

Physikalisch- Technische Bundesanstalt



DKD

**Directriz
DKD-R 6-1**

**Calibración de instrumentos
medidores de presión**

Edición 03/2014, Revisión 3

<https://doi.org/10.7795/550.20210614A>



	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	2 / 55

Deutscher Kalibrierdienst (DKD) – Servicio Alemán de Calibración

Constituido en 1977, el DKD reúne a laboratorios de calibración de empresas industriales, de institutos de investigación, de autoridades técnicas, así como de instituciones de inspección y ensayo. El 3 mayo de 2011, se realizó la constitución del nuevo DKD como *Organismo Técnico* del PTB y de los laboratorios acreditados.

Este organismo técnico, o sea gremio, se denomina *Deutscher Kalibrierdienst (DKD)* (Servicio Alemán de Calibración) y está bajo la dirección del PTB. Las directrices y guías elaboradas por el DKD representan el estado de la técnica en los respectivos campos técnicos y están a la disposición del organismo de acreditación alemán (*Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS)*) para la acreditación de laboratorios de calibración.

Los laboratorios de calibración acreditados son acreditados y supervisados por la DAkkS como sucesora legal del organismo de acreditación del DKD. Realizan calibraciones de dispositivos de medición y de medidas materializadas para las magnitudes y rangos de medida establecidos durante la acreditación. Los certificados de calibración emitidos por estos laboratorios sirven como prueba de la trazabilidad a los patrones nacionales, tal como lo exige la familia de normas DIN EN ISO 9000 y la norma DIN EN ISO/IEC 17025.

Contacto:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
 Oficina del DKD
 Bundesallee 100 38116 Braunschweig
 Apartado de correos 33 45 38023 Braunschweig
 Teléfono Oficina DKD: +49 531 592 8021
 Internet: www.dkd.eu

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	3 / 55

Sugerencia para citar la fuente:

Directriz DKD-R 6-1 Calibración de instrumentos medidores de presión, Edición 03/2014, Revisión 3, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin.

DOI: 10.7795/550.20210614A

Esta obra, incluyendo cada una de sus partes, está protegida por derechos del autor y está sujeta a la licencia de usuario Creative Commons CC by-nc-nd 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>). En este contexto, la expresión “no comercial” (NC) significa que la obra no debe ser distribuida o puesta a disposición del público con el fin de generar ingresos. La explotación de los contenidos para el uso comercial en laboratorios de calibración está expresamente permitida.



Autores: Miembros del Comité Técnico *Presión y Vacío* del DKD

Publicado por el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) para el Servicio Alemán de Calibración (DKD) como resultado de la colaboración del PTB con el Comité Técnico *Presión y Vacío* del DKD.

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	4 / 55

Prefacio

Las Directrices del DKD son documentos de uso o aplicación en conformidad con los requisitos de la norma DIN EN ISO/IEC 17025. Las Directrices describen procesos técnicos, de procedimiento y de organización que sirven a los laboratorios de calibración acreditados como modelo para el establecimiento de procedimientos y reglamentos internos. Las Directrices del DKD pueden formar parte de los manuales de gestión de la calidad de los laboratorios de calibración. La implementación de las directrices garantiza que los dispositivos que han de ser calibrados se traten de forma igual en los distintos laboratorios de calibración y ayuda a mejorar la continuidad y la verificabilidad del trabajo de los laboratorios de calibración. Además, la implementación de las Directrices permitirá incorporar a la práctica de los laboratorios el estado de la técnica en el ámbito correspondiente.

Las Directrices del DKD no deben impedir la continuidad del desarrollo de los métodos y de los procesos de calibración. Cuando existen motivos técnicos que lo justifiquen y de acuerdo con el organismo de acreditación, se permiten desviaciones respecto de las Directrices, así como la aplicación de métodos nuevos.

Las calibraciones realizadas por laboratorios acreditados proporcionan al usuario la seguridad de obtener resultados de medición fiables, aumentan la confianza de los clientes y la competitividad en el mercado nacional e internacional. Además, sirven de base metrológica para el control de los equipos de medición y ensayo en el marco de las medidas de control de calidad.

La presente Directriz fue elaborada por el Comité Técnico *Presión y Vacío* y aprobada por la junta directiva del DKD.

La Revisión 3 contiene correcciones menores en los ejemplos, así como modificaciones de tipo editorial para una mayor claridad y comprensión.

Índice	Página
1	Objetivo y ámbito de aplicación..... 7
2	Símbolos y designaciones 7
2.1	Variables..... 7
2.2	Índices 8
3	Patrones de referencia y de trabajo 9
4	Objeto a calibrar..... 10
5	Aptitud a ser calibrado 11
6	Condiciones ambientales 11
7	Procedimiento de calibración 12
8	Incertidumbre de medida 15
8.1	Definición VIM 2.26 [9]..... 15
8.2	Procedimiento 15
8.2.1	Modelo de medición VIM 2.48 [9]..... 15
8.2.2	Modelo de suma/diferencia 16
8.2.3	Modelo de producto/cociente 17
8.2.4	Magnitudes de entrada/influencia 17
8.2.5	Posibles magnitudes de influencia, ejemplo..... 19
8.3	Calibración de manómetros de resorte 20
8.3.1	Modelo de medición 20
8.3.2	Presupuesto de incertidumbre 22
8.3.3	Presupuesto de incertidumbre relativo al escalón de carga 23
8.3.4	Índice de una sola cifra 23
8.4	Calibración de manómetros eléctricos 24
8.5	Calibración de captadores de presión y transmisores de presión con salida eléctrica..... 25
8.5.1	Modelo de medición..... 25
8.5.2	Presupuesto de incertidumbre 27
8.5.3	Presupuesto de incertidumbre relativo al escalón de carga 28
8.5.4	Índice de una sola cifra 28
8.6	Magnitudes de influencia del objeto a calibrar para el presupuesto de incertidumbre..... 29
8.6.1	Resolución r 29
8.6.1.1	Dispositivos indicadores analógicos..... 29
8.6.1.2	Dispositivos indicadores digitales..... 29
8.6.1.3	Variación de lectura 29
8.6.2	Deriva del cero f_0 29
8.6.3	Repetibilidad b' 30

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	6 / 55

8.6.4	Reproducibilidad b	30
8.6.5	Histéresis h	30
9	Evaluación de los resultados de medición y declaraciones en el certificado de calibración.....	32
9.1	Determinación de otros parámetros	33
9.1.1	Valores medios \bar{x}	33
9.1.2	Margen de variación U'	33
9.1.3	Conformidad	33
9.2	Visualización del resultado de calibración.....	33
9.2.1	Manómetro de resorte, manómetro eléctrico.....	34
9.2.2	Transmisores de presión con salida eléctrica.....	36
9.3	Valores límites para especificar la incertidumbre de medida.....	37
10	Reglas y normas complementarias	38
Apéndice A Determinación de la incertidumbre de medida que debe ser atribuida a los valores de presión del manómetro de pistón bajo condiciones de uso.....		41
Apéndice B Ejemplo Presupuesto de incertidumbre para la calibración de un manómetro de resorte.....		43
Apéndice C Ejemplo Presupuesto de incertidumbre para la calibración de un manómetro digital eléctrico		46
Apéndice D Ejemplo Presupuesto de incertidumbre para la calibración de un transmisor de presión con salida eléctrica		49
Apéndice E (informativo) Incertidumbres de patrones de referencia y de trabajo.....		53
Apéndice F Plazos de recalibración (recomendación).....		54

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	7 / 55

1 Objetivo y ámbito de aplicación

Esta directriz tiene por objeto establecer los requisitos mínimos para el procedimiento de calibración y la estimación de la incertidumbre de medida en la calibración de instrumentos medidores de presión. Se aplicará a manómetros de resorte, manómetros eléctricos y transmisores de presión con salida eléctrica para la presión absoluta, presión diferencial y sobrepresión con valores negativos y positivos.

2 Símbolos y designaciones

Los símbolos están listados por temática, es decir, por lo general en el orden de su aparición en el texto.

2.1 Variables

M1 ... M6	Serie de mediciones
EW	Valor límite (del rango de calibración)
Y	Magnitud de salida del modelo de medición VIM 2.51 [9]
X	Magnitud de entrada del modelo de medición VIM 2.50 [9]
δX	Magnitud de influencia VIM 2.52 [9]
K	Factor de corrección
x	Mejor valor estimado de la magnitud de entrada
y	Mejor valor estimado de la magnitud de salida
c	Coeficiente de sensibilidad
k	Factor de cobertura VIM 2.38 [9]
a	Semiancho de una distribución
$g_{x_i}(\xi_i)$	Probabilidad
$E[\dots]$	Valor esperado
u	Incertidumbre estándar de medida VIM 2.30 [9]
U	Incertidumbre expandida de medida VIM 2.35 [9]
w	Incertidumbre estándar relativa VIM 2.32 [9]
W	Incertidumbre expandida relativa
p	Presión
Δp	Error sistemático de medida o sea desviación sistemática de la magnitud de presión
δp	Magnitud de influencia en la dimensión de la presión
S	Coeficiente de transferencia (del captador de presión)
ΔS	Desviación sistemática del coeficiente de transferencia del índice de una sola cifra
$U\dots$	Tensión con índices diferentes (secciones 8.2.3, 8.5.1, 8.5.2 y Apéndice D)
G	Factor de amplificación
r	Resolución
f_0	Deriva del cero
b'	Repetibilidad VIM 2.21 [9]
b	Reproducibilidad VIM 2.23 [9]
h	Histéresis

U'	Margen de variación
W'	Margen de variación relativo
S'	Pendiente de una función de regresión lineal
p_e	Sobrepresión
m_i	Masa del cuerpo de carga i
g	Aceleración de la gravedad
ρ	Densidad
A_0	Área de la sección transversal efectivo del sistema pistón-cilindro con la presión siendo igual a cero y una temperatura de referencia t_0
λ	Coefficiente de deformación del sistema pistón-cilindro
α	Coefficiente térmico de expansión lineal del pistón
β	Coefficiente térmico de expansión lineal del cilindro
$\alpha + \beta$	Coefficiente de dilatación térmica de la superficie del sistema pistón-cilindro
t	Temperatura del sistema pistón-cilindro
Δh	Diferencia de altura entre los planos de referencia

2.2 Índices

S_p	Tensión de alimentación
j	Número del punto de medición
l	Número de las series de mediciones
m	Número de la serie de mediciones
n	Número de los ciclos de medición
a	Aire
abs	Tipo de presión ' <i>presión absoluta</i> ' con respecto a la variable p
amb	Ambiente
e	Tipo de presión ' <i>sobrepresión</i> ' con respecto a la variable p
Fl	Medio de presión
m_i	Carga / masa i
cond.est.	Condiciones estándar
corr	Corrección (del valor medido)

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	9 / 55

3 Patrones de referencia y de trabajo

La calibración se lleva a cabo por comparación directa de los valores medidos del objeto a calibrar con los del patrón de referencia o de trabajo que tiene trazabilidad directa o indirecta a un patrón nacional.

Los patrones de referencia utilizados son manómetros de estabilidad a largo plazo como, por ejemplo, manómetros de pistón y manómetros de nivel líquido, o medidores de presión eléctricos menos estables a largo plazo (véase Apéndice F, p. 54). Se calibran a intervalos regulares y reciben un certificado de calibración que indica la incertidumbre de medida expandida bajo condiciones estándar (aceleración de la gravedad estándar o local, 20 °C, 1 bar). El patrón de referencia está sujeto a control y documentación por parte del laboratorio. En caso de una calibración fuera de las condiciones estándar, hay que realizar todas las correcciones relevantes en el cálculo de la presión.

En el presupuesto de incertidumbre deberán incluirse como contribuciones la estabilidad a largo plazo del patrón de referencia, así como todas las magnitudes relevantes de entrada y de influencia. Asimismo, hay que incluir las cantidades incorporadas en las correcciones.

En el caso de instrumentos medidores de presión con indicación que se usan como patrón, la resolución debe considerarse una segunda vez al calcular la incertidumbre de medición.

Los patrones de trabajo documentados en el manual de gestión de la calidad del laboratorio se calibran en un laboratorio de calibración acreditado y reciben un certificado de calibración en el cual se indica la incertidumbre expandida en el momento de la calibración. El laboratorio es responsable de controlar sus patrones de trabajo. En cuanto al tipo, los patrones de trabajo pueden variar considerablemente.

Recomendación:

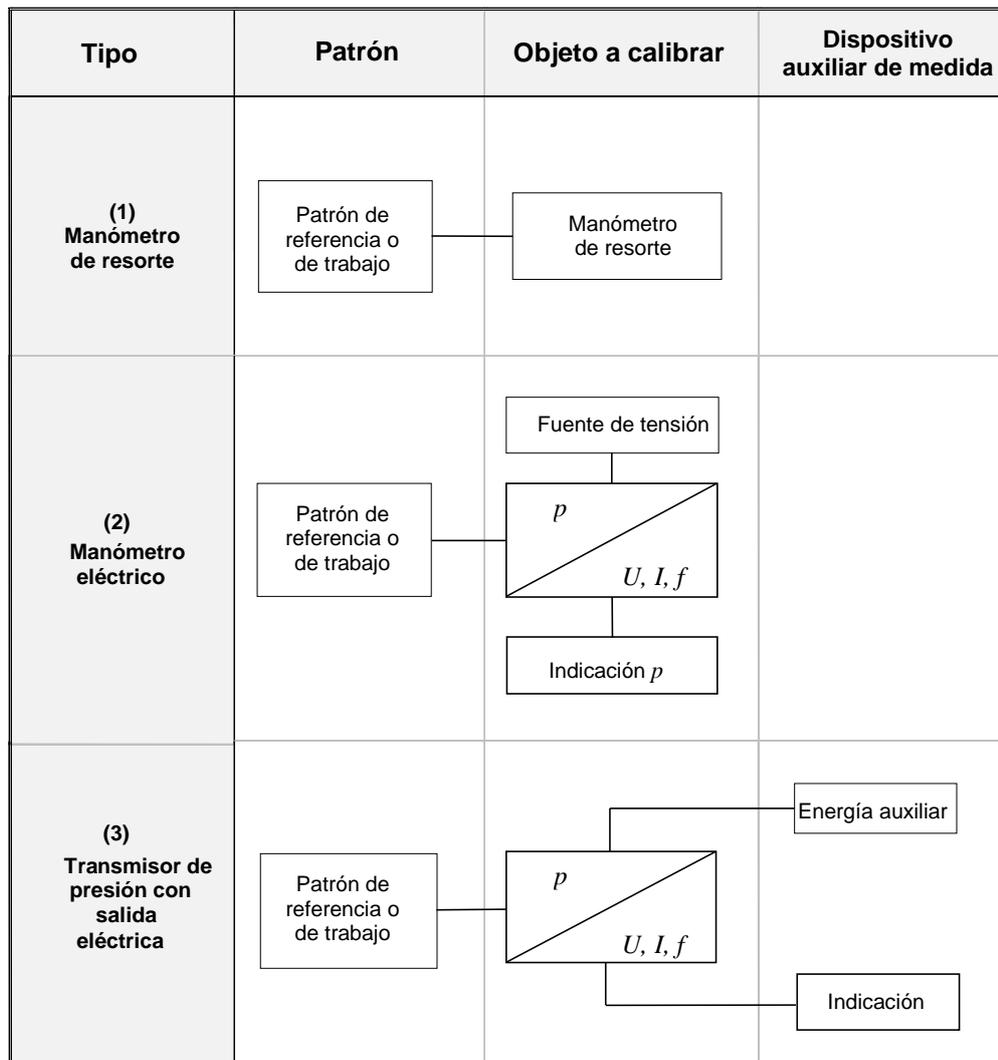
La incertidumbre atribuida a los valores de medición del patrón de referencia o del patrón de trabajo no debería superar 1/3 de la incertidumbre deseada¹, que probablemente sea atribuida a los valores de medición del objeto a calibrar.

