

# Physikalisch- Technische Bundesanstalt



---

**Directriz  
DKD-R 5-1**

Calibración de termómetros de  
resistencia

---

Edición 11/2023

<https://doi.org/10.7795/550.20231208>



	<p>Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		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 D-38116 Braunschweig  
 Apartado de correos 33 45 D-38023 Braunschweig  
 Teléfono Oficina DKD: +49 531 592 8021  
 Internet: [www.dkd.eu](http://www.dkd.eu)

	<p>Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	3 / 55

**Sugerencia para citar la fuente:**

*Directriz DKD-R 5-1 Calibración de termómetros de resistencia, Edición 11/2023, Revisión 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig y Berlín. DOI: 10.7795/550.20231208.*

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:**

Augustin, Silke; TU Ilmenau, Ilmenau  
 Bünger, Lars; PTB Berlin  
 Friederici, Sven; PTB Berlin  
 Hager, Helmut; Techmetrics GmbH, Winnenden  
 Mammen, Helge; Ilmenau  
 Reinshaus, Peter; Wehr  
 Rudtsch, Steffen; PTB Berlin  
 Tegeler, Erich; Berlin  
 Trageser, Peter; Hasselroth

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

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		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 aplicación de las directrices permite incorporar a la práctica de laboratorio el estado actual de la técnica en los respectivos ámbitos.

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 Directriz DKD-R 5-1 fue elaborada por el Comité Técnico de Temperatura y Humedad en colaboración con el PTB y los laboratorios de calibración acreditados. La primera edición se publicó en 1992 y ha sido revisada varias veces desde entonces. La edición 10/2023 sustituye a todas las ediciones anteriores.

La edición anterior 09/2018 de la DKD-R 5-1 podrá seguir utilizándose hasta el 30 de noviembre de 2026.

La presente Directriz fue revisada por el Comité Técnico *Temperatura y Humedad* y aprobada por la Junta Directiva del DKD.

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	5 / 55

## Índice

1	Objetivo y ámbito de aplicación .....	7
2	Introducción.....	8
3	Termómetros de resistencia .....	8
3.1	Termómetros de resistencia de metal.....	8
3.1.1	Termómetros de resistencia de platino patrones (TRPP) .....	8
3.1.2	Termómetros de resistencia de platino industriales (TRPI) .....	9
3.1.3	Otros termómetros de resistencia .....	9
3.2	Termómetros de resistencia de semiconductores.....	9
4	Principios básicos de la calibración de los termómetros de resistencia .....	10
5	Transporte e inspección inicial .....	10
6	Prueba de estabilidad.....	11
7	Dispositivo de control de temperatura .....	12
8	Factores de influencia .....	13
8.1	Comportamiento a corto plazo durante la calibración .....	13
8.2	Comportamiento a largo plazo debido a la carga térmica (deriva) .....	13
8.3	Acoplamiento térmico .....	13
8.4	Métodos de medición eléctrica .....	14
8.5	Técnica de conexión.....	14
8.5.1	Circuito de dos hilos.....	14
8.5.2	Circuito de tres hilos.....	15
8.5.3	Circuito de cuatro hilos.....	15
8.6	Compatibilidad electromagnética (CEM) – influencias .....	15
8.7	Tensión termoeléctrica parásita.....	16
8.8	Calentamiento propio .....	16
8.9	Resistencia de aislamiento .....	17
8.10	Histéresis .....	18
9	Requisitos para los patrones de referencia y los equipos de medición .....	21
10	Resultados.....	23
11	Bibliografía.....	24
Apéndice A – Presupuestos de incertidumbre – Ejemplos.....		25
A.1:	Calibración de un termómetro de resistencia con un puente de medición .....	26
	Paso 1: Determinación de la temperatura de referencia en el baño de aceite: .....	26
	Paso 2: Resultado de calibración .....	32
A.2:	Calibración de un TRPI en un calibrador de bloque.....	36
	Paso 1: Determinación de la temperatura de referencia en el calibrador de bloque .....	36
	Paso 2: Resultado de la calibración .....	40

	<p>Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	6 / 55

A.3: Calibración de un termómetro digital en el calibrador de bloque.....	46
Paso 1: Determinación de la temperatura de referencia en el calibrador de bloque .....	47
Paso 2: Resultado de la calibración .....	47
A.4: Calibración de un transmisor con sensor de resistencia .....	49
Paso 1: Determinación de la temperatura de referencia en el calibrador de bloque .....	50
Paso 2: Resultado de la calibración .....	50
Apéndice B – Incertidumbres de medida en mediciones con termómetro de resistencia .....	54

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	7 / 55

## 1 Objetivo y ámbito de aplicación

El objetivo de esta directriz es definir los requisitos técnicos necesarios para la calibración de los termómetros de resistencia en laboratorios de calibración acreditados. Al haberse demostrado que, en muchos casos, el efecto de histéresis es el que más contribuye a la incertidumbre de medida, este aspecto se trata con más detalle. También se hace referencia a bibliografía complementaria y a documentos de nivel superior.

En concreto, esta directriz abarca la calibración de los:

- termómetros de resistencia de platino patrón (TRPP) (también llamados *SPRT* por sus siglas en inglés: *Standard Platinum Resistance Thermometer*); rango de temperatura:  $-189,3442\text{ °C}$  a  $961,78\text{ °C}$  [1], [2]
- termómetros de resistencia de platino industriales según DIN EN 60751 en el rango de temperatura de  $-200\text{ °C}$  a  $850\text{ °C}$  [3]
- termómetros de resistencia fabricados con otros conductores metálicos (por ejemplo, Cu, Ni) [4]
- termómetros de resistencia de semiconductores (termistores (NTC, PTC)) [5], [6]

Además, la directriz se aplica también a los:

- termómetros electrónicos de lectura directa con sensor de resistencia
- termómetros electrónicos con sensor de resistencia e interfaz digital
- registradores de datos con sensor de resistencia
- termómetros de resistencia con convertidor de medición y señal de salida analógica

Para las calibraciones de punto fijo de los termómetros de resistencia de platino patrón (TRPP), que cumplen los requisitos para los instrumentos de interpolación de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT 90), se aplican directrices de nivel superior [1], [2]. Éstas son elaboradas y actualizadas por el *Consultative Committee for Thermometry* (CCT). También es posible calibrar los termómetros patrones de resistencia de platino con el método de comparación aquí descrito. Sin embargo, el usuario debe tener en cuenta que la calibración en los puntos fijos definidos de la EIT 90 ofrece una incertidumbre de medida considerablemente menor.

Los resultados de una calibración sólo son válidos dentro del rango de calibración entre la temperatura de calibración máxima y mínima. Sólo se permite una excepción en el rango de temperatura entre aproximadamente  $77,3\text{ K}$  y  $83,8058\text{ K}$ . Si un termómetro patrón conforme a la EIT 90 ha sido calibrado en el rango entre el punto triple del agua ( $273,16\text{ K}$ ) y el punto triple del argón ( $83,8058\text{ K}$ ), la función de calibración podrá extrapolarse hasta aproximadamente  $77,3\text{ K}$  (punto de ebullición del nitrógeno). La incertidumbre de medida habrá de incrementarse de forma correspondiente para el rango extrapolado, véase [7].

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	8 / 55

## 2 Introducción

El principio de funcionamiento de los termómetros de contacto se basa en llevar un sensor a la temperatura del objeto de medición mediante contacto térmico y, a continuación, determinar la temperatura del sensor midiendo otra magnitud (dilatación, resistencia eléctrica, etc.) que muestre una dependencia continua y monótona de la temperatura.

En la práctica, la mayor desviación (error de medida) en una medición de temperatura suele deberse a que la temperatura del sensor no corresponde a la temperatura del objeto que se está midiendo. Por lo general, un termómetro de contacto „sólo“ mide su propia temperatura. La calibración de un termómetro de contacto es la determinación metrológica de la correlación entre la temperatura del sensor y la magnitud de salida del termómetro. En la aplicación práctica del termómetro, el usuario debe asegurarse de que la temperatura del sensor corresponde a la temperatura que debe medirse. Las incertidumbres de medida debidas a la falta de acoplamiento térmico por parte del usuario no están incluidas en la incertidumbre de medida de la calibración del termómetro. No obstante, el certificado de calibración debe contener toda la información pertinente que un usuario necesita para poder comprender y realizar la calibración con equipos comparables y alcanzar incertidumbres de medida comparables.

## 3 Termómetros de resistencia

El modo de funcionamiento de los termómetros de resistencia se basa en el hecho de que la resistencia eléctrica de los conductores metálicos y semiconductores depende de la temperatura ( $R(t)$ ). Así, la medición de la temperatura se obtiene a partir de la medición de una resistencia eléctrica ( $t(R)$ ). En la práctica (sin tener en cuenta el rango de bajas temperaturas por debajo de  $-200\text{ °C}$ ), se utilizan predominantemente los siguientes materiales como sensores de resistencia.

### 3.1 Termómetros de resistencia de metal

Los metales se caracterizan físicamente por la presencia de electrones que se mueven libremente como conductores de la corriente eléctrica. El movimiento de los electrones se ve obstaculizado por las colisiones y la dispersión de los fonones, los cuantos de la oscilación térmica. Dado que el número de fonones aumenta con la temperatura, la resistencia específica de los metales también aumenta con la temperatura.

Hoy en día, el platino es casi el único metal que se utiliza para fabricar termómetros de resistencia. Se distinguen los siguientes tipos.

#### 3.1.1 Termómetros de resistencia de platino patrones (TRPP)

Estos termómetros también se denominan SPRT por sus siglas en inglés (*Standard Platinum Resistance Thermometer*). Dichos termómetros están fabricados con alambre de platino de gran pureza, fijado de manera adecuada para que esté libre de tensiones mecánicas en el rango completo de temperaturas. Esta es la razón principal por la que los TRPP permiten las mediciones de temperatura más precisas y reproducibles a través de un amplio rango de temperaturas. Así, el TRPP es una parte esencial de la EIT-90 como instrumento de interpolación entre los puntos fijos de la EIT-90 en el rango de temperaturas de 13,8033 K ( $-259,3467\text{ °C}$ ) a 1234,93 K ( $961,78\text{ °C}$ ). Eléctricamente, estos termómetros se caracterizan por un coeficiente de temperatura especialmente grande, lo cual se expresa en el siguiente requisito de la EIT-90:  $R(29,7646\text{ °C}) / R(0,01\text{ °C}) > 1,118\ 07$ . En la práctica, sin embargo, se utilizan raramente porque sólo pueden fabricarse en determinados diseños y no son muy estables bajo cargas mecánicas (por ejemplo, vibraciones y choques).

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	9 / 55

### 3.1.2 Termómetros de resistencia de platino industriales (TRPI)

Para estos termómetros también suelen utilizarse las siglas IPRT (inglés: *Industrial Platinum Resistance Thermometer*). Como material del sensor, los termómetros utilizan platino. El platino contiene una pequeña cantidad de otros componentes de aleación en una composición que permite mantener la curva característica especificada en la norma DIN EN 60751 [3]. El coeficiente de temperatura de los TRPI es menor que el de los TRPP. Los TRPI, con diferentes tipos de sensores, han llegado a ser ampliamente utilizados. Los sensores bobinados han demostrado ser especialmente estables; sin embargo, los sensores de película fina son los que se usan predominantemente a escala mundial. Son habituales los termómetros con una resistencia de 100  $\Omega$  a 0 °C, también conocidos como termómetros Pt100. El rango de aplicación de los TRPI normalmente se sitúa entre 200 °C y 600 °C. El uso de tubos/materiales de protección adecuados y materiales aislantes de gran pureza tiene por objeto evitar la contaminación del elemento sensor de platino, lo cual puede producirse especialmente a altas temperaturas.

En comparación con los TRPP, los TRPI son mucho menos sensibles a vibraciones o choques. Esto se consigue mediante una fijación mecánica del resistor de platino; sin embargo, provoca una histéresis en caso de esfuerzos alternos de temperatura. La histéresis depende mucho de la construcción mecánica del elemento sensor de platino, de la fabricación del termómetro y del rango de temperatura. Por lo tanto, al calibrar los TRPI, debe investigarse o estimarse la influencia de la histéresis. La forma de hacerlo se describe detalladamente en el capítulo 8.10.

### 3.1.3 Otros termómetros de resistencia

Para determinadas aplicaciones, también se utilizan resistores de Ni o Cu [4], pero éstos sólo pueden utilizarse en un rango de temperatura limitado.

## 3.2 Termómetros de resistencia de semiconductores

Físicamente, los semiconductores se caracterizan por el hecho de que sólo hay un pequeño número de electrones libres (y huecos) como portadores de carga. Estos se crean al elevarse electrones individuales de la banda de valencia completamente llena a la banda de conducción vacía por excitación térmica. Dado que el número de pares electrón-hueco aumenta con la temperatura, la resistencia eléctrica disminuye de forma correspondiente. Por ello, también se habla de sensores con un coeficiente de temperatura negativo (*NTC* por sus siglas en inglés = *Negative Temperature Coefficient*). Aprovechando determinados parámetros, también se pueden fabricar sensores con coeficiente de temperatura positivo (*PTC*). En la práctica, los sensores *NTC* están compuestos de una mezcla compleja de óxidos metálicos; también se suele utilizar el término termistores [5]. El coeficiente de temperatura es significativamente superior al de los metales y oscila entre 3 %  $K^{-1}$  y 5 %  $K^{-1}$ . Por lo tanto, los requisitos para el equipo electrónico de medición utilizado son menores que para los termómetros de resistencia de platino. Las desventajas consisten en una curva característica muy poco lineal y un rango de temperatura de funcionamiento considerablemente menor [5], [6].

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	10 / 55

#### 4 Principios básicos de la calibración de los termómetros de resistencia

Para la calibración, el termómetro debe llevarse a una temperatura conocida en un dispositivo de control de temperatura adecuado y se mide el valor de la señal de salida (por ejemplo, la resistencia eléctrica). Según el tipo de termostatación, se distingue entre el método de punto fijo y el método de comparación: En el método de punto fijo, se realiza la temperatura de un punto fijo de temperatura EIT-90. En el método de comparación, el objeto de calibración y un termómetro patrón se llevan a una temperatura lo más idéntica posible en un termostato, y después se comparan las lecturas. La célula de punto fijo y/o el termómetro patrón deben estar calibrados de forma trazable. El control de temperatura utilizado, o sea la manera en que se ha regulado la temperatura, debe ser caracterizado en cuanto a sus propiedades térmicas.

Para medir la resistencia del objeto de calibración y/o del termómetro patrón deben utilizarse equipos de medición eléctrica adecuados (medidor de resistencia, multímetro, puente de resistencias, resistencias patrón); estos deben estar calibrados de forma trazable. En muchos casos, las especificaciones de los instrumentos eléctricos determinan los requisitos para las condiciones ambientales, especialmente la temperatura ambiente. Aquí es especialmente crítica la dependencia de la temperatura de la resistencia patrón que debe mantenerse a una temperatura constante en un termostato independiente para mediciones con pequeñas incertidumbres de medida. Si las condiciones ambientales, como la temperatura ambiente en este caso, influyen en la validez de los resultados de la calibración, deben ser controladas y registradas de forma adecuada y trazable [8].

#### 5 Transporte e inspección inicial

Los termómetros de resistencia se fabrican en diferentes diseños adaptados a sus respectivas aplicaciones o situaciones de instalación. El elemento sensor, la construcción interior y el tubo de protección exterior de los termómetros pueden variar mucho. Dependiendo de la construcción del elemento sensor, los golpes y las vibraciones pueden provocar cambios parcialmente irreversibles de la resistencia eléctrica, por lo que deben evitarse. Ni siquiera un tubo de protección metálico proporciona una protección completa contra golpes u otras cargas mecánicas. Sin embargo, los cambios de resistencia no deseados pueden detectarse con relativa facilidad mediante mediciones de resistencia en el punto de hielo o en el punto triple del agua. Por lo tanto, deben tomarse precauciones especiales para el transporte de los termómetros de resistencia. Es indispensable un buen embalaje, por ejemplo, en paquetes adecuados acolchados con espuma. A pesar de las etiquetas de embalaje especiales, no siempre puede suponerse que las empresas comerciales de transporte manejen los paquetes con el cuidado necesario. En el caso de objetos de calibración de alta calidad como, por ejemplo, patrones de referencia para diseminar la escala de temperatura con las menores incertidumbres de medida (capacidad óptima de medida), es imprescindible que el transporte sea realizado por personal experto.

El tipo y el alcance de la inspección inicial dependen no sólo del uso previsto de los termómetros, sino también de su construcción y de la incertidumbre de medida deseada en la calibración. Primero, debe comprobarse si el material de calibración está completo y no ha sufrido daños. Si se detectan daños de transporte u otros defectos mecánicos o eléctricos, hay que informar al cliente. Lo mismo debe hacerse en caso de información poco clara o incompleta acerca del alcance de la calibración.

En el caso de termómetros con convertidores de medición conectados o termómetros con unidades de evaluación eléctricas, el laboratorio de calibración deberá disponer también de las instrucciones de uso y, en caso necesario, de documentación técnica adicional.

El objeto de calibración debe estar claramente marcado para garantizar una identificación inequívoca. Esto incluye información como el número de serie, la designación del tipo y el

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	11 / 55

fabricante, y, si es necesario, también qué termómetro ha de conectarse a qué canal del equipo electrónico de medición.

Si el diseño lo permite, hay que determinar la resistencia de aislamiento a temperatura ambiente antes de iniciar la calibración (véase el capítulo 8.9). Hay que asegurarse de que la tensión de prueba no dañe ni el sensor ni los componentes electrónicos conectados.

El número de los puntos de calibración, el rango de temperatura a calibrar y otras características del pedido se acordarán entre el cliente y el laboratorio de calibración. Las calibraciones deberán realizarse al menos a dos temperaturas. En caso de que deba determinarse una curva característica, se remite a la directriz „Determinación de curvas características“ (DKD-R 5-6 [9]).

## 6 Prueba de estabilidad

Durante el transporte de los termómetros de resistencia, pueden producirse tensiones mecánicas en el sensor de platino debido a golpes o vibraciones, lo que provoca un cambio en la resistencia. Por lo tanto, antes y después de un transporte, la resistencia del termómetro se mide a una temperatura determinada (normalmente en el punto de hielo o en el punto triple del agua).

Si dicha prueba de estabilidad revela cambios significativos (30 % de la incertidumbre de medida deseada) en la resistencia del termómetro, el termómetro debería someterse a un tratamiento térmico (estabilización). Esto puede hacerse de la siguiente manera:

Después de medir el valor de la resistencia a la temperatura de referencia (punto de hielo o punto triple del agua), el sensor de temperatura se calienta unos 10 Kelvin por encima de la temperatura máxima de calibración durante un período de unas 8 a 12 horas; al hacerlo, es esencial tener en cuenta que no debe superarse la temperatura máxima de funcionamiento especificada por el fabricante. A continuación, se vuelve a medir la resistencia del termómetro a la temperatura de referencia. Si la desviación entre las dos mediciones a la temperatura de referencia supera el 30 % de la incertidumbre de medida deseada, se repetirá el tratamiento térmico. Si el resultado de la medición repetida vuelve a desviarse en más del 30 % de la medición anterior, el objeto de calibración se clasificará normalmente como no calibrable dentro de la incertidumbre de medida deseada. En determinados casos, puede ser útil someter el termómetro varias veces a un tratamiento térmico.

Si durante una recalibración el valor de la resistencia del termómetro a la temperatura de referencia no ha variado en más del 30 % de la incertidumbre de medida deseada desde la última calibración, podrá omitirse el tratamiento térmico. En el caso de termómetros nuevos, podrá utilizarse la especificación del fabricante (valor inicial) para evaluar la estabilidad, siempre que haya sido determinada por un INM o un laboratorio de calibración acreditado con una incertidumbre de medida suficientemente pequeña.

