^2 + \left(\sqrt{\frac{u_{rl}^2 \cdot \sum p^2}{n \cdot \sum p^2 - (\sum p)^2}} \right)^2}$$

Donde:

$u_{A_{ec}(\max)}$ es la máxima incertidumbre obtenida en cualquier punto de medición.

u_{rl} = incertidumbre de la regresión lineal.

La incertidumbre de la ecuación se determina:

$$u_{rl} = \sqrt{\frac{\sum (\text{residual de } A_{ec})^2}{n - 2}}$$

A.4.5.4.1.2 Determinación del coeficiente de deformación elástico

El coeficiente de deformación elástico se determina de:

$$b = \mu / A_o$$

La pendiente se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{n \cdot \sum p A_{ec} - \sum A_{ec} \cdot \sum p}{n \cdot \sum p^2 - (\sum p)^2}$$

Donde:

$\mu = b A_o$.

n = Número de mediciones.

A.4.5.4.1.3 Incertidumbre de la pendiente, μ

La incertidumbre en la pendiente se determina:

$$u_{\mu} = \sqrt{n \cdot \frac{u_{ec}^2}{n \cdot \sum p^2 - (\sum p)^2}}$$

A.4.5.4.1.4 Incertidumbre del coeficiente de deformación elástico, b

La incertidumbre del coeficiente de presión (considerando que la correlación es despreciable):

$$u_b = b \sqrt{\left(\frac{u_{\mu}}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{u_{Ao}}{Ao}\right)^2}$$

A.4.5.4.2 Determinación de A_o de acuerdo al promedio.

$$A_{ec} = A_o$$

$$A_o = \frac{A_{ec}}{n}$$

Donde:

n es el número de determinaciones de A_{ec} .

Este modelo se utiliza cuando la pendiente tiende a cero o cuando las mediciones se realizan a presiones muy bajas. (Se basa en la suposición de que a presiones bajas el ensamble no se deforma).

A.4.5.4.3 Determinación de la incertidumbre de A_o (por promedio)

La incertidumbre de A_o se determina:

$$u_{Ao} = \sqrt{\left(u_{A_{ec}(\max)}\right)^2 + \left(\frac{s_{A_{ec}}}{\sqrt{n}}\right)^2}$$

Donde

$s_{A_{ec}}$ es la desviación estándar de las mediciones de A_{ec} .

A.4.5.4.4 Determinación del coeficiente elástico

A.4.5.4.4.1 Determinación del coeficiente elástico para ensambles del mismo material

El coeficiente elástico para ensambles del mismo material se puede estimar de:

$$b = \frac{2s}{E}$$

Donde:

s cociente de Poisson.

E módulo de Young.

A.4.5.4.4.2 Determinación de la incertidumbre del coeficiente elástico

La incertidumbre de b será:

$$u_b = b \sqrt{\left(\frac{us}{s}\right)^2 + \left(\frac{uE}{E}\right)^2}$$

A.4.5.5 Determinación del error en las balanzas de presión industriales

A.4.5.5.1 Se calcula la presión del patrón, de acuerdo a la ecuación para balanzas de alta exactitud.

A.4.5.5.2 Se calcula la presión de columna debida a la diferencia de alturas entre los niveles de referencia de las dos balanzas.

A.4.5.5.3 Se calcula la presión en la balanza calibrada, de acuerdo a la ecuación para balanzas de presión tipo industrial.

A.4.5.5.4 Se calcula el error de la balanza tipo industrial para cada punto de medición.

A.4.5.5.5 Determinación de la reproducibilidad de las balanzas tipo industrial

A.4.5.5.5.1 A las pesas que generan la misma presión se les evalúa su capacidad de reproducir la misma presión de la siguiente manera:

- a) Se mide por flotación cruzada la mínima presión, que sea superior al 10 % del alcance de medición, que incluya una de las pesas duplicadas, se intercambian las pesas duplicadas hasta verificar todas.
- b) Se repite la prueba anterior para cada valor de pesa duplicada.
- c) Se calcula la máxima diferencia para cada juego de pesas que proporcionan la misma presión y se expresa como porcentaje de la lectura.
- d) El máximo valor obtenido del punto anterior se debe incluir en la evaluación de incertidumbres de la medición, considerando una distribución rectangular.

A.4.5.5.6 Determinación de la corrección de la balanza de presión tipo industrial

- a) Se grafica la lectura promedio de la balanza calibrada contra su error
- b) Si existe linealidad en la gráfica, se corrigen los valores de error por medio de una regresión lineal.
- c) Se calcula el error residual para cada punto de calibración.

A.4.5.5.7 Fuentes de incertidumbre de la medición en balanzas tipo industriales.

Para la estimación de la incertidumbre se deben de considerar las siguientes fuentes de incertidumbre:

- Incertidumbre del patrón,
- Incertidumbre del modelo de balanza tipo industrial, con las magnitudes de influencia,
- Incertidumbre del umbral de movilidad,
- Reproducibilidad de las pesas similares,
- Repetibilidad, estimada del ciclo y medio de mediciones,
- Incertidumbre en la presión de columna,
- Incertidumbre de la ecuación de ajuste,
- Incertidumbre debida a los residuales de la ecuación de ajuste.

IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS

INCISO	PÁGINA	CAMBIO(S)
Todos	Todas	Se modifico en su totalidad.
Observaciones:		