¹ La incertidumbre deseada es la incertidumbre que se puede lograr en un esfuerzo de calibración especificado (incertidumbre de los valores del patrón, número de series de mediciones, etc.). Puede ser igual o mayor que la capacidad óptima de medida.

4 Objeto a calibrar

Los objetos a calibrar son manómetros de los tres tipos indicados en la Figura 1.

Figura 1: Tipos de manómetros



A diferencia de los manómetros eléctricos (2), donde sólo se requiere el suministro de una fuente de tensión o de energía eléctrica, hay que utilizar instrumentos auxiliares de medición del laboratorio acreditado para la calibración de transmisores de presión con salida eléctrica (3). Éstos se utilizan para convertir la señal eléctrica en una indicación con texto legible. La incertidumbre atribuida a los valores medidos de los medidores auxiliares debe ser considerada en el presupuesto de incertidumbre. Para garantizar la trazabilidad, es necesario que los instrumentos auxiliares estén calibrados y que la incertidumbre a atribuir a los valores de medición sea conocida.

Al elegir los instrumentos auxiliares de medición, hay que tener en cuenta sus contribuciones a la incertidumbre de medida para que éstas no afecten de manera significativa la incertidumbre deseada del objeto a calibrar.

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	11 / 55

En los objetos con interfaz digital (p.ej. RS232, RS485 IEEE488, etc.), esta interfaz puede ser utilizada en lugar de la pantalla (indicación). Debe garantizarse que los datos que se leen sean interpretados y procesados de manera inequívoca.

5 Aptitud a ser calibrado

El procesamiento de un pedido de calibración presupone la aptitud del objeto a calibrar a poder ser calibrado, es decir, el estado actual del objeto a calibrar debe cumplir con las reglas técnicas generalmente aceptadas y las exigencias especiales de acuerdo con la documentación del fabricante. La aptitud a ser calibrado se debe comprobar mediante inspecciones externas de calidad y pruebas de funcionamiento.

Las inspecciones externas para comprobar la calidad incluyen, por ejemplo:

- inspección visual para detectar posibles daños (aguja, rosca, superficie de sellado, canal de presión)
- contaminación y limpieza
- inspecciones visuales respecto al etiquetado, legibilidad de la indicación
- comprobación de la disponibilidad de los documentos necesarios para la calibración (datos técnicos, manual de instrucciones)

Las pruebas de funcionamiento incluyen, por ejemplo:

- hermeticidad del sistema de líneas del objeto a calibrar
- funcionamiento eléctrico
- funcionamiento correcto de los elementos de mando (p. ej. posibilidad de ajustar el punto cero)
- elementos de ajuste en posición definida
- ejecución correcta de funciones de autocomprobación y/o autoajuste; al ser necesario, los valores de referencia internos deben ser leídas a través de la interfaz de datos
- dependencia de par (señal cero) debido al montaje

Nota:

Si el objeto a calibrar requiere medidas de reparación o ajustes para poder ser calibrado, estos trabajos deben ser acordados entre el cliente y el laboratorio de calibración. En la medida de lo posible, los parámetros relevantes del dispositivo han de ser documentados antes y después de los ajustes.

6 Condiciones ambientales

La calibración debe realizarse después de una compensación de temperatura entre el objeto a calibrar y su entorno dentro del rango de temperatura permisible. Hay que tener en cuenta el tiempo de calentamiento del objeto a calibrar así como un posible calentamiento del objeto a calibrar debido a la tensión de alimentación. El tiempo de calentamiento se basa en la experiencia personal o las especificaciones del fabricante.

La calibración debe realizarse a una temperatura ambiente estable; ésta debe ser registrada. La fluctuación de temperatura recomendada durante la calibración asciende a un máximo de ± 1 K. Al utilizar los límites de tolerancia máximos, puede ser necesario tener en cuenta una contribución adicional a la incertidumbre de medida.

El rango de temperatura admisible es de 18 °C bis 28 °C.

Nota:

Al utilizar manómetros de pistón, la densidad del aire puede influir significativamente en el resultado de la calibración (empuje del aire de la masa y presión hidrostática) y, por lo tanto, debe tenerse en cuenta. Para ello, además de la

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	12 / 55

temperatura ambiente, hay que registrar también la presión atmosférica. La humedad relativa debe medirse y registrarse o, en los casos en que la humedad relativa no represente una influencia significativa en el análisis de la incertidumbre del valor de la presión, debe estimarse razonablemente (por ejemplo, el 50 % con una incertidumbre expandida del 50 %). Esta información debe constar en el certificado de calibración (véase DAkkS-DKD-5 [12] y DAkkS 71 SD 0 025 [13] en relación con la norma DIN EN ISO/IEC 17025:2018 [7] sección 7.8).

7 Procedimiento de calibración

- Al ser posible, el manómetro debe calibrarse en su conjunto (cadena de medición).
- Se debe considerar la posición de montaje especificada.
- La calibración debe llevarse a cabo en puntos de medición distribuidos a distancias iguales a lo largo del rango de calibración.
- Dependiendo de la incertidumbre de medida deseada se necesitan una o más series de mediciones (véase Tabla 1 o Figura 2, respectivamente).
- Si el comportamiento del objeto a calibrar con respecto a la influencia del par no es suficientemente conocido durante el montaje, la reproducibilidad debe ser determinada mediante una sujeción adicional. En este caso, el valor del par debe ser documentado.
- Se ha de minimizar la diferencia de altura entre las alturas de referencia del patrón y del objeto a calibrar o se debe calcular la corrección.

Si se solicita, se pueden determinar otras magnitudes de influencia (p. ej. la influencia de la temperatura a través de series de mediciones adicionales a temperaturas diferentes).

Hay dos métodos para comparar los valores de medición del objeto a calibrar con los del patrón de referencia o trabajo:

- ajuste de la presión de acuerdo con la indicación del objeto a calibrar
- ajuste de la presión de acuerdo con la indicación del patrón

El tiempo de precarga en el valor final y entre dos precargas debe ser de al menos 30 segundos. Después de la precarga, la indicación del objeto a calibrar se pone a cero después de alcanzar el estado de equilibrio – siempre que el objeto a calibrar lo permita. La lectura de cero se lleva a cabo inmediatamente después. En cuanto al cambio de una etapa de presión de una serie de mediciones, el tiempo entre dos etapas de carga sucesivas debe ser igual; no debe ser inferior a 30 segundos, y la lectura no debe comenzar antes de 30 segundos después del inicio del cambio de presión. Especialmente en el caso de los manómetros de resorte, la influencia de la fricción del mecanismo de la aguja debe minimizarse mediante un ligero golpeteo. El valor medido en el límite del rango de calibración debe ser registrada antes y después del tiempo de espera. La lectura del punto cero al final de una serie de mediciones no se realiza hasta que hayan pasado al menos 30 segundos desde de la descarga completa.

El esfuerzo de calibración, en función de la incertidumbre deseada (véase la nota a pie de página 1 en la sección 3) está representado en la Figura 2 que muestra la secuencia de la calibración.

Tabla 1: Secuencias de calibración

Secuencia	Incertidumbre deseada en % del intervalo de medida	Número mínimo de puntos de medición	Número de precargas	Cambio de carga + tiempo de permanencia	Tiempo de permanencia en el valor final del rango de medición	Número de series de mediciones	
						asc./desc.	asc. desc.
A	< 0,1	9	3	> 30	2	2	2
B	0,1 ... 0,6	9	2	> 30	2	2	1
C	> 0,6	5	1	> 30	2	1	1

* La referencia al intervalo de medida (*span*) fue elegido con el fin de permitir la selección de la secuencia (esfuerzo de calibración necesario) de la tabla, ya que las especificaciones (tolerancias) de los fabricantes suelen estar relacionados al intervalo de medida. En el caso de los instrumentos de medición cuyas especificaciones de precisión son proporcionales al valor medido o se especifican a partir de componentes compuestos, se aplicará la Tabla 1 utilizando la especificación de precisión en el valor final del rango de medición (en relación con el *span*).

** En cualquier caso, hay que esperar hasta alcanzar el estado de equilibrio (indicación suficientemente estable del patrón y del objeto a calibrar).

*** Para manómetros de resorte hay que respetar un tiempo de permanencia de 5 minutos.

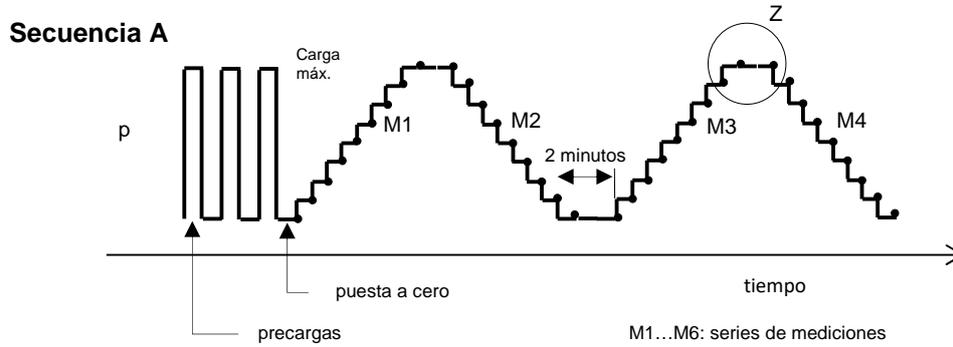
Notas:

La calibración de objetos con un rango de medición superior a 2500 bar básicamente requiere la aplicación de la secuencia de calibración A. Si se observan efectos de sujeción, la calibración se repite, en caso necesario, con una segunda sujeción.

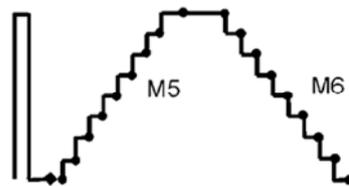
Objetos que se calibran con presión manométrica positiva y negativa deben ser calibrados al menos en dos puntos en el rango negativo (por ejemplo, a -1 bar y -0,5 bar); los restantes puntos de medición deben calibrarse en el rango positivo

Si se requieren varias referencias para llevar a cabo una calibración, la presión en el objeto a calibrar debe mantenerse constante cuando se cambia la referencia. Si esto no es posible (por ejemplo, cambio de la posición de montaje, segunda sujeción), hay que realizar otra secuencia completa de calibración.

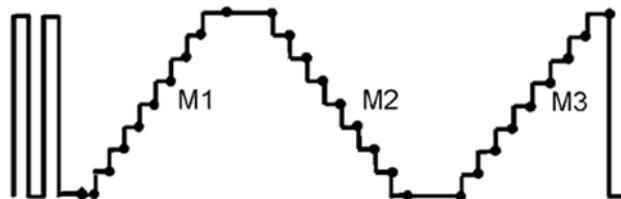
Figura 2: Visualización de las secuencias de calibración



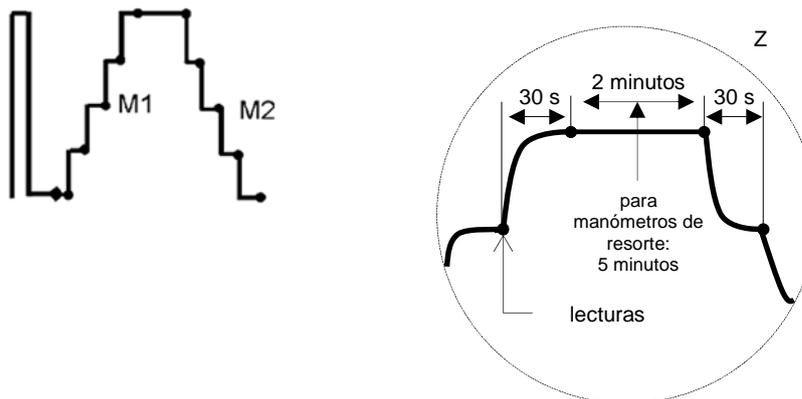
Medición repetitiva adicional en el caso de una segunda sujeción



Secuencia B



Secuencia C



	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	15 / 55

8 Incertidumbre de medida

8.1 Definición VIM 2.26 [9]

La incertidumbre de medida es un “parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza”.

8.2 Procedimiento

8.2.1 Modelo de medición VIM 2.48 [9]

El modelo de medición se define como "relación matemática entre todas las magnitudes conocidas que intervienen en una medición".

Generalmente, la incertidumbre se determina según el procedimiento descrito en EA-4/02 M:2013 [18]. Se utilizan los siguientes términos y reglas de cálculo bajo la condición de que no haya correlaciones a considerar entre las magnitudes de entrada:

Función de modelo			$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$
Incertidumbre estándar	$u(x_i)$	Incertidumbre estándar atribuida a la magnitud de entrada/influencia	
	c_i	Coficiente de sensibilidad	$c_i \equiv \frac{\partial f}{\partial x_i}$
	$u_i(y)$	Contribución a la incertidumbre estándar atribuida a la magnitud de salida inducida por la incertidumbre estándar $u(x_i)$ de la magnitud de entrada/influencia x_i	$u_i(y) \equiv c_i \cdot u(x_i)$
	$u(y)$	Incertidumbre estándar atribuida a la magnitud de salida	$u^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y)$ $u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)}$
Incertidumbre expandida	$U(y)$	Incertidumbre expandida	$U(y) = k \cdot u(y)$
	k	Factor de cobertura	$k = 2$ <i>para una magnitud de medida distribuida en gran parte normalmente y una probabilidad de cobertura de aproximadamente un 95 %</i>

Si se utilizan incertidumbres relativas, las variables u , U serán reemplazadas por las variables w , W .

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	16 / 55

En los modelos complejos, la regla de cálculo conduce rápidamente a una determinación analítica inmanejable de los coeficientes de sensibilidad, por lo que habrá un cambio hacia la determinación numérica de los coeficientes de sensibilidad, basada en programas informáticos.

Aparte de esta regla de cálculo general, hay dos casos especiales que conducen a coeficientes de sensibilidad $c_i = \pm 1$ o $c_i x_i y^{-1} = \pm 1$, y por lo tanto, a la adición cuadrática simple de las incertidumbres de las magnitudes de entrada/salida. Esto permite una determinación simple de la incertidumbre de medición sin el soporte de programas informáticos.

Nota:

Por supuesto, el modelo “simple” también debe reflejar correctamente el proceso físico de la medición/calibración. Al ser necesario, relaciones más complejas deben ser representadas por medio de un modelo adecuado (ningún caso especial) en un presupuesto de incertidumbre separado (véase Apéndice A, Determinación de la incertidumbre de medida que debe ser atribuida a los valores del manómetro de pistón bajo condiciones de uso).

