

# Physikalisch- Technische Bundesanstalt



---

**Directriz  
DKD-R 10-5**

**Calibración estática de  
instrumentos de medida de par de  
torsión con par alternante**

---

Edición 01/2020

<https://doi.org/10.7795/550.20210408>



|                                                                                   |                                                                                                                                                                                    |            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|
|  | Calibración estática de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante<br><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20210408">https://doi.org/10.7795/550.20210408</a> | DKD-R 10-5 |         |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                    | Edición:   | 01/2020 |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                    | Revisión:  | 1       |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                    | Página:    | 2 / 22  |

## 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: 0049-531-592 8021  
 Internet: [www.dkd.eu](http://www.dkd.eu)

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                           |            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|
|  | <p>Calibración estática de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante</p> <p><a href="https://doi.org/10.7795/550.20210408">https://doi.org/10.7795/550.20210408</a></p> | DKD-R 10-5 |         |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                           | Edición:   | 01/2020 |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                           | Revisión:  | 1       |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                           | Página:    | 3 / 22  |

*Sugerencia para citar la fuente:*

*Directriz DKD-R 10-5, Calibración estática de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante, Edición 01/2020, Revision 1, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig y Berlin. DOI: 10.7795/550.20210408*

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: Dirk Röske, PTB, Braunschweig y Nabil Lachkam, Porsche AG, Weissach, en nombre de muchos otros colegas no mencionados aquí

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

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                           |            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|
|  | <p>Calibración estática de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante</p> <p><a href="https://doi.org/10.7795/550.20210408">https://doi.org/10.7795/550.20210408</a></p> | DKD-R 10-5 |         |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                           | Edición:   | 01/2020 |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                           | Revisión:  | 1       |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                           | Página:    | 4 / 22  |

## 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 directivas permite incorporar a la práctica de laboratorio el estado de la técnica en el campo respectivo.

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

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

La presente directriz fue elaborada por el Comité Técnico "Par de Torsión" y aprobada por la Junta Directiva del DKD. Se basa en la directriz DKD-R 3-5 publicada en 1998, la cual fue modificada específicamente en los siguientes puntos para mejorar la coherencia con la norma DIN 51309, publicada nuevamente en 2005:

- el alcance\* (*span*)  $b_w$  se denomina reproducibilidad
- el alcance (*span*)  $b'_w$  se denomina repetibilidad
- los alcances  $b_w$  y  $b'_w$  así como la histéresis  $h_w$  se definen ahora como valores absolutos y obtienen las nuevas denominaciones  $b_{at}$  y  $b'_{at}$  así como  $h_{at}$  ("at" – en inglés: alternating torque)
- la desviación de interpolación se llama ahora desviación de regresión (aunque no conforme a la norma DIN 51309:2005-12, pero útil)
- la contribución a la incertidumbre del span  $b_w$  (ahora reproducibilidad  $b_{at}$  se calcula ahora con una distribución rectangular en lugar de una distribución en forma de U
- a la variable de resultado marcada anteriormente con  $X$  se le asigna ahora el símbolo  $Y$
- el término "valor característico" para los parámetros determinados experimentalmente ha sido sustituido por el término "parámetro característico" (aunque no es conforme a la norma DIN 51309:2005-12, resulta útil)
- la bibliografía fue ajustada.

En la versión presente (Revisión 1), se añadió una frase en la página 16 para explicar la Figura 5b.

\* El alcance (inglés *span*) o intervalo de medida es la diferencia entre los límites del rango

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                    |            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|
|  | Calibración estática de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante<br><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20210408">https://doi.org/10.7795/550.20210408</a> | DKD-R 10-5 |         |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                    | Edición:   | 01/2020 |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                    | Revisión:  | 1       |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                    | Página:    | 5 / 22  |

## Índice

|            |                                                                                                                                                      |    |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1          | Ámbito de aplicación                                                                                                                                 | 6  |
| 2          | Simbolos y denominaciones                                                                                                                            | 6  |
| 3          | Calibración de los instrumentos de medida de par de torsión                                                                                          | 6  |
| 3.1        | Preparar la calibración.....                                                                                                                         | 6  |
| 3.2        | Valor inicial del rango de medición (límite inferior) .....                                                                                          | 6  |
| 3.3        | Alcance y procedimiento de calibración para las calibraciones independientes con par de torsión alternante .....                                     | 6  |
| 3.3.1      | Precarga                                                                                                                                             | 6  |
| 3.3.2      | Posición de montaje                                                                                                                                  | 7  |
| 3.3.3      | Realizar la calibración                                                                                                                              | 7  |
| 3.4        | Alcance y procedimiento de calibración después de una calibración previa para el par en sentido horario y antihorario según la norma DIN 51309 ..... | 7  |
| 4          | Evaluación en caso de una calibración según 3.3                                                                                                      | 7  |
| 4.1        | Resultado de calibración $Y_{at}$ y remanencia mecánica $t$ .....                                                                                    | 7  |
| 4.2        | Reproducibilidad $b_{at}$ y repetibilidad $b'_{at}$ .....                                                                                            | 8  |
| 4.3        | Deriva del cero $f_0$ .....                                                                                                                          | 8  |
| 4.4        | Histéresis con par de torsión alternante $h_{at}$ .....                                                                                              | 8  |
| 4.5        | Desviación de la regresión $f_a$ .....                                                                                                               | 8  |
| 5          | Evaluación de una calibración según 3.4, cálculo de los parámetros adicionales                                                                       | 9  |
| 6          | Clasificación                                                                                                                                        | 9  |
| 6.1        | Clasificación en caso de una calibración independiente para torsión alterna .....                                                                    | 9  |
| 6.2        | Clasificación después de una calibración previa para el par en sentido horario y antihorario según la norma DIN 51309 .....                          | 9  |
| 7          | Documentación de los resultados de calibración                                                                                                       | 9  |
|            | Bibliografía                                                                                                                                         | 10 |
| Apéndice A | Utilización de instrumentos de medida de par de torsión calibrados para torsión alterna                                                              | 11 |
| Apéndice B | Determinación de la incertidumbre relativa expandida $W$ para la calibración de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante          | 19 |
| Apéndice C | Secuencia de calibración                                                                                                                             | 21 |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                |            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|
|  | Calibración estática de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20210408">https://doi.org/10.7795/550.20210408</a> | DKD-R 10-5 |         |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Edición:   | 01/2020 |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Revisión:  | 1       |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Página:    | 6 / 22  |

## 1 Ámbito de aplicación

Esta Directriz complementa la DIN 51309 [1] por la calibración de los instrumentos de medida de par de torsión con par alternante.