El valor de entrada de la resistencia del termómetro (normalmente en el punto de hielo o en el punto triple del agua) antes del tratamiento térmico o de la calibración debe indicarse por separado en el certificado de calibración. Con una temperatura máxima de calibración de 150 °C y unas incertidumbres de medida superiores a 0,10 K, se puede prescindir de una investigación de la estabilidad.

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	12 / 55

## 7 Dispositivo de control de temperatura

Los termómetros de resistencia se calibran por el método de comparación o definiendo puntos fijos de la escala de temperatura válida. Se permite una combinación de ambos procedimientos. En el método de comparación, los termómetros de resistencia a calibrar se comparan con patrones de referencia o de trabajo (termómetros) en dispositivos de control/regulación de temperatura térmicamente estables y homogéneos. Debe garantizarse que todos los termómetros se encuentren dentro del denominado volumen útil. Se trata de una zona con temperatura homogénea y temporalmente constante dentro del dispositivo de control de temperatura. En la validación de un puesto de medida de calibración, la estabilidad y homogeneidad de la temperatura han de determinarse experimentalmente dentro de este volumen útil definido. El uso de las especificaciones del fabricante sólo está permitido en casos excepcionales (en este caso, deben aplicarse contribuciones adicionales correspondientes al calcular la incertidumbre de medida). La posición y las dimensiones geométricas del volumen útil han de especificarse en las instrucciones de trabajo. Además, la estabilidad y homogeneidad de la temperatura dentro del volumen útil han de determinarse (caracterización) para cada combinación de dispositivo de control de la temperatura y fluido utilizado, y han de tenerse en cuenta en el presupuesto de incertidumbre. Esto debe hacerse para los casos más desfavorables, por ejemplo, a la mayor diferencia de temperatura con la temperatura ambiente y a la mayor viscosidad del fluido (en un baño de aceite, por ejemplo, se trataría de la temperatura de funcionamiento más alta y baja). Si en determinados rangos de temperatura se activa un contra-refrigerador, la estabilidad de la temperatura y/o la homogeneidad pueden aumentar. En estos casos también es necesaria una caracterización. Si se realizan cambios en el dispositivo que regula la temperatura (por ejemplo, en la estructura interna, cambio de componentes), la caracterización debe repetirse.

Además, la influencia de la carga debe cuantificarse (véase también DKD-R 5-4 [10]) y tenerse en cuenta de forma adecuada en el presupuesto de incertidumbre.

Para determinar la estabilidad y homogeneidad a lo largo del tiempo, se colocan termómetros del mismo diseño en los límites del volumen útil (horizontal, vertical) del dispositivo que regula la temperatura. Para las investigaciones no es absolutamente necesario que los termómetros estén calibrados. También puede garantizarse de otro modo que las diferencias de temperatura puedan medirse con suficiente precisión. Tras la estabilización térmica, las temperaturas medidas con los termómetros se registran de forma continua durante un período de tiempo adecuado (superior a 20 minutos). La diferencia máxima de temperatura entre los lugares de medición y la amplitud de la variación temporal de la temperatura deben tenerse en cuenta en el presupuesto de incertidumbre.

Los gradientes de temperatura en baños u hornos de temperatura estabilizada pueden reducirse instalando un bloque metálico de ecualización con orificios taladrados para alojar los patrones y los objetos de calibración.

En el caso de los dispositivos de control de temperatura que utilizan aire como medio de trabajo, también hace falta determinar la influencia de la radiación y tenerla en cuenta en la incertidumbre de medida. Esto puede hacerse midiendo la temperatura con un termómetro con la mayor emisividad posible ( $\varepsilon > 0,6$ ) y un termómetro con la menor emisividad posible ( $\varepsilon < 0,15$ ). Una opción recomendada es utilizar un termómetro con superficie dorada (baja emisividad) y otro con superficie de teflón o ennegrecida (alta emisividad). Las emisividades de ambas superficies de termómetro deben conocerse con suficiente precisión (en la gama de longitudes de onda infrarroja). El termómetro con emisividad baja indica aproximadamente la temperatura del aire. La temperatura del aire se obtiene por extrapolación a la emisividad  $\varepsilon = 0$ . La diferencia entre los dos termómetros es una medida de la influencia de la radiación. En los dispositivos de control de temperatura con aire como medio de trabajo, la componente de incertidumbre, que se basa en el gradiente de temperatura, puede reducirse especificando un volumen útil menor. Si procede, también deberán observarse las instrucciones de la DKD-R 5-7 [11] para las mediciones en aire.

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	13 / 55

La calibración de un termómetro se realiza tras alcanzar el equilibrio térmico tanto del dispositivo de control de la temperatura como del propio termómetro. La influencia de las fluctuaciones de temperatura restantes puede reducirse si el patrón y el objeto de calibración se miden casi simultáneamente o si se utilizan valores medios a lo largo del mismo periodo de observación en lugar de valores instantáneos de las lecturas. Si esto no es técnicamente posible, se puede conseguir un efecto comparable determinando con precisión el comportamiento de deriva (por ejemplo, midiendo el patrón antes y después del objeto de calibración con un comportamiento de deriva lineal). Dado que las constantes temporales del patrón y del objeto de calibración suelen ser diferentes, la influencia de la estabilidad temporal de la temperatura sólo puede reducirse parcialmente.

## 8 Factores de influencia

La incertidumbre de medida en la calibración de un termómetro depende de varios factores de influencia. Además de la incertidumbre de medida en la visualización de la temperatura, también se incluyen los factores de influencia que proceden del propio objeto de calibración. Estos pueden ser varias veces superiores a la incertidumbre de medida de la visualización de la temperatura. Por lo tanto, las contribuciones del procedimiento de calibración, los patrones utilizados y el objeto de calibración deben tenerse en cuenta en la incertidumbre de medida. Para este último, debe tenerse en cuenta un valor mínimo que pueda alcanzarse con un objeto de calibración real existente. A continuación, se explican con más detalle los factores de influencia.

### 8.1 Comportamiento a corto plazo durante la calibración

Las causas de las inestabilidades de los termómetros de resistencia pueden ser muy diversas. Según se ha indicado en el capítulo 6, pueden producirse cambios en la resistencia, por ejemplo, debido a golpes durante el transporte. En muchos casos es posible estabilizar el valor de resistencia, es decir, reducir el cambio de resistencia con el paso del tiempo, mediante un tratamiento térmico adecuado. Aquí se distingue entre el comportamiento a largo plazo (deriva) y el comportamiento a corto plazo. Al investigar el comportamiento a corto plazo, se tienen en cuenta todos los cambios que se detectan durante una calibración (de unas horas a unos días). Las posibles causas son, por ejemplo, cambios reversibles en el estado de oxidación del elemento sensor (platino). Esta contribución debe tenerse en cuenta en el presupuesto de la incertidumbre de medida (certificado de calibración).

### 8.2 Comportamiento a largo plazo debido a la carga térmica (deriva)

Además de las inestabilidades a corto plazo, también se producen efectos a largo plazo cuya magnitud depende, entre otras cosas, de la carga térmica durante el uso. La determinación de la contribución a la incertidumbre de medida resultante corresponde al usuario del termómetro. Para ello suelen utilizarse los resultados de calibraciones anteriores (historial de calibración). La especificación de la incertidumbre de medida en el certificado de calibración no incluye la contribución a la estabilidad a largo plazo del termómetro.

### 8.3 Acoplamiento térmico

Si las calibraciones se realizan con un acoplamiento térmico insuficiente o una profundidad de inmersión del termómetro insuficiente, pueden producirse errores de medición considerables.

Al realizar la calibración utilizando un dispositivo de control de temperatura, se busca la máxima profundidad de inmersión posible o el acoplamiento térmico óptimo para el termómetro que se desea calibrar. La profundidad de inmersión necesaria depende de la

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	14 / 55

incertidumbre de medida deseada, de la estructura y conductividad térmica de los materiales del termómetro, del coeficiente de transmisión del calor entre el termómetro y el fluido circundante y de otras variables. Para obtener una estimación inicial de la profundidad de inmersión necesaria, se suele utilizar como referencia el diámetro del termómetro.

Como regla general para estimar la profundidad de inmersión necesaria, se puede suponer que la profundidad de inmersión debe ser al menos diez veces el diámetro del termómetro si se quiere conseguir una desviación relativa (error de medida relativo) inferior al 1 % de la diferencia entre la temperatura de calibración y la temperatura ambiente [12]. Aumentando de nuevo la profundidad de inmersión en diez veces el diámetro del termómetro, el error de medida se reduce en un factor de 10. Debe tenerse en cuenta aquí que el punto cero para determinar la profundidad de inmersión no se refiere al borde inferior del tubo de protección del termómetro, sino al borde superior del elemento sensor.

En caso de una calibración con aire como medio (por ejemplo, en un armario de temperatura) – y de ser posible –, el objeto de calibración debe instalarse por completo en el dispositivo de calibración, incluido el cable de conexión (como mínimo 1 m, si existe) y exponerse a la temperatura de calibración para evitar la disipación del calor.

Las medidas adicionales que puedan ser necesarias, así como la profundidad de inmersión durante la calibración, deben indicarse en el certificado de calibración. De este modo se garantiza que los resultados de la calibración sean reproducibles y, en caso de una recalibración, también comparables.

La comprobación experimental de si se ha seleccionado una profundidad de inmersión suficiente durante la calibración se realiza reduciendo la profundidad de inmersión máxima posible en un 10 %. El cambio resultante en la indicación de la temperatura debido a la disipación del calor no debe superar el 10 % de la incertidumbre de medida prevista; de lo contrario, debe aumentarse la correspondiente contribución a la incertidumbre de medida.

#### **8.4 Métodos de medición eléctrica**

Al medir la resistencia eléctrica, hay que tener en cuenta las influencias sobre el resultado de la medición e incluirlas en la determinación de la incertidumbre de medida. La medición de la resistencia se realiza con corriente alterna o continua (normalmente alterna). Algunos instrumentos de medición permiten o funcionan exclusivamente en modo pulsado.

La resistencia medida del termómetro no debe depender del tipo de medición de la resistencia (corriente alterna o continua (CA/CC)), ni del tiempo de integración. Si se detectan desviaciones relacionadas con la CA/CC, esto puede ser una indicación de efectos dieléctricos. Una posible causa es la penetración de agua (vapor) en el elemento sensor.

El tipo y la elección del equipo de medición dependen de la incertidumbre de medida deseada durante la calibración.

#### **8.5 Técnica de conexión**

También pueden producirse distorsiones debido a la resistencia de las líneas de alimentación, que debe distinguirse de la resistencia del sensor. En la medición de la resistencia eléctrica se distinguen tres tipos de circuitos: el de dos hilos, el de tres hilos y el de cuatro hilos.

##### **8.5.1 Circuito de dos hilos**

En el circuito de dos hilos, la conexión entre el elemento sensor y el dispositivo de medición se realiza con un cable de dos hilos. Como cualquier otro conductor eléctrico, este cable también tiene una resistencia que se conecta en serie con el elemento sensor. Así, las dos resistencias se suman; el resultado es un valor de resistencia sistemáticamente mayor que se incluye en los datos de calibración. Sin embargo, eso no tiene en cuenta el hecho de que la resistencia eléctrica de la línea de alimentación también cambia con el uso debido a las influencias externas de la temperatura. Si el termómetro a calibrar tiene un cable de conexión

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	15 / 55

de dos hilos, el usuario debe tener en cuenta desviaciones adicionales en función de la temperatura del cable de conexión.

En el certificado de calibración también se especifica la longitud y la temperatura del cable de conexión durante la calibración.

**Ejemplo:**

Termómetro de resistencia de platino Pt100 con cable de conexión de 2,5 m (cobre, corte transversal: 0,25 mm<sup>2</sup>)

Resistencia de la línea de conexión a temperatura ambiente: 410 mΩ

Si el cable de conexión está a una temperatura de 70 °C, la resistencia de bucle del cable de conexión aumenta a 492 mΩ.

Esto corresponde a una indicación de temperatura más alta de +0,2 K.

En la calibración del termómetro, esto debe tenerse en cuenta a la hora de determinar la incertidumbre de medida. Por lo general, la calibración de termómetros de resistencia en un circuito de dos hilos implica una mayor incertidumbre de medida.

### 8.5.2 Circuito de tres hilos

En la metrología industrial se utiliza el circuito de tres hilos para minimizar las influencias de la resistencia de línea y sus fluctuaciones dependientes de la temperatura. La tecnología de circuitos compensa tanto la magnitud como la dependencia de la temperatura de la resistencia de línea. Sin embargo, hay que contar con incertidumbres adicionales porque la compensación sólo funciona correctamente si las respectivas resistencias de línea son idénticas y sus dependencias de la temperatura muestran el mismo comportamiento. Dado que los instrumentos de medida utilizados para la calibración trabajan en un circuito de cuatro hilos, la resistencia de bucle debe medirse por separado y compensarse mediante cálculo.

### 8.5.3 Circuito de cuatro hilos

La técnica de conexión preferida es el circuito de cuatro hilos. Debido a la alimentación separada de corriente y tensión al sensor, el resultado de la medición no se ve afectado por la resistencia de la línea en sí ni por su dependencia de la temperatura. En cualquier caso, debe garantizarse (por ejemplo, mediante las especificaciones del fabricante) que el circuito de cuatro hilos se realice hasta el elemento sensor. Sin embargo, si el elemento sensor dentro del termómetro lleva un circuito de dos hilos, habrá una resistencia de línea adicional (dependiente del perfil de temperatura). Incluso con el circuito de cuatro hilos, en muchos instrumentos de medición la resistencia de línea posible es limitada, lo que también puede afectar a la inductancia y la capacitancia de la línea. Sin embargo, en la práctica, esto sólo ocurrirá con líneas de alimentación muy largas. En este caso, también hay que contar con mayores influencias de los campos electromagnéticos.

## 8.6 Compatibilidad electromagnética (CEM) – influencias

Los campos electromagnéticos alternos, como los generados por las líneas eléctricas, los motores eléctricos o el bobinado de calentamiento, pueden acoplar tensiones y/o corrientes parásitas de forma capacitiva y/o inductiva en las líneas de medición. En el caso de campos muy intensos y una línea de medición en movimiento, los campos de corriente continua también pueden tener un efecto comparable.

Por este motivo, las líneas de medición y las líneas de alimentación deben tenderse alejadas unas de otras y nunca en paralelo.

Se puede conseguir una reducción eficaz de esta influencia trenzando los hilos de la línea de medición por pares. En el circuito de cuatro hilos, los hilos de las vías de tensión y corriente

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	16 / 55

se retuerquen por separado. La eficacia de esta medida también depende de la calidad del rechazo en modo común (*CMR* por sus siglas en inglés: *common mode rejection*) del dispositivo de medición.

Otra solución eficaz es apantallar el cable de medición. Preferiblemente, el apantallamiento no debe formar parte del circuito de cuatro hilos, sino ser un conductor independiente con baja impedancia al potencial de tierra o de guarda. Dado que la dimensión del apantallamiento es finita, la torsión y el apantallamiento deben combinarse para potenciar el efecto. También debe recordarse que el apantallamiento sólo reduce el acoplamiento capacitivo de las interferencias. Para mediciones a un nivel metrológico muy alto, los trayectos de tensión y corriente trenzados deben apantallarse por separado.

Dependiendo del diseño del termómetro, el apantallamiento contra las influencias electromagnéticas puede ser insuficiente. Esto puede ser especialmente notable en hornos, por ejemplo, debido al acoplamiento de los campos electromagnéticos de del bobinado de calentamiento. En este caso, debe intentarse reducir la influencia utilizando un tubo protector conectado a tierra y eléctricamente bien conductor.

Las influencias de la CEM también pueden reducirse utilizando equipos de medición adecuados. Los filtros analógicos (en los instrumentos de medición) pueden reducir eficazmente las interferencias en algunos casos; sin embargo, debe garantizarse que el resultado de la medición no se vea falseado por ello (por ejemplo, el offset y la ganancia pueden cambiar debido a los filtros analógicos).

El tiempo de integración de los multímetros o puentes de medida de CC debe ser normalmente un múltiplo entero del periodo de la frecuencia de la red. Las perturbaciones no periódicas suelen reducirse aumentando el tiempo de integración.

### 8.7 Tensión termoeléctrica parásita

Por lo general, el circuito de medición de un termómetro está formado por más de un material. Por lo tanto, con un gradiente de temperatura a lo largo del circuito de medición, puede surgir una tensión termoeléctrica que se superpone a la caída de tensión en el sensor de resistencia. Dependiendo de la dirección de la corriente, esta tensión se suma o se resta, lo que da como resultado una resistencia del termómetro medida sistemáticamente mayor o menor. Invertiendo la polaridad del sentido de la corriente durante la calibración, se puede determinar la magnitud de la tensión termoeléctrica (con la intensidad de la corriente de medición conocida) a partir de la diferencia entre los dos valores de indicación.

Con corriente alterna y corriente continua alterna, este efecto se compensa automáticamente.

#### Ejemplo:

Termómetro de resistencia: Pt100

Corriente de medición: 1 mA

Tensión termoeléctrica: 25  $\mu$ V

Offset resultante de la tensión termoeléctrica: 
$$\frac{U}{I} = R = \frac{25 \mu\text{V}}{1 \text{ mA}} = 25 \text{ m}\Omega$$

Esto corresponde a una desviación de aproximadamente 63 mK.

### 8.8 Calentamiento propio

Dado que los termómetros de resistencia son componentes pasivos, es necesario enviar una corriente de medición a través del sensor correspondiente para determinar la resistencia eléctrica. La corriente de medición provoca el calentamiento del sensor (calentamiento propio) y, por tanto, falsea el resultado de la medición. Este efecto no sólo depende de la intensidad de la corriente de medición, sino también de las condiciones de medición (acoplamiento

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	17 / 55

térmico) y del diseño del sensor. Al calibrar termómetros de resistencia, debe investigarse el comportamiento del calentamiento propio o estimarse su influencia.

Normalmente, la resistencia del sensor se mide con dos intensidades de corriente de medición y se extrapola a la intensidad de corriente de medición  $I$  de 0 mA (o la potencia eléctrica  $P$  a 0 mW).

Si, por ejemplo, no es posible modificar la intensidad de la corriente de medición, otra posibilidad es variar el acoplamiento térmico del termómetro, adaptándolo a su entorno. Una buena forma de hacerlo es colocar un tubo de gran diámetro (en comparación con el diámetro del sensor) en un entorno de temperatura homogénea y suficientemente estable en el tiempo (por ejemplo, punto de hielo o baño de calibración). Posteriormente, se realiza una medición en la parte inferior del tubo con el sensor mucho más pequeño. El sensor está completamente rodeado de aire y no debe tocar la pared del tubo. A continuación, se llena el tubo con un medio de contacto de buena conductividad térmica (por ejemplo, óxido de aluminio) hasta que todo el sensor quede rodeado por él. Tras un tiempo de ajuste suficientemente largo, se vuelve a realizar una medición. Ahora se puede estimar la influencia del calentamiento propio a partir de la diferencia entre los dos resultados de medición.

Los resultados de la investigación del calentamiento propio se indicarán en el certificado de calibración de forma que el usuario disponga de toda la información necesaria para efectuar una corrección adecuada o estimar una incertidumbre según sus condiciones. Si el calentamiento propio no se determina experimentalmente debido a la corriente de medición, esta contribución se tendrá en cuenta en el presupuesto de incertidumbre con 30 mK (distribución rectangular) para todos los tipos de termómetros de resistencia, incluida su utilización en cadenas de medición. Suponiendo una distribución rectangular con un semiancho  $a$  de 30 mK, se obtendrá una incertidumbre típica de

$$u = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot a^2} \approx 17 \text{ mK} \quad (1)$$

En caso de que un determinado tipo de termómetro se calibre a intervalos regulares, los valores máximos determinados para su calentamiento propio pueden utilizarse después de un número suficientemente grande de calibraciones de termómetros (al menos 10 termómetros del mismo tipo). El calentamiento propio típico de un cierto tipo de termómetro determinado de esta manera deberá verificarse a intervalos regulares. En el certificado de calibración se indicará entonces que el valor no se ha determinado explícitamente para el termómetro a calibrar.