8.2.2 Modelo de suma/diferencia

$$Y = X + \sum_{i=1}^N \delta X_i \tag{1}$$

- Y Magnitud de salida
- X Magnitud(es) de entrada
- δX_i Magnitud(es) de influencia
- $E[\delta X_i] = 0$ Valor esperado;
los componentes no contribuyen al cálculo de la magnitud de salida, es decir no se aplican correcciones, pero sí contribuyen a la incertidumbre de medida

p. ej. modelo para determinar la desviación de la indicación:

$$\Delta p = p_{\text{ind}} - p_{\text{patrón}} + \sum_{i=1}^N \delta p_i \tag{2}$$

Este modelo es especialmente adecuado para objetos de calibración con indicación propia en unidades de presión (p. ej. manómetro de resorte, manómetro eléctrico). Las incertidumbres también se indican en la unidad de la magnitud física de presión (pascal, bar, etc.).

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	17 / 55

8.2.3 Modelo de producto/cociente

$$Y = X \cdot \prod_{i=1}^N K_i \quad (3)$$

Y Magnitud de salida

X Magnitud(es) de entrada

$K_i = \left(1 + \frac{\delta X_i}{|X_i|} \right)$ Factor(es) de corrección

δX_i Magnitud(es) de influencia

$E[\delta X_i] = 0$; $E[K_i] = 1$ Valores esperados;
 los componentes no contribuyen al cálculo de la magnitud de salida, es decir no se aplican correcciones, pero sí contribuyen a la incertidumbre de medida

p. ej. modelo para determinar el coeficiente de transferencia de un captador de presión (transductor de presión de calibre extensométrico):

$$S = \frac{X_{\text{salida}}}{X_{\text{entrada}}} = \frac{U_{\text{ind}} / (G \cdot U_{\text{Sp}})}{P_{\text{patrón}}} \cdot \prod_{i=1}^N K_i \quad (4)$$

Este modelo es especialmente adecuado para los objetos de calibración sin indicación propia (p.ej. transmisores de presión con salida eléctrica) utilizando incertidumbres relativas w de la dimensión 1 (adimensional o %, respectivamente).

8.2.4 Magnitudes de entrada/influencia

En cuanto a su determinación, las incertidumbres de medida atribuidas a las magnitudes de entrada/influencia se dividen en dos categorías:

Tipo A: En la determinación del valor y de su incertidumbre estándar atribuida se utilizan métodos de análisis de estadísticas para series de mediciones bajo condiciones de repetibilidad ($l \geq 10$, con la variable l siendo indicando el número de series de mediciones).

Tipo B: La determinación del valor y de su incertidumbre estándar atribuida se basa en otros conocimientos científicos y se puede estimar a partir de las siguientes informaciones:

- datos de mediciones anteriores
- conocimientos generales y experiencias en relación con las características y el comportamiento de los instrumentos de medición y los materiales
- declaraciones del fabricante
- certificados de calibración u otros certificados
- datos de referencia de manuales

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	18 / 55

En muchos casos, se puede indicar solamente el límite máximo y mínimo a_+ y a_- para el valor de una magnitud; de ser así, todos los valores dentro de los límites pueden considerarse como igualmente probables. Esta situación puede ser mejor descrita utilizando una densidad de probabilidad rectangular.

Con
$$a_+ - a_- = 2a \tag{5}$$

se obtiene el valor estimado de la magnitud de entrada/influencia

$$x_i = \frac{1}{2} \cdot (a_+ + a_-) \tag{6}$$

y la incertidumbre estándar atribuida

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}} \tag{7}$$

Si es más probable que los valores se encuentren en el medio o en el borde del intervalo, entonces es razonable asumir una distribución triangular o en forma de U.

Tabla 2: Otras formas de distribución tipo B

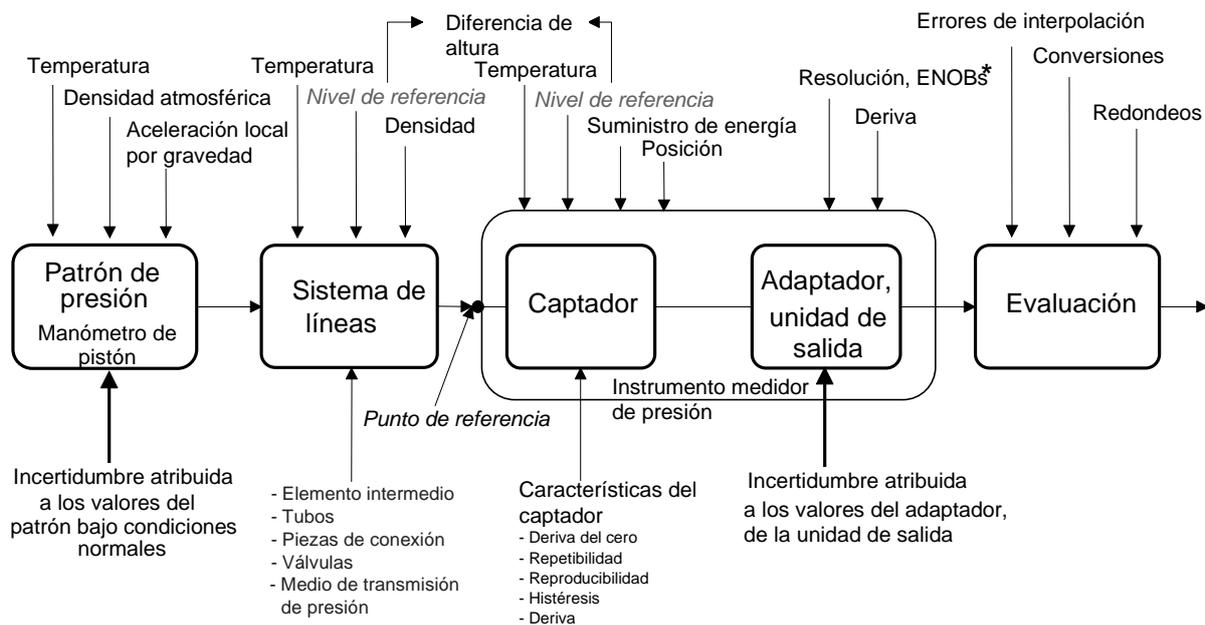
Forma de distribución	Incertidumbre estándar
normal	$u = \frac{U}{k}$
triangular	$u = \frac{a}{\sqrt{6}}$
en forma de U	$u = \frac{a}{\sqrt{2}}$
etc.	

8.2.5 Posibles magnitudes de influencia, ejemplo

Para establecer el modelo de la incertidumbre, se recomienda la representación gráfica de las magnitudes de influencia. La siguiente representación muestra de forma ejemplar las posibles magnitudes de influencia en la calibración de un medidor de presión con un manómetro de pistón.

Figura 3 muestra el diagrama de bloques del manómetro tipo (3) de la sección 4, Figura 1.

Figura 3: Magnitudes de influencia en la calibración de un medidor de presión



* ENOB: Effective Number of Bits (número efectivo de bits)

(Valor característico de convertidores A/D que caracteriza la precisión y el rendimiento de dichos convertidores mejor que la resolución.)

Nota:

Para un primer enfoque, a veces es útil de asignar las magnitudes de influencia a los siguientes bloques

- patrón
- procedimiento
- objeto a calibrar

Las incertidumbres atribuidas a los valores del patrón, del adaptador y de la unidad de salida se toman de los certificados de calibración (generalmente distribución normal, $k = 2$). La estabilidad a largo plazo debe evaluarse como una contribución a la incertidumbre y tenerse en cuenta si es necesario. En caso de utilizar manómetros eléctricos, esto también se aplica a la resolución y a la dependencia de la temperatura de los mismos.

8.3 Calibración de manómetros de resorte

8.3.1 Modelo de medición

Por ejemplo, un simple modelo suma/diferencia sirve para determinar el error de medida de la indicación –separadamente para los valores medidos en dirección de la presión creciente y para los valores medidos en dirección de la presión decreciente –según las secuencias de calibración (véase sección 7, Tabla 1 o Figura 2, respectivamente):

$$\Delta p_{\text{asc/desc}} = p_{\text{ind,asc/desc}} - p_{\text{patrón}} + \sum_{i=1}^2 \delta p_i = p_{\text{ind,asc/desc}} - p_{\text{patrón}} + \delta p_{\text{deriva del cero}} + \delta p_{\text{repetibilidad}} \quad (8)$$

$Y = \Delta p_{\dots}$	Magnitud de salida; desviación de la indicación Índice ... indica ascenso/descenso o medio, ver ecuaciones (8) y (9)	2	
$X_1 = p_{\text{ind},\dots}$	Indicación del instrumento medidor de presión Índice ... indica ascenso/descenso o medio, ver ecuaciones (8) y (9)	3	4
$X_2 = p_{\text{patrón}}$	Valor del patrón de referencia ⁵		
$X_3 = \delta p_{\text{deriva del cero}}$	Magnitud de influencia <i>deriva del cero</i>	6	
$X_4 = \delta p_{\text{repetibilidad}}$	Magnitud de influencia <i>repetibilidad</i>		

y para los valores medios de las mediciones ascendentes y descendentes:

$$\Delta p_{\text{medio}} = p_{\text{ind,medio}} - p_{\text{patrón}} + \sum_{i=1}^3 \delta p_i = p_{\text{ind,medio}} - p_{\text{patrón}} + \delta p_{\text{deriva del cero}} + \delta p_{\text{repetibilidad}} + \delta p_{\text{histerésis}} \quad (9)$$

$$p_{\text{ind,medio}} = \frac{p_{\text{ind,asc}} + p_{\text{ind,desc}}}{2} \quad (10)$$

adicionalmente con:

$X_5 = \delta p_{\text{histerésis}}$	Magnitud de influencia <i>histerésis</i>	7	5
--------------------------------------	--	---	---

² Magnitud de salida

³ Magnitudes de entrada

⁴ Magnitudes para determinar la incertidumbre

⁵ El valor del patrón de referencia tiene en cuenta el uso del manómetro de pistón bajo condiciones de uso (aplicación de correcciones). Por lo tanto, el presupuesto de incertidumbre también incluye contribuciones a la incertidumbre del manómetro de pistón, tanto bajo condiciones de referencia como en condiciones de uso. Esta última contribución se determina en presupuestos de incertidumbre (véase Apéndice A *Determinación de la incertidumbre de medida que debe ser atribuida a los valores de presión del manómetro de pistón bajo condiciones de uso*) para las influencias de la temperatura, del coeficiente de dilatación térmica de la superficie, de la aceleración de la gravedad, de la densidad del aire, del coeficiente de deformación (manómetro de pistón) o, respectivamente, para las de la densidad, de la aceleración de la gravedad y de la diferencia de altura de los planos de referencia. Además, hay que tener en cuenta la estabilidad a largo plazo del patrón de referencia.

⁶ Magnitudes de influencia

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	21 / 55

Cuando las series ascendentes y descendentes se consideran por separado, la incertidumbre expandida ($k = 2$) se determina así:

$$U_{\text{asc/desc}} = k \cdot u_{\text{asc/desc}} \quad (11)$$

$$U_{\text{asc/desc}} = k \cdot \sqrt{u_{\text{patrón}}^2 + u_{\text{resolución}}^2 + u_{\text{deriva del cero}}^2 + u_{\text{repetibilidad}}^2}$$

y - teniendo en cuenta la desviación sistemática - el llamado margen de variación⁷ sería:

$$U'_{\text{asc/desc}} = U_{\text{asc/desc}} + |\Delta p_{\text{asc/desc}}| \quad (12)$$

Utilizando los valores medios de las series ascendentes y descendentes, la incertidumbre expandida ($k = 2$) se calcula de la siguiente manera:

$$U_{\text{medio}} = k \cdot \sqrt{u_{\text{asc/desc}}^2 + u_{\text{histéresis}}^2} \quad (13)$$

Aquí, se utilizará el valor mayor de la repetibilidad para el cálculo de la incertidumbre de la medición $u_{\text{asc/desc}}$.

El margen de variación asociado se calcula así:

$$U'_{\text{medio}} = U_{\text{medio}} + |\Delta p_{\text{medio}}| \quad (14)$$

⁷ La diferencia máxima esperada entre el valor medido y el valor verdadero del mensurando se denomina margen de variación. El margen de variación se puede utilizar para caracterizar la precisión (*accuracy* en inglés).

8.3.2 Presupuesto de incertidumbre

Los conocimientos respecto a las magnitudes de entrada/influencia se resume preferiblemente en una tabla.

Tabla 3: Presupuesto de incertidumbre para la calibración de un manómetro de resorte

N°	Magnitud	Mejor valor estimado	Ancho de distribución	Distribución de probabilidad	Divisor	Incertidumbre estándar	Coeeficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre	Unidad ⁸
	X_i	x_i	$2a$	$g_{x_i}(\xi_i)$		$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	
1	$p_{ind...}$	$p_{i, ind...}$	$2r$	rectangular	$2\sqrt{3}$	$u(r) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{2r}{2}\right)^2}$	1	u_r	bar
2	$p_{patrón}$	$p_{i, patrón}$		normal		$u(\text{patrón})$	-1	$u_{\text{patrón}}$	bar
3	$\delta p_{\text{deriva del cero}}$	0	f_0	rectangular	$2\sqrt{3}$	$u(f_0) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{f_0}{2}\right)^2}$	1	u_{f_0}	bar
4	$\delta p_{\text{repetibilidad}}$	0	b'	rectangular	$2\sqrt{3}$	$u(b') = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{b'}{2}\right)^2}$	1	$u_{b'}$	bar
5	$\delta p_{\text{histéresis}}$	0	h	rectangular	$2\sqrt{3}$	$u(h) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2}$	1	u_h	bar
	Y	$\Delta p_{...}$						$u(y)$	bar

⁸ Se recomienda indicar la unidad de las contribuciones a la incertidumbre (unidad de la magnitud física, unidad de indicación, etc.)

8.3.3 Presupuesto de incertidumbre relativo al escalón de carga

La estimación de la incertidumbre de medida debe realizarse para cada valor de calibración, es decir, para cada escalón de carga. Por razones de claridad se recomienda la siguiente tabla – tanto para los valores ascendentes como los descendentes y los valores medios:

Tabla 4: Presupuesto de incertidumbre

Presión	Error de medición	Incertidumbre estándar u			Incertidumbre expandida $U (k=2)$	Margen de variación U'
		Contribución 1	...	Contribución n'		
bar	bar		bar		bar	
min.						
...						
max.						

8.3.4 Índice de una sola cifra

Además de especificar el margen de variación para cada escalón de carga, se puede proporcionar al cliente el margen de variación máximo dentro del área de validez de la calibración (en la unidad de la presión, en relación con el valor de medición o el intervalo de medida). De forma similar, se puede confirmar la conformidad (véase página 33).