## 2 Símbolos y denominaciones

Véase DIN 51309 [1] y Tabla 1.

**Tabla 1:** Símbolos adicionales, unidades y denominación

| Símbolos  | Denominación                                                                                       | Unidad |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
|           | UI = Unidad de indicación de la señal de salida (p.ej. N·m, mV/V, V, Hz)                           |        |
| $b_{at}$  | Reproducibilidad con par alternante                                                                | UI     |
| $b'_{at}$ | Repetibilidad con par alternante                                                                   | UI     |
| $t$       | Remanencia mecánica (véase Apéndice A)                                                             | UI     |
| $Y_{at}$  | Resultado de calibración con par alternante                                                        | UI     |
| $Y'$      | Valor de indicación de un par de torsión con carga decreciente                                     | UI     |
| $\bar{Y}$ | Valor medio de los valores de indicación de un par de torsión de la serie ascendente y descendente | UI     |
| $h_{at}$  | Histéresis con par alternante                                                                      | UI     |

## 3 Calibración de los instrumentos de medida de par de torsión

A continuación, se distinguirá entre una calibración separada para el par alternante (punto 3.3) y una calibración adicional con calibración previa con par en el sentido horario y antihorario (punto 3.4).

### 3.1 Preparar la calibración

Véase DIN 51309 [1].

### 3.2 Valor inicial del rango de medición (límite inferior)

Teniendo en cuenta la resolución  $r$  con la cual se puede leer la indicación del instrumento, el par mínimo aplicado a un instrumento de medida de par de torsión (valor inicial del rango  $M_A$ ) deberá cumplir las dos condiciones siguientes:

- El valor inicial del rango  $M_A$  deberá corresponder a los valores especificados en la Tabla 3 de la norma DIN 51309.
- El valor inicial del rango  $M_A$  debería ser mayor o igual a  $0,2 M_{nom}$ .

### 3.3 Alcance y procedimiento de calibración para las calibraciones independientes con par de torsión alternante

#### 3.3.1 Precarga

Después de haber sido instalado en el dispositivo de calibración, el transductor de par debe ser precargado tres veces, después de cada cambio de la posición de montaje una vez hasta el valor final del rango de medición  $M_E$  a calibrar con la siguiente secuencia  $0 \rightarrow + M_E \rightarrow 0 \rightarrow - M_E \rightarrow 0$ .

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                |            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|
|  | Calibración estática de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20210408">https://doi.org/10.7795/550.20210408</a> | DKD-R 10-5 |         |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Edición:   | 01/2020 |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Revisión:  | 1       |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Página:    | 7 / 22  |

### 3.3.2 Posición de montaje

El transductor de par debería calibrarse preferentemente en tres posiciones de montaje diferentes, girando el transductor en 120° alrededor del eje de medición. No obstante, es metrológicamente razonable utilizar cuatro posiciones de montaje (resulta útil para montaje/acoplamiento cuadrado). Si sólo hay dos posiciones de montaje (clases 1, 2 y 5), éstas deben diferir en 90° o 120°.

### 3.3.3 Realizar la calibración

Según la Tabla 2, el número de series de mediciones está determinado por la clase requerida del instrumento de medida de par de torsión; por lo tanto, la clase determina el alcance de calibración requerida (véase también el Apéndice C).

**Tabla 2:** Número de series de mediciones necesarias

| Clase     | Número de series de mediciones  |                                        |
|-----------|---------------------------------|----------------------------------------|
|           | en la misma posición de montaje | por cada posición de montaje adicional |
| 0,2 y 0,5 | 2                               | 1                                      |
| 1, 2 y 5  | 1                               |                                        |

El número mínimo de pasos de par de torsión, además del paso con torsión cero, debe ser el siguiente para la torsión creciente y decreciente

- Clases ≤ 0,5: 10 (p.ej. en % de  $M_E$ : 20, 40, 60, 80, 100, -20, -40, -60, -80 und -100)
- Clases > 0,5: 6 (p.ej. en % de  $M_E$ : 20, 60, 100, -20, -60 und -100)

El valor inicial del rango  $M_{\text{"A"}}$  debe formar parte de los valores de calibración. Un instrumento de medida de par de torsión puede calibrarse por separado para varios rangos de medición de par alternante.

### 3.4 Alcance y procedimiento de calibración después de una calibración previa para el par en sentido horario y antihorario según la norma DIN 51309

Las mediciones adicionales se utilizan para la determinación experimental de la remanencia mecánica. Se determina a partir de una precarga triple según el punto 3.3.1. Una serie adicional de mediciones de control en la misma posición de montaje se utiliza para la verificación experimental del resultado de la calibración del par alternante **calculado** a partir de la remanencia mecánica. La serie de mediciones de control deberá cumplir con los requisitos del punto 3.3.3. en lo que concierne al número mínimo de pasos de par de torsión.

## 4 Evaluación en caso de una calibración según 3.3

### 4.1 Resultado de calibración $Y_{\text{at}}$ y remanencia mecánica $t$

El resultado de calibración de un paso de par de torsión se calcula según la ecuación (1) como el valor medio de los valores de indicación de las series ascendentes y descendentes de todas las posiciones de montaje (sin serie de repetición en la misma posición de montaje), reducido por la mitad del valor de remanencia.

$$Y_{\text{at}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\bar{Y}_j) - \frac{t}{2} \quad \text{mit} \quad \bar{Y} = \frac{1}{2} (I + I') - I_0 \quad (1)$$

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                |            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|
|  | Calibración estática de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20210408">https://doi.org/10.7795/550.20210408</a> | DKD-R 10-5 |         |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Edición:   | 01/2020 |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Revisión:  | 1       |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Página:    | 8 / 22  |

$$t = \frac{2}{n} \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{0,j} \quad (2)$$

con  $n$  siendo el número de series de mediciones para diferentes posiciones de montaje.