### **8.9 Resistencia de aislamiento**

La resistencia de aislamiento del termómetro se mide ya a temperatura ambiente durante la inspección inicial, si el diseño lo permite (véase también el capítulo 5). Según DIN EN 60751 [3] debe medirse entre cada circuito de medición y el accesorio con una tensión continua de al menos 100 V y no debe ser inferior a 100 MΩ a temperatura ambiente. Hay que procurar que ni el sensor ni la electrónica conectada a continuación sufran daños por la tensión de prueba. Durante la calibración, la resistencia de aislamiento debe medirse a la temperatura de calibración más alta con una tensión continua de al menos 10 V (DIN EN 60751 [3]) y tenerse en cuenta de forma correspondiente en la determinación de la incertidumbre de medida. En caso necesario, el termómetro debe rechazarse como no apto para la calibración.

**Ejemplo:**

Termómetro de resistencia: Pt100 según DIN EN 60751

Temperatura: 400 °C (esto corresponde a 247,092 Ω)

Resistencia de aislamiento: 1 MΩ

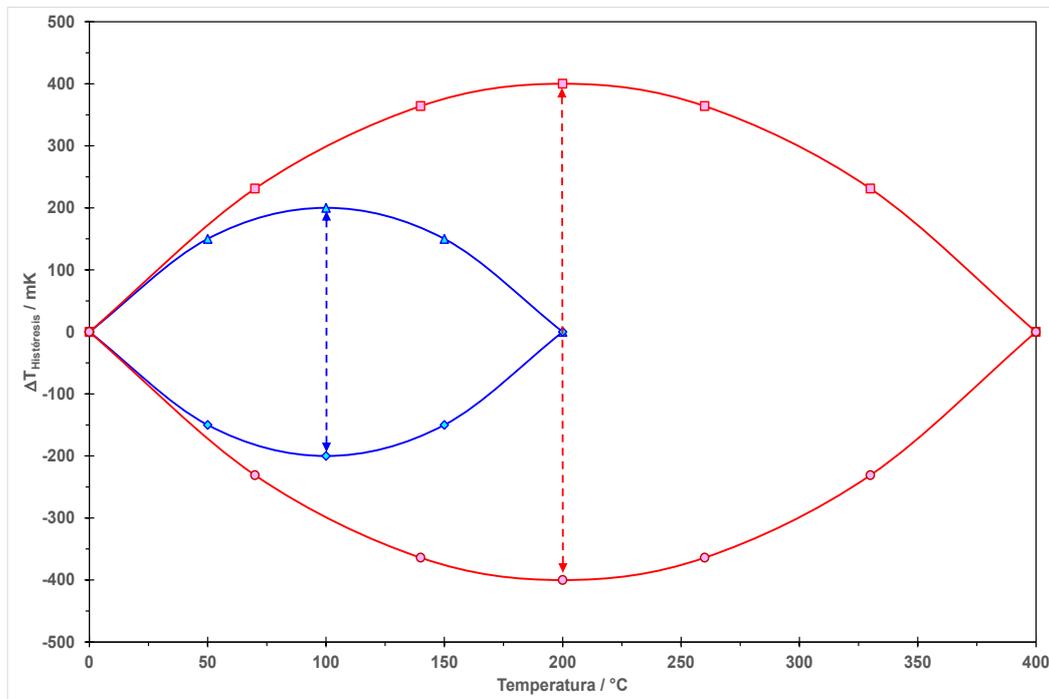
Suponiendo una conexión en paralelo:

$$R_{\text{ges}} = \frac{R_{\text{PRT}} \cdot R_{\text{ISO}}}{R_{\text{PRT}} + R_{\text{ISO}}} = \frac{247,092 \, \Omega \cdot 1 \, \text{M}\Omega}{247,092 \, \Omega + 1 \, \text{M}\Omega} = 247,031 \, \Omega$$

Esto corresponde a un valor de temperatura de 399,823 °C y, por tanto, a una contribución a la incertidumbre de distribución rectangular (semiancho) de 0,177 K.

**8.10 Histéresis**

En general, hay que tener en cuenta que los termómetros industriales de resistencia de platino muestran un efecto de histéresis, es decir, la correlación entre temperatura y resistencia depende del „historial“ térmico del termómetro. Este efecto se produce, por ejemplo, cuando el sensor de platino está conectado estrechamente con un portador de cristal o cerámica y se producen tensiones mecánicas debidas a las diferentes dilataciones térmicas. En los TRPI, esto puede provocar una diferencia considerable en la temperatura medida [13], [14], dependiendo de si el termómetro se utilizó previamente a temperaturas más altas o bajas. El efecto de histéresis depende del diseño del elemento sensor. Se ha demostrado que es especialmente pronunciado en los TRPI encapsulados en vidrio y en los sensores de película fina, y sólo se puede despreciar en los TRPP. La diferencia entre valor máximo y mínimo suele ser mayor en la mitad del rango de temperatura (Fig. 1).



**Figura 1:** Ejemplo de una desviación de característica a causa de la histéresis de un termómetro de resistencia industrial en diferentes rangos de temperatura

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	19 / 55

Por lo tanto, el certificado de calibración de los TRPI debe contener información sobre la influencia de la histéresis y sobre las condiciones de calibración (calibración con temperaturas ascendentes/descendentes).

La influencia de la histéresis debe determinarse experimentalmente según DIN EN 60751 [3] (Fig. 1). Aquí, la calibración se inicia a la temperatura más baja  $T_{\text{Min}}$  con un aumento constante de la temperatura. El punto de medición esencial  $T_{\text{H}}$  se encuentra en el centro del rango de temperatura  $T_{\text{Min}} < T_{\text{H}} < T_{\text{Max}}$ . Una vez finalizada la medición a la temperatura más alta  $T_{\text{Max}}$ , la temperatura  $T_{\text{H}}$  se ajusta de nuevo directamente en el centro del rango de temperatura y se realiza otra medición.

Esquema de medición simplificado sin otros puntos de calibración de un termómetro de lectura directa a las temperaturas medidas  $T_{\text{n}}$ :

- (1) temperatura mínima ( $T_1 = T_{\text{Min}}$ )
- (2) temperatura media ( $T_2 = T_{\text{H}}$ )
- (3) temperatura más alta ( $T_3 = T_{\text{Max}}$ )
- (4) directamente a la temperatura media ( $T_4 = T_{\text{H}}$ )

$$\Delta T_{\text{Hysteresis}} = T_4 - T_2 \quad (2)$$

Si la desviación de la temperatura debida a la histéresis no se determina, se supondrá el efecto con una tasa fija del 0,2 % del rango total de medición del termómetro en Kelvin. El valor determinado se tendrá en cuenta en el presupuesto de incertidumbre o se indicará por separado en el certificado de calibración.

Ejemplo de indicación en el certificado de calibración en caso de que no se haya medido la influencia:

*La calibración se realizó entre 0 °C y 400 °C utilizando un programa con pasos de temperatura ascendentes. La influencia de la histéresis no fue determinada experimentalmente. Se puede suponer que puede ascender hasta 0,8 K en el rango de temperatura mencionado, si las mediciones no se realizan de forma continua a temperaturas ascendentes. La mayor influencia es de esperar en la mitad del rango de temperatura.*

Al calibrar varios termómetros del mismo tipo, sólo se puede prescindir de una determinación individual de la histéresis si se han determinado los valores máximos de su histéresis mediante investigaciones previas de un número suficientemente grande de termómetros (al menos 10).

El procedimiento aquí descrito alcanza sus límites cuando es necesario cambiar el dispositivo de control de temperatura entre la temperatura más baja y la más alta.

Especialmente con sensores finos/rápidos, es muy probable que la temperatura del sensor vuelva casi a la temperatura ambiente al cambiar de un dispositivo a otro.

En este caso, la determinación de la histéresis de la manera especificada no es conveniente. En caso de que sean necesarios uno o varios cambios de los dispositivos de control de temperatura para calibrar el termómetro de resistencia a fin de cubrir el rango de calibración requerido, deberá modificarse el procedimiento especificado:

- 1) El procedimiento descrito para determinar la histéresis se lleva a cabo por separado para cada uno de los dispositivos de control de temperatura y el rango de temperatura asociado. Como resultado, se determina una histéresis

	Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	20 / 55

$\Delta T_{\text{Hysterese},k}$  (*Temperiereinrichtung<sub>k</sub>*) según la ecuación (2) para el rango de temperatura asociado  $T_{k,\text{Min}}$  bis  $T_{k,\text{Max}}$ . (*Temperiereinrichtung* = dispositivo de control de temperatura)

- 2) A partir de las  $n$  histéresis  $\Delta T_{\text{Hysterese},k}$  para los rangos de temperatura  $T_{k,\text{Min}}$  a  $T_{k,\text{Max}}$  de los dispositivos individuales de control de temperatura, se calcula la histéresis relativa  $\Delta T_{\text{Hysterese},k}^{\text{rel}}$  según la ecuación (3).

$$\Delta T_{\text{Hysterese},k}^{\text{rel}} = \frac{\Delta T_{\text{Hysterese},k}}{(T_{k,\text{Max}} - T_{k,\text{Min}})} \quad \forall k = 1 \dots n \quad (3)$$

- 3) La histéresis relativa para todo el rango de calibración de temperatura  $T_{\text{Min}}$  a  $T_{\text{Max}}$  de todos los dispositivos de control de temperatura utilizados es entonces el máximo de las histéresis relativas individuales.

$$\Delta T_{\text{Hysterese}}^{\text{rel}} = \max_{k=1 \dots n} (\Delta T_{\text{Hysterese},k}^{\text{rel}}) \quad (4)$$

- 4) La histéresis para todo el rango de calibración de temperatura  $T_{\text{Min}}$  a  $T_{\text{Max}}$  puede entonces estimarse en:

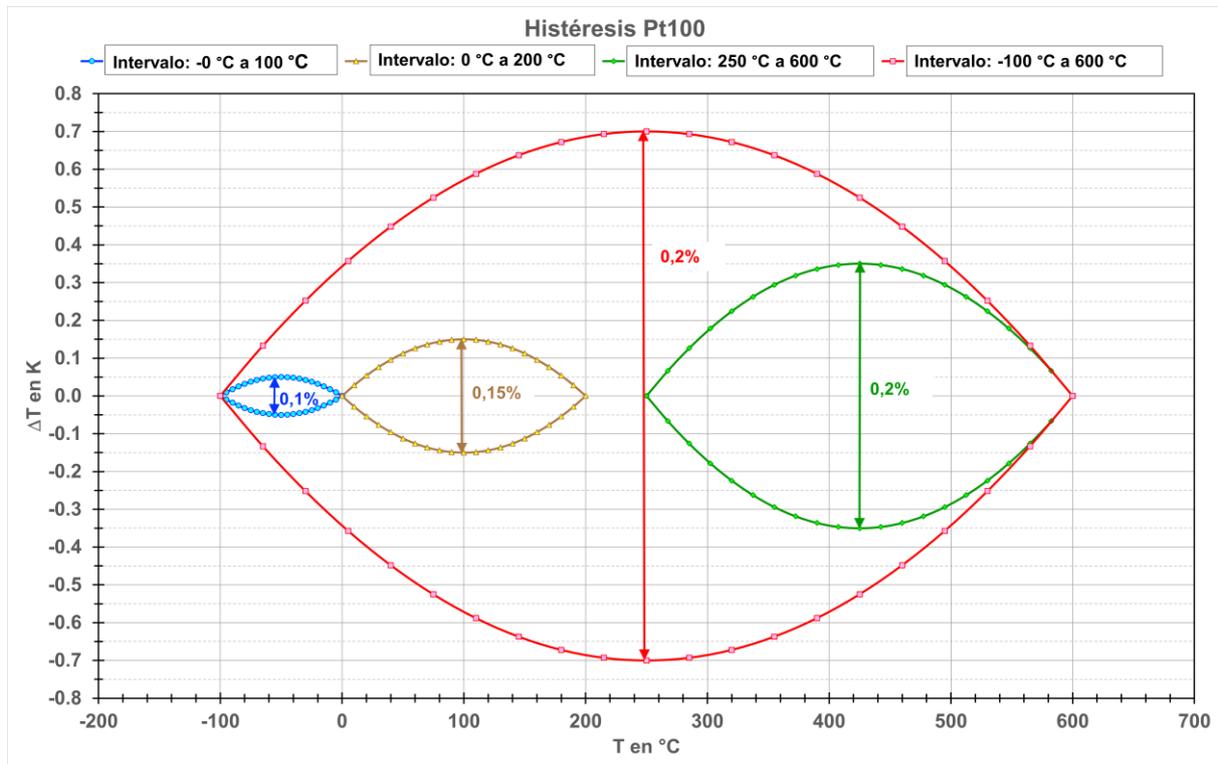
$$\Delta T_{\text{Hysterese}} = \Delta T_{\text{Hysterese}}^{\text{rel}} \cdot (T_{\text{Max}} - T_{\text{Min}}) \quad (5)$$

- 5) La suma de los rangos parciales de temperatura

$$\sum_{k=1}^n \Delta T_k = \sum_{k=1}^n (T_{k,\text{Max}} - T_{k,\text{Min}}) \quad (6)$$

debe ser al menos el 90 % del rango total ( $T_{\text{Max}} - T_{\text{Min}}$ ).

En el caso de la calibración de un termómetro de resistencia en el rango de temperatura de -100 °C a 600 °C, el resultado es análogo al de la Figura 1:



**Figura 2:** Ejemplo de determinación de la histéresis de un termómetro de resistencia industrial durante la calibración en varios dispositivos de control de temperatura en diferentes rangos de temperatura

En el ejemplo, la calibración se llevó a cabo utilizando tres diferentes dispositivos de control de temperatura en los siguientes rangos parciales:

- En el baño criogénico en el rango de -100 °C a 0 °C, la histéresis relativa fue del 0,1 %.
- En el baño de aceite, en el rango de 0 °C a 200 °C, se determinó que la histéresis relativa era del 0,15 %.
- En el horno de calibración, la histéresis en el rango de 250 °C a 600 °C se midió en un 0,2 %.
- Así pues, la histéresis relativa para todo el rango de calibración de -100 °C a 600 °C se estimó en un 0,2 %, lo que resulta en una histéresis para el rango total de calibración de 1,4 K.
- No había ningún punto de calibración en el rango de temperatura entre 200 °C y 250 °C, por lo que la histéresis relativa no se determinó aquí. La suma de los rangos parciales de temperatura es de 650 K. Esto supone más del 90 % del rango de calibración total de 700 K, por lo que los tres rangos examinados son suficientes.

## 9 Requisitos para los patrones de referencia y los equipos de medición

Por las siguientes razones, es necesario que los laboratorios de calibración dispongan de al menos dos patrones de referencia para cada rango de temperatura:

- Los termómetros de resistencia muestran una deriva. Vibraciones o choques mecánicos pueden provocar cambios en la resistencia eléctrica del sensor. En estos casos, normalmente se detectan desplazamientos de la curva característica, es decir, se produce un cambio de la resistencia del termómetro independiente de la temperatura. En determinados casos también puede producirse un cambio en la

	<b>Calibración de termómetros de resistencia</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	22 / 55

pendiente de la característica. Por lo general, este cambio se debe a la contaminación del elemento sensor de platino. Los cambios en la curva característica sólo pueden detectarse y corregirse mediante mediciones comparativas a al menos dos temperaturas con otro termómetro de resistencia, o mediante una recalibración (o ensayos intermedios) utilizando puntos fijos termométricos (puntos fijos EIT 90, punto de hielo).

- Para realizar pruebas intermedias (requisito de la norma DIN EN ISO/IEC 17025 [8]), se necesita un segundo patrón de referencia (termómetro de resistencia) o al menos dos puntos fijos termométricos. El intervalo de las pruebas intermedias debe elegirse de forma técnicamente adecuada. Si se pueden excluir cambios en la curva característica (por ejemplo, temperatura máxima de aplicación inferior a 250 °C), entonces una sola prueba intermedia a una sola temperatura (por ejemplo, punto de hielo) es suficiente.
- Dado que la calibración de un termómetro de resistencia requiere mucho tiempo, el segundo patrón de referencia garantiza la capacidad del laboratorio de calibración para seguir trabajando durante la calibración del otro patrón. Por lo tanto, tiene sentido realizar las calibraciones de los patrones de referencia con un retraso de tiempo.

El cumplimiento del requisito mencionado anteriormente puede garantizarse mediante dos termómetros de resistencia o un termómetro de resistencia con al menos dos puntos de temperatura fijos.

Los períodos de recalibración dependen de la incertidumbre de medida deseada y de la estabilidad de los patrones de referencia; se aplican los siguientes valores orientativos:

<b>Instrumento de medición/ patrón de referencia</b>	<b>Periodo máximo de recalibración</b>	<b>Nota</b>
Termómetro de resistencia de platino patrón (TRPP)	2 a 3 años	depende del historial
Termómetro de resistencia industrial (TRPI)	1 a 2 años	depende del historial
Celda de punto fijo	5 años	
Resistor patrón	2 a 5 años	depende del historial
Dispositivo de medición de resistencia	2 años	
Puente de medida CA para relaciones de resistencia	3 a 5 años	Investigación de linealidad, depende del historial
Puente de medida CC para relaciones de Resistencia	1 a 3 años	Investigación de linealidad, dependiendo de la historia; con resistencia de referencia interna (1 año)

**Tabla 1:** Valores orientativos para los periodos de recalibración

El comportamiento a largo plazo de todos los patrones de referencia y de trabajo debe documentarse y evaluarse de forma adecuada para poder determinar o extrapolar la influencia de la deriva u otras inestabilidades. En caso necesario, deberán acortarse los periodos de recalibración.

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	23 / 55

## 10 Resultados

Como resultado de la calibración, se emite un certificado de calibración.

El certificado de calibración debe cumplir los requisitos de las normas actualmente vigentes (DIN EN ISO/IEC 17025 [8]) así como las especificaciones adicionales del respectivo organismo de acreditación o de las organizaciones regionales de metrología. Dentro del ámbito de aplicación de esta directriz, debe hacerse especial referencia a los siguientes puntos:

- la indicación de las especificaciones o procedimientos aplicados
- los valores medidos y las incertidumbres de medida asociadas
- los „resultados“ interpolados o extrapolados a determinados valores (por ejemplo, enteros) no forman parte del certificado de calibración, pero pueden indicarse en el apéndice. Aquí debe tenerse en cuenta la componente de incertidumbre adicional.
- Las declaraciones sobre la conformidad con una especificación o norma metrológica definida son admisibles a petición del cliente.
- Si se realiza una aproximación de la curva característica, deberá indicarse la incertidumbre de esta curva característica además de los coeficientes calculados. [9]
- Especificación del comportamiento de histéresis (véase el capítulo 8.10) y del calentamiento propio (véase el capítulo 8.8)
- Ajuste de la corriente de medición (si es CA: frecuencia, CC: alterna / unipolar), corriente (continua / pulsada)
- En caso de que un instrumento haya sido ajustado o reparado, deberán indicarse los resultados de la calibración antes y después del ajuste o reparación (si se dispone de ellos). Este caso se dará especialmente con termómetros de lectura directa.