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	24 / 55

8.4 Calibración de manómetros eléctricos

El modelo de la medición y el presupuesto de incertidumbre para la calibración de un manómetro de resorte se pueden utilizar también para la calibración de un manómetro eléctrico (indicación numéricamente correcta en unidades de la presión). De ser necesario, también se tendrá en cuenta la “reproducibilidad b en casos de instalación repetida”

$X_6 = \delta p_{\text{reproducibilidad}}$	Magnitud de influencia <i>reproducibilidad</i>	7	5
--	--	---	---

Tabla 5: Componente adicional en la determinación de la incertidumbre para la calibración de un manómetro eléctrico

N°	Magnitud	Mejor valor estimado	Ancho de distribución	Distribución de probabilidad	Divisor	Incertidumbre estándar	Coeeficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre	Unidad
	X_i	x_i	$2a$	$g_{x_i}(\xi_i)$		$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	
6	$\delta p_{\text{reproducibilidad}}$	0	b	rectangular	$2\sqrt{3}$	$u(b) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{b}{2}\right)^2}$	1	u_b	bar

Aquí, la incertidumbre expandida ($k = 2$) para las series ascendentes y descendentes se determina de la manera siguiente:

$$U_{\text{asc/desc}} = k \cdot u_{\text{asc/desc}} \tag{15}$$

$$U_{\text{asc/desc}} = k \cdot \sqrt{u_{\text{patrón}}^2 + u_{\text{resolución}}^2 + u_{\text{deriva del cero}}^2 + u_{\text{repetibilidad}}^2 + u_{\text{reproducibilidad}}^2}$$

La determinación del margen de variación asociado para las series de mediciones ascendentes y descendentes y para la incertidumbre expandida y el margen de variación para el valor medio será análogo al procedimiento para el manómetro de resorte.

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	25 / 55

8.5 Calibración de captadores de presión y transmisores de presión con salida eléctrica

8.5.1 Modelo de medición

Un simple modelo producto/cociente sirve, por ejemplo, para determinar el coeficiente de transferencia – separadamente, para los valores de medición en dirección de la presión creciente y para los valores de medición en dirección de la presión decreciente:

$$S_{\text{asc/desc}} = \frac{X_{\text{salida,asc/desc}}}{X_{\text{entrada}}} = \frac{U_{\text{ind,asc/desc}} / (G \cdot U_{\text{Sp}})}{P_{\text{patrón}}} \prod_{i=1}^3 K_i = \frac{U_{\text{ind,asc/desc}} / (G \cdot U_{\text{Sp}})}{P_{\text{patrón}}} K_{\text{deriva del cero}} K_{\text{repetibilidad}} K_{\text{reproducibilidad}} \quad (16)$$

$Y = S_{\dots}$	Magnitud de salida; coeficiente de transferencia Índice ... indica ascenso/descenso o medio, véase ecuaciones (16) y (17)	3	
$X_1 = U_{\text{ind,}\dots}$	Indicación de la unidad de salida (voltímetro) Índice ... indica ascenso/descenso o medio, véase ecuaciones (16) y (17)	4	5
$X_2 = G$	Coeficiente de transferencia del adaptador (amplificador suministrado)		
$X_3 = U_{\text{Sp}}$	Valor de la tensión de alimentación (instrumento auxiliar)		
$X_4 = p_{\text{patrón}}$	Valor del patrón de referencia		
$X_5 = K_{\text{deriva del cero}}$	Factor de corrección debido a la magnitud de influencia <i>deriva del cero</i>	7	
$X_6 = K_{\text{repetibilidad}}$	Factor de corrección debido a la magnitud de influencia <i>repetibilidad</i>		
$X_7 = K_{\text{reproducibilidad}}$	dado el caso, factor de corrección debido a la magnitud de influencia <i>reproducibilidad</i>		

Lo siguiente es válido para los valores medios:

$$S_{\text{medio}} = \frac{X_{\text{salida,medio}}}{X_{\text{entrada}}} = \frac{U_{\text{ind,medio}} / (G \cdot U_{\text{Sp}})}{P_{\text{patrón}}} \prod_{i=1}^4 K_i = \frac{U_{\text{ind,medio}} / (G \cdot U_{\text{Sp}})}{P_{\text{patrón}}} K_{\text{deriva del cero}} K_{\text{repetibilidad}} K_{\text{reproducibilidad}} K_{\text{histéresis}} \quad (17)$$

adicionalmente con:

$X_8 = K_{\text{histéresis}}$	Factor de corrección debido a la magnitud de influencia <i>histéresis</i>	7	5
-------------------------------	---	---	---

Si las series de mediciones ascendentes y descendentes se consideran por separado, la incertidumbre expandida ($k = 2$) se determina como sigue:

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	26 / 55

$$W_{\text{asc/desc}} = k \cdot w_{\text{asc/desc}}$$

$$W_{\text{asc/desc}} = k \cdot \sqrt{w_{\text{patrón}}^2 + w_{\text{unidad de salida}}^2 + w_{\text{adaptador}}^2 + w_{\text{instrumento auxiliar}}^2 + w_{\text{deriva del cero}}^2 + w_{\text{repetibilidad}}^2 + w_{\text{reproducibilidad}}^2} \quad (18)$$

y los márgenes de variación asociados:

$$W'_{\text{asc/desc}} = W_{\text{asc/desc}} + \left| \frac{\Delta S_{\text{asc/desc}}}{S'} \right| \quad (19)$$

con la desviación sistemática

$$\Delta S_{\text{asc/desc}} = S_{\text{asc/desc}} - S' \quad (20)$$

con S' representando preferentemente la pendiente de la línea de regresión a través de todos los valores medidos y el punto cero de la señal de salida del transmisor de presión.

Cuando se utiliza el valor medio de las series ascendentes y descendentes, la incertidumbre expandida relativa ($k = 2$) se calcula así:

$$W_{\text{medio}} = k \cdot \sqrt{w_{\text{asc/desc}}^2 + w_{\text{histéresis}}^2} \quad (21)$$

Aquí, se ha de insertar el valor mayor de la repetibilidad para el cálculo de la incertidumbre $w_{\text{asc/desc}}$.

El margen de variación asociado se calcula así:

$$W'_{\text{medio}} = W_{\text{medio}} + \left| \frac{\Delta S_{\text{medio}}}{S'} \right| \quad (22)$$

con

$$\Delta S_{\text{medio}} = S_{\text{medio}} - S' \quad (23)$$

(para S' véase arriba)

8.5.2 Presupuesto de incertidumbre

Preferiblemente, los conocimientos de las magnitudes de entrada/salida se resumen en una tabla.

Tabla 6: Presupuesto de incertidumbre para la calibración de un transmisor de presión con salida eléctrica

Nº	Magnitud	Mejor valor estimado	Ancho de distribución	Distribución de probabilidad	Divisor	Incertidumbre estándar	Exponente de X_i	Contribución a la incertidumbre	Unidad
	X_i	x_i	$2a$	$g_{x_i}(\xi_i)$		$w(x_i)$	$c_i x_i y^{-1}$	$w_i(y)$	
1	$U_{ind, \dots}$	$U_{i, ind, \dots}$		normal		$w(\text{unidad de salida})$	1	$w_{\text{unidad de salida}}$	#
2	G	G		normal		$w(\text{adaptador})$	-1	$w_{\text{adaptador}}$	#
3	U_{Sp}	U_{Sp}		normal		$w(\text{instrumento aux.})$	-1	$w_{\text{instrumento aux.}}$	#
4	$P_{\text{patrón}}$	$P_{i, \text{patrón}}$		normal		$w(\text{patrón})$	-1	$w_{\text{patrón}}$	#
5	$K_{\text{deriva del cero}}$	1	f_0^9	rectangular	$2\sqrt{3}$	$w(f_0) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{f_0}{2}\right)^2}$	1	w_{f_0}	#
6	$K_{\text{repetibilidad}}$	1	b'	rectangular	$2\sqrt{3}$	$w(b') = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{b'}{2}\right)^2}$	1	$w_{b'}$	#
7	$K_{\text{reproducibilidad}}$	1	b	rectangular	$2\sqrt{3}$	$w(b) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{b}{2}\right)^2}$	1	w_b	#
8	$K_{\text{histéresis}}$	1	h	rectangular	$2\sqrt{3}$	$w(h) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2}$	1	w_h	#
	Y	$S \dots$						$w(y)$	#

⁹ En este caso, los parámetros f_0 , b' , b y h son cantidades relativas, es decir, cantidades relacionadas con el valor de medición (indicación) que no están definidas a presión cero.

8.5.3 Presupuesto de incertidumbre relativo al escalón de carga

La estimación de la incertidumbre de medida debe realizarse para cada valor de calibración, es decir, para cada escalón de carga. Por razones de claridad se recomienda la siguiente tabla – tanto para los valores ascendentes como los descendentes y los valores medios:

Tabla 7: Presupuesto de incertidumbre

Presión	Incertidumbre estándar relativa w			Incertidumbre expandida relativa $W (k=2)$
	Contri- bución 1	...	Contri- bución n'	
bar		#		#
min.				
...				
max.				

8.5.4 Índice de una sola cifra

Coefficiente de transferencia como pendiente de una función de regresión lineal

Cuando se utiliza el captador de presión, es práctica común de trabajar con un único coeficiente de transferencia para el ámbito completo de validez de la calibración, en vez de trabajar con distintos coeficientes de transferencia para las diferentes etapas de carga (es decir, presiones de calibración). Preferiblemente, esto es la pendiente de la línea de regresión a través de todas las lecturas y por el punto cero de la señal de salida del captador de presión (compensación sin término absoluto).

Utilizando este valor característico del captador de presión, las incertidumbres atribuidas a cada uno de los valores medidos del coeficiente de transferencia serán sustituidos por una declaración de conformidad (véase 9.1.3).

Para ello, se han de definir los límites de especificación. Basándose en los resultados de la calibración, esto se puede llevar a cabo mediante el cálculo de los márgenes de variación según 8.5.1 (“conformidad auto-determinada”; determinación basada en las especificaciones del fabricante, véase abajo). Al hacerlo, hay que tener en cuenta

- las incertidumbres atribuidas a cada uno de los valores medidos del coeficiente de transferencia y
- las desviaciones de estos valores del índice de una sola cifra del coeficiente de transferencia.

Por lo general, se obtienen márgenes de variación cuyas cantidades disminuyen a medida que aumenta la presión. Como límite de especificación

- se puede seleccionar el mayor margen de variación calculado (en este caso, los límites de especificación están representados en el diagrama de calibración como líneas rectas paralelas al eje de presión; véase 9.2.2, Transmisores de presión con señal de salida eléctrica, Figura 5, imágenes parciales en la parte superior)

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	29 / 55

- los límites de especificación se describen mediante curvas adecuadas tales como hipérbolas o (véase 9.2.2, Transmisores de presión con señal de salida eléctrica, Figura 5, imágenes parciales en la parte inferior).

Nota:

El uso de límites de especificación dependientes de la presión no es práctica común. Sin embargo, esto permite la indicación de incertidumbres más pequeñas en las mediciones de presión con el instrumento calibrado en la parte superior del rango de medición.

Para objetos a calibrar con parámetro nominal equilibrado por el fabricante (por ejemplo, 2 mV/V), los límites de especificación se pueden determinar alternativamente de la tolerancia del valor característico asignado. En este caso, sin embargo, se ha de comprobar siempre si los valores de los coeficientes de transferencia determinados en la calibración, incluyendo sus incertidumbres de medición atribuidas y sus desviaciones sistemáticas del índice de una sola cifra del valor característico, no exceden los límites de la especificación.

8.6 Magnitudes de influencia del objeto a calibrar para el presupuesto de incertidumbre

8.6.1 Resolución r

8.6.1.1 Dispositivos indicadores analógicos

La resolución del dispositivo de indicación se deriva de la relación entre la anchura del puntero y la distancia al centro de dos rayas de graduación adyacentes (intervalo de escala). Se recomienda una relación de 1/2, 1/5, 1/10. Si esta relación (es decir, la fracción estimable de un intervalo de la escala) debe ascender a 1/10, la distancia entre las rayas de graduación debe ser 2,5 mm o mayor (véase también DIN 43790).

Nota:

El mejor valor estimado de un dispositivo de indicación analógica se determina mediante la interpolación visual. La fracción estimable más pequeña de un intervalo de escala es la parte de interpolación r , que sirve para distinguir los valores de medición. El rango de variación para el mejor valor estimado x da, por lo tanto, $a_+ = x + r$ y $a_- = x - r$ con la anchura de la distribución rectangular $2a = 2 \cdot r$.

8.6.1.2 Dispositivos indicadores digitales

La resolución corresponde a la etapa de dígitos, siempre y cuando la indicación, con el dispositivo de medición de presión descargado, no varíe en más de un intervalo de escala.

Nota:

Para determinar la contribución a la incertidumbre, la mitad del valor de la resolución $a = r/2$ se asignará a la mitad de la anchura de la distribución rectangular.

8.6.1.3 Variación de lectura

Si la lectura – con el dispositivo de medición de presión no cargado – varía en más del valor de la resolución previamente determinado, entonces la resolución r debe considerarse con la mitad de la anchura de la variación – con un paso de cifra añadido.

8.6.2 Deriva del cero f_0

El punto cero (medidor de presión sin carga, normalmente a presión atmosférica) puede ser ajustado antes de cada ciclo de medición que consta de una serie de mediciones ascendente

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	30 / 55

y descendente, y debe ser grabado antes y después de cada ciclo de medición. La lectura se debe llevar a cabo con el aparato aliviado completamente.

En el caso de medidores de sobrepresión cuyo rango de medición inicial es diferente de la presión atmosférica (por ejemplo, -1 bar hasta 9 bar), la deriva debe determinarse en el punto cero.

La determinación de la deriva del cero se omite en el caso de los instrumentos de medición de presión absoluta, donde el punto cero no está incluido en el rango de calibración como. por ejemplo, en el caso de los barómetros.

La deriva del cero se calcula de la manera siguiente:

$$f_0 = \max \left\{ |x_{2,0} - x_{1,0}|, |x_{4,0} - x_{3,0}|, |x_{6,0} - x_{5,0}| \right\} \quad (24)$$

Los índices numeran los valores de medición x leídos en los puntos cero de las series de mediciones.

8.6.3 Repetibilidad b'

Sin alteración del montaje, la repetibilidad se determina por la diferencia de los valores de medición corregidos por la señal cero de las series de mediciones correspondientes.

$$\begin{aligned}
 b'_{asc,j} &= \left| (x_{3,j} - x_{3,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0}) \right| \\
 b'_{desc,j} &= \left| (x_{4,j} - x_{3,0}) - (x_{2,j} - x_{1,0}) \right| \\
 b'_{medio,j} &= \max \{ b'_{asc,j}, b'_{desc,j} \}
 \end{aligned} \quad (25)$$

El índice j numera los valores nominales de la presión ($j = 0$: punto cero).

8.6.4 Reproducibilidad b

En caso de una instalación repetida y con los demás factores manteniéndose constantes, la reproducibilidad se determina a partir de la diferencia de los valores de medición corregidos por la señal cero de las series de medición correspondientes:

$$\begin{aligned}
 b_{asc,j} &= \left| (x_{5,j} - x_{5,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0}) \right| \\
 b_{desc,j} &= \left| (x_{6,j} - x_{5,0}) - (x_{2,j} - x_{1,0}) \right| \\
 b_{medio,j} &= \max \{ b_{asc,j}, b_{desc,j} \}
 \end{aligned} \quad (26)$$

Índice j : véase arriba.