De los resultados de la medición de la posición  $0^\circ$ , las mediciones repetidas para la determinación de  $b'_{at}$  (Clase 0,2 y 0,5) no se incluyen en el cálculo de  $Y_{at}$ .

#### 4.2 Reproducibilidad $b_{at}$ y repetibilidad $b'_{at}$

La reproducibilidad  $b_{at}$  – como *span* en diferentes posiciones de montaje – y la repetibilidad  $b'_{at}$  – como *span* en la misma posición de montaje – se calculan para cada paso de par de torsión  $i$  a partir de los valores medios de la medición ascendente y descendente según las ecuaciones (3) y (4).

$$b_{at} = |\bar{Y}_{\max} - \bar{Y}_{\min}| \quad (3)$$

$\bar{Y}_{\max}$  bzw.  $\bar{Y}_{\min}$  representan los valores extremos de los valores medios de la serie ascendente y descendente medidos en diferentes posiciones de montaje.

$$b'_{at} = |\bar{Y}_{\max} - \bar{Y}_{\min}| \quad (4)$$

Aquí,  $\bar{Y}_{\max}$  bzw.  $\bar{Y}_{\min}$  son los valores extremos medidos en la misma posición de montaje.

La segunda serie ascendente de la posición  $0^\circ$  (Clase 0,2 a 0,5) no se incluye al calcular  $b_{at}$ .

En el caso de las clases 1 a 5, el valor para  $b'_{at}$  se considera equivalente al valor calculado para  $b_{at}$ ; en este caso, la ecuación (4) no es aplicable.

#### 4.3 Deriva del cero $f_0$

La indicación del punto cero se registra antes y después de cada serie de mediciones. La lectura del punto cero se realizará aproximadamente 30 s después de la descarga completa. La deriva del cero se calcula según la ecuación (5) para cada posición de montaje.

$$f_0 = \max |I_f - I_0| \quad (5)$$

#### 4.4 Histéresis con par de torsión alternante $h_{at}$

La histéresis  $h_{at}$  se determina según la ecuación (6) como valor medio de los valores absolutos de las diferencias entre las indicaciones de las series ascendentes y descendentes para cada paso de torsión  $i$ :

$$h_{at} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |I_j - I'_j|. \quad (6)$$

En este caso,  $n$  representa el número de series de mediciones comparables para diferentes posiciones de montaje. En el punto cero, este valor corresponde al valor de la remanencia mecánica ( $h_{at,0} = t$ ).

#### 4.5 Desviación de la regresión $f_a$

La desviación de la regresión se determina para cada nivel de torsión  $i$ , utilizando una ecuación de primer grado sin sección de coordenada para el valor indicado en función del par de torsión. La ecuación utilizada debe indicarse en el certificado de calibración.

|                                                                                   |                                                                                         |  |            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--|------------|---------|
|  | Calibración estática de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante     |  | DKD-R 10-5 |         |
|                                                                                   |                                                                                         |  | Edición:   | 01/2020 |
|                                                                                   | <a href="https://doi.org/10.7795/550.20210408">https://doi.org/10.7795/550.20210408</a> |  | Revisión:  | 1       |
|                                                                                   |                                                                                         |  | Página:    | 9 / 22  |

La determinación matemática de la ecuación de regresión debe realizarse de manera que la suma de los cuadrados de las desviaciones absolutas en el rango de medición calibrado sea mínima.

La desviación de la regresión se calcula a partir de la ecuación (7)

$$f_a = Y_{at} - Y_a. \quad (7)$$

## 5 Evaluación de una calibración según 3.4, cálculo de los parámetros adicionales

El valor de la remanencia mecánica  $t$  se determina a partir de las indicaciones cero de la segunda y tercera precarga con par alternante según la ecuación (8)

$$t = \frac{1}{2} \sum_{j=2}^3 (I'_{0,j} - I_{0,j}) \quad (8)$$

Hierin bedeuten

$I_0$  Indicación antes del inicio del ciclo de par alternante (inicio con par en el sentido horario) e

$I'_0$  indicación a par cero después de la descarga del par en el sentido horario.

El resultado de la calibración  $Y_{at}$  de un paso de par de torsión para el par alternante se calcula según la ecuación (9) a partir del valor medio de los valores de indicación de las series ascendentes y descendentes de las posiciones de montaje giradas **durante la calibración con par en sentido horario y antihorario** y el valor de la remanencia mecánica  $t$  según la ecuación (8).

$$Y_{at} = \frac{t}{2} \cdot \frac{M_K}{M_E} + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[ \frac{1}{2} (I_j + I'_j) - I_{0,j} \right] \quad (9)$$

## 6 Clasificación

### 6.1 Clasificación en caso de una calibración independiente para torsión alterna

La clasificación del par alternate se basa en la Tabla 3 de la DIN 51309. En vez de utilizar los valores determinados para  $b$ ,  $b'$  y  $h$  con par en sentido horario o antihorario para la clasificación, se utilizarán los valores para  $b_{at}$ ,  $b'_{at}$  y  $h_{at}$  que fueron determinados con par alternante.

### 6.2 Clasificación después de una calibración previa para el par en sentido horario y antihorario según la norma DIN 51309

La Tabla 3 de la DIN 51309 constituye la base para la clasificación del par alternante. En lugar de los valores determinados para  $h$  con par de torsión en sentido horario o antihorario, se utiliza el valor determinado de la remanencia mecánica  $t$  para la clasificación.