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	24 / 55

## 11 Bibliografía

- [1] H. Preston-Thomas, The International Temperature Scale of 1990, Metrologia 27.1, 1990.
- [2] BIPM, Guide to the Realization of the ITS-90, publication of the Consultative Committee for Thermometry (CCT), 2018.
- [3] DIN EN 60751: Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Temperatursensoren (IEC 60751:2008), DIN, 2009. (Título traducido al español: termómetros industriales de resistencia de platino y sensores de temperatura de platino)
- [4] OIML, R 84: Platinum, copper, and nickel resistance thermometers, 2003.
- [5] F. Bernhard, Handbuch der Technischen Temperaturmessung, 2. Auflage, Springer Vieweg, 2014. (Título traducido al español: Manual de medición técnica de la temperatura)
- [6] BIPM, Guide on Secondary Thermometry – Thermistor Thermometry, publication of the Consultative Committee for Thermometry (CCT), 2014.
- [7] EURAMET, technical guide 1: Extrapolation of SPRT calibrations below the triple point of argon, 83.8058 K, and traceability in baths of liquid nitrogen at ~77.3 K, 2017.
- [8] DIN EN ISO/IEC 17025 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, 2018. (Español: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración)
- [9] DKD, Richtlinie DKD-R 5-6: Bestimmung von Thermometerkennlinien, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin, Ausgabe 09/2018, Revision 0. (Título traducido al español: Determinación de las curvas características de los termómetros)
- [10] DKD, Richtlinie DKD-R 5-4: Kalibrierung von Temperatur-Blockkalibratoren, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin, Ausgabe 09/2018, Revision 0. (Español: Calibración de bloques secos de temperatura)
- [11] DKD, Richtlinie DKD-R 5-7: Kalibrierung von Klimaschränken, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin, Ausgabe 09/2018, Revision 0. (Título traducido al español: Calibración de cámaras climáticas)
- [12] D.R. White and C.L. Jongenelen, The Immersion Characteristics of Industrial PRTs, International Journal of Thermophysics, 31, p. 1685–1695, 2010.
- [13] D. Curtis, Thermal hysteresis and stress effects in platinum resistance thermometers, Temperature Its Measurement and Control in Science and Industry, vol. 5, ed. by J.F. Schooley (AIP, New York), p. 803–812, 1982.
- [14] D.R. White, C.L. Jongenelen, P. Saunders, The Hysteresis Characteristics of Some Industrial PRTs, Int. J. Thermophys. 31, p. 1676-1684, 2010.
- [15] EA-4/02 M: 2022, Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen (Deutsche Übersetzung), DAkkS, Übersetzung vom 31.08.2022. (Título traducido al español: Evaluación de la incertidumbre de medida en calibraciones)
- [16] J.V. Nicholas und D.R. White: Traceable Temperatures – An Introduction to Temperature Measurement and Calibration 2nd. Ed., John Wiley & Sons LTD., Chichester, reprinted 2005.

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	25 / 55

## Apéndice A – Presupuestos de incertidumbre – Ejemplos

La incertidumbre de medida en la calibración de un termómetro depende del método de calibración utilizado, de las contribuciones de incertidumbre del equipo de control de la temperatura (célula de punto fijo, horno, baño, calibrador de bloque, ...), de la incertidumbre de la calibración de los patrones, de las propiedades del equipo de medición utilizado y de las propiedades del termómetro de resistencia que se va a calibrar (incluido, si procede, los equipos de medición asociados, como el transmisor o el dispositivo de medición digital). Por lo tanto, no puede haber una especificación general para la incertidumbre de medida de determinados tipos de termómetros. Por consiguiente, los casos tratados en esta sección para el cálculo de la incertidumbre de medida durante la calibración no deben trasladarse directamente a una calibración realmente realizada, sino que las contribuciones a la incertidumbre de medida deben determinarse cuidadosamente de forma individual en cada caso.

En el caso de los laboratorios de calibración acreditados, el organismo de acreditación ha definido las denominadas capacidades óptimas de medida („incertidumbres de medida más pequeñas posibles“) en el procedimiento de acreditación correspondiente. Pero los laboratorios de calibración normalmente sólo pueden alcanzar estas incertidumbres, si se utilizan los mejores equipos de medición disponibles y el objeto de calibración se comporta de forma casi ideal. Significa que el „objeto de calibración casi ideal“ utilizado para determinar la incertidumbre medible más pequeña debe existir en la realidad, de modo que no puedan utilizarse suposiciones ni „valores cero“, sino contribuciones probadas para sus contribuciones en el presupuesto de incertidumbre. Los laboratorios de calibración acreditados no pueden declarar incertidumbres de medida en los certificados de calibración que sean inferiores a la incertidumbre mensurable más pequeña (acreditada).

A continuación, se ofrecen cuatro ejemplos de calibración de diferentes tipos de termómetros:

- calibración de un termómetro de resistencia de precisión con un puente de medida CA,
- calibración de un IPRT con un dispositivo de medición de resistencia,
- calibración de un termómetro eléctrico de lectura directa,
- calibración de un termómetro con transmisor y salida analógica.

En los ejemplos siguientes, sólo se considera la calibración de una temperatura. Normalmente, los termómetros se calibran a varias temperaturas y a partir de estos valores se calcula una curva característica cuya incertidumbre es mayor que la incertidumbre de medida a las temperaturas de calibración individuales. Para la determinación de esta curva característica, así como para la determinación de la incertidumbre que puede alcanzarse con el termómetro en el rango de calibración sobre la base de esta curva característica, se remite a la directriz DKD-R 5-6 [9].

	Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	26 / 55

### A.1: Calibración de un termómetro de resistencia con un puente de medición

La calibración del termómetro de resistencia de precisión se realiza por comparación con dos TRPP (25 Ω) mediante el procedimiento de comparación a una temperatura nominal de 180 °C. Las mediciones se realizan en un baño líquido agitado con aceite como fluido sin bloque de ecalización. La resistencia de los termómetros patrón (TRPP) se determina con un puente de resistencias con indicación directa de temperatura o indicación directa de resistencia y una resistencia patrón de 100 Ω. Los termómetros patrón, el puente de medida y el resistor patrón fueron calibrados por un INM o un laboratorio acreditado.

Tras un tiempo de ajuste de dos horas, se calculó el valor medio aritmético a partir de 60 valores individuales durante un periodo de 10 minutos. El presupuesto de incertidumbre se compone de dos pasos.

1. Determinación de la temperatura de referencia en el baño de aceite.
2. Determinación de la resistencia asociada del termómetro de resistencia de precisión (objeto de calibración), del error de medida asociado de la curva característica típica según DIN EN 60751 [3], así como la determinación de la incertidumbre expandida asociada.

#### Paso 1: Determinación de la temperatura de referencia en el baño de aceite:

La temperatura de referencia se determina a partir del valor medio de la temperatura del baño, medida con ambos termómetros patrón. Las resistencias de ambos patrones se miden con un puente de medida y un resistor de referencia. Los coeficientes de la curva característica de ambos TRPP pueden almacenarse en el puente de medida para que éste los convierta directamente en temperatura y las indique.

Ecuación modelo:

$$\begin{aligned}
 T_S = & T_{m,S} + \frac{1}{2} \cdot \delta T_{cal,S1} + \frac{1}{2} \cdot \delta T_{Int,S1} + \frac{1}{2} \cdot \delta T_{Drift,S1} + \frac{1}{2} \cdot \delta T_{EEw,S1} + \frac{1}{2} \cdot \delta T_{Hyst,S1} \\
 & + \frac{1}{2} \cdot \delta T_{cal,S2} + \frac{1}{2} \cdot \delta T_{Int,S2} + \frac{1}{2} \cdot \delta T_{Drift,S2} + \frac{1}{2} \cdot \delta T_{EEw,S2} + \frac{1}{2} \cdot \delta T_{Hyst,S2} \\
 & + \delta T_{i,S1-S2} + \delta T_{Res,S} + c_T \cdot \delta R_{Par,S} + \delta T_{Wa} + \delta T_{axial} + \delta T_{radial} + \delta T_{Instab} \\
 & + c_T \cdot N \cdot (\delta R_{Ref,Cal} + \delta R_{Ref,Drift} + \delta R_{Ref,T}) + c_T \cdot R_{Ref} \cdot (\delta N_{Br,Cal} + \delta N_{Br,Drift})
 \end{aligned} \tag{7}$$

A 180 °C, el coeficiente de sensibilidad  $c_T$  resulta de la curva característica del TRPP como sigue:

$$c_T = 10,4 \text{ K}/\Omega .$$

La relación de puente  $N$  es la relación entre la resistencia de los termómetros patrón  $R_S$  a 180 °C y la resistencia del resistor de referencia  $R_{Ref} = 100 \Omega$ .

Se aplica lo siguiente:  $N = R_S/R_{Ref} = 0,421$  .

Esto da:  $c_T \cdot N = 4,38 \text{ K}/\Omega$  y para  $c_T \cdot R_{Ref} = 1040 \text{ K}$ .

Esta ecuación modelo se aplica para los casos en que se puede suponer que las contribuciones (calibración, interpolación, deriva, calentamiento propio e histéresis) de los dos termómetros patrón no están correlacionadas entre sí.

Esto suele ser el caso, por ejemplo, si ambos termómetros patrón no han sido calibrados al mismo tiempo por el mismo laboratorio de calibración utilizando los mismos patrones. En el mejor de los casos, las fechas de calibración de ambos patrones se desplazan entre sí la mitad del periodo de calibración.

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	27 / 55

Al utilizar patrones de tipo diferente o de diferentes fabricantes de TRPP, la deriva, el calentamiento propio y la histéresis no suelen ser correlacionados o solo muy poco.

Otra posibilidad sería evitar utilizar constantemente los dos patrones juntos para que no estén expuestos constantemente a influencias idénticas.<sup>1</sup>

Si las contribuciones de ambos patrones se consideran correlacionadas debido al incumplimiento de estas condiciones, las respectivas contribuciones deberían combinarse en una sola contribución de incertidumbre asociada del valor medio, teniendo en cuenta la correlación. Este valor combinado debería utilizarse en el presupuesto de incertidumbre en lugar de las dos contribuciones individuales (para la estimación de un valor máximo para esta contribución de incertidumbre combinada, véase también EA-4/02 M: 2022, Anexo D [15]).

Las siguientes contribuciones resultan para los componentes individuales de la ecuación modelo:

$T_{m,S}$ :

El valor medio de las indicaciones relativas de temperatura de los dos TRPP, corregidas por las correcciones de indicación asociadas, se determina a partir de todas las mediciones individuales de los termómetros patrones (60 lecturas cada uno). La contribución a la incertidumbre del tipo A se determina a partir de la desviación típica del valor medio de las múltiples lecturas de los termómetros patrones. Si el número de lecturas es pequeño ( $\leq 10$ ), puede ser necesario añadir aquí un factor correspondiente a la distribución t para tener en cuenta el número bajo de grados de libertad (véase EA-4/02 M: 2022 [15]). En el ejemplo, esto da como resultado un valor medio de 180,079 °C y 0,001 K para la desviación típica del valor medio.

$\delta T_{cal,S1}, \delta T_{cal,S2}$  :

Corrección de la temperatura de los termómetros patrones debido a su calibración. Los termómetros patrones están calibrados en puntos fijos de la EIT-90 (WTP, Sn, Zn). En los certificados de calibración correspondientes se indican los coeficientes para el intervalo WTP-Zn (0,01 °C a 419,527 °C) para la intensidad de corriente de medición de 1 mA y extrapolada a 0 mA, así como la incertidumbre asociada para el rango de 0 °C a 419 °C. Los coeficientes para la intensidad de la corriente de medida de 1 mA habían sido almacenados en el puente de medida para cada termómetro. La indicación de la temperatura de cada termómetro patrón es calculada por el puente de medida, utilizando los coeficientes individuales para la intensidad de corriente de medida de 1 mA de los respectivos certificados de calibración. Por lo tanto, ya se tiene en cuenta una corrección de calibración y no es necesario considerarla más. La incertidumbre expandida  $U$  de la temperatura en el rango de 0 °C a 419 °C se toma del respectivo certificado de calibración ( $U_{(S1)} = 4$  mK y  $U_{(S2)} = 5$  mK con distribución normal,  $k = 2$ ). Las incertidumbres típicas atribuidas son, por tanto,  $u_{(S1)} = 2$  mK y  $u_{(S2)} = 2,5$  mK. La componente de incertidumbre  $\delta T_{EEW}$  debida al calentamiento propio se describe más abajo.

<sup>1</sup> Por lo tanto, se recomienda:

- tener a mano más de dos termómetros patrones (diversidad recomendada)
- tomar una combinación diferente de termómetros patrones del conjunto para cada próxima calibración
- hacer recalibrar todos los termómetros patrones individualmente (si es necesario, también en laboratorios diferentes)

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	28 / 55

$\delta T_{Int,S1}$  ,  $\delta T_{Int,S2}$  :

Corrección de la indicación de temperatura de los termómetros patrón a causa de la interpolación entre los puntos de calibración. Esta contribución ya está incluida en la incertidumbre indicada en el respectivo certificado de calibración para el rango de 0 °C a 419 °C y no es necesario tenerla en cuenta aquí.

Si el certificado de calibración de los patrones no indica una incertidumbre para el rango, sino sólo la incertidumbre en los puntos de calibración, esta contribución se determinará según DKD-R 5-6 [9] y será aplicada correspondientemente. En este caso, se aplicará una contribución rectangular con un semiancho según la Tabla 6.1 o la Tabla 6.2 de la directriz DKD-R 5-6 [9].

$\delta T_{Drift,S1}$  ,  $\delta T_{Drift,S2}$  :

Corrección de la temperatura media de los termómetros patrón a causa de la deriva desde la última recalibración. Las últimas calibraciones de los patrones dieron como resultado una deriva máxima de los termómetros patrones de menos de 3 mK por año. Esta deriva representa para cada patrón una contribución rectangular distribuida con un semiancho de 3 mK. La incertidumbre típica asociada es entonces de 1,7 mK.

$\delta T_{EEw,S1}$  ,  $\delta T_{EEw,S2}$  :

Corrección de la temperatura media de los termómetros patrón por calentamiento propio. Durante la medición, las resistencias de los termómetros patrón se miden mediante el puente de medida con una corriente de medición de 1 mA. Básicamente, el calentamiento propio (posiblemente diferente) de los dos termómetros patrón se tiene en cuenta de forma aproximada, utilizando los coeficientes para la intensidad de la corriente de medida de 1 mA de los certificados de calibración correspondientes para la conversión de las resistencias de los termómetros en los valores de temperatura. No obstante, queda todavía una incertidumbre que se debe al calentamiento propio, causada por los diferentes acoplamientos térmicos de los sensores del termómetro al campo de temperatura circundante. Esta contribución se estima utilizando el calentamiento propio especificado para los TRPP en el certificado de calibración.

Los últimos certificados de calibración de los patrones indicaron un calentamiento propio máximo de los termómetros patrón inferior a 2 mK. La contribución del calentamiento propio representa para cada patrón una contribución rectangular con un semiancho de 2 mK. La incertidumbre típica asociada es entonces de 1,2 mK.

$\delta T_{Hyst,S1}$  ,  $\delta T_{Hyst,S2}$  :

Corrección de la temperatura de los termómetros patrón a causa de una posible histéresis. En el caso de los TRPP, la histéresis es mínima y se comprueba repitiendo varias veces los puntos fijos, en particular también el punto triple del agua, durante la calibración. Cualquier inestabilidad o contribución de histéresis detectada – aunque sean pequeñas – se tendrán en cuenta en la incertidumbre de medida expandida que figura en los certificados de calibración de los TRPP.

Se supone una contribución rectangular con un semiancho de 0,0 K. La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,0 K.

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	29 / 55

Si en el caso de los termómetros patrón se trata de TRPI en vez de TRPP, la histéresis debe determinarse por separado (véase el capítulo 8.10) y tenerse en cuenta como semiancho de una distribución rectangular.

$\delta T_{i,S1-S2}$  :

Corrección de la temperatura media de los termómetros patrón por diferencia de las indicaciones de las dos temperaturas de los dos TRPP. La diferencia de temperatura medida que se observa entre los dos TRPP no debe ser superior a  $\pm 3,5$  mK ( $\pm 0,7 \cdot U_{cal,S}$ ). Si la diferencia no está dentro de estos límites, se repetirán las observaciones y/o se investigarán más a fondo las razones de las diferencias observadas.

Ambos termómetros muestran una diferencia de indicación de 3 mK. Así pues, se cumple el criterio y se utiliza el valor medio de las indicaciones como valor de referencia.

Mientras la diferencia entre las indicaciones de ambos termómetros patrón sea significativamente menor que la incertidumbre de la calibración de los termómetros patrón, no hay que aplicar ninguna incertidumbre adicional al valor medio. Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con un semiancho de 0,0 K. La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,0 K.<sup>2</sup>

$\delta T_{Res,S}$  :

Corrección debida a la resolución de las temperaturas de los termómetros patrón indicadas por el puente de medida. La resolución de la indicación de la temperatura es de 1 mK. Por consiguiente, se supone una contribución rectangular con un semiancho de 0,5 mK. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 0,29 mK.

$\delta R_{Par,S}$  :

Corrección de la resistencia de los termómetros patrón a causa de las tensiones termoeléctricas parásitas en el circuito de medición de los termómetros patrón. Dado que el puente de medida funciona con corriente continua alterna y que cada valor medido indicado representa un promedio de ambas direcciones de corriente, las posibles desviaciones (errores de medida) debidas a tensiones termoeléctricas parásitas en el circuito de medición se anulan aproximadamente entre sí. Por lo tanto, se supone una contribución rectangular de 0,0  $\Omega$ . La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,0  $\Omega$ .

$\delta T_{Wa}$  :

Corrección de la temperatura de los termómetros patrón a causa de una disipación del calor de los termómetros patrón. Ambos termómetros patrones tienen un diámetro exterior de 7 mm. La profundidad de inmersión en el baño es de 200 mm. Así pues, los termómetros patrón se sumergen en el baño al menos 20 veces su diámetro más la longitud del sensor. El error estimado de disipación del calor es, por lo tanto, inferior a 0,1 mK (estimación según *Traceable Temperatures – An Introduction to Temperature Measurement and Calibration* [16]) y no puede medirse directamente debido a la inestabilidad y falta de homogeneidad del baño.

<sup>2</sup> Si la desviación de las indicaciones (error de indicación) de ambos patrones es superior a 0,7 veces la incertidumbre de calibración expandida de los patrones y si no se investigan las causas ni se repiten las mediciones, la diferencia de las lecturas de ambos patrones se estima como la mitad de la anchura de la distribución rectangular a  $\delta T_{i,S1-S2}$ .

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	30 / 55

Se supone una contribución rectangular con un semiancho de 0,1 mK. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 0,06 mK.

Si la profundidad de inmersión es inferior a 15 veces el diámetro más la longitud del sensor, hay que determinar el error de la disipación del calor extrayendo el patrón al menos dos veces su diámetro y tenerlo en cuenta.

$\delta T_{\text{axial}}$  :

Corrección de la temperatura local en el baño de calibración debida a la falta de homogeneidad axial de la temperatura en el volumen de medición. Un examen del baño ha demostrado que la desviación máxima de la temperatura en dirección axial en el volumen de medición es de  $\pm 10$  mK.

Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con un semiancho de 10 mK. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 5,8 mK.

$\delta T_{\text{radial}}$  :

Corrección de la temperatura local en el baño de calibración debida a la falta de homogeneidad radial de la temperatura en el volumen de medición. La investigación del baño ha demostrado que la desviación máxima de la temperatura en la dirección radial en el volumen de medición es de  $\pm 8$  mK.

Se supone una contribución rectangular con un semiancho de 8 mK. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 4,6 mK

$\delta T_{\text{Instab}}$  :

Corrección de la temperatura por la inestabilidad de la temperatura en el volumen de calibración. La investigación del volumen de calibración dio una desviación máxima de la temperatura del valor medio de  $\pm 6$  mK a lo largo de 30 minutos. Por consiguiente, se supone una contribución rectangular con un semiancho de 6 mK. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 3,5 mK.

$\delta R_{\text{Ref,Cal}}$  :

Corrección de la resistencia de referencia debida a la calibración del resistor de referencia. La incertidumbre relativa expandida de la calibración del resistor de referencia de 100  $\Omega$  está indicado en el certificado de calibración con  $1 \cdot 10^{-6}$ . Así, la incertidumbre expandida de la resistencia a causa de la calibración es de 0,1 m $\Omega$ . Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 0,05 m $\Omega$ .

$\delta R_{\text{Ref,Drift}}$  :

Corrección de la resistencia de referencia por deriva del resistor de referencia desde su última calibración. El período de recalibración es de 1 año. Según la especificación del fabricante, la deriva máxima en el plazo de un año está dentro de los límites  $\pm 6 \cdot 10^{-6}$ . Por lo tanto, se supone que la contribución a la incertidumbre es de distribución rectangular con un semiancho de 0,6 m $\Omega$ . La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,35 m $\Omega$ .