8.6.5 Histéresis h

En la indicación de valores medios, la histéresis se determina de la siguiente manera a partir de la diferencia de los valores de medición corregidos por la señal cero de las series ascendentes y descendentes:

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	31 / 55

$$h_{\text{medio},j} = \frac{1}{n} \cdot \left\{ \left| (x_{2,j} - x_{1,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0}) \right| + \left| (x_{4,j} - x_{3,0}) - (x_{3,j} - x_{3,0}) \right| + \left| (x_{6,j} - x_{5,0}) - (x_{5,j} - x_{5,0}) \right| \right\} \quad (27)$$

Índice j : véase arribas. La variable n representa el número de ciclos de medición completos (compuesto por una serie ascendente y una serie descendente).

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	32 / 55

9 Evaluación de los resultados de medición y declaraciones en el certificado de calibración

Cada uno de los componentes principales del equipo de medición de la presión recibe una marca de calibración; en el caso de las cadenas de medición, cada dispositivo recibe una marca de calibración.

Además de los requisitos establecidos en el documento DAkKS-DKD-5 [12], el certificado de calibración debe incluir las siguientes informaciones¹⁰:

- método de calibración (DKD-R 6-1, secuencia A, B o C)
- error de medida de la indicación
- medio transmitiendo la presión
- plano de referencia de presión en el objeto a calibrar
- posición de montaje del objeto a calibrar durante la calibración
- ajustes seleccionados en el objeto a calibrar

El certificado de calibración debería contener una tabla con todos los valores medidos, por ejemplo:

Tabla 8: Valores medidos

Presión al nivel del plano de referencia del objeto a calibrar	Valor indicado X_{ind}					
	Secuencia de calibración A				Medición con 2ª sujeción	
	Secuencia de calibración B					
	Secuencia de calibración C					
p	M1 (asc)	M2 (desc)	M3 (asc)	M4 (desc)	M5 (asc)	M6 (desc)
bar, Pa, ...	bar, Pa, A, V, mV/V, Hz, ...					
min.	min.	min.	min.	min.	min.	min.
↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑
max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.

La columna 1 contiene los valores medidos de la presión del patrón. Las columnas 2 a 7 contienen los correspondientes valores medidos indicados por los objetos a calibrar según la Figura 1 (manómetro de resorte, manómetro eléctrico, transmisor de presión con salida eléctrica) en unidades de presión, o emitidos en otras magnitudes físicas (corriente, tensión, relación de tensión, frecuencia, ...) o bien ya convertidos en la magnitud de presión.

La evaluación sucesiva de los valores medidos puede incluir los siguientes parámetros:

- valores medios
- deriva del cero
- repetibilidad
- si procede, repetibilidad
- histéresis
- margen de variación

¹⁰ Estos requisitos están de acuerdo con la norma DIN EN ISO/IEC 17025: 2018 [7] sección 7.8.

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	33 / 55

- índice de una sola cifra
- conformidad

9.1 Determinación de otros parámetros

9.1.1 Valores medios \bar{x}

Los valores medios $\bar{x}_{i,j}$ con $i = \text{asc}/\text{desc}$, medio se calculan de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} \bar{x}_{\text{asc},j} &= \frac{1}{l} \cdot \sum_m (x_{m,j} - x_{m,0}) && \text{para } m = 1, 3, 5 \\ \bar{x}_{\text{desc},j} &= \frac{1}{l} \cdot \sum_m (x_{m,j} - x_{(m-1),0}) && \text{para } m = 2, 4, 6 \\ \bar{x}_{\text{medio},j} &= \frac{\bar{x}_{\text{asc},j} + \bar{x}_{\text{desc},j}}{2} \end{aligned} \quad (28)$$

con la variable l indicando el número de las series de mediciones.

En los manómetros en los que el punto cero no está incluido en el rango de calibración (por ejemplo, presiones absolutas de 800 mbar a 1200 mbar), la corrección del punto cero se omite en el cálculo del valor medio.

9.1.2 Margen de variación U'

El margen de variación se compone de forma aditiva de la incertidumbre expandida ($k = 2$) y de la cantidad absoluta de la desviación sistemática. Debido al componente sistemático, se le asigna al margen de variación la distribución rectangular como forma de distribución. Dependiendo de las exigencias, el margen de variación se debe determinar para los valores medios de las series ascendentes o descendentes y el valor medio:

$$\text{p.ej.:} \quad U' = U + |\Delta p| \quad (29)$$

De forma correspondiente, se forma el margen de variación relativo W' .

$$\text{p.ej.:} \quad W' = W + \left| \frac{\Delta S}{S'} \right| \quad (30)$$

Nota:

Véase nota 7 al pie de la página 21.

9.1.3 Conformidad

Si los márgenes de variación o los coeficientes de transferencia están dentro del límite de especificación técnico establecido, se puede constatar la conformidad según DAkkS-DKD-5 [12]. En este contexto, hay que indicar el rango de validez. Al evaluar el cumplimiento de los límites de especificación requeridos, hay que indicar el origen de los mismos, entre otras cosas las especificaciones específicas del fabricante según la hoja de datos o las necesidades del cliente.

9.2 Visualización del resultado de calibración

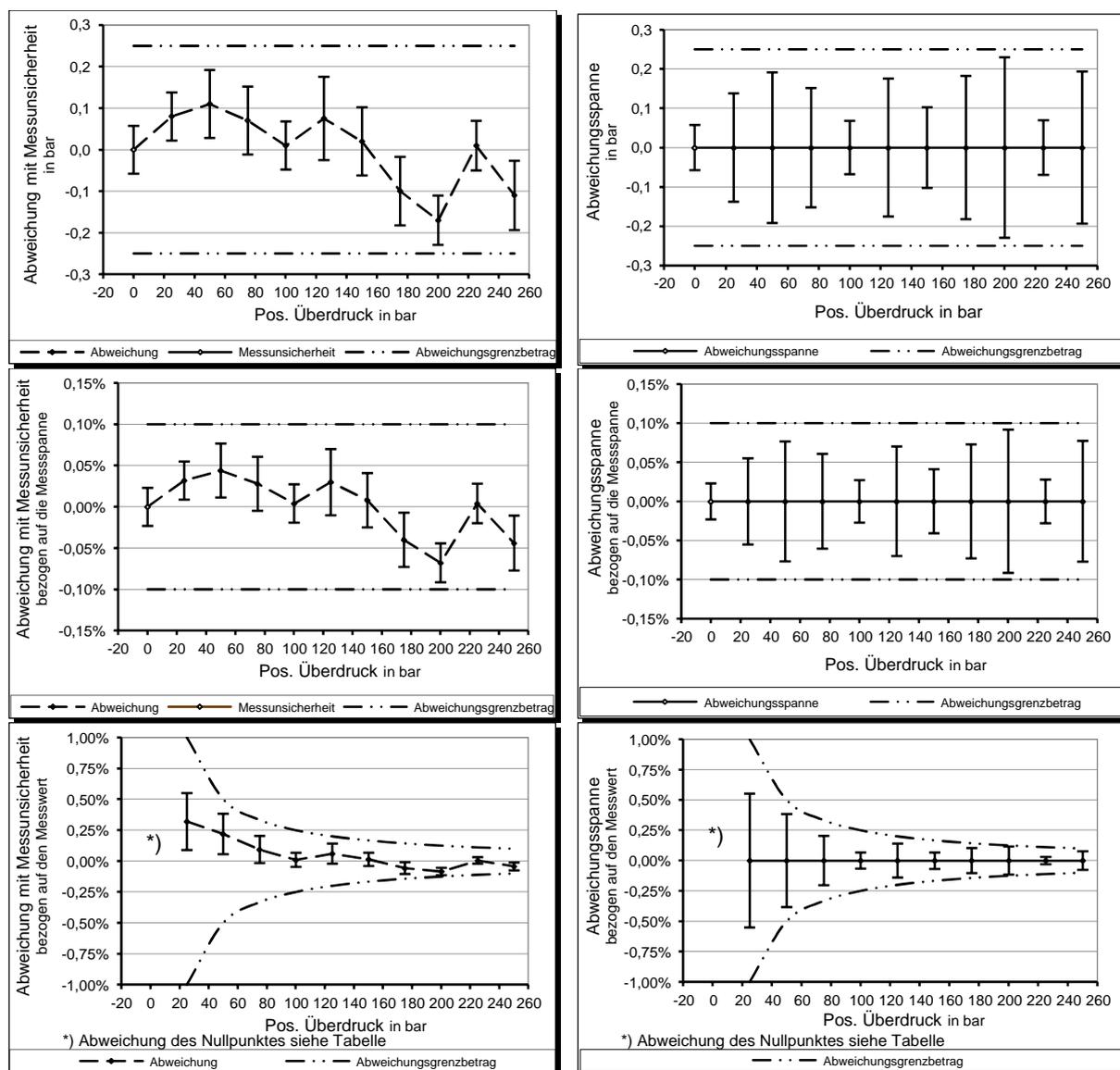
Para una mejor comprensión y una visión general rápida, el resultado de la calibración también puede ser representada de forma gráfica.

9.2.1 Manómetro de resorte, manómetro eléctrico

La desviación sistemática con la incertidumbre expandida o, en su caso, el margen de variación resultante han de ser presentados en comparación con el límite de especificación (es decir, el límite de error) – en la unidad de la magnitud física y/o como magnitud relacionada.

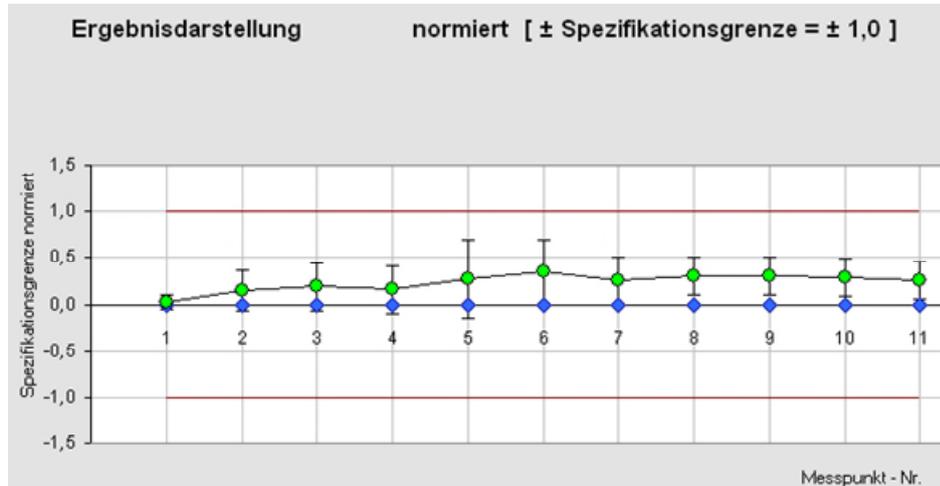
La representación de los parámetros relacionados se puede realizar en una forma típica para el tipo de equipo correspondiente (en relación con el intervalo de medida, en relación con el valor medido).

Figura 4: Visualización del resultado de la calibración de un manómetro de resorte o un manómetro eléctrico



Abweichung mit Messunsicherheit (bezogen auf die Messspanne) / (bezogen auf den Messwert)	Desviación con incertidumbre de medida (respecto al intervalo de medida (span)) / (respecto al valor medido)
Positiver Überdruck in bar	Sobrepresión positiva en bar
Abweichung / Messunsicherheit / Abweichungsgrenzbetrag	Desviación / incertidumbre de medida / cantidad límite de desviación (límite superior e inferior)
Abweichungsspanne	Margen de variación
Abweichung des Nullpunktes siehe Tabelle	Desviación del punto cero ver tabla

Para soportar una declaración de conformidad, los resultados también pueden representarse en forma estandarizada (límite de especificación = 100 %). El límite de especificación puede ser especificado por el cliente o se puede adoptar el límite proporcionado por parte del fabricante.



Zeichenerklärung zum Diagramm:

- ◆ blau = Normal (4Eck; Messwerte N1 ↑ normiert)
- grün = Kalibriergegenstand (Kreis, Messwerte μ(KG) normiert)
- = rot = +- Spezifikationsgrenzen (normiert auf ±1,0)
- | schwarz = U erw. Messunsicherheit für k=2 (normiert)

Texto en el diagrama:

Ergebnisdarstellung	presentación de los resultados
normiert (± Spezifikationsgrenze = ± 1,0)	estandarizado (± límite de especificación = ± 1,0)
Spezifikationsgrenze normiert	límite de especificación estandarizado
Messpunkt - Nr.	punto de medición N°

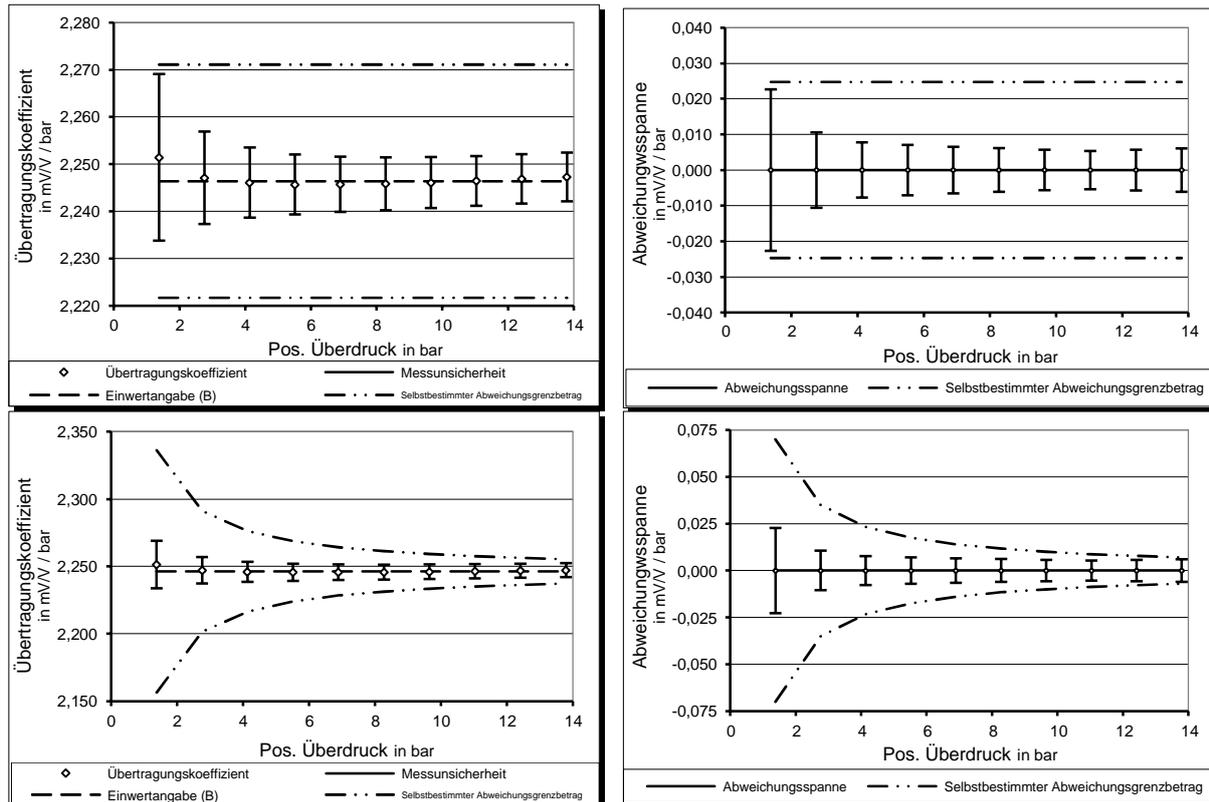
Explicación de los símbolos del diagrama (leyenda)

- azul = patrón (rectángulo; valores medidos N1 estandarizado)
- verde = objeto a calibrar (círculo; valores medidos μ (objeto a calibrar) estandarizado)
- rojo = +- límites de especificación (estandarizados a ± 1,0)
- negro = U incertidumbre expandida para k = 2 (estandarizada)

9.2.2 Transmisores de presión con salida eléctrica

Los coeficientes de transmisión y las incertidumbres de medida asociadas se muestran de forma comparativa con los límites de especificación (límites de error según las especificaciones del fabricante o límites autodeterminados).