## 7 Documentación de los resultados de calibración

El laboratorio de calibración emitirá un certificado de calibración según el punto 6.3 de la norma DIN 51309 [1] para el resultado de la calibración con par alternante.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                |            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|
|  | Calibración estática de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20210408">https://doi.org/10.7795/550.20210408</a> | DKD-R 10-5 |         |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Edición:   | 01/2020 |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Revisión:  | 1       |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Página:    | 10 / 22 |

## Bibliografía

- [1] DIN 51309: **Kalibrierung von Drehmomentmessgeräten für statische Drehmomente**, Edición 2005-12

|                                                                                   |                                                                                         |  |            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--|------------|---------|
|  | Calibración estática de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante     |  | DKD-R 10-5 |         |
|                                                                                   |                                                                                         |  | Edición:   | 01/2020 |
|                                                                                   | <a href="https://doi.org/10.7795/550.20210408">https://doi.org/10.7795/550.20210408</a> |  | Revisión:  | 1       |
|                                                                                   |                                                                                         |  | Página:    | 11 / 22 |

## Apéndice A Utilización de instrumentos de medida de par de torsión calibrados para torsión alterna

### Resumen:

Los transductores de par previstos para aplicaciones cuasiestáticas con carga de par alternante también se calibran de forma cuasiestática con par alternante. Se discutirán propuestas para la obtención eficiente de la curva de calibración del par alternante de las curvas para una calibración simple de par en sentido horario o antihorario. La histéresis en el punto cero, llamada remanencia mecánica, proporciona información acerca de la incertidumbre de medida bajo una carga de par alternante y, por lo tanto, acerca de la idoneidad de un transductor para esta aplicación. En general, el uso de tal transductor no implica ninguna investigación de la posición del punto cero al cual se refieren los resultados de la medición. Como consecuencia, se debe utilizar el el doble del valor de la histéresis (que fue determinado durante la calibración con par alternante) para el cálculo.

**Palabras claves:** Calibración del par, par alternante, remanencia mecánica

### A.1 Introducción

En caso de una calibración simple del par en sentido horario o antihorario, el transductor está calibrado separadamente para cada dirección. Aquí también se calculan curvas de ajuste óptimo o, en el caso de una regresión lineal, los valores de calibración. Este valor puede indicarse por separado, es decir para el par en sentido horario o el par en sentido antihorario, o bien para ambos sentidos juntos. Dado que el cálculo debe realizarse con valores tarados para eliminar una señal del transductor que no sea cero o para eliminar la influencia de la sujeción del transductor sobre esta señal, la información sobre la señal cero se pierde en el valor de calibración antes o después de una carga con par en sentido horario o antihorario. El parámetro característico "retorno a cero" describe la reproducibilidad de la señal cero para cargas con pares en una sola dirección o influencias de fluencia. Sin embargo, las investigaciones realizadas con transductores diferentes han demostrado que la señal cero de un transductor -dependiendo, entre otras cosas, de los materiales del transductor y de las bandas extensométricas, así como de la aplicación- puede variar enormemente cuando el transductor se somete a un ciclo de par alternante. En caso de una carga alternante, esto da lugar a grandes diferencias en la señal indicada con el mismo par actuando y a fuertes desviaciones de los parámetros característicos determinados para la calibración unilateral para la histéresis o el retorno a cero.

### A.2 Calibración con par de torsión alternante

En lo sucesivo, se supone que los transductores en cuestión tienen una fluencia insignificante, por lo que su influencia en el resultado de calibración puede dejarse de lado. Durante una simple calibración, la señal de cero del transductor asumirá un cierto valor durante las precargas y también después de las series de mediciones; y lo mantendrá dentro del marco de la incertidumbre de reproducción. Este valor puede ser muy diferente para el par en sentido horario ( $I_{0+}$ ) o en sentido antihorario ( $I_{0-}$ ). La diferencia  $t = I_{0+} - I_{0-}$  entre estos dos valores es parámetro característico típico del transductor, denominada remanencia mecánica. Sin embargo, la posición de las señales de cero en el eje de la señal de medición depende de las condiciones de montaje, la precarga, la temperatura y otros factores, es decir, ambos valores pueden ser mayores o menores en la misma cantidad.

Los valores de las series de medición de una calibración de par en sentido horario se taran con respecto a  $I_{0+}$ , los de una calibración de par en sentido antihorario con respecto a  $I_{0-}$ . Dado que las desviaciones de regresión pueden trazarse dentro del mismo diagrama (Fig. 1a), parece que ambas curvas pasan por el mismo punto cero. En realidad, hay que imaginar ambos ramales de curva desplazados por la diferencia de los puntos cero (Fig. 1b).

Partiendo de esta representación, puede realizarse el diagrama de la calibración con par alternante: los puntos finales de las curvas con par máximo en el sentido horario o antihorario están conectados por curvas con los puntos cero de las curvas opuestas (Fig. 2a).

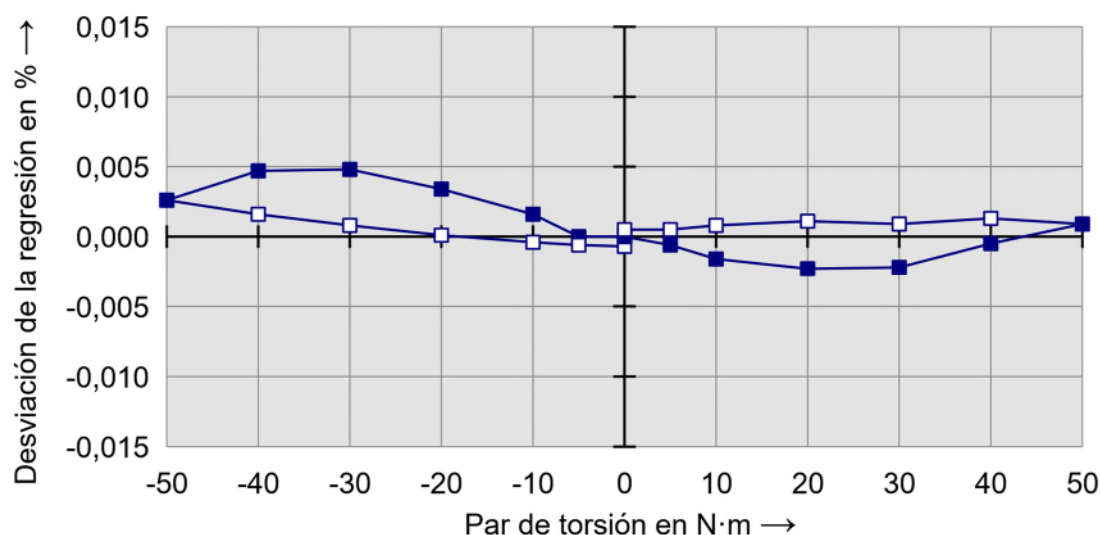


**Figura 1a:** Curvas de calibración para el par en el sentido horario y antihorario en relación con los respectivos puntos cero (símbolos llenos: valor de par creciente, símbolos vacíos: valor de par decreciente)