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	31 / 55

$\delta R_{\text{Ref},T}$  :

Corrección de la resistencia de referencia a causa de la dependencia del resistor de referencia de la temperatura. El resistor de referencia se calibra a 23 °C. Esta es también la temperatura deseada del entorno durante su utilización. El fabricante especifica una dependencia de temperatura de  $3 \cdot 10^{-6} / 5 \text{ K} = 0,6 \cdot 10^{-6} / \text{K}$ . Con un cambio admisible en la temperatura ambiente de  $\pm 3 \text{ K}$ , esto da como resultado una incertidumbre de distribución rectangular del valor de la resistencia de  $\pm 1,8 \cdot 10^{-6} \triangleq 0,18 \text{ m}\Omega$ . La incertidumbre típica asociada es entonces de  $0,10 \text{ m}\Omega$ .

$\delta N_{\text{Br,Cal}}$  :

Corrección de la indicación del puente de medida a causa de la calibración del puente de medida. La incertidumbre relativa expandida de la calibración del puente de medida está indicada en el certificado de calibración con  $2 \cdot 10^{-6}$ . Entonces, la incertidumbre típica asociada es de  $1 \cdot 10^{-6}$ .

$\delta N_{\text{Br,Drift}}$  :

Corrección de la indicación del puente de medida a causa de la deriva del puente de medida desde su última calibración. El periodo de calibración es de 1 año. Según las especificaciones del fabricante, la deriva máxima dentro de un año está en los límites de  $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ . Por consiguiente, la contribución a la incertidumbre es estimada como contribución rectangular con un semiancho de  $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ . Entonces, la incertidumbre típica asociada es de  $0,58 \cdot 10^{-6}$ .

	<b>Calibración de termómetros de resistencia</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	32 / 55

Magnitud	Denominación	Valor estimado	Incertidumbre o semiancho	Incertidumbre típica	Distribución	Divisor	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre
$X_i$	$X_i$	$x_i$		$u(x_i)$			$c_i$	$u_i(y)$
$T_{m,S}$	Valor medio de las lecturas corregidas de los patrones	180,079 °C	0,0010 K	0,0010 K	normal	1	1,0	0,00100 K
$\delta T_{cal,S1}$	Calibración del patrón 1	0,000 K	0,0040 K	0,0020 K	normal	2	0,5	0,00100 K
$\delta T_{Int,S1}$	Interpolación entre los puntos de calibración del patrón 1	0,000 K	0,0000 K	0,0000 K	rectangular	$\sqrt{3}$	0,5	0,00000 K
$\delta T_{Drift,S1}$	Deriva del patrón 1	0,000 K	0,0030 K	0,00173 K	rectangular	$\sqrt{3}$	0,5	8,660E-04 K
$\delta T_{EEw,S1}$	Calentamiento propio del patrón 1	0,000 K	0,0020 K	0,00115 K	rectangular	$\sqrt{3}$	0,5	5,774E-04 K
$\delta T_{Hyst,S1}$	Histéresis del patrón 1	0,000 K	0,0000 K	0,00000 K	rectangular	$\sqrt{3}$	0,5	0,00000 K
$\delta T_{cal,S2}$	Calibración del patrón 2	0,000 K	0,0050 K	0,00250 K	normal	2	0,5	0,00125 K
$\delta T_{Int,S2}$	Interpolación entre los puntos de calibración del patrón 2	0,000 K	0,0000 K	0,00000 K	rectangular	$\sqrt{3}$	0,5	0,000E+00 K
$\delta T_{Drift,S2}$	Deriva del patrón 2	0,000 K	0,0030 K	0,00173 K	rectangular	$\sqrt{3}$	0,5	8,660E-04 K
$\delta T_{EEw,S2}$	Calentamiento propio del patrón 2	0,000 K	0,0020 K	0,00115 K	rectangular	$\sqrt{3}$	0,5	5,774E-04 K
$\delta T_{Hyst,S2}$	Histéresis del patrón 2	0,000 K	0,0000 K	0,00000 K	rectangular	$\sqrt{3}$	0,5	0,00000 K
$\delta T_{i,S1-S2}$	Diferencia entre los patrones de referencia	0,000 K	0,0000 K	0,00000 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,00000 K
$\delta T_{Res,S}$	Resolución del puente de medida	0,000 K	0,0005 K	2,89E-04 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	2,887E-04 K
$\delta R_{Par,S}$	Tensiones termoléctricas parásitas	0,000 $\Omega$	0,0000 $\Omega$	0,00000 $\Omega$	rectangular	$\sqrt{3}$	10,4 K/ $\Omega$	0,000E+00 K
$\delta T_{Wa}$	Disipación del calor	0,000 K	0,0001 K	5,77E-05 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	5,774E-05 K
$\delta T_{axial}$	Falta de homogeneidad axial en el baño	0,000 K	0,0100 K	0,00577 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	5,774E-03 K
$\delta T_{radial}$	Falta de homogeneidad radial en el baño	0,000 K	0,0080 K	0,00462 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	4,619E-03 K
$\delta T_{Instab}$	Inestabilidad dependiente del tiempo en el baño	0,000 K	0,0060 K	0,00346 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	3,464E-03 K
$\delta R_{Ref,Cal}$	Calibración del resistor de referencia	0,000 $\Omega$	0,0001 $\Omega$	0,00005 $\Omega$	normal	2	4,40 K/ $\Omega$	2,200E-04 K
$\delta R_{Ref,Drift}$	Deriva de la resistencia de referencia	0,000 $\Omega$	0,0006 $\Omega$	3,46E-04 $\Omega$	rectangular	$\sqrt{3}$	4,40 K/ $\Omega$	1,524E-03 K
$\delta R_{Ref,T}$	Dependencia de temperatura de la resistencia de referencia	0,000 $\Omega$	0,00018 $\Omega$	1,04E-04 $\Omega$	rectangular	$\sqrt{3}$	4,40 K/ $\Omega$	4,573E-04 K
$\delta N_{Br,Cal}$	Calibración del puente de medida	0,000	1,00E-06	1,00E-06	normal	1	1040 K	1,040E-03 K
$\delta N_{Br,Drift}$	Deriva del puente de medida	0,000	1,00E-06	5,77E-07	rectangular	$\sqrt{3}$	1040 K	6,004E-04 K
$T_S$	<b>Temperatura</b>	<b>180,07900 °C</b>					<b><math>u =</math></b>	<b>0,00875 K</b>

**Tabla 2:** Presupuesto de incertidumbre de la temperatura en el baño de aceite (medida con los termómetros patrón)<sup>3</sup>

### Paso 2: Resultado de calibración

La desviación de la temperatura indicada por el objeto de calibración (error de indicación) con respecto a la temperatura medida en el baño de aceite representa el resultado de la calibración.

La resistencia del objeto de calibración (termómetro de precisión Pt100) se mide a la temperatura  $T_x$ . Para la medición se utiliza un puente de resistencias y un resistor patrón del mismo tipo que ya se utilizó para la medición con los termómetros patrón. En este caso, sin embargo, se utiliza la medición directa de la resistencia con el puente de medida.

<sup>3</sup> La columna „Incertidumbre o semiancho” contiene, en caso de una distribución normal, la incertidumbre típica o la incertidumbre expandida y, en caso de una distribución rectangular, el semiancho.

	Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	33 / 55

El modelo para esta medición da como resultado

$$\Delta R(T_X) = R_S^{EN60751}(T_S) - R_{Br} + c_R \cdot \delta T_S + \delta R_{Res} + \delta R_{Par} + \delta R_{EEw} + \delta R_{Wa} + \delta R_{Hyst} + N \cdot (\delta R_{Ref,Cal} + \delta R_{Ref,Drift} + \delta R_{Ref,T}) + R_{Ref} \cdot (\delta N_{Br,Cal} + \delta N_{Br,Drift}) \quad (8)$$

Para un Pt100 a 180 °C, el coeficiente de sensibilidad  $c_R$  es:  $c_R = 0,37 \Omega/K$  o

$$c_T = 2,70 K/\Omega$$

Para las contribuciones  $\delta R_{Par}$ ,  $\delta R_{Ref,Cal}$ ,  $\delta R_{Ref,Drift}$ ,  $\delta R_{Ref,T}$ ,  $\delta N_{Br,Cal}$  y  $\delta N_{Br,Drift}$ , se aplican las mismas consideraciones que para la determinación de la temperatura en el baño de aceite. Por lo tanto, no se repiten aquí. Las demás contribuciones son las siguientes:

$$R_S^{EN60751}(T_S) :$$

En el primer paso, se determinó la temperatura del baño de aceite mediante los dos termómetros patrón; era de 180,079 °C. La resistencia correspondiente de un Pt100 según la norma EN 60751 [3] es de 168,5075  $\Omega$ .

La relación de puente  $N$  es la relación entre la resistencia  $R_S^{EN60751}$  del Pt100 a 180,079 °C y la resistencia del resistor de referencia  $R_{Ref} = 100 \Omega$ . Por lo tanto, el resultado es  $N = \frac{R_S^{EN60751}}{R_{Ref}} = 1,68$ .

$$R_{Br}, \delta R_{Br} :$$

El puente de medida determina internamente la relación entre la resistencia del termómetro y la resistencia de referencia externa y calcula la resistencia del termómetro con el valor de calibración de la resistencia de referencia almacenado en el software y lo indica.

El valor medio de la lectura del puente se determina a partir de todas las mediciones individuales de la resistencia del termómetro a la temperatura de calibración (60 lecturas cada una). La contribución a la incertidumbre del tipo A se determina a partir de la desviación típica del valor medio de las múltiples lecturas del puente de medida. Si el número de lecturas es pequeño ( $\leq 10$ ), puede ser necesario añadir aquí un factor correspondiente a la distribución t para tener en cuenta el número bajo de grados de libertad (véase EA-4/02 M: 2022 [15]). En el ejemplo, esto da como resultado un valor medio de 168,4783  $\Omega$ , así como 0,0006  $\Omega$  para la desviación típica del valor medio

$$\delta T_S :$$

Corrección debida a la temperatura del baño de aceite. La incertidumbre de la temperatura en el baño de aceite se determinó en el primer paso. La incertidumbre típica asociada es de 8,8 mK.

$$\delta R_{Res} :$$

Corrección de la resistencia del termómetro a causa de la resolución de la resistencia del termómetro indicada por el puente de medida a la temperatura de calibración. La resolución

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	34 / 55

de la indicación de la resistencia es de 1 mΩ. Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con un semiancho de 0,5 mΩ. La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,29 mΩ.

$\delta R_{EEw}$  :

Corrección de la temperatura del termómetro a calibrar por su calentamiento propio. Durante la medición, el puente de medida mide la resistencia del termómetro aplicando un corriente de 1 mA. Adicionalmente, el puente ofrece la posibilidad de medir la resistencia con una intensidad de corriente de 1,41 mA (doble pérdida de potencia eléctrica  $\Rightarrow$  aproximadamente doble calentamiento propio). Así, la resistencia del termómetro aumenta 0,9 mΩ. Por lo tanto, este cambio supone una incertidumbre de resistencia máxima de 0,9 mΩ debido al calentamiento propio del termómetro. Representa una contribución distribuida rectangularmente con un semiancho de 0,9 mΩ. La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,52 mΩ.

Con la sensibilidad del PT100 ( $c_T = 1/c_R = 2,70 \text{ K}/\Omega$ ), esto corresponde a una incertidumbre típica por calentamiento propio de 1,4 mK.

$\delta R_{Wa}$  :

Corrección debida a la disipación del calor del Pt100. El termómetro a calibrar tiene un diámetro exterior de 8 mm. La profundidad de inmersión en el baño es de 200 mm. Como no hay información respecto a la estructura interna, el error de disipación del calor se determina experimentalmente sacando el termómetro el doble de su diámetro (16 mm). Tras extraerlo, la resistencia del termómetro disminuye en 0,4 mΩ. Se supone una contribución rectangular con un semiancho de 0,4 mΩ. La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,23 mΩ.

Con la sensibilidad del PT100, esto corresponde a una incertidumbre típica por disipación del calor de 0,6 mK.

$\delta R_{Hyst}$  :

Corrección de la temperatura del Pt100 a causa de la histéresis. Dependiendo del diseño, la histéresis de los TRPP no suele ser despreciable (véase el capítulo 8.10). El termómetro se calibra para el rango de 0 °C a 400 °C. El punto de calibración deseado de 180 °C se encuentra aproximadamente en el centro del rango a calibrar. Por lo tanto, la histéresis del termómetro en este punto se determina midiendo la resistencia del termómetro a esta temperatura de calibración con temperatura ascendente (partiendo desde 0 °C) y descendente (partiendo desde 400 °C). Con ambas mediciones se determinó una diferencia de la resistencia del termómetro de 7,0 mΩ (corregida por la pendiente de la característica del termómetro para igualar las temperaturas). Se supone una contribución rectangular con un semiancho de 7,0 mΩ. La incertidumbre típica asociada es entonces de 4,04 mΩ. Con la sensibilidad del Pt100, esto corresponde a una incertidumbre típica debida a la histéresis de 11 mK.

Magnitud	Denominación	Valor estimado	Incertidumbre o semiancho	Incertidumbre típica	Distribución	Divisor	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre
$X_i$	$X_i$	$x_i$		$u(x_i)$			$c_i$	$u_i(y)$
$R_{Br}$	Indicación del puente para la resistencia del Pt100	168,47830 $\Omega$	6,00E-04 $\Omega$	6,00E-04 $\Omega$	normal	1	1,0	6,000E-04 $\Omega$
$R_S^{EN60751}(T_S)$	Resistencia según EN 60751 a la temperatura de referencia en el baño de aceite	168,50750 $\Omega$						
$\delta T_S$		0,00000 K	8,80E-03 K	8,80E-03 K	normal	1	0,37 $\Omega/K$	3,256E-03 $\Omega$
$\delta R_{Res}$	Resolución de la indicación del puente	0,000 $\Omega$	5,00E-04 $\Omega$	2,89E-04 $\Omega$	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	2,887E-04 $\Omega$
$\delta R_{Par}$	Tensiones termoelectricas parásitas	0,000 $\Omega$	0,00E+00 $\Omega$	0,00E+00 $\Omega$	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,000E+00 $\Omega$
$\delta R_{EEw}$	Calentamiento propio	0,000 $\Omega$	9,00E-04 $\Omega$	5,20E-04 $\Omega$	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	5,196E-04 $\Omega$
$\delta R_{Wa}$	Disipación del calor	0,000 $\Omega$	4,00E-04 $\Omega$	2,31E-04 $\Omega$	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	2,309E-04 $\Omega$
$\delta R_{Hyst}$	Histéresis	0,000 $\Omega$	7,00E-03 $\Omega$	4,04E-03 $\Omega$	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	4,041E-03 $\Omega$
$\delta R_{Ref,Cal}$	Calibración del resistor de referencia	0,000 $\Omega$	1,00E-04 $\Omega$	5,00E-05 $\Omega$	normal	2	1,68	8,400E-05 $\Omega$
$\delta R_{Ref,Drift}$	Deriva del resistor de referencia	0,000 $\Omega$	6,00E-04 $\Omega$	3,46E-04 $\Omega$	rectangular	$\sqrt{3}$	1,68	5,820E-04 $\Omega$
$\delta R_{Ref,T}$	Dependencia de temperatura del resistor de referencia	0,000 $\Omega$	1,80E-04 $\Omega$	1,04E-04 $\Omega$	rectangular	$\sqrt{3}$	1,68	1,746E-04 $\Omega$
$\delta N_{Br,Cal}$	Calibración del puente de medida	0,000	2,00E-06	1,00E-06	normal	2	100 $\Omega$	1,000E-04 $\Omega$
$\delta N_{Br,Drift}$	Deriva del puente de medida	0,000	1,00E-06	5,77E-07	rectangular	$\sqrt{3}$	100 $\Omega$	5,774E-05 $\Omega$
$\Delta R(T_X)$	<b>Desviación de la resistencia del termómetro de la característica típica según EN 60751</b>	<b>-0,029 <math>\Omega</math></b>	<b><math>U = 0,011 \Omega \quad (k=2)</math></b>			<b><math>u = 0,00530 \Omega</math></b>		

**Tabla 3:** Presupuesto de incertidumbre Resultado de calibración Resistencia del termómetro

A 180,079 °C, el termómetro de resistencia de precisión tiene una resistencia de 168,4783  $\Omega$ . Esto corresponde a una desviación de la curva característica típica según EN 60751 [3] de 0,0292  $\Omega$ , con una incertidumbre expandida  $U$  de 0,011  $\Omega$  (basada en la suposición de una distribución normal y un factor de cobertura de  $k = 2$ ).<sup>4</sup>

Si la desviación de la curva característica típica y la incertidumbre asociada se convierten a temperatura, utilizando el coeficiente de sensibilidad de un Pt100 a 180 °C ( $c_T = 2,70 \text{ K}/\Omega$ ), el resultado es una desviación de la curva característica típica de 80 mK con una incertidumbre expandida de 30 mK.

<sup>4</sup> Alternativamente, se puede utilizar la corrección de indicación en lugar de la desviación de indicación. La diferencia entre la corrección y la desviación es sólo el signo. En el ejemplo anterior, el resultado de la calibración sería entonces:

„A 180,079 °C, el termómetro de resistencia de precisión tiene una resistencia de 168,4783  $\Omega$ . Esto corresponde a una corrección de la curva característica típica según EN 60751 [3] de 0,0292  $\Omega$  con una incertidumbre expandida  $U$  (basada en la suposición de una distribución normal y el factor de cobertura  $k = 2$ ) de 0,011  $\Omega$ .“

El uso de la corrección de indicación ofrece al usuario del termómetro la ventaja de que la mejor estimación para la temperatura / resistencia medida puede determinarse añadiendo la corrección a la resistencia / temperatura indicada del termómetro.

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	36 / 55

## A.2: Calibración de un TRPI en un calibrador de bloque

La calibración del TRPI se realiza por comparación con un patrón de trabajo Pt100 (por ejemplo, calibrado según el ejemplo en A1) en un calibrador de bloque de temperatura mediante el método de comparación a una temperatura nominal de 350 °C. La resistencia del termómetro patrón de trabajo (Pt100) se determina con un puente de resistencias con indicación directa de la temperatura y resistor patrón interno. La resistencia del TRPI se mide con un dispositivo de medición de resistencia. Como resultado de la calibración se indica la resistencia del TRPI a la temperatura de calibración, así como la correspondiente desviación de temperatura de la curva característica típica según DIN EN 60751 [3]. El termómetro patrón de trabajo, el puente de medida y el dispositivo de medición de resistencia han sido calibrados de forma trazable por un laboratorio de calibración acreditado.

Tras un tiempo de estabilización de una hora, se calculó el valor medio aritmético a partir de 20 valores individuales durante un periodo de 10 minutos. El presupuesto de incertidumbre se compone de dos pasos:

1. Determinación de la temperatura de referencia en el calibrador de bloque.
2. Determinación de la correspondiente resistencia del TRPI, la correspondiente desviación (error de medida) de la curva característica típica según DIN EN 60751 [3] así como la correspondiente incertidumbre expandida.

### *Paso 1: Determinación de la temperatura de referencia en el calibrador de bloque*

La temperatura de referencia se determina a partir del valor medio de la temperatura del bloque ecualizador del calibrador de bloque, medida con el patrón de trabajo. La resistencia del patrón de trabajo (Pt100) se mide con un puente de medida con resistor de referencia interno y se indica en temperatura mediante el puente de medición con los coeficientes determinados en base a la calibración del patrón de trabajo.