Figura 5: Visualización del resultado de calibración para un transmisor de presión con salida eléctrica



Übertragungskoeffizient	Coefficiente de transferencia
Pos. Überdruck in bar	Sobrepresión positiva en bar
Abweichungsspanne	Margen de variación
Messunsicherheit	Incertidumbre de medida
Selbstbestimmter Abweichungsgrenzbetrag	Límite de desviación auto-determinada

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	37 / 55

9.3 Valores límites para especificar la incertidumbre de medida

La incertidumbre de la medición y el margen de variación se calculan de acuerdo con la sección 8. Esto es válido para todas las secuencias de calibración (A, B y C).

Independientemente del resultado de la calibración, la incertidumbre de medida en la secuencia de calibración B no debe ser inferior al 0,04 % del intervalo de medida y en la secuencia de calibración C no debe ser inferior al 0,30 % del intervalo de medida

Para la indicación del margen de variación en una declaración de conformidad según DAkkS-DKD-5 [12], el valor

en la secuencia de calibración B no debe ser inferior al 0,06 % del intervalo de medida y en la secuencia de calibración C no debe ser inferior al 0,60 % del intervalo de medida.

La incertidumbre de medida y el margen de variación para la secuencia de calibración A no se ven afectados por estos valores límite. Se indican tal y como están calculados.

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	38 / 55

10 Reglas y normas complementarias

Si procede, las siguientes reglas han de tomarse en cuenta para la calibración de los medidores de presión. La calibración también puede llevarse a cabo de acuerdo con apartados individuales de algunas de estas reglas.

- [1] DIN EN 837-1 Druckmessgeräte mit Rohrfedern
Maße, Messtechnik, Anforderungen und Prüfung
Ausgabe Februar 1997
- [2] DIN EN 837-3 Druckmessgeräte mit Platten- und Kapselfedern
Maße, Messtechnik, Anforderungen und Prüfung
Ausgabe Februar 1997
- [3] DIN 16086 Elektrische Druckmessgeräte
Druckaufnehmer, Druckmessumformer, Druckmessgeräte
Begriffe und Angaben in Datenblättern
Ausgabe Januar 2006
- [4] DIN 43790 Grundregeln für die Gestaltung von Strichskalen und Zeigern
Ausgabe Januar 1991
- [5] EURAMET cg-3 Calibration of Pressure Balances
Version 1.0 (03/2011)
- [6] EURAMET cg-17 Guidelines on the Calibration of Electromechanical and
Mechanical Manometers, EURAMET Calibration Guide No. 17
Version 4.0 (04/2019)

General

- [7] DIN EN ISO/IEC 17025: 2018-03 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und
Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2017); versión alemán e
inglés EN ISO/IEC 17025:2017.
- [8] JCGM 200:2008 International vocabulary of metrology – Basic and general
concepts and associated terms (VIM) (idéntico al documento
ISO/IEC Guide 99:2007)
JCGM 200:2008 Corrigendum (2010)
<https://www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html>
- [9] VIM Internationales Wörterbuch der Metrologie – Grundlegende und
allgemeine Begriffe und zugeordnete Benennungen (VIM) –
Deutsch-Englische Fassung ISO/IEC-Leitfaden 99:2007.
4ª edición revisada 2012, publicado por: DIN Deutsches Institut für
Normung e. V.
- [10] DIN 1319-1: 1996 Grundlagen der Messtechnik
Teil 1: Grundbegriffe
- [11] DIN 1319-2: 1999 Grundlagen der Messtechnik
Teil 2: Begriffe für die Anwendung von Messgeräten
- [12] DAkkS-DKD-5: 2010 Anleitung zum Erstellen eines Kalibrierscheins
DAkkS, 1ª nueva edición
Válido hasta 30.06.2021
- [13] 71 SD 0 025 Darstellung von Kalibrierergebnissen und die Verwendung der
DAkkS-Kalibriermarke, revisión 1.1, 19 de septiembre 2019
- [14] ILAC-P14:01/2013 ILAC Policy for Uncertainty in Calibration

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	39 / 55

Incertidumbre de medida

- [15] JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) (idéntico al documento ISO/IEC Guide 98-3:2008)
<https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>
- [16] JCGM 101:2008 Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" – Propagation of distributions using a Monte Carlo method (idéntico al ISO/IEC Guide 98-3:2008/Suppl 1:2008)
<https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>
- [17] JCGM 104:2009 Evaluation of measurement data – An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" and related documents (idéntico al documento ISO/IEC Guide 98-1:2009)
<https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>
- [18] EA-4/02 M:2013 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration – including supplement 1 and 2
European co-operation for Accreditation
<http://www.european-accreditation.org/publications>
Eine deutsche Version wird von der DAkkS angeboten:
https://www.dakks.de/doc_kalibrier
- [19] DIN V ENV 13005:1999 Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen
Beuth Verlag Berlin
- [20] DIN 1319-3:1996 Grundlagen der Messtechnik
Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Messgröße, Messunsicherheit
Beuth Verlag Berlin
- [21] DIN 1319-4:1999 Grundlagen der Messtechnik
Teil 4: Auswertung von Messungen, Messunsicherheit
Beuth Verlag Berlin

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	40 / 55

Literatura

- [22] Weise, K.; Wöger, W.: Messunsicherheit und Messdatenauswertung, VCH, Weinheim, 1999, ISBN 3-527-29610-7
- [23] Adunka, F.: Messunsicherheiten – Theorie und Praxis, Vulkan-Verlag, Essen 2007, ISBN 978-3-8027-2205-9
- [24] Themenschwerpunkt Messunsicherheit, Sonderdruck aus Heft 3 und Heft 4 der PTB-Mitteilungen 111 (2001)
- [25] VDI-Berichte 1805, 1867, 1947 u. Tagungsband 2008: Messunsicherheit praxisgerecht bestimmen, VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik, Tagungen:
20.-21.11.2003 und 30.11.-01.12.2004 in Oberhof/Thüringen
14.11.-15.11.2006 und 12.-13.11.2008 in Erfurt
VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 2003/2004/2006 und VDI Wissensforum 2008
- [26] Themenhefte Messunsicherheit: tm Technisches Messen, 2/2004 und 5/2005

Apéndice A Determinación de la incertidumbre de medida que debe ser atribuida a los valores de presión del manómetro de pistón bajo condiciones de uso¹¹

Los valores de presión del manómetro de pistón se determinan basándose en la información proporcionada en el certificado de calibración actual (por ejemplo, del PTB). La incertidumbre expandida asociada $U_{\text{patrón,cond.est.}}$ se determina combinando los datos del certificado de calibración con el comportamiento a largo plazo derivado del historial. Bajo condiciones de uso, hay que aplicar correcciones a los valores con respecto a las magnitudes de influencia relevantes, a las que a su vez hay que asignar una incertidumbre de medida.

Modelo de medición¹²:

$$p_e = \frac{g \cdot \sum_i m_i \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{m_i}}\right)}{A_0 \cdot (1 + \lambda \cdot p) \cdot [1 + (\alpha + \beta) \cdot (t - t_0)]} + \Delta\rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (31)$$

$$\Delta\rho = \rho_{Fl} - \rho_a \quad (32)$$

Presupuesto de incertidumbre

con los parámetros esenciales para el valor de presión del patrón: temperatura, coeficiente de dilatación térmica del sistema pistón-cilindro, aceleración de la gravedad y coeficiente de deformación. Los coeficientes de sensibilidad se calcularon utilizando las aproximaciones habituales para aplicaciones prácticas y para el caso más comúnmente realizado $\alpha = \beta$.

Tabla A1: Presupuesto de incertidumbre parcial para la corrección de los valores de presión del manómetro de pistón

Magnitud	Mejor valor estimado	Semi-ancho	Distribución de probabilidad	Divisor	Incertidumbre estándar	Coficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre	Unidad
X_i	x_i	a	$g_{X_i}(\xi_i)$		$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	
Temperatura	t	a_t	rectangular	$\sqrt{3}$	$u(t) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a_t^2}$	$c_t = -2 \cdot \alpha \cdot p$	$u_t = c_t \cdot u(t)$	bar
Coficiente de dilatación térmica	$\alpha + \beta$	a_α	rectangular	$\sqrt{3}$	$u(\alpha) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a_\alpha^2}$	$c_\alpha = -2 \cdot (t - t_0) \cdot p$	$u_\alpha = c_\alpha \cdot u(\alpha)$	bar
Aceleración de la gravedad	g	a_g	rectangular	$\sqrt{3}$	$u(g) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a_g^2}$	$c_g = \frac{p}{g}$	$u_g = c_g \cdot u(g)$	bar
Coficiente de deformación	λ	a_λ	rectangular	$\sqrt{3}$	$u(\lambda) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a_\lambda^2}$	$c_\lambda = -p^2$	$u_\lambda = c_\lambda \cdot u(\lambda)$	bar
Y	y					$u_{\text{corr1}} = \sqrt{u_t^2 + u_\alpha^2 + u_g^2 + u_\lambda^2}$		bar

¹¹ véase nota ⁶ al pie de la página 19

¹² véase también EURAMET cg-3, Apéndice C [5]

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	42 / 55

Notas:

1. Generalmente, los certificados de calibración del PTB para manómetros de pistón ya toman en cuenta la contribución de la incertidumbre del valor numérico del coeficiente de deformación a la incertidumbre de la medición de la presión a temperatura de referencia.
2. Con la ayuda de instrumentos de medición portátiles, es posible medir la aceleración de la gravedad local en un lugar determinado con una incertidumbre relativa de unas pocas ppm. Si existe un valor de medición tan exacto, puede ser admisible – en vista de la incertidumbre relativa del valor del área de sección transversal que frecuentemente es mucho mayor – descuidar la contribución a la incertidumbre de la aceleración de la gravedad.
3. Con relación a la fuerza de inercia $g \cdot \Sigma m_i$ actuando en el vacío, la corrección del empuje ascensional es del orden de $1,5 \cdot 10^{-4}$. Debido a influencias climáticas, la densidad del aire en un lugar generalmente no cambia en más de 2 %, lo que corresponde a una contribución relativa a la incertidumbre de 3 ppm ($3 \cdot 10^{-6}$). En relación con la incertidumbre del área de sección transversal de 50 ppm normalmente indicada en los certificados de calibración, esta contribución no es significativa y, en general, no justifica el esfuerzo metrológico para su determinación (véase la nota en la sección 6 *Condiciones ambientales*).

Presupuesto de incertidumbre

con las magnitudes de influencia esenciales en la determinación de la presión hidrostática debido a una diferencia de altura

Tabla A2: Presupuesto de incertidumbre parcial con las magnitudes de influencia esenciales en la determinación de la presión hidrostática debido a una diferencia de altura

Magnitud	Mejor valor estimado	Semi-ancho	Distribución de probabilidad	Divisor	Incertidumbre estándar	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre	Unidad
X_i	x_i	a	$g_{X_i}(\xi_i)$		$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	
Diferencia de densidad	$\Delta\rho$	$a_{\rho_{Fl}}$ a_{ρ_a}	rectangular	$\sqrt{3}$	$u(\Delta\rho) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (a_{\rho_{Fl}}^2 + a_{\rho_a}^2)}$	$c_{\Delta\rho} = g \cdot \Delta h$	$u_{\Delta\rho} = c_{\Delta\rho} \cdot u(\Delta\rho)$	bar
Aceleración de la gravedad	g	a_g	rectangular	$\sqrt{3}$	$u(g) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a_g^2}$	$c_g = \Delta\rho \cdot \Delta h$	$u_g = c_g \cdot u(g)$	bar
Diferencia de altura	Δh	$a_{\Delta h}$	rectangular	$\sqrt{3}$	$u(\Delta h) = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a_{\Delta h}^2}$	$c_{\Delta h} = \Delta\rho \cdot g$	$u_{\Delta h} = c_{\Delta h} \cdot u(\Delta h)$	bar
Y	y					$u_{corr2} = \sqrt{u_{\Delta\rho}^2 + u_g^2 + u_{\Delta h}^2}$		bar

Incertidumbre expandida ($k = 2$) para los valores obtenidos por un manómetro de pistón bajo condiciones de uso:

$$U_{\text{patrón}} = k \cdot \sqrt{u_{\text{patrón,cond.est.}}^2 + u_{\text{corr1}}^2 + u_{\text{corr2}}^2} \tag{33}$$

Con el fin de precisar las contribuciones a la incertidumbre que figuran en el Apéndice A, éstas se calculan individualmente en los ejemplos de los Apéndices B y C en los presupuestos de incertidumbre.

Nota:

Además de las correcciones mencionadas aquí como ejemplo, se deben tener en cuenta otras correcciones y contribuciones a la incertidumbre relacionadas, como, por ejemplo, la incertidumbre de la medición de la presión del gas residual para los manómetros de pistón de presión absoluta o la dependencia de la presión de la densidad del medio transmisor de presión.