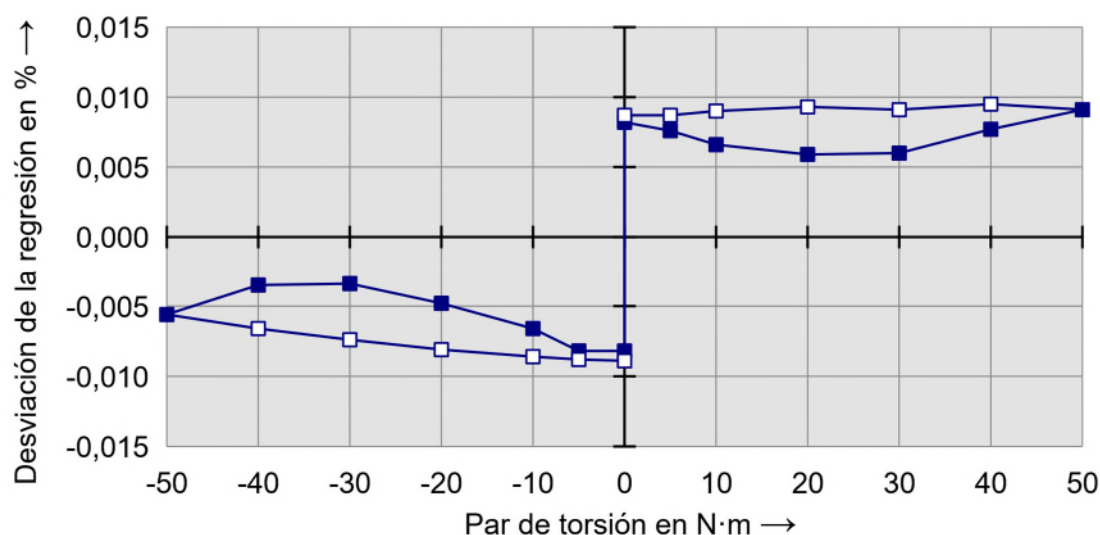


**Figura 1b:** Curvas de calibración para el par de torsión en sentido horario y antihorario relativos al valor medio de los puntos cero correspondientes

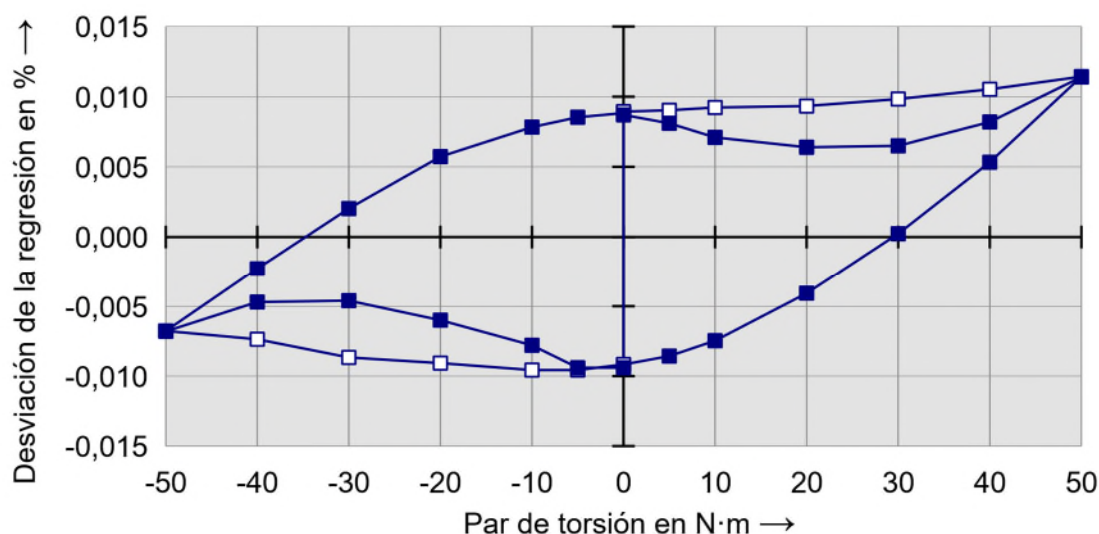


**Figura 2a:** Ejemplo de un transductor de par con un gran valor de remanencia mecánica, con respecto al valor de la histéresis con par de torsión en sentido horario o antihorario

La figura 2a muestra una curva para un transductor con un gran valor de remanencia mecánica, la figura 2b muestra un ejemplo de un valor pequeño de remanencia mecánica. Como puede observarse, los componentes de incertidumbre adicionales debidos a la carga de par alternante en el primer caso son varias veces mayores que la histéresis que fue determinada en una pura calibración de par en sentido horario o antihorario.