Ecuación modelo:

$$T_S = T_{m,S} + \delta T_{cal,S} + \delta T_{Int,S} + \delta T_{Drift,S} + \delta T_{EEW,S} + \delta T_{Hyst,S} + \delta T_{Res,S} + c_T \cdot (\delta R_{Par,S} + \delta R_{Br,Cal} + \delta R_{Br,Drift}) + \delta T_{Wa} + \delta T_{axial} + \delta T_{radial} + \delta T_{Instab} \quad (9)$$

A 350 °C, el coeficiente de sensibilidad  $c_T$  se obtiene de la curva característica de un Pt100 según DIN EN 60751 [3]:  $c_T = 2,85 \text{ K}/\Omega$ .

Para los componentes individuales de la ecuación modelo se obtienen las siguientes contribuciones:

$T_{m,S}$ :

El valor medio de la indicación de temperatura relativa del patrón de trabajo (Pt100), corregido por la correspondiente corrección de indicación, se determina a partir de las 20 lecturas individuales. La contribución a la incertidumbre del tipo A se determina a partir de la desviación típica del valor medio de las múltiples lecturas del termómetro patrón. Si el número de lecturas

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	37 / 55

es pequeño ( $\leq 10$ ), puede ser necesario añadir aquí un factor correspondiente a la distribución  $t$  para tener en cuenta el número bajo de grados de libertad (véase EA 4/02 M: 2022, Apéndice D [15]). En el ejemplo, resulta un valor medio de 350,256 °C, así como 0,0055 K para la desviación típica del valor medio.

$\delta T_{\text{cal},S}$ :

Corrección de la temperatura del termómetro patrón a causa de la calibración. El termómetro patrón está calibrado en el rango de 0 °C a 400 °C en un total de 6 puntos de temperatura. En el certificado de calibración correspondiente se especifican las resistencias del termómetro, la desviación de temperatura de la curva característica típica según DIN EN 60751 [3] para la corriente de medida de 1 mA, así como la incertidumbre asociada para el rango de 0 °C a 400 °C.

Los coeficientes para la corriente de medida de 1 mA se calcularon a partir de los datos de calibración según DKD-R 5-6:2018 [9] y se almacenaron en el puente de medida. La indicación de la temperatura del termómetro patrón es calculada por el puente de medida con los coeficientes individuales. Por lo tanto, ya se tiene en cuenta una corrección de calibración y no es necesario considerarla más. La incertidumbre máxima expandida  $U$  de la temperatura en el rango de 0 °C a 400 °C se toma del certificado de calibración ( $U_{(S)} = 25$  mK; normalmente distribuida,  $k = 2$ ). La incertidumbre típica asociada es, por tanto,  $u_{(S)} = 12,5$  mK.

$\delta T_{\text{Int},S}$ :

Corrección de la indicación de temperatura del termómetro patrón debida a la interpolación entre los puntos de calibración. Esta contribución no está incluida en la incertidumbre indicada en el certificado de calibración del termómetro patrón, ya que el certificado de calibración no proporciona coeficientes para una función de interpolación para todo el rango y, por tanto, tampoco se indica la incertidumbre de rango. Por consiguiente, esta contribución debe considerarse por separado.

Los coeficientes de una función de interpolación para el rango de 0 °C a 400 °C son determinados por el propio laboratorio a partir de los 6 puntos de calibración del termómetro patrón según DKD-R 5-6:2018 [9]. Se aproxima una curva característica según DIN EN 60751 [3] en forma de una ecuación de Callendar-Van-Dusen. Los coeficientes se utilizan en el puente de medida para convertir la resistencia medida del termómetro en temperatura. Según DKD-R 5-6:2018 Tabelle 6.1 [9], para la aproximación de la curva característica debe aplicarse, por lo tanto, una contribución de incertidumbre distribuida rectangularmente de 25 mK (semiancho). La incertidumbre típica asociada es entonces de 14,4 mK.

$\delta T_{\text{Drift},S}$ :

Corrección de la temperatura media del termómetro patrón debida a la deriva desde su última recalibración. Las últimas calibraciones del patrón de trabajo mostraron una deriva máxima de < 10 mK por año. Esta deriva representa una contribución rectangular con un semiancho de 10 mK. La incertidumbre típica asociada es entonces de 5,8 mK

$\delta T_{\text{EEw},S}$ :

Corrección de la temperatura del termómetro patrón a causa de su calentamiento propio. Durante la medición, la resistencia del termómetro patrón se mide con el puente de medida, utilizando una corriente de medición de 1 mA. Por lo general, el calentamiento propio del termómetro patrón se tiene en cuenta de forma aproximada utilizando los coeficientes para la

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	38 / 55

corriente de medición de 1 mA del certificado de calibración correspondiente para la conversión de la resistencia del termómetro en temperatura. Sin embargo, queda una incertidumbre debida al calentamiento propio a causa de los diferentes acoplamientos térmicos del sensor del termómetro al campo de temperatura circundante bajo condiciones de calibración o en el bloque de ecalización del calibrador de bloque. Dado que esta contribución ya está incluida en la incertidumbre de calibración del termómetro patrón, no hace falta considerarla más. Se supone una contribución residual rectangular con un semiancho de 3 mK. La incertidumbre típica asociada es entonces de 1,7 mK.

Si el calentamiento propio no está indicado en el certificado de calibración del termómetro patrón, debe suponerse que está distribuido rectangularmente con un semiancho de 30 mK de acuerdo con el capítulo 8.8. La incertidumbre típica asociada es entonces de 17 mK.

$\delta T_{\text{Hyst},S}$  :

Corrección de la temperatura del termómetro patrón a causa de una posible histéresis. La histéresis se determinó durante la calibración para el rango de calibración de 0 °C a 400 °C en  $\pm 3,5 \text{ m}\Omega \triangleq \pm 10 \text{ mK}$ . Está incluida en la incertidumbre de medida indicada en el certificado de calibración y no es necesario volver a considerarla aquí.

Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con un semiancho de 0,0 K. La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,0 K.

Si la histéresis no ha sido determinada durante la calibración de los termómetros patrón o no se ha tenido en cuenta en la incertidumbre combinada de la calibración, deberá determinarse por separado (véase el capítulo 8.10) y tenerse en cuenta como semiancho de una distribución rectangular.

$\delta T_{\text{Res},S}$  :

Corrección debida a la resolución de la temperatura de los termómetros patrón indicada por el puente de medida. La resolución de la indicación de temperatura es de 1 mK. Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con un semiancho de 0,5 mK. La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,29 mK.

$\delta R_{\text{Par},S}$  :

Corrección debida a tensiones termoeléctricas parásitas en el circuito de medición del termómetro patrón. Dado que el puente de medida funciona con corriente continua alterna y que cada valor medido indicado representa un promedio de ambas direcciones de corriente, las posibles desviaciones (errores de medida) debidas a tensiones termoeléctricas parásitas en el circuito de medición se anulan aproximadamente entre sí. Por lo tanto, se aplica una contribución rectangular con un semiancho de 0,0  $\Omega$ . La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,0  $\Omega$ .

$\delta R_{\text{Br},\text{Cal}}$  :

Corrección debida a la calibración del puente de medida. La incertidumbre expandida de la calibración del puente de medida está indicada en el certificado de calibración como  $2 \cdot 10^{-6}$  (incertidumbre expandida;  $k = 2$ ). Con la resistencia del termómetro patrón a la temperatura

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	39 / 55

de calibración de 229,8  $\Omega$ , resulta una incertidumbre de la resistencia del termómetro debida a la calibración del puente de medida de 0,5 m $\Omega$  (distribuida normalmente;  $k = 2$ ). La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,25 m $\Omega$ .

$\delta R_{Br,Drift}$  :

Corrección a causa de la deriva del puente de medida desde su última calibración. El intervalo de recalibración es de 1 año. Según la especificación del fabricante, la deriva máxima en un año está dentro de los límites de 0,4 m $\Omega$ . Por lo tanto, se supone que la contribución a la incertidumbre tiene una distribución rectangular con un semiancho de  $\pm 0,4$  m $\Omega$ . Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 0,23 m $\Omega$ .

$\delta T_{Wa}$  :

Corrección debida a una disipación del calor del termómetro patrón en el bloque ecualizador del calibrador de bloque. El termómetro patrón de trabajo se sumerge hasta el máximo en un orificio adecuado del bloque ecualizador (la diferencia entre el diámetro exterior del termómetro y el diámetro del orificio es inferior a 1 mm, es decir, la separación es inferior a 0,5 mm, véase también DKD-R 5-4 [10]). La profundidad de inmersión en el bloque es de 120 mm. El diámetro del termómetro es de 8 mm. No hay información respecto a la estructura interna del termómetro. Por lo tanto, el termómetro patrón se sumerge en el bloque menos de 15 veces su diámetro más la longitud del sensor. En el peor de los casos, con una longitud del sensor de 40 mm como máximo, la profundidad de inmersión „efectiva“ es 10 veces el diámetro del termómetro. El error de disipación del calor estimado es, por lo tanto, inferior a  $5 \cdot 10^{-5} \cdot (T - T_{amb}) = 5 \cdot 10^{-5} \cdot 320 \text{ K} = 16 \text{ mK}$  (estimación según *Traceable Temperatures – An Introduction to Temperature Measurement and Calibration* [16]).

Se supone una contribución rectangular con un semiancho de 16 mK. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 9,2 mK.

Alternativamente, el error de la disipación del calor podría determinarse y tenerse en cuenta sacando el patrón al menos dos veces su diámetro.

$\delta T_{axial}$  :

Corrección debida a la falta de homogeneidad axial de la temperatura en el bloque ecualizador del calibrador de bloque. Una investigación del calibrador de bloque según DKD-R 5-4 [10] ha demostrado que la desviación máxima de la temperatura en dirección axial en el bloque ecualizador es de  $\pm 30$  mK.

Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con un semiancho de 30 mK. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 17,3 mK.

$\delta T_{radial}$  :

Corrección por falta de homogeneidad radial de la temperatura en el bloque ecualizador del calibrador de bloque. Una investigación del calibrador de bloque según DKD R 5 4 [10] ha demostrado que la desviación máxima de la temperatura en dirección radial en el volumen de medición es de  $\pm 8$  mK.

Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con un semiancho de 8 mK. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 4,6 mK.

	<b>Calibración de termómetros de resistencia</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	40 / 55

$\delta T_{\text{Instab}}$  :

Corrección a causa de la inestabilidad de la temperatura en el bloque equalizador del calibrador de bloque. La investigación del calibrador de bloque según [10] mostró una desviación máxima de la temperatura del valor medio durante 30 minutos de  $\pm 25$  mK. Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con un semiancho de 25,0 mK. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 14,4 mK.<sup>5</sup>

Magnitud	Denominación	Valor estimado	Incertidumbre o semiancho	Incertidumbre típica	Distribución	Divisor	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre	
$X_i$	$X_i$	$x_i$		$u(x_i)$			$c_i$	$u_i(y)$	
$T_{m,S}$	Valor medio de las lecturas corregidas del patrón de trabajo	350,2560 °C	0,0055 K	5,50E-03 K	normal	1	1,0	5,50E-03 K	
$\delta T_{\text{cal},S}$	Calibración del patrón de trabajo	0,0000 K	0,0250 K	1,25E-02 K	normal	2	1,0	1,25E-02 K	
$\delta T_{\text{Int},S}$	Interpolación entre los puntos de calibración del patrón de trabajo	0,0000 K	0,0250 K	1,44E-02 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	1,44E-02 K	
$\delta T_{\text{Drift},S}$	Deriva del patrón de trabajo	0,0000 K	0,0100 K	5,77E-03 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	5,77E-03 K	
$\delta T_{\text{EEw},S}$	Calentamiento propio del patrón de trabajo	0,0000 K	0,0030 K	1,73E-03 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	1,73E-03 K	
$\delta T_{\text{Hyst},S}$	Histéresis del patrón de trabajo	0,0000 K	0,0000 K	0,00E+00 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,00E+00 K	
$\delta T_{\text{Res},S}$	Resolución del puente de medida	0,0000 K	0,0005 K	2,89E-04 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	2,89E-04 K	
$\delta R_{\text{Par},S}$	Tensiones termoelectricas paásitas	0,0000 $\Omega$	0,0000 $\Omega$	0,00E+00 $\Omega$	rectangular	$\sqrt{3}$	2,85 K/ $\Omega$	0,00E+00 K	
$\delta R_{\text{Br},\text{Cal}}$	Calibración del puente de medida	0,0000 $\Omega$	0,0005 $\Omega$	2,50E-04 $\Omega$	normal	2	2,85 K/ $\Omega$	7,13E-04 K	
$\delta R_{\text{Br},\text{Drift}}$	Deriva del puente de medida	0,0000 $\Omega$	0,0004 $\Omega$	2,31E-04 $\Omega$	rectangular	$\sqrt{3}$	2,85 K/ $\Omega$	6,582E-04 K	
$\delta T_{\text{Wa}}$	Disipación del calor	0,0000 K	0,0160 K	9,24E-03 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	9,238E-03 K	
$\delta T_{\text{axial}}$	Falta de homogeneidad axial en el calibrador de bloque	0,0000 K	0,0300 K	1,73E-02 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	1,73E-02 K	
$\delta T_{\text{radial}}$	Falta de homogeneidad radial en el calibrador de bloque	0,0000 K	0,0080 K	4,62E-03 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	4,62E-03 K	
$\delta T_{\text{Instab}}$	Inestabilidad dependiente del tiempo en el calibrador de bloque	0,0000 K	0,0250 K	1,44E-02 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	1,44E-02 K	
$T_S$	<b>Temperatura en el calibrador de bloque</b>	<b>350,2560 °C</b>					<b><math>u = 0,0324</math> K</b>		

**Tabla 4:** Presupuesto de incertidumbre de la temperatura en el bloque equalizador del calibrador de bloque (medida con el termómetro patrón de trabajo)

### Paso 2: Resultado de la calibración

La desviación de la temperatura indicada por el objeto de calibración (error de indicación) con respecto a la temperatura medida en el bloque equalizador del calibrador de bloque representa el resultado de la calibración.

<sup>5</sup> Como alternativa a la investigación de las contribuciones de inestabilidad y falta de homogeneidad axial y radial del calibrador de bloque, también se pueden utilizar los datos de una calibración del calibrador de bloque según DKD-R 5-4 [10].

	Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	41 / 55

La resistencia del objeto a calibrar (Pt100-TRPI) se mide a la temperatura  $T_X$ . Para la medición se utiliza un dispositivo de medición de resistencia. Este dispositivo se utiliza en el rango de medición de 1 k $\Omega$  con una corriente de medida de 1 mA en „modo de ohmio verdadero“ (es decir, la medición se lleva a cabo usando ambas direcciones de corriente y el promedio se calcula internamente).

El modelo para esta medición da como resultado

$$\Delta R(T_X) = R_S^{\text{EN60751}}(T_S) - R_{\text{DVM}} + c_R \cdot (\delta T_S + \delta T_{\text{EEw}}) + \delta R_{\text{Res}} + \delta R_{\text{Par}} + \delta R_{\text{Wa}} + \delta R_{\text{Hyst}} + \delta R_{\text{Cal,DVM}} + \delta R_{\text{Drift,DVM}} \quad (10)$$

Para un Pt100 a 350 °C, el coeficiente de sensibilidad es:  $c_R = 0,35 \text{ } \Omega/\text{K}$ .

Las contribuciones individuales son las siguientes:

$R_S^{\text{EN60751}}(T_S)$  :

En el primer paso se determinó la temperatura del bloque de equalización del calibrador de bloque en 350,256 °C, utilizando el termómetro patrón de trabajo. La resistencia correspondiente de un Pt100 según DIN EN 60751 [3] es de 229,8058  $\Omega$ .

$R_{\text{DVM}}, \delta R_{\text{DVM}}$  :

El puente de medida mide la resistencia del TRPI a calibrar con una corriente de medición de 1 mA en „modo ohmio verdadero“ (es decir, la medición se realiza con ambas direcciones de corriente y el promedio se saca internamente) y la indica.

El valor medio de la lectura se determina a partir de todas las mediciones individuales de la resistencia del termómetro a la temperatura de calibración (20 mediciones cada una). La contribución a la incertidumbre del tipo A se determina a partir de la desviación típica del valor medio de las múltiples lecturas del puente de medida. Si el número de lecturas es pequeño ( $\leq 10$ ), puede ser necesario añadir aquí un factor correspondiente a la distribución t para tener en cuenta el número bajo de grados de libertad (véase EA 4/02 M: 2022 [15]). En el ejemplo, esto da como resultado un valor medio de 229,9905  $\Omega$ , y 0,0022  $\Omega$  para la desviación típica del valor medio.

$\delta T_S$  :

Corrección de la temperatura en el calibrador de bloque. La incertidumbre de la temperatura en el calibrador de bloque se determinó en el primer paso. La incertidumbre típica asociada es de 32,4 mK.

$\delta T_{\text{EEw}}$  :

Corrección de la temperatura del termómetro a calibrar a causa de su calentamiento propio. Durante la medición, el puente de medida mide la resistencia del termómetro con una corriente de medición de 1 mA. El dispositivo de medición de resistencia no ofrece la posibilidad de

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	42 / 55

medir la resistencia del termómetro con diferentes intensidades de corriente. Por lo tanto, se supone que el cambio en la resistencia del termómetro debido al calentamiento propio causado por la corriente de medición de 1 mA tiene una incertidumbre máxima de temperatura de 30,0 mK, de acuerdo con el capítulo 8.8. Representa una contribución rectangular con un semiancho de 30,0 mK. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 17 mK.

$\delta R_{Res}$  :

Corrección a causa de la resolución de la resistencia del termómetro indicada por el dispositivo de medición de resistencia a la temperatura de calibración. La resolución de la indicación de la resistencia es de 1 m $\Omega$ . Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con un semiancho de 0,5 m $\Omega$ . Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 0,29 m $\Omega$ .

$\delta R_{Par}$  :

Corrección a causa de tensiones termoeléctricas parásitas en el circuito de medición del TRPI. Dado que el dispositivo de medición de resistencia funciona con corriente continua alterna y cada valor de medición indicado representa un promedio de ambas direcciones de corriente, las posibles desviaciones debidas a tensiones termoeléctricas parásitas en el circuito de medición se anulan aproximadamente. Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con un semiancho de 0,0  $\Omega$ . Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 0,0  $\Omega$ .

$\delta R_{Wa}$  :

Corrección debida a la disipación del calor del TRPI. El termómetro a calibrar tiene un diámetro exterior de 6 mm. La profundidad de inmersión en el bloque de ecalización es de 120 mm. Como no hay información sobre la estructura interna del termómetro, el error de disipación del calor se determina experimentalmente sacando el termómetro el doble de su diámetro (12 mm). La resistencia del termómetro disminuye en 3,4 m $\Omega$  después de extraerlo. Se supone una contribución rectangular con un semiancho de 3,4 m $\Omega$ . La incertidumbre típica asociada es entonces de 1,96 m $\Omega$ .

Con la sensibilidad del Pt100, esto corresponde a una incertidumbre típica debida a la disipación del calor de 5,6 mK.

$\delta R_{Hyst}$  :

Corrección de la temperatura del TRPI a causa de la histéresis. En los TRPI, la histéresis no suele ser despreciable, depende del diseño. Se determina o estima según el capítulo 8.10. El termómetro se calibra solamente con temperaturas ascendentes. Por lo tanto, la histéresis no se determina y tampoco se tiene en cuenta en la incertidumbre de la calibración. Por consiguiente, en el certificado de calibración se facilita la siguiente información de acuerdo con el capítulo 8.10:

*La calibración se realizó en el rango de temperatura de 0 °C a 400 °C, utilizando un programa con escalones de temperatura ascendentes. La influencia de la histéresis no fue determinada experimentalmente. Se puede suponer que la influencia de la histéresis puede ascender hasta 0,8 K en el rango de temperaturas mencionado arriba, si las mediciones con el TRPI no se realizan a temperaturas continuamente ascendentes. La mayor influencia es de esperar en el centro del rango de temperaturas.*

	<b>Calibración de termómetros de resistencia</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	43 / 55

Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con anchura total de 0,0 mΩ o un semiancho de 0,0 mΩ. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 0,0 mΩ.