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	43 / 55

Apéndice B Ejemplo Presupuesto de incertidumbre para la calibración de un manómetro de resorte

Esfuerzo de calibración según secuencia de calibración C
Indicación del valor medio \bar{p} con error de medida Δp e histéresis h

Objeto a calibrar

Instrumento medidor de sobrepresión con elemento de medición elástico (manómetro de resorte)

Rango de medición : 0 bar ... 60 bar
 Precisión indicada por el fabricante : DIN clase 1,0
 Intervalo de escala : 0,5 bar (con estimación de la quinta parte)

Patrón de medida

Manómetro de pistón
 Incertidumbre expandida : $1,0 \cdot 10^{-4} \cdot p$, pero no inferior a 0,40 mbar
 (datos en el certificado de calibración bajo condiciones normales, incluyendo el comportamiento a largo plazo del historial)

Para la corrección de las presiones indicadas por el patrón de medida se utilizaron los siguientes datos (cálculo según Apéndice A):

t : 21,6 °C; $\pm 1,0$ °C¹³
 t_0 : 20 °C
 $\alpha + \beta$: $22,0 \cdot 10^{-6}$ K⁻¹; $\pm 1,1 \cdot 10^{-6}$ K⁻¹¹⁴
 g : 9,812533 m/s²; $\pm 0,000020$ m/s²¹⁴
 λ : $2,00 \cdot 10^{-7}$ bar⁻¹; $\pm 0,70 \cdot 10^{-7}$ bar⁻¹¹⁴

Condiciones de calibración

Medio de presión : Nitrógeno purificado
 $\rho_{Fl}(20$ °C, 1 bar) : 1,15 kg/m³
 $\rho_a(20$ °C, 1 bar, 35 % humedad relativa) : 1,19 kg/m³
 Δh : 0,0000 m; $\pm 0,0050$ m¹⁴
 t_{amb} : 21,6 °C; $\pm 1,0$ °C¹⁴
 p_{amb} : 990,0 mbar; $\pm 1,0$ mbar¹⁴

¹³ Indicaciones después del punto y coma: semiancho a de la distribución hacia el límite superior e inferior a_+ y a_- según 8.2.4

Tabla B1: Resultado

Presión al nivel del plano de referencia del objeto a calibrar $p_{\text{patrón}}$	Lectura en el objeto de calibración		Valor medio \bar{p} (M1+M2)/2	Error de medición Δp $\bar{p} - p_{\text{patrón}}$	Histéresis h $ M2-M1 $	Incerti- dumbre expandida ($k = 2$) U^*
	p_{ind}					
	M1 (asc)	M2 (desc)				
bar	bar	bar	bar	bar	bar	bar
0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,12
12,02	12,1	12,2	12,15	0,13	0,10	0,13
24,03	24,2	24,2	24,20	0,17	0,00	0,12
36,04	36,1	36,2	36,15	0,11	0,10	0,13
48,04	48,1	48,1	48,10	0,06	0,00	0,12
60,05	60,0	60,1	60,05	0,00	0,10	0,13

* Las incertidumbres expandidas indicadas corresponden a los valores calculados según la Tabla B2. Sin embargo, debido a la secuencia de calibración C utilizada, debe indicarse en el certificado de calibración una incertidumbre expandida no inferior al 0,30 % del intervalo de medición, es decir $U = 0,30 \% \cdot 60 \text{ bar} = 0,18 \text{ bar}$.

Tabla B2: Presupuesto de incertidumbre para el escalón de carga $p = 60,05$ bar

Magnitud	Mejor valor estimado	Ancho de distribución	Divisor	Incertidumbre estándar	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre	Varianza
X_i	x_i	$2a$		$u(x_i)$	ζ	$u_i(y)$	$u_i^2(y)$
						bar	bar ²
$p_{\text{patrón}}$	60,05 bar			$3,00 \cdot 10^{-3}$ bar *	-1	$3,00 \cdot 10^{-3}$	$9,02 \cdot 10^{-6}$
t	21,6 °C	2 K	$2\sqrt{3}$	$5,77 \cdot 10^{-1}$ K	$-1,32 \cdot 10^{-3}$ bar/K	$7,63 \cdot 10^{-4}$	$5,82 \cdot 10^{-7}$
$\alpha + \beta$	$22 \cdot 10^{-6}$ /K	$2,2 \cdot 10^{-6}$ /K	$2\sqrt{3}$	$6,35 \cdot 10^{-7}$ /K	-192 K·bar	$1,22 \cdot 10^{-4}$	$1,49 \cdot 10^{-8}$
g	$9,812533$ m/s ²	$0,000040$ m/s ²	$2\sqrt{3}$	$1,15 \cdot 10^{-5}$ m/s ²	6,12 bar·s ² /m	$7,07 \cdot 10^{-5}$	$4,99 \cdot 10^{-9}$
λ	$2,0 \cdot 10^{-7}$ / bar	$1,4 \cdot 10^{-7}$ / bar	$2\sqrt{3}$	$4,04 \cdot 10^{-8}$ / bar	$-3,61 \cdot 10^3$ bar ²	$1,46 \cdot 10^{-4}$	$2,12 \cdot 10^{-8}$
Δl **	0	$1,0 \cdot 10^{-2}$ m	$2\sqrt{3}$	$2,89 \cdot 10^{-3}$ m	$6,74 \cdot 10^{-3}$ bar/m	$1,94 \cdot 10^{-5}$	$3,78 \cdot 10^{-10}$
p_{ind}	60,05 bar	0,20 bar	$2\sqrt{3}$	$5,77 \cdot 10^{-2}$ bar	1	$5,77 \cdot 10^{-2}$	$3,33 \cdot 10^{-3}$
$\delta p_{\text{deriva del cero}}$	0	0,00 bar	$2\sqrt{3}$	0	1	0	0
$\delta p_{\text{repetibilidad}}$	0	0,00 bar	$2\sqrt{3}$	0	1	0	0
$\delta p_{\text{histéresis}}$	0	0,10 bar	$2\sqrt{3}$	$2,89 \cdot 10^{-2}$ bar	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$	$8,33 \cdot 10^{-4}$
Δp	0,00 bar	Incertidumbre estándar u o varianza u^2				$6,46 \cdot 10^{-2}$	$\sum u_i^2 =$ $4,18 \cdot 10^{-3}$
Δp	0,00 bar	Incertidumbre expandida $U = k \cdot u$ ($k = 2$)				0,13 bar ***	

* Aquí, la incertidumbre estándar especificada es $u_{\text{patrón,cond.est.}}$. Las demás contribuciones según Apéndice A se enumeran por separado.

** Teniendo en cuenta la densidad del gas dependiente de la presión (aproximación)

$$\rho_{p,t} = \rho_{20^\circ\text{C}, 1\text{ bar}} \cdot \left[\frac{p_{\text{abs}} \cdot (T + 20^\circ\text{C})}{1\text{ bar} \cdot (T + t)} \right] \quad \text{con } T = 273,15\text{ K}$$

*** Según la sección 9.3 “Valores límites para especificar la incertidumbre de medida”, el valor indicado en el certificado de calibración para una calibración según la secuencia C (repetibilidad y reproducibilidad no pueden ser determinadas) no debe ser menor que el 0,30 % del rango de medición ($span$); esto corresponde a una incertidumbre expandida de $U = 0,30\% \cdot 60\text{ bar} = 0,18\text{ bar}$.

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	46 / 55

Apéndice C Ejemplo

Presupuesto de incertidumbre para la calibración de un manómetro digital eléctrico

Esfuerzo de calibración según secuencia de calibración B

Indicación del valor medio \bar{p} con error de medición Δp , repetibilidad b' e histéresis h

Objeto a calibrar

Medidor eléctrico de presión absoluta con punto cero suprimido

Rango de medición : 50 mbar ... 1550 mbar

Precisión indicada por el fabricante : 0,03 % del valor medido

Resolución : 0,001 mbar

Patrón de medida

Manómetro de pistón de presión absoluta

Incertidumbre expandida : $1,0 \cdot 10^{-4} \cdot p$, pero no inferior a 0,0050 mbar
(datos en el certificado de calibración bajo condiciones normales, incluyendo el comportamiento a largo plazo del historial)

Para la corrección de las presiones mostradas por el patrón de medida se utilizaron los siguientes datos (cálculo según el Apéndice A):

t	: 21,6 °C; $\pm 1,0$ °C ¹⁴
t_0	: 20 °C
g	: 9,812533 m/s ² ; $\pm 0,000020$ m/s ² ¹⁴
$\alpha + \beta$: $22,0 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹ ; $\pm 1,1 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹ ¹⁴
λ	: 0
$p_{\text{patrón, gas residual}}$: (0,010 \pm 0,020) mbar

Condiciones de calibración

Medio de presión	: Aire seco
$\rho_{\text{Fl}}(20$ °C, 1 bar)	: 1,19 kg/m ³
Δh	: 0,0000 m; $\pm 0,0050$ m ¹⁴
t_{amb}	: 21,6 °C; $\pm 1,0$ °C ¹⁴
p_{amb}	: 990,0 mbar; $\pm 1,0$ mbar ¹⁴

Tabla C1: Resultado

Presión al nivel del plano de referencia del objeto a calibrar $P_{\text{patrón}}$	Lectura en el objeto de calibración			Valor medio	Error de medición	Repetibili- dad	Histé- resis	Incerti- dumbre expan- dida ($k = 2$)
	M1 (asc)	P_{ind} M2 (desc)	M3 (asc)	\bar{p} ((M1+M3) /2+M2)/2	Δp $\bar{p} - p_{\text{patrón}}$	b' (M3-M1)	h (M2-M1)	U^*
mbar	mbar	mbar	mbar	mbar	mbar	mbar	mbar	mbar
50,085	49,850	49,861	49,834	49,852	-0,233	0,016	0,011	0,024
130,191	129,984	130,007	129,967	129,991	-0,200	0,017	0,023	0,029
330,460	330,301	330,335	330,284	330,314	-0,146	0,017	0,034	0,045
530,731	530,616	530,654	530,600	530,631	-0,100	0,016	0,038	0,063
730,990	730,892	730,933	730,879	730,909	-0,081	0,013	0,041	0,082
931,272	931,184	931,226	931,172	931,202	-0,070	0,012	0,042	0,10
1131,138	1131,050	1131,094	1131,046	1131,071	-0,067	0,004	0,044	0,12
1331,413	1331,330	1331,359	1331,337	1331,346	-0,067	0,007	0,029	0,14
1531,673	1531,630	1531,656	1531,629	1531,643	-0,030	0,001	0,026	0,16

* Las incertidumbres expandidas indicadas corresponden a los valores calculados según la Tabla C2. Sin embargo, en el certificado de calibración hay que indicar una incertidumbre expandida que no sea inferior al 0,04 % del rango de medición (*span*) debido a la secuencia de calibración B utilizada, es decir, $U = 0,04 \% \cdot 1500 \text{ mbar} = 0,60 \text{ bar}$.

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	48 / 55

Tabla C2: Presupuesto de incertidumbre para el escalón de carga $p = 1531,673$ mbar

Magnitud	Mejor valor estimado	Ancho de distribución	Divisor	Incertidumbre estándar	Coficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre	Varianza
X_i	x_i	$2a$		$u(x_i)$	c_i	$u_i(y)$	$u_i^2(y)$
						mbar	mbar ²
$p_{\text{patrón}}$	1531,673 mbar			$7,66 \cdot 10^{-2}$ mbar*	-1	$7,66 \cdot 10^{-2}$	$5,87 \cdot 10^{-3}$
$p_{\text{patrón, gas residual}}$	0**			$1,00 \cdot 10^{-2}$ mbar	1	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$
t	21,6 °C	2 K	$2\sqrt{3}$	$5,77 \cdot 10^{-1}$ K	$-3,37 \cdot 10^{-2}$ mbar/K	$1,95 \cdot 10^{-2}$	$3,78 \cdot 10^{-4}$
$\alpha + \beta$	$22,0 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹	$2,2 \cdot 10^{-6}$ K ⁻¹	$2\sqrt{3}$	$6,35 \cdot 10^{-7}$ / K	$-4,90 \cdot 10^3$ K·mbar	$3,11 \cdot 10^{-3}$	$9,69 \cdot 10^{-6}$
g	$9,812533$ m/s ²	$0,000040$ m/s ²	$2\sqrt{3}$	$1,15 \cdot 10^{-5}$ m/s ²	156 mbar·s ² /m	$1,80 \cdot 10^{-3}$	$3,25 \cdot 10^{-6}$
Δh ***	0	$1,0 \cdot 10^{-2}$ m	$2\sqrt{3}$	$2,89 \cdot 10^{-3}$ m	$1,78 \cdot 10^{-1}$ mbar/m	$5,13 \cdot 10^{-4}$	$2,64 \cdot 10^{-7}$
p_{ind}	1531,643 mbar	0,001 mbar	$2\sqrt{3}$	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mbar	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$	$8,33 \cdot 10^{-8}$
$p_{\text{repetibilidad}}$	0	0,001 mbar	$2\sqrt{3}$	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mbar	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$	$8,33 \cdot 10^{-8}$
$p_{\text{histéresis}}$	0	0,026 mbar	$2\sqrt{3}$	$7,51 \cdot 10^{-3}$ mbar	1	$7,51 \cdot 10^{-3}$	$5,63 \cdot 10^{-5}$
Δp	-0,030 mbar	Incertidumbre estándar u o varianza u^2				$8,01 \cdot 10^{-2}$	$\sum u_i^2 = 6,41 \cdot 10^{-3}$
Δp	-0,030 mbar	Incertidumbre expandida $U = k \cdot u$ ($k = 2$)				0,16 mbar ****	

* Aquí, la incertidumbre estándar especificada es $u_{\text{patrón, cond. est.}}$. Las demás contribuciones a la incertidumbre según Apéndice A se enumeran por separado.

** La presión del gas residual $p_{\text{patrón, gas residual}}$ ya está incluida en la especificación $p_{\text{patrón}}$.

*** Teniendo en cuenta la densidad del gas dependiente de la presión (aproximación)

$$\rho_{p, t} = \rho_{20^\circ\text{C}, 1 \text{ bar}} \cdot \left[\frac{p_{\text{abs}} \cdot (T + 20^\circ\text{C})}{1 \text{ bar} \cdot (T + t)} \right] \quad \text{con } T = 273,15 \text{ K}$$

**** Según la sección 9.3 “Valores límites para especificar la incertidumbre de medida”, el valor indicado en el certificado de calibración para una calibración según la secuencia B no debe ser menor que el 0,04 % del rango de medición (*span*); esto corresponde a una incertidumbre expandida de $U = 0,04 \% \cdot 1500 \text{ mbar} = 0,60 \text{ mbar}$.

	Calibración de instrumentos medidores de presión https://doi.org/10.7795/550.20210614A	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	49 / 55

Apéndice D Ejemplo

Presupuesto de incertidumbre para la calibración de un transmisor de presión con salida eléctrica¹⁴

Esfuerzo de calibración según secuencia de calibración A con segunda sujeción

Indicación del valor medio $\overline{A_{ind}}$ de las mediciones ascendentes y descendentes, de la repetibilidad b' , de la reproducibilidad b , de la histéresis h , del coeficiente de transferencia S y de la desviación ΔS .

Objeto a calibrar

Transmisor de presión con salida eléctrica

Rango de medición : 0 bar ... 200 bar

Precisión indicada por el fabricante : 0,01 % del valor máximo de la escala

Patrón de medida

Manómetro de pistón

Incertidumbre expandida : $1,0 \cdot 10^{-4} \cdot p$, pero no inferior a 1,0 mbar (en condiciones de uso como las definidas en el Apéndice A)

Dispositivo auxiliar de medición

Compensador digital

Indicación en mV/V : $A_{ind} \equiv U_{ind}/(G \cdot U_{Sp})$ con $G = 1$ y $U(G) = 0$

Incertidumbre expandida $U(A_{ind})$: 0,000050 mV/V (datos en el certificado de calibración bajo condiciones normales, incluyendo el comportamiento a largo plazo del historial y resolución de la indicación en uso)

Condiciones de calibración

Medio de presión : Aceite blanco

$\rho_{Fl}(20^\circ\text{C})$: $(855 \pm 40) \text{ kg/m}^3$ en el rango de medición hasta 200 bar

Δh : 0,0000 m; $\pm 0,0050 \text{ m}^{14}$

t_{amb} : 20,0 °C; $\pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}^{14}$

p_{amb} : 990,0 mbar; $\pm 1,0 \text{ mbar}^{14}$

¹⁴ En el siguiente ejemplo, la incertidumbre se determina con valores relacionados de acuerdo con el modelo producto/cociente según la ecuación (16). Alternativamente, se puede seleccionar el modelo suma/diferencia según la ecuación (8) cuando se consideran las desviaciones de medición de la señal de salida del captador de presión de los valores calculados de acuerdo con la curva característica nominal. En este caso, los resultados de las determinaciones de incertidumbre muestran una coherencia cuantitativa.