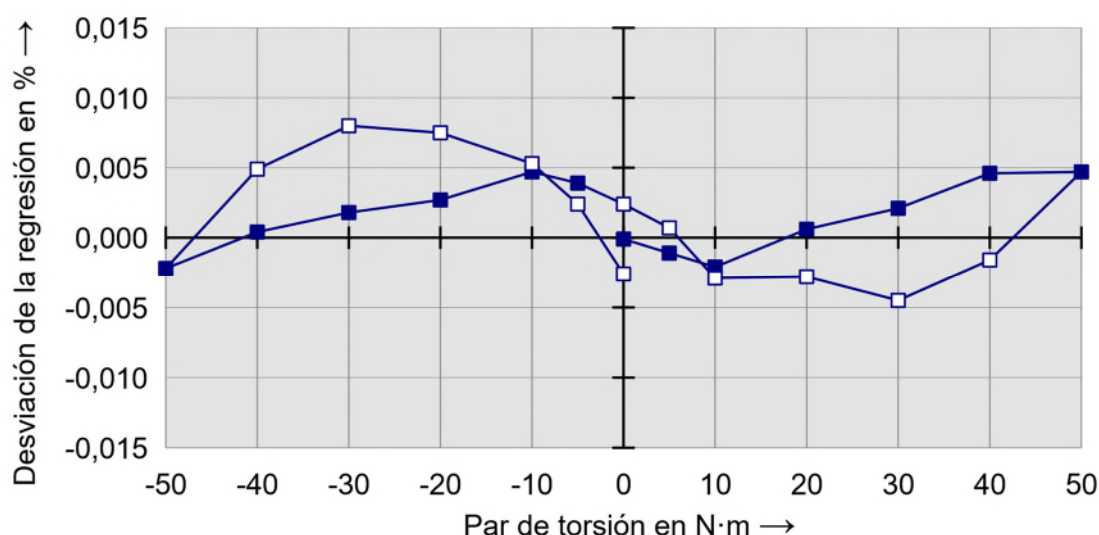


**Figura 2b:** Ejemplo de un transductor de par con un valor pequeño de remanencia mecánica, con respecto al valor de la histéresis con par de torsión en sentido horario o antihorario - pero con mayor fluencia

### A.3 Propuesta para la definición de un parámetro característico para par de torsión alterna

Las investigaciones de una serie de transductores de torsión han demostrado que un transductor calibrado para torsión en el sentido horario y antihorario no tiene que someterse necesariamente a una calibración con par aleatorio. Con miras a la reproducibilidad, la

curva de par alternante y los parámetros de par alternante pueden calcularse con una precisión aceptable a partir de las simples calibraciones de par en sentido horario y antihorario, así como de las precargas en las direcciones correspondientes y de la determinación de las señales cero  $I_{0+}$  und  $I_{0-}$ .

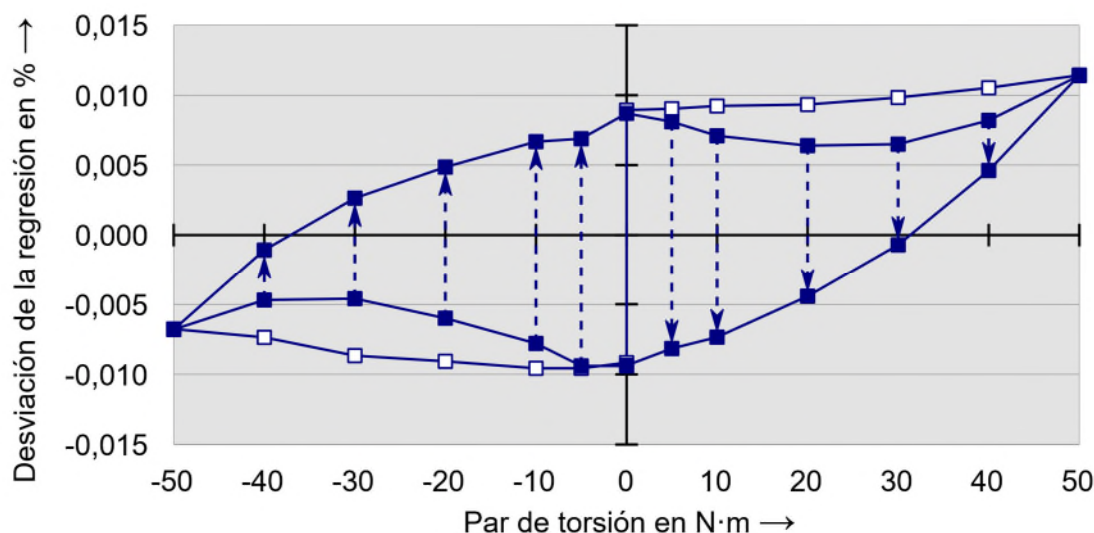


**Figura 3:** Cálculo del resultado de calibración para el par de torsión alternante a partir de los resultados de la calibración para el par en sentido horario y antihorario

La curva de par alternante resulta de los siguientes ramales de curva: las subcurvas de par decreciente (de  $+M_E$  a  $0 \text{ N}\cdot\text{m}$  y de  $-M_E$  a  $0 \text{ N}\cdot\text{m}$ ) corresponden a las subcurvas de par en sentido horario (de  $+M_E$  a  $0 \text{ N}\cdot\text{m}$ ) y de par en sentido antihorario (de  $-M_E$  a  $0 \text{ N}\cdot\text{m}$ ), las cuales están desplazadas en el punto cero por el valor de la remanencia. La conexión entre el punto cero de la curva de par en sentido horario y el punto final de la curva de par en sentido antihorario se obtiene restando punto por punto  $(1 - M / M_E)$  veces el valor de remanencia  $t$  del ramal de curva correspondiente (Figura 3, derecha). Esto se aplica por analogía al par de torsión en sentido antihorario - la conexión entre el punto cero de la curva del par de torsión en sentido antihorario y el punto final de la curva del par de torsión en sentido horario se obtiene sumando  $(1 - |M| / |M_E|)$  veces el valor de remanencia  $t$  al ramal de curva correspondiente para el par de torsión creciente (Figura 3, izquierda). Si el valor de remanencia es negativo, la sustracción se convierte, en el primer caso, en una adición; y en el segundo caso, la adición se convierte en una sustracción.