$\delta R_{\text{Cal,DVM}}$  :

Corrección debida a la calibración del dispositivo de medición de resistencia. La incertidumbre expandida de la calibración del dispositivo de medición de resistencia está indicada en el certificado de calibración como  $5 \cdot 10^{-6}$  (incertidumbre expandida;  $k = 2$ ). En el rango de medición de 1 kΩ, esto da como resultado una incertidumbre de la resistencia del termómetro debida a la calibración del dispositivo de medición de resistencia de 5,0 mΩ (distribución normal;  $k = 2$ ). Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 2,5 mΩ.

$\delta R_{\text{Drift,DVM}}$  :

Corrección debida a la deriva del dispositivo de medición de resistencia desde su última calibración. El intervalo de recalibración es de 1 año. Según la especificación del fabricante, la deriva máxima en el plazo de un año en el rango de la temperatura de funcionamiento de  $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$  y el rango de medición de 1 kΩ está dentro de los siguientes límites: 0,006 % del valor + 0,0002 % del rango. Con una resistencia de termómetro de 230 Ω, esto resulta en límites de  $\pm 15,8$  mΩ. Por lo tanto, se supone una distribución rectangular con un semiancho de  $\pm 15,8$  mΩ. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 9,12 mΩ.

Magnitud	Denominación	Valor estimado	Incertidumbre o semiancho	Incertidumbre típica	Distribución	Divisor	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre
$X_i$	$X_i$	$x_i$		$u(x_i)$			$c_i$	$u_i(y)$
$R_{\text{DVM}}$	Indicación del dispositivo de medición de resistencia	229,9905 Ω	0,0022 Ω	2,20E-03 Ω	normal	1	-1,0	-2,200E+00 Ω
$R_S^{EN60751}(T_S)$	Resistencia según EN 60751 respecto a la temperatura de referencia en el baño de aceite	229,8058 Ω						
$\delta T_S$	Corrección de la temperatura en el calibrador de bloque	0,0000 K	0,0324 K	3,24E-02 K	normal	1	0,35 Ω/K	1,134E-02 Ω
$\delta T_{\text{EW}}$	Calentamiento propio	0,000 K	0,030 K	1,73E-02 K	rectangular	$\sqrt{3}$	0,35 Ω/K	6,062E-03 Ω
$\delta R_{\text{Res}}$	Resolución del dispositivo de medición de resistencia	0,0000 Ω	0,0005 Ω	2,89E-04 Ω	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	2,887E-04 Ω
$\delta R_{\text{Par}}$	Tensiones termoeléctricas parásitas	0,0000 Ω	0,0000 Ω	0,00E+00 Ω	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,000E+00 Ω
$\delta R_{\text{Wa}}$	Disipación del calor	0,0000 Ω	0,0034 Ω	1,96E-03 Ω	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	1,963E-03 Ω
$\delta R_{\text{Hyst}}$	Histéresis	0,0000 Ω	0,0000 Ω	0,00E+00 Ω	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,000E+00 Ω
$\delta R_{\text{Cal,DVM}}$	Calibración del dispositivo de medición de resistencia	0,0000 Ω	0,0050 Ω	2,50E-03 Ω	normal	2	1,0	2,500E-03 Ω
$\delta R_{\text{Drift,DVM}}$	Deriva del dispositivo de medición de resistencia	0,0000 Ω	0,0158 Ω	9,12E-03 Ω	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	9,122E-03 Ω
$\Delta R(T_x)$	<b>Desviación de la resistencia del termómetro de la característica típica según EN 60751</b>	<b>0,185 Ω</b>	<b><math>U = 0,032 \Omega \quad (k=2)</math></b>				<b><math>u = 0,0162 \Omega</math></b>	

**Tabla 5:** Presupuesto de incertidumbre Resultado de la calibración Resistencia del termómetro

A 350,256 °C, el termómetro de resistencia de platino industrial (TRPI) tiene una resistencia de 229,990 Ω. Esto corresponde a una desviación de la curva característica típica según

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	44 / 55

DIN EN 60751 [3] de  $0,185 \Omega$ , con una incertidumbre expandida  $U$  (basada en la suposición de una distribución normal y el factor de cobertura  $k = 2$ ) de  $0,032 \Omega$ .<sup>6</sup>

Si – con el coeficiente de sensibilidad de un Pt100 a  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  siendo  $c_T = 2,85 \text{ K}/\Omega$  – la desviación de la curva característica típica y la incertidumbre asociada se convierten a temperatura, el resultado es una desviación de la curva característica típica de  $0,60 \text{ K}$ , con una incertidumbre expandida  $U$  de  $0,094 \text{ K}$ .

Si el TRPI se calibra de este modo en el rango de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  utilizando un mínimo de 5 temperaturas diferentes distribuidas a lo largo del rango de temperaturas y la mayor incertidumbre expandida (determinada a  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  de forma correspondiente al ejemplo) es de  $0,12 \text{ K}$ , se puede aproximar una curva característica para el TRPI en forma de una ecuación de Callendar-Van-Dusen (equivalente a DIN EN 60751 [3]) y determinar los coeficientes asociados  $R_0$ ,  $a$  y  $b$  según DKD-R 5-6 [9]. La incertidumbre para todo el rango de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  con esta curva característica se determina entonces según DKD R 5 6 capítulo 8.1.1 [9].

El modelo para la medición de la temperatura mediante esta curva característica para el rango de calibración (sin la incertidumbre de la medición de la resistencia por parte del usuario y sin incertidumbres adicionales de la temperatura debidas a la deriva, histéresis y disipación del calor, etc.) da como resultado:

$$T(R_{\text{IPRT}}) = f(R_{\text{IPRT}}, R_0, A, B) + \delta T_{\text{Cal}} + \delta T_{\text{Kennlinie, Typ}} + \delta T_{\text{Kennlinie, Res.}} \quad (11)$$

Aquí,  $f(R_{\text{IPRT}}, R_0, A, B)$  es la función inversa de la ecuación de Callendar-van-Dusen

$$R(T) = R_0 \cdot (1 + A \cdot T + B \cdot T^2 + C \cdot (T - 100 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot T^3) \text{ mit } C = 0 \text{ für } T \geq 0 \text{ }^\circ\text{C} \quad (12)$$

Las siguientes contribuciones resultan para los componentes individuales de la ecuación modelo:

$\delta T_{\text{cal}}$ :

Corrección de la temperatura del TRPI a causa de la calibración. El TRPI se calibra en el rango de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $400 \text{ }^\circ\text{C}$  en un total de 5 puntos de temperatura. En el certificado de calibración correspondiente están indicadas las resistencias del termómetro, así como la desviación de la temperatura de la curva característica típica según DIN EN 60751 [3] para una intensidad de corriente de medida de  $1 \text{ mA}$  y también las incertidumbres correspondientes de los puntos de calibración individuales.

<sup>6</sup> Alternativamente, se puede utilizar la corrección de la indicación en lugar de la desviación de la indicación. La única diferencia es el signo. En el ejemplo anterior, el resultado de la calibración sería el siguiente:

„A  $350,256 \text{ }^\circ\text{C}$ , el termómetro de resistencia de platino (TRPI) tiene una resistencia de  $229,990 \Omega$ . Esto corresponde a una corrección de la curva característica típica según DIN EN 60751 [3] de  $-0,185 \Omega$ , con una incertidumbre expandida  $U$  de  $0,032 \Omega$  (basada en la suposición de una distribución normal y el factor de cobertura  $k = 2$ )  $\Omega$ .“

El uso de la corrección de la indicación ofrece al usuario del termómetro la ventaja de que la mejor estimación para la temperatura / resistencia medida puede determinarse añadiendo la corrección a la temperatura / resistencia indicada del termómetro

	<b>Calibración de termómetros de resistencia</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	45 / 55

La incertidumbre máxima expandida  $U$  de la temperatura en el rango de 0 °C a 400 °C se toma del certificado de calibración ( $U = 0,12$  K; distribución normal,  $k = 2$ ). La incertidumbre típica asociada es, por tanto,  $u = 0,06$  K.

$\delta T_{\text{Kennlinie,Typ}}$  :

Corrección de la temperatura del TRPI debida a la interpolación entre los puntos de calibración mediante una curva característica según Callendar-Van-Dusen. Esta contribución no está incluida en la incertidumbre indicada en el certificado de calibración del termómetro patrón, ya que el certificado de calibración no proporciona coeficientes para una función de interpolación para todo el rango y, por lo tanto, tampoco ninguna incertidumbre de rango. Por consiguiente, esta contribución debe considerarse por separado.

Los coeficientes de una función de interpolación para el rango de 0 °C a 400 °C se determinan a partir de los 5 puntos de calibración del TRPI según DKD-R 5-6 [9]. Los coeficientes se utilizan para convertir la resistencia de termómetro del TRPI en temperatura. Esta contribución sólo tiene en cuenta la desviación que resulta del hecho de que la aproximación de la curva característica utilizada en el rango de temperatura asociado sólo describe de forma inadecuada el comportamiento de un termómetro de resistencia de platino. Según DKD-R 5-6 Tabla 6.1 [9] debe aplicarse por lo tanto una contribución de incertidumbre distribuida rectangularmente de 25 mK (semiancho) para la aproximación de la curva característica. La incertidumbre típica asociada es entonces de 14,4 mK.

$\delta T_{\text{Kennlinie,Res.}}$  :

Corrección de la temperatura del TRPI debida a la interpolación entre los puntos de calibración mediante una curva característica del tipo Callendar-Van-Dusen. Esta contribución no está incluida en la incertidumbre especificada en el certificado de calibración del termómetro patrón, ya que el certificado de calibración no especifica ningún coeficiente para una función de interpolación para todo el rango y, por lo tanto, tampoco ninguna incertidumbre de rango. Por lo tanto, esta contribución debe tenerse en cuenta por separado.

Los coeficientes de una función de interpolación para el rango de 0 °C a 400 °C se determinan a partir de los 5 puntos de calibración del TRPI de acuerdo con DKD-R 5-6 [9]. Los coeficientes se utilizan para convertir la resistencia de termómetro del IPRT en temperatura. Además de la contribución  $\delta T_{\text{Kennlinie,Typ}}$ , debe tenerse en cuenta – según el capítulo 2.3.2 de la DKD R 5-6 [9] – una contribución a la incertidumbre de distribución normal, que resulta de los residuos de la curva característica ajustada y de los puntos de medición utilizados. Esta contribución puede estimarse mediante la desviación típica de los valores individuales de todos los residuos. El resultado fue una desviación típica de los residuos de 22 mK. La incertidumbre típica asociada es entonces de 22 mK.

Magnitud	Denominación	Valor estimado	Incertidumbre o semiancho	Incertidumbre típica	Distribución	Divisor	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre
$X_i$	$X_i$	$x_i$		$u(x_i)$			$c_i$	$u_i(y)$
$\delta T_{\text{Cal}}$	Calibración del TRPI	0,000 °C	0,120 K	0,0600 K	normal	2	1,0	0,0600 K
$\delta T_{\text{Kennlinie,Typ}}$	Aproximación de la curva característica (tipo)	0,000 °C	0,025 K	0,0144 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,0144 K
$\delta T_{\text{Kennlinie,Res.}}$	Aproximación de la curva característica (residuo)	0,000 °C	0,022 K	0,0220 K	normal	1	1,0	0,0220 K
$T(R_{\text{IPRT}})$	Temperatura del TRPI		$U =$	<b>0,13 K</b>	$(k=2)$		$u =$	<b>0,0655 K</b>

**Tabla 6:** Presupuesto de incertidumbre Resultado de calibración Característica del termómetro

En el rango de temperatura de 0 °C a 400 °C y con la curva característica especificada, se obtiene para el TRPI una incertidumbre expandida  $U$  de 0,13 K (basándose en la suposición

	<b>Calibración de termómetros de resistencia</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	46 / 55

de una distribución normal y un factor de cobertura de  $k = 2$ ). Esto no incluye la incertidumbre de la resistencia por el usuario y las incertidumbres adicionales de temperatura debidas a la deriva, histéresis y disipación del calor, etc. La influencia de la histéresis no se determinó experimentalmente. Cabe suponer que puede ascender hasta 0,8 K en el rango de temperaturas mencionado arriba. La mayor influencia es de esperar en la mitad del rango de temperaturas.

Si la histéresis no se determina, pero sin embargo se incluye en la incertidumbre total, entonces deberá tenerse en cuenta una contribución adicional de 0,4 K (semiancho de la contribución rectangular) para el rango de temperatura arriba mencionado.

Magnitud	Denominación	Valor estimado	Incertidumbre o semiancho	Incertidumbre típica	Distribución	Divisor	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre
$X_i$	$X_i$	$x_i$		$u(x_i)$			$c_i$	$u_i(y)$
$\delta T_{\text{Cal}}$	Calibración del TRPI	0,000 K	0,120 K	0,0600 K	normal	2	1,0	0,060 K
$\delta T_{\text{Kennlinie, Typ}}$	Aproximación de la curva característica (tipo)	0,000 K	0,025 K	0,0144 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,014 K
$\delta T_{\text{Kennlinie, Res.}}$	Aproximación de la curva característica (residuo)	0,000 K	0,022 K	0,0220 K	normal	1	1,0	0,022 K
$\delta T_{\text{Hyst}}$	Histéresis	0,000 K	0,400 K	0,2309 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,231 K
$T(R_{\text{IPRT}})$	Temperatura del TRPI		$U = 0,48 \text{ K}$		$(k=2)$		$u =$	<b>0,240 K</b>

**Tabla 7:** Presupuesto de incertidumbre Resultado de calibración Curva característica del termómetro teniendo en cuenta como histéresis máxima unos 0,2 % (estimados) del rango de temperaturas

La incertidumbre expandida para el rango de temperaturas es entonces de 0,48 K.<sup>7</sup>

### A.3: Calibración de un termómetro digital en el calibrador de bloque

La calibración de un termómetro digital con sensor Pt100 conectado se realiza por comparación con un patrón de trabajo Pt100 (por ejemplo, calibrado según el ejemplo en A.1) en un calibrador de bloque de temperatura mediante el método de comparación y a una temperatura nominal de 350 °C. La resistencia del termómetro patrón de trabajo (Pt100) se determina utilizando un puente de resistencias con indicación directa de la temperatura y con resistor patrón interna. La temperatura del sensor Pt100 del termómetro digital se lee directamente en la pantalla. La desviación de temperatura en la indicación del termómetro digital con respecto a la temperatura de referencia se indica como resultado de la calibración. El termómetro patrón de trabajo y el puente de medida han sido calibrados por un laboratorio acreditado.

Tras un tiempo de estabilización de una hora, se calculó el valor medio aritmético a partir de 20 valores individuales durante un período de 10 minutos. El presupuesto de incertidumbre se compone de 2 pasos.

<sup>7</sup> Aquí puede verse muy claramente que la histéresis del objeto de calibración TRPI contribuye considerablemente a la incertidumbre total. Por lo tanto, no puede despreciarse a la hora de determinar la incertidumbre para una aplicación específica y debe ser tomada en cuenta por el usuario, si no está ya incluida en la incertidumbre de la calibración. Si no se determina experimentalmente, deberá aplicarse una contribución conforme al capítulo 8.10. Sin embargo, para los Pt100 de alta calidad, también puede ser menor. Por lo tanto, en interés de una incertidumbre estimada lo más pequeña posible, que se corresponda con la realidad de la aplicación, se recomienda determinar siempre la histéresis experimentalmente y tenerla en cuenta.

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	47 / 55

1. Determinación de la temperatura de referencia en el calibrador de bloque
2. Determinación del error de indicación correspondiente del termómetro digital, así como de la incertidumbre expandida asociada.

*Paso 1: Determinación de la temperatura de referencia en el calibrador de bloque*

La determinación de la temperatura de referencia con el termómetro patrón de trabajo sigue el procedimiento descrito en el paso 1 del ejemplo A2. Por lo tanto, en este paso se aplica el mismo presupuesto de incertidumbre.

Para la temperatura de referencia en el bloque ecualizador del calibrador de bloque, esto da como resultado una temperatura de 350,256 °C con una incertidumbre típica asociada (distribución normal) de  $u = 32,4$  mK.

*Paso 2: Resultado de la calibración*

La desviación de la temperatura indicada por el termómetro digital (error de indicación) con respecto a la temperatura medida en el bloque ecualizador del calibrador de bloque representa el resultado de la calibración.

El modelo para esta medición da como resultado

$$\Delta T_X = T_X - T_S + \delta T_{Res} + \delta T_{EEw} + \delta T_{Wa} + \delta T_{Hyst} \quad (13)$$

Las contribuciones individuales son las siguientes:

$T_S$  :

En el primer paso, la temperatura del bloque ecualizador del calibrador de bloque se determinó en 350,256 °C, utilizando el termómetro patrón de trabajo. La incertidumbre típica asociada  $u$  es de 32,4 mK.

$T_X$  ;  $\delta T_X$  :

Una vez alcanzado el estado estable, el termómetro digital se lee 20 veces a intervalos de 30 segundos en un plazo de 10 minutos. El valor medio de la lectura se determina a partir de todas las mediciones individuales de la indicación del termómetro a la temperatura de calibración (20 lecturas cada una). La contribución de la incertidumbre del tipo A se determina a partir de la desviación típica del valor medio. Si el número de lecturas es pequeño ( $\leq 10$ ), puede ser necesario añadir aquí un factor correspondiente a la distribución t para tener en cuenta el número bajo de grados de libertad (véase EA-4/02 M: 2022 [15]). En el ejemplo, resulta un valor medio de 350,49 °C, así como 0,07 K para la desviación típica del valor medio.

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	48 / 55

$\delta T_{Res}$  :

Corrección debida a la resolución del termómetro digital a la temperatura de calibración. La resolución del termómetro digital es de 0,1 K. Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con un semiancho de 0,05 K. La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,0289 K.

$\delta T_{Ew}$  :

Corrección de la temperatura del termómetro digital a causa del calentamiento propio del sensor del Pt100. El termómetro digital no ofrece la posibilidad de medir la resistencia del sensor con diferentes intensidades de corriente. Por lo tanto, se supone que el cambio en la resistencia del termómetro debido al calentamiento propio por la corriente de medición representa una incertidumbre de temperatura máxima de 30 mK, de acuerdo con el capítulo 8.8. Representa una contribución distribuida rectangularmente con un semiancho de 30 mK. La incertidumbre típica asociada es entonces de 17 mK.

$\delta R_{Wa}$  :

Corrección debida a la disipación del calor del sensor Pt100. El sensor del termómetro a calibrar tiene un diámetro exterior de 6 mm. La profundidad de inmersión en el bloque de equalización es de 120 mm. Como no hay información acerca de la estructura interna, el error de disipación del calor se determina experimentalmente sacando el sensor el doble de su diámetro (12 mm). La indicación de la temperatura disminuye en menos de un paso de resolución después de sacar el sensor. Se supone una contribución rectangular con un semiancho de 0,05K. La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,029 K.

$\delta T_{Hyst}$  :

Corrección de la temperatura del termómetro digital debida a la histéresis del sensor Pt100. La histéresis del sensor Pt100 se determina según el capítulo 8.10, calibrando la temperatura media de 200 °C del rango de calibración de 0 °C a 400 °C con temperatura ascendente y con temperatura descendente. A 200 °C, la diferencia entre ambas calibraciones fue de 0,3 K. Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con anchura completa de 0,3 K o con un semiancho de 0,15 K. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 0,087 K.