Tabla D1: Datos de medición

Presión al nivel del plano de referencia del objeto a calibrar $p_{\text{patrón}}$	Indicación del compensador digital A_{ind}					
	M1 (asc)	M2 (desc)	M3 (asc)	M4 (desc)	M5 (asc)	M6 (desc)
	bar	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V	mV/V
0,000	0,00000	-0,00003	0,00000	0,00002	0,00000	-0,00002
20,010	0,20009	0,20026	0,20019	0,20033	0,20021	0,20032
40,022	0,40026	0,40063	0,40032	0,40067	0,40033	0,40064
60,033	0,60041	0,60094	0,60049	0,60097	0,60049	0,60092
80,045	0,80053	0,80118	0,80062	0,80120	0,80062	0,80110
100,056	1,00063	1,00139	1,00072	1,00135	1,00075	1,00125
120,068	1,20074	1,20149	1,20080	1,20141	1,20082	1,20132
140,079	1,40080	1,40158	1,40089	1,40150	1,40090	1,40133
160,091	1,60082	1,60157	1,60091	1,60148	1,60091	1,60126
180,102	1,80084	1,80148	1,80097	1,80135	1,80091	1,80111
200,113	2,00079	2,00100	2,00088	2,00114	2,00086	2,00087

Tabla D2: Evaluación

Presión al nivel del plano de referencia del objeto a calibrar $p_{\text{patrón}}$	Señal de salida Valor medio $\overline{A_{\text{ind}}}$ $\Sigma M_i/6$	Deriva del cero $f_{0,\text{rel}}$ $f_0 / \overline{A_{\text{ind}}}$	Repetibilidad b'_{rel} $b'_{\text{medio}} / \overline{A_{\text{ind}}}$	Reproduci- bilidad b_{rel} $b_{\text{medio}} / \overline{A_{\text{ind}}}$	Histéresis h_{rel} $h_{\text{medio}} / \overline{A_{\text{ind}}}$	Incertidumbre expandida relativa $W(p_{\text{patrón}})$ *
bar	mV/V	#	#	#	#	#
0,000	-0,00001	#	#	#	#	#
20,010	0,20023	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
40,022	0,40048	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
60,033	0,60070	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
80,045	0,80088	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
100,056	1,00102	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
120,068	1,20110	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
140,079	1,40117	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
160,091	1,60116	$1,9 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
180,102	1,80111	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
200,113	2,00092	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$

* en el plano de referencia de la presión del objeto a calibrar

Tabla D3: Resultado

Presión al nivel del plano de referencia del objeto a calibrar $p_{\text{patrón}}$	Coefficiente de transferencia S $= \overline{A_{\text{ind}}} / p_{\text{patrón}}$	Desviación ΔS $= S - S'$	Incertidumbre expandida relativa $W(S)$ $= 2\sqrt{w_i^2(S)}$	Incertidumbre expandida $U(S)$ $= W(S) \cdot S$	Margen de variación $U'(S)$ $= U(S) + \Delta S$
bar	(mV/V)/bar	(mV/V)/bar	#	(mV/V)/bar	(mV/V)/bar
0,000	#	#	#	#	#
20,010	0,0100067	$5,2 \cdot 10^{-6}$	$6,7 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
40,022	0,0100064	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
60,033	0,0100062	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$9,6 \cdot 10^{-6}$
80,045	0,0100053	$3,8 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$8,2 \cdot 10^{-6}$
100,056	0,0100045	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$
120,068	0,0100035	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$5,3 \cdot 10^{-6}$
140,079	0,0100027	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$4,1 \cdot 10^{-6}$
160,091	0,0100016	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$
180,102	0,0100005	$-1,0 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$
200,113	0,0099990	$-2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$

Indicación de una sola cifra: $S' = 0,0100015$ (mV/V)/bar

Tabla D4: Presupuesto de incertidumbre para el escalón de carga $p = 100,056$ bar

Magnitud X_i	Mejor valor estimado x_i	Ancho de distribución $2a$	Divisor	Incertidumbre estándar $w(x_i)$	Exponente de X_i $c_i x_i y^{-1}$	Contribución a la incertidumbre $w_i(y)$	Varianza $w_i^2(y)$
$p_{\text{patrón}}$	100,056 bar			$5,00 \cdot 10^{-5}$	-1	$5,00 \cdot 10^{-5}$	$2,50 \cdot 10^{-9}$
A_{ind}	1,00102 mV/V			$2,50 \cdot 10^{-5}$	1	$2,50 \cdot 10^{-5}$	$6,24 \cdot 10^{-10}$
$K_{\text{deriva del cero}}$	1	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$2\sqrt{3}$	$8,65 \cdot 10^{-6}$	1	$8,65 \cdot 10^{-6}$	$7,50 \cdot 10^{-11}$
$K_{\text{repetibilidad}}$	1	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$2\sqrt{3}$	$2,60 \cdot 10^{-5}$	1	$2,60 \cdot 10^{-5}$	$6,75 \cdot 10^{-10}$
$K_{\text{reproducibilidad}}$	1	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$2\sqrt{3}$	$4,04 \cdot 10^{-5}$	1	$4,04 \cdot 10^{-5}$	$1,63 \cdot 10^{-9}$
$K_{\text{histéresis}}$	1	$6,3 \cdot 10^{-4}$	$2\sqrt{3}$	$1,82 \cdot 10^{-4}$	1	$1,82 \cdot 10^{-4}$	$3,31 \cdot 10^{-8}$
S	0,0100045 (mV/V)/bar	Incertidumbre relativa w o varianza w^2				$1,96 \cdot 10^{-4}$	$3,86 \cdot 10^{-8}$
S	0,0100045 (mV/V)/bar	Incertidumbre expandida relativa $W = k \cdot w$ ($k = 2$)				$3,9 \cdot 10^{-4}$	

La dependencia de la presión de la densidad del aceite fue ignorada.

Con escalón de carga $p = 100,056$ bar, la incertidumbre expandida de la determinación del coeficiente de transferencia se calcula de la manera siguiente:

$$U(S)|_{100 \text{ bar}} = W(S) \cdot S = 3,9 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0100045 \text{ (mV/V)/bar} = \mathbf{3,9 \cdot 10^{-6} \text{ (mV/V)/bar}}$$

El límite de especificación es por ejemplo $\pm 0,13$ % del coeficiente de transferencia.

Figura D1: Visualización del coeficiente de transferencia

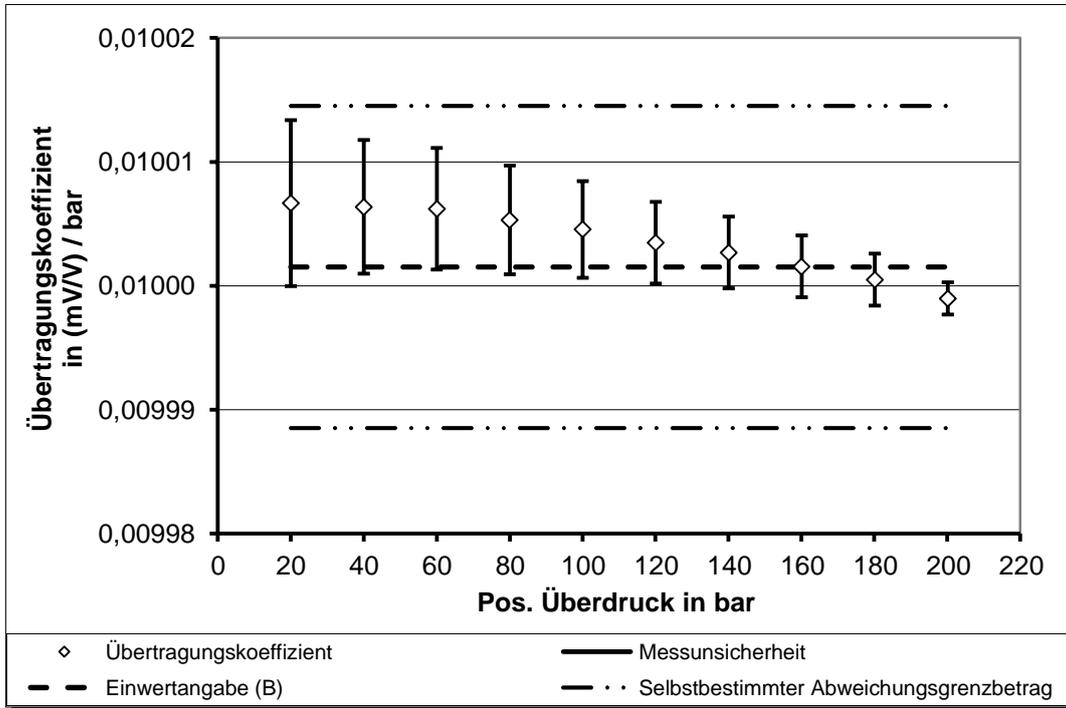
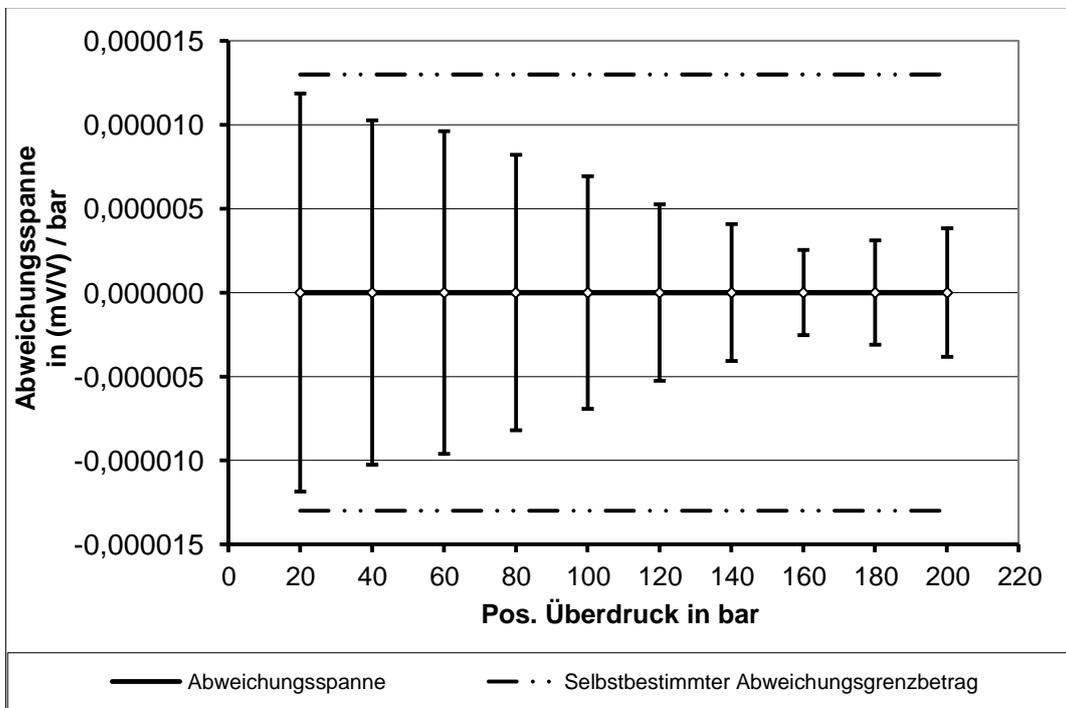


Figura D2: Visualización de los márgenes de variación



Übertragungskoeffizient	Coefficiente de transferencia
Abweichungsspanne	Margen de desviación
Pos. Überdruck in bar	Sobrepresión positiva en bar
Messunsicherheit	Incertidumbre de medida
Einwertangabe	Indicación de una sola cifra
Selbstbestimmter Abweichungsgrenzbetrag	Límite de desviación autodeterminada

Apéndice E (informativo) Incertidumbres de patrones de referencia y de trabajo

Tabla E1: Incertidumbres típicas que pueden ser atribuidas a los valores de los patrones de referencia.

Escala de presión	Valor típico de la incertidumbre expandida $U (k = 2)$ en relación con el valor medido
10 ⁻⁹ mbar ... 10 ⁻⁶ mbar	10 % ... 6 %
10 ⁻⁶ mbar ... 10 ⁻² mbar	4 % ... 1 %
10 ⁻² mbar ... 10 mbar	0,5 % ... 0,3 %
10 mbar ... 50 mbar	0,03 %
50 mbar ... 1 bar	0,01 %
1 bar ... 700 bar	0,008 %
700 bar ... 2000 bar	0,012 %
2000 bar ... 10000 bar	0,07 %

Tabla E2: Incertidumbres típicas que pueden ser atribuidas a los valores de los patrones de trabajo.

Patrón de trabajo	Valor típico de la incertidumbre expandida $U (k = 2)$ en relación con el intervalo de medida
sensores de cuarzo oscilantes, manómetros de espiral de cuarzo	0,01 %
transmisores de presión piezoresistivos	0,03 %
transmisores de presión de película fina, calibres extensométricos	0,05 %
transmisores de presión capacitivos, manómetros de resorte clase 0,1	0,10 %

	<p>Calibración de instrumentos medidores de presión</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20210614A</p>	DKD-R 6-1	
		Edición:	03/2014
		Revisión:	3
		Página:	54 / 55

Apéndice F Plazos de recalibración (recomendación)

El usuario es responsable de establecer plazos razonables para la recalibración y también de garantizar el cumplimiento de los mismos. En condiciones normales de uso, se recomiendan los siguientes plazos de recalibración:

Manómetros de pistón	5 años
Manómetro de resorte clase > 0,6	2 años
Manómetros eléctricos > 0,5 % del intervalo de medida	2 años
Transmisores de presión con salida eléctrica > 0,5 % del intervalo de medida	2 años
Manómetros de resorte clase ≤ 0,6	1 año
Manómetros eléctricos ≤ 0,5 % del intervalo de medida	1 año
Transmisores de presión con salida eléctrica ≤ 0,5 % del intervalo de medida	1 año

Independientemente de estos plazos, el dispositivo ha de ser recalibrado si, entre otras cosas, ha sido sometido a una sobrecarga fuera de su límite de sobrecarga admisible, después de una reparación, después de una manipulación incorrecta que pudiera afectar a la incertidumbre de medida, o si existen otras razones.



Publicado por:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Deutscher Kalibrierdienst

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

www.dkd.eu

www.ptb.de