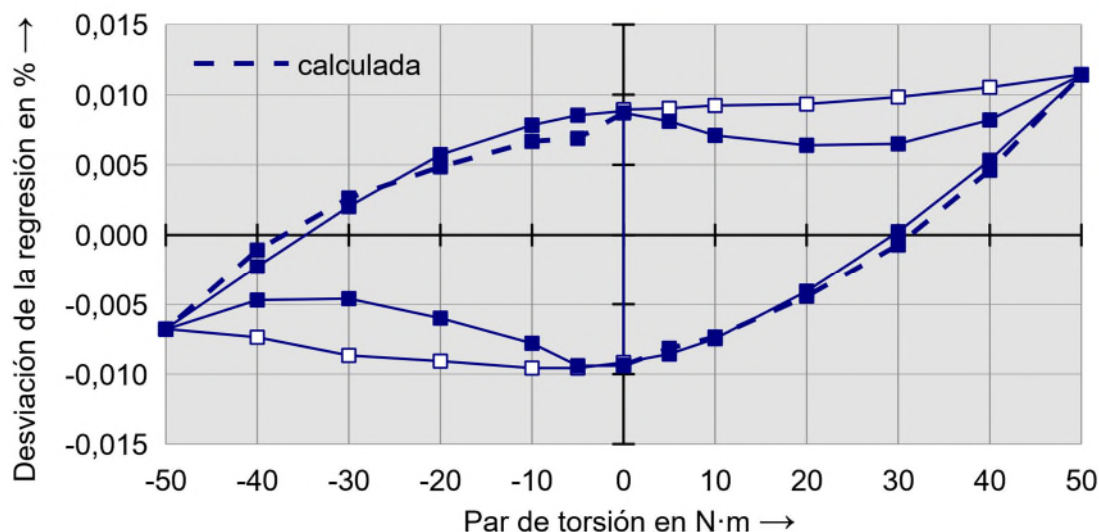


**Figura 4a:** Curva de calibración con ramales de curva calculados (para explicaciones, ver texto) - 1 bucle

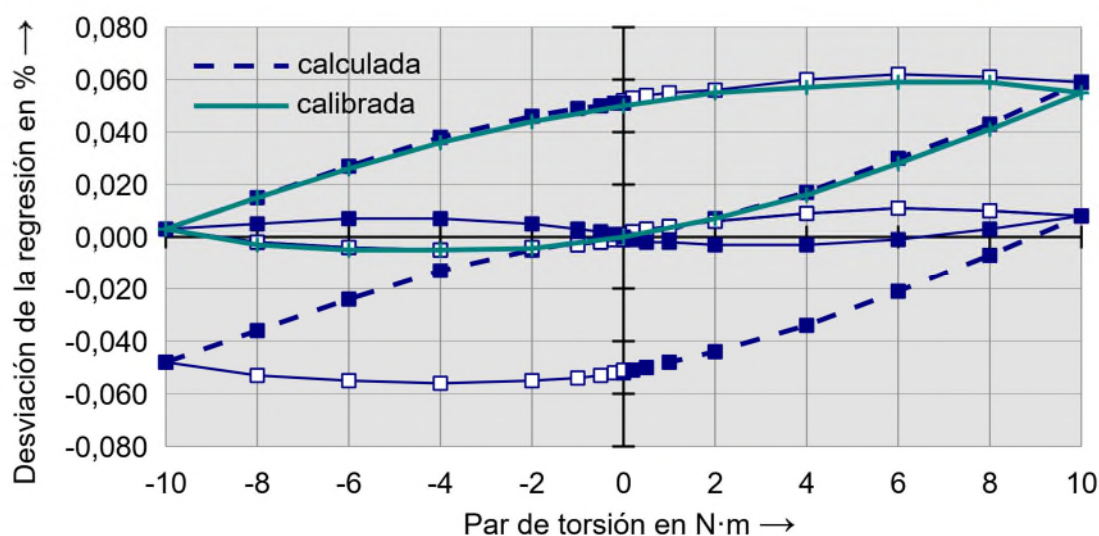


**Figura 4b:** Curva de calibración con ramales de curva calculados (para explicaciones, ver texto) - 2 bucles adaptados al diagrama del certificado de calibración

Las diferencias entre la curva de par alternante calculada y medida determinadas en los experimentos son, en la mayoría de los casos, inferiores a  $1 \cdot 10^{-4}$  (Figuras 4a y 4b).

#### A.4 Utilización de instrumentos de medida de par de torsión para pares de torsión alternantes

Si un transductor de par ha sido calibrado con par alternante y se han determinado las incertidumbres resultantes, es posible que – al utilizar este transductor – se produzcan influencias de error adicionales. La razón es la siguiente: Por lo general, el taraje de la indicación será activado con el transductor montado. Dado que sólo en los casos más raros se aplican cargas de antemano para determinar la posición del punto cero dentro del rango establecido por el valor de remanencia - en otras palabras, el historial del transductor es

desconocido - hay que suponer que el punto cero encontrado hubiera podido ser mayor o menor por el valor de remanencia.

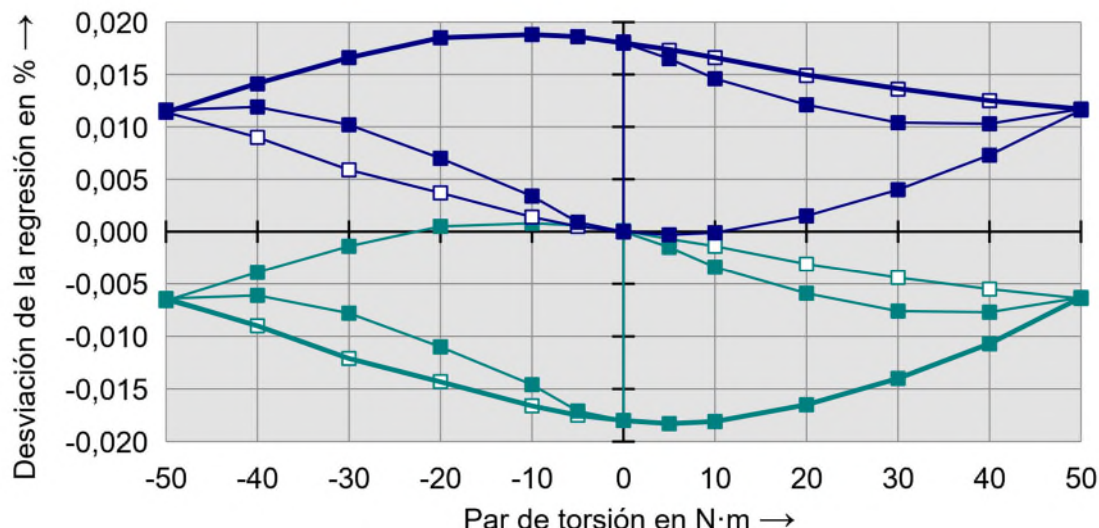


**Figura 5a:** Rango de desviación de regresión (líneas gruesas) para un transductor de par alternante con historia desconocida

Así, la curva de la figura 2a podría tener las posiciones extremas que se muestran en la figura 5a con respecto al punto cero encontrado arbitrariamente. ¡De ello se deduce que las desviaciones de regresión pueden alcanzar incluso el doble del valor encontrado en la calibración del par alternante! Mientras que en la calibración las incertidumbres de medida relacionadas con el valor final cerca de los valores de par máximo se aproximan a cero, hay que aplicar el valor de remanencia completo en la utilización del dispositivo. Sin embargo, en referencia a los de valores medidos, las desviaciones en caso de cantidades pequeñas de par de torsión juegan el papel dominante. Conociendo la historia, se obtiene el rango de las posibles desviaciones de regresión ilustrado en la Figura 5b.

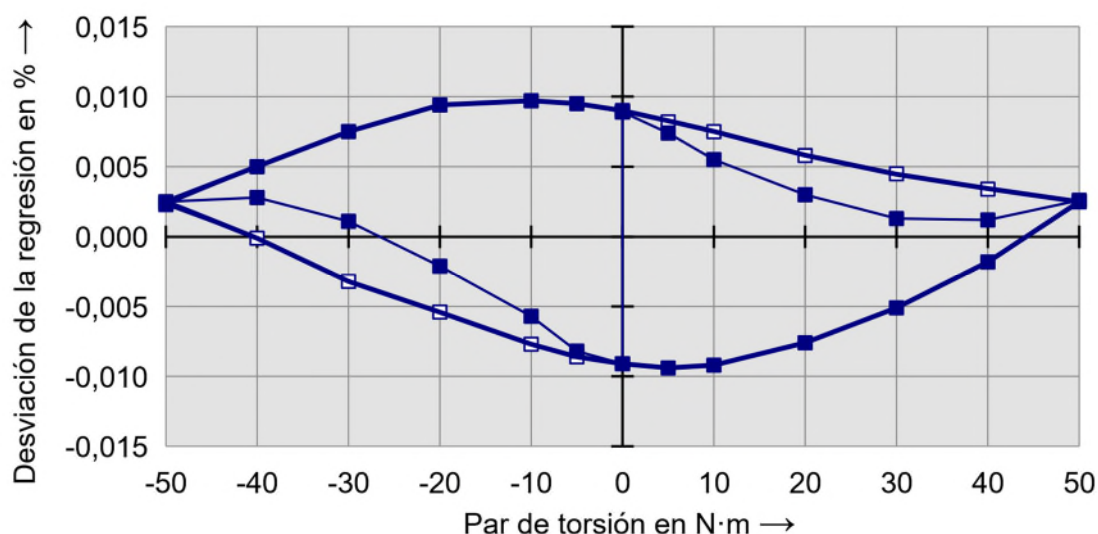


**Figura 5b:** Rango de desviación de la regresión (líneas gruesas) para un transductor de par alternante con historia conocida

La figura 6a muestra el ejemplo de un par de torsión grande en sentido horario y, tras el retorno, oscilaciones pequeñas alrededor del punto cero o el contraejemplo - oscilaciones pequeñas alrededor del punto cero tras un par grande en sentido antihorario y retorno al punto cero. Las desviaciones absolutas son equivalentes (igual de grandes) al valor de remanencia y, en referencia los valores medidos, pueden alcanzar valores de varios porcentajes. Especialmente con las mediciones mucho más interesantes en el rango de carga parcial (pares pequeños de torsión en diferentes direcciones) las desviaciones pueden llegar a ser muy grandes dependiendo de la historia.

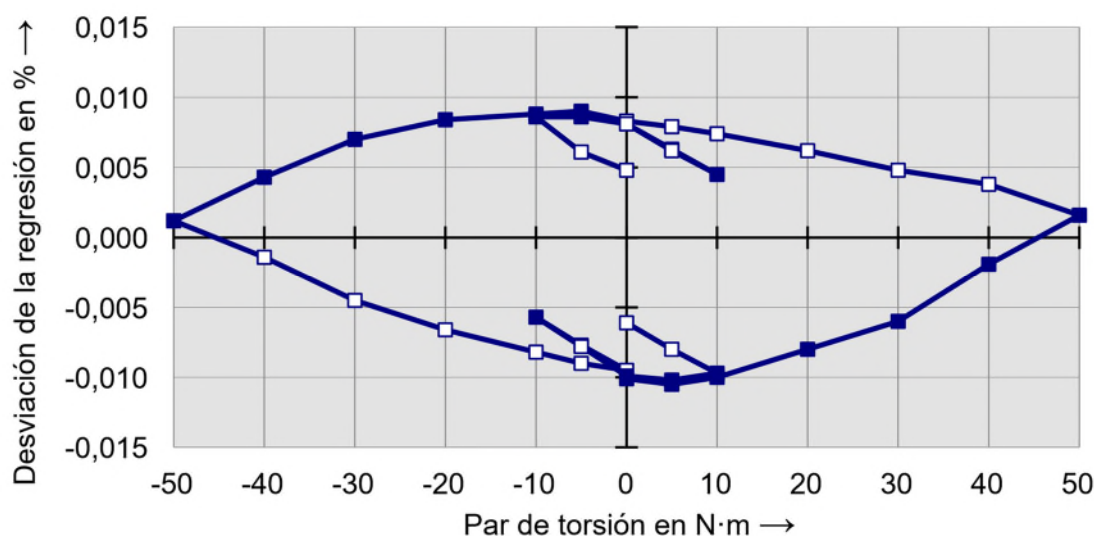


**Figura 6a:** Ciclos de par de torsión alternante con amplitud pequeña para dispositivos con historiales diferentes