	<b>Calibración de termómetros de resistencia</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	49 / 55

Magnitud	Denominación	Valor estimado	Incertidumbre o semiancho	Incertidumbre típica	Distribución	Divisor	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre
$X_i$	$X_i$	$x_i$		$u(x_i)$			$c_i$	$u_i(y)$
$T_X$	Indicación del termómetro digital	350,49 °C	0,07 K	0,0700 K	normal	1	1,0	0,0700 K
$T_S$	Temperatura de referencia en el calibrador de bloque	350,256 °C	0,0324 K	0,0324 K	normal	1	-1,0	-0,0324 K
$\delta T_{Res}$	Resolución del termómetro digital	0,000 K	0,050 K	0,0289 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,0289 K
$\delta T_{EEW}$	Calentamiento propio	0,000 K	0,030 K	0,0173 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,0173 K
$\delta T_{Wa}$	Disipación del calor	0,000 K	0,050 K	0,0289 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,0289 K
$\delta T_{Hyst}$	Histéresis	0,000 K	0,150 K	0,0866 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,0866 K
$\Delta T_X$	<b>Error de indicación del termómetro digital</b>	<b>0,23 K</b>	<b><math>U = 0,25 K</math></b>		<b><math>(k=2)</math></b>		<b><math>u =</math></b>	<b>0,124 K</b>

**Tabla 8:** Presupuesto de incertidumbre Resultado de calibración Termómetro digital

A 350,256 °C, el termómetro digital muestra una desviación de 0,23 K, con una incertidumbre expandida  $U$  de 0,25 K (basándose en la suposición de una distribución normal y un factor de cobertura de  $k = 2$ ).<sup>8</sup>

#### **A.4: Calibración de un transmisor con sensor de resistencia**

La calibración del termómetro de resistencia con transmisor se realiza comparándolo con un patrón de trabajo del tipo Pt100 (por ejemplo, calibrado según el ejemplo de A1) en un calibrador de bloque de temperatura mediante el método de comparación a una temperatura nominal de 350 °C. La resistencia del termómetro patrón de trabajo (Pt100) se determina mediante un puente de resistencias con indicación directa de la temperatura y con resistor patrón interna. La temperatura del sensor Pt100 con transmisor se determina midiendo la corriente de salida del transmisor con un multímetro digital. Como resultado de la calibración, se indica la intensidad de la corriente de salida del transmisor con respecto a la temperatura de referencia, así como la desviación de la temperatura calculada con la escalada del transmisor a partir de la intensidad medida de la corriente de salida con respecto a la temperatura de referencia. El termómetro patrón de trabajo, el puente de medida y el multímetro digital han sido calibrados por un laboratorio acreditado

Tras un tiempo de estabilización de 1 hora, se calculó el valor medio aritmético a partir de 20 valores individuales durante un período de 10 minutos. El presupuesto de incertidumbre se compone de 2 pasos.

1. Determinación de la temperatura de referencia en el calibrador de bloque.
2. Determinación de la correspondiente intensidad de la corriente de salida del transmisor y de la incertidumbre expandida asociada.

<sup>8</sup> Alternativamente, se puede utilizar la corrección de la indicación en lugar de la desviación de la indicación. La única diferencia es el signo. En el ejemplo anterior, el resultado de la calibración sería el siguiente:

„A 350,256 °C, el termómetro digital tiene una corrección de indicación de -0,23 K con una incertidumbre expandida  $U$  de 0,25 K (basándose en la suposición de una distribución normal y el factor de cobertura  $k = 2$ )“.

El uso de la corrección de indicación ofrece al usuario del termómetro la ventaja de que la mejor estimación de la temperatura medida puede determinarse añadiendo la corrección a la temperatura indicada por el termómetro.

	Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	50 / 55

### *Paso 1: Determinación de la temperatura de referencia en el calibrador de bloque*

La determinación de la temperatura de referencia con el termómetro patrón de trabajo sigue el procedimiento descrito en el paso 1 del ejemplo A2. Por lo tanto, se aplica el mismo presupuesto de incertidumbre.

Para la temperatura de referencia en el bloque ecualizador del calibrador de bloque, esto da como resultado una temperatura de 350,256 °C con una incertidumbre típica asociada (distribución normal) de  $u = 32,4$  mK.

### *Paso 2: Resultado de la calibración*

La desviación de la temperatura indicada por el termómetro digital con respecto a la temperatura medida en el bloque ecualizador del calibrador de bloque representa el resultado de la calibración.

El modelo para la medición de la corriente de salida del transmisor da como resultado:

$$\Delta I_X(T_X) = I_X - I_0 - c_{\text{Trans}} \cdot (T_S - T_0) + \delta I_{\text{Cal}} + \delta I_{\text{Drift}} + \delta I_{\text{Amb}} + \delta I_{\text{Load}} + \delta I_{\text{Wa}} + \delta I_{\text{Hyst}} + c_{\text{Trans}} \cdot \delta T_{\text{EEw}} \quad (14)$$

con la transconductancia del transmisor  $c_{\text{Trans}}$ , así como la corriente mínima de salida  $I_0$  y la temperatura mínima correspondiente  $T_0$ .

Para la determinación de la temperatura del termómetro a partir de la corriente del transmisor, se obtiene en consecuencia lo siguiente:

$$\begin{aligned} \Delta T_X &= T_X(I_X) - T_S + \delta T_{\text{EEw}} + c_{\text{Inv}} \cdot (\delta I_X + \delta I_{\text{Cal}} + \delta I_{\text{Drift}} + \delta I_{\text{Amb}} + \delta I_{\text{Load}} + \delta I_{\text{Wa}} + \delta I_{\text{Hyst}}) \\ &= T_0 + c_{\text{Inv}} \cdot (I_X - I_0) - T_S + \delta T_{\text{EEw}} \\ &\quad + c_{\text{Inv}} \cdot (\delta I_{\text{Cal}} + \delta I_{\text{Drift}} + \delta I_{\text{Amb}} + \delta I_{\text{Load}} + \delta I_{\text{Wa}} + \delta I_{\text{Hyst}}) \end{aligned} \quad (15)$$

El transmisor está escalado de tal forma que lo siguiente se aplica a su intensidad de corriente de salida en el rango de medición de temperatura:

$$I_{\text{min}} = I_0 = 4 \text{ mA bei } T_{\text{min}} = T_0 = 0 \text{ °C und } I_{\text{max}} = 20 \text{ mA bei } T_{\text{max}} = 400 \text{ °C.}$$

Como resultado se obtienen los siguientes valores para los coeficientes de sensibilidad:

$$c_{\text{Trans}} = 16 \text{ mA}/400 \text{ K} = 0,04 \text{ mA}/\text{K} \text{ und } c_{\text{Inv}} = 400 \text{ K}/16 \text{ mA} = 25 \text{ K}/\text{mA}$$

Las contribuciones individuales son las siguientes:

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	51 / 55

$T_S$  :

En el primer paso, la temperatura del bloque ecualizador del calibrador de bloque se determinó a 350,256 °C, utilizando el termómetro patrón de trabajo. La incertidumbre típica asociada es  $u = 32,4$  mK.

$\delta I_{Cal}$  :

Corrección debida a la calibración del multímetro digital. La incertidumbre expandida de la calibración del multímetro digital se indica en el certificado de calibración como 1,5  $\mu$ A (incertidumbre expandida;  $k = 2$ ). Entonces, la incertidumbre típica asociada es:  $u = 0,00075$  mA.

$\delta I_{Drift}$  :

Corrección debida a la deriva del multímetro digital desde su última calibración. El intervalo de recalibración es de 1 año. Según la especificación del fabricante, la deriva máxima en el plazo de un año en el rango de temperatura de funcionamiento de (23±5) °C y el rango de medición de 100 mA está dentro de los límites de 0,05 % del valor + 0,005 % del rango. Con una corriente del transmisor de 18,02 mA, esto da como resultado unos límites de ±0,014 mA. Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con un semiancho de ±0,014 mA. La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,0081 mA.

$I_X$  :

La lectura del multímetro digital se realiza 20 veces a intervalos de 30 segundos en un plazo de 10 minutos tras alcanzar un estado estable. El valor medio de la lectura se determina a partir de todas las mediciones individuales de la corriente del transmisor a la temperatura de calibración (20 valores cada una). La contribución a la incertidumbre del tipo A se determina a partir de la desviación típica del valor medio. Si el número de lecturas es pequeño ( $\leq 10$ ), puede ser necesario añadir aquí un factor correspondiente a la distribución t para tener en cuenta el número bajo de grados de libertad (véase EA 4/02 M: 2022 [15]). En el ejemplo, esto da como resultado un valor medio de 18,02 mA y una desviación típica de 0,005 mA para el valor medio.

$\delta I_{Amb}$  :

Corrección debida a influencias ambientales en el transmisor: Según las especificaciones del cliente, la temperatura de funcionamiento del transmisor durante su uso oscila entre 40 °C y 60 °C. Durante la calibración, la temperatura del transmisor era de 52 °C. Según las especificaciones del fabricante, la intensidad de la corriente de salida puede variar como máximo ±6  $\mu$ A debido a las influencias previstas. Por consiguiente, se supone una contribución rectangular con un semiancho de ±0,006 mA. La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,0035 mA.

$\delta I_{Load}$  :

Corrección por los efectos *feedback* de la resistencia de entrada de la electrónica de evaluación postconectada (dependencia de carga / dependencia de potencia). Según la hoja de datos, la influencia es de un máximo de 8  $\mu$ A. Por lo tanto, se supone que la contribución

	<b>Calibración de termómetros de resistencia</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	52 / 55

a la incertidumbre se distribuye rectangularmente con una anchura media de  $\pm 0,008$  mA. Entonces, la incertidumbre típica asignada es de 0,0046 mA.

$\delta T_{EEw}$  :

Corrección de la temperatura del Pt100 con transmisor debida al calentamiento propio del sensor Pt100. El transmisor no ofrece la posibilidad de medir la resistencia del sensor con diferentes corrientes de medida. Por lo tanto, se aplica una incertidumbre máxima de temperatura de 30 mK para la variación de la resistencia del termómetro por calentamiento propio provocado por la corriente de medida, de acuerdo con el capítulo 8.8. Representa una contribución rectangular con un semiancho de 30 mK. Entonces, la incertidumbre típica asociada es de 17 mK.

$\delta I_{Wa}$  :

Corrección debida a la disipación del calor del termómetro. El termómetro a calibrar tiene un diámetro exterior de 6 mm. La profundidad de inmersión en el bloque de ecalización es de 120 mm. Como no hay información acerca de la estructura interna, el error de disipación del calor se determina experimentalmente sacando el termómetro el doble de su diámetro (12 mm). La corriente del transmisor se reduce en 0,002 mA después de sacarlo. Se supone una contribución rectangular con un semiancho de 0,002 mA. La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,0012 mA

$\delta I_{Hyst}$  :

Corrección de la temperatura del Pt100 con transmisor debida a la histéresis del sensor Pt100. La histéresis del sensor Pt100 se determina de acuerdo con el capítulo 8.10, calibrando la temperatura media 200 °C del rango de calibración de 0 °C a 400 °C con temperatura ascendente y con temperatura descendente. A 200 °C, la diferencia entre las dos calibraciones fue de 0,012 mA. Por lo tanto, se supone una contribución rectangular con una anchura total de 0,012 mA o un semiancho de 0,006 mA. La incertidumbre típica asociada es entonces de 0,0035 mA.

Magnitud	Denominación	Valor estimado	Incertidumbre o semiancho	Incertidumbre típica	Distribución	Divisor	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre
$X_i$	$X_i$	$x_i$		$u(x_i)$			$c_i$	$u_i(y)$
$I_X$	Corriente del transmisor	18,020 mA	0,0050 mA	0,0050 mA	normal	1	1,0	0,00500 mA
$I(Ts)$	Corriente a temperatura de referencia en el calibrador de bloque	18,010 mA	0,0324 K	0,0324 K	normal	1	-0,040 mA/K	-0,00130 mA
$\delta I_{Cal}$	Calibración del multímetro digital	0,000 mA	0,0015 mA	0,00075 mA	normal	2	1,0	0,00075 mA
$\delta I_{Drift}$	Deriva del multímetro digital	0,000 mA	0,0140 mA	0,00808 mA	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,00808 mA
$\delta I_{Amb}$	Influencia del ambiente sobre el transmisor	0,000 mA	0,0060 mA	0,00346 mA	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,00346 mA
$\delta I_{Load}$	Dependencia de carga del transmisor	0,000 mA	0,0080 mA	0,00462 mA	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,00462 mA
$\delta I_{Wa}$	Disipación del calor	0,000 mA	0,0020 mA	0,00115 mA	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,00115 mA
$\delta I_{Hyst}$	Histéresis	0,000 mA	0,0060 mA	0,00346 mA	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,00346 mA
$\delta T_{EEw}$	Calentamiento propio	0,000 K	0,0300 K	0,01732 K	rectangular	$\sqrt{3}$	0,040 mA/K	0,00069 mA
$\Delta I_X$	<b>Desviación de la corriente del transmisor</b>	<b>0,010 mA</b>	<b><math>U = 0,024</math> mA (<math>k=2</math>)</b>			<b><math>u = 0,0118</math> mA</b>		

**Tabla 9:** Presupuesto de incertidumbre para el resultado de la calibración; intensidad de la corriente de salida del transmisor según la función modelo (14)

	<b>Calibración de termómetros de resistencia</b> <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	53 / 55

A 350,256 °C, el termómetro con transmisor tiene una desviación de corriente de 0,01 mA con una incertidumbre expandida  $U$  (basada en la suposición de una distribución normal y el factor de cobertura  $k = 2$ ) de 0,024 mA.<sup>9</sup>

Con estas contribuciones, también se puede establecer el presupuesto de incertidumbre para la desviación de la temperatura calculada a partir de la intensidad de corriente del transmisor.

Magnitud	Denominación	Valor estimado	Incertidumbre o semiancho	Incertidumbre típica	Distribución	Divisor	Coefficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre
$X_i$	$X_i$	$x_i$		$u(x_i)$			$c_i$	$u_i(y)$
$I_X$	Corriente del transmisor	18,0200 mA	0,0050 mA	0,00500 mA	normal	1	25,0 K/mA	0,1250 K
$T_S$	Temperatura de referencia en el calibrador de bloque	350,256 °C	0,0324 K	0,03240 K	normal	1	-1,0	-0,0324 K
$\delta T_{EEW}$	Calentamiento propio	0,000 K	0,0300 K	0,01732 K	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,0173 K
$\delta I_{Cal}$	Calibración del multímetro digital	0,000 mA	0,0015 mA	0,00075 mA	normal	2	25,0 K/mA	0,0188 K
$\delta I_{Drift}$	Deriva del multímetro digital	0,000 mA	0,0140 mA	0,00808 mA	rectangular	$\sqrt{3}$	25,0 K/mA	0,2021 K
$\delta I_{Amb}$	Influencia del ambiente sobre el transmisor	0,000 mA	0,0060 mA	0,00346 mA	rectangular	$\sqrt{3}$	25,0 K/mA	0,0866 K
$\delta I_{Load}$	Dependencia de carga del transmisor	0,000 mA	0,0080 mA	0,00462 mA	rectangular	$\sqrt{3}$	25,0 K/mA	0,1155 K
$\delta I_{Wa}$	Disipación del calor	0,000 mA	0,0020 mA	0,00115 mA	rectangular	$\sqrt{3}$	25,0 K/mA	0,0289 K
$\delta I_{Hyst}$	Histéresis	0,000 mA	0,0060 mA	0,00346 mA	rectangular	$\sqrt{3}$	25,0 K/mA	0,0866 K
$\Delta T_X$	<b>Error de indicación del termómetro digital</b>	<b>0,24 K</b>	<b><math>U = 0,59 K</math></b>		<b><math>(k=2)</math></b>		<b><math>u =</math></b>	<b>0,296 K</b>

**Tabla 10:** Presupuesto de incertidumbre para el resultado de calibración; desviación de la temperatura del Pt100 con transmisor según la función modelo (15)

A 350,256 °C, el Pt100 con transmisor tiene una desviación (error de indicación) de 0,24 K, con una incertidumbre expandida  $U$  (suponiendo una distribución normal y un factor de cobertura  $k = 2$ ) de 0,59 K.<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Alternativamente, se puede utilizar la corrección de la indicación en lugar de la desviación de la indicación. La única diferencia es el signo. En el ejemplo anterior, el resultado de la calibración sería el siguiente:

„A 350,256 °C, el termómetro con transmisor tiene una corrección de la intensidad de corriente de -0,01 mA, con una incertidumbre expandida  $U$  de 0,024 mA (basándose en la suposición de una distribución normal y un factor de cobertura  $k = 2$ )“.

El uso de la corrección de indicación ofrece al usuario del termómetro la ventaja de que la mejor estimación de la intensidad de corriente del transmisor puede determinarse añadiendo la corrección a la intensidad de corriente del transmisor medida.

<sup>10</sup> Alternativamente, se puede utilizar la corrección de la indicación en lugar de la desviación de la indicación. La única diferencia es el signo. En el ejemplo anterior, el resultado de la calibración sería el siguiente:

„A 350,256 °C, el Pt100 con transmisor tiene una corrección de la indicación de -0,24 K, con una incertidumbre expandida  $U$  de 0,59 K (basándose en la suposición de una distribución normal y un factor de cobertura  $k = 2$ )“.

El uso de la corrección de indicación ofrece al usuario del termómetro la ventaja de que el mejor valor estimado para la temperatura medida puede determinarse añadiendo la corrección a la temperatura del termómetro calculada a partir de la intensidad de corriente del transmisor.

	<p style="text-align: center;">Calibración de termómetros de resistencia <a href="https://doi.org/10.7795/550.20231208">https://doi.org/10.7795/550.20231208</a></p>	DKD-R 5-1	
		Edición:	11/2023
		Revisión:	0
		Página:	54 / 55

## Apéndice B – Incertidumbres de medida en mediciones con termómetro de resistencia

Los ejemplos anteriores (A.1 a A.4) se refieren únicamente a la calibración de un termómetro a una sola temperatura. Por regla general, un termómetro se calibra a varias temperaturas (puntos de temperatura), para las que suelen resultar diferentes incertidumbres de medida. Sin embargo, el usuario también realiza mediciones de temperatura con el termómetro entre los puntos de calibración. Por consiguiente, resulta útil que el certificado de calibración también contenga información sobre el uso del termómetro en todo el rango de temperaturas. Esto suele hacerse en forma de una curva característica (véase DKD-R 5-6 y Ejemplo A.2 [9]). La incertidumbre de la curva característica es naturalmente mayor que la incertidumbre de la calibración en un punto.

El uso del termómetro en las instalaciones del cliente puede tener lugar en condiciones diferentes a las de la calibración. En determinadas circunstancias, pueden predominar contribuciones a la incertidumbre que pudieron despreciarse durante la calibración. Por lo tanto, la incertidumbre de medida durante el uso puede ser considerablemente mayor que la incertidumbre de medida durante la calibración. Los principales factores que influyen en la incertidumbre cuando se utilizan termómetros de resistencia se resumen en la Tabla 11.

Factor de influencia	Evaluación	Contribución máxima a la incertidumbre
Desviación de la temperatura entre el objeto de medición y el termómetro	Diferentes profundidades de inmersión, velocidades de flujo, acoplamiento, posiciones, ...	Hasta más del 10 % de la diferencia de temperatura entre el objeto de medición y el entorno
Inestabilidades en función del tiempo	Registro de las mediciones, comprobación con termómetros con una constante de tiempo diferente	Hasta la magnitud de las fluctuaciones de temperatura
Histéresis del termómetro	Investigación de la dependencia del historial previo en el resultado de la medición	¡Hasta un 0,2 % del intervalo entre la temperatura máxima y la mínima!
Resistencia de las líneas de alimentación	Cálculo de la resistividad	Hasta varios K
Tensiones termoeléctricas parásitas	Inversión de polaridad	Hasta 0,2 K con Pt100
Deriva del termómetro, estabilidad a largo plazo	Control en puntos fijos (p.ej. punto triple del agua, punto de congelación)	Hasta 0,5 K
Equipo electrónico de evaluación (en caso de termómetros de lectura directa)	Hoja de datos	Hasta 0,5 K

**Tabla 11:** Factores de influencia en la incertidumbre de las mediciones con termómetros de resistencia



Publicado por:

**Physikalisch-Technische Bundesanstalt**

Deutscher Kalibrierdienst

Bundesallee 100

D-38116 Braunschweig

[www.dkd.eu](http://www.dkd.eu)

[www.ptb.de](http://www.ptb.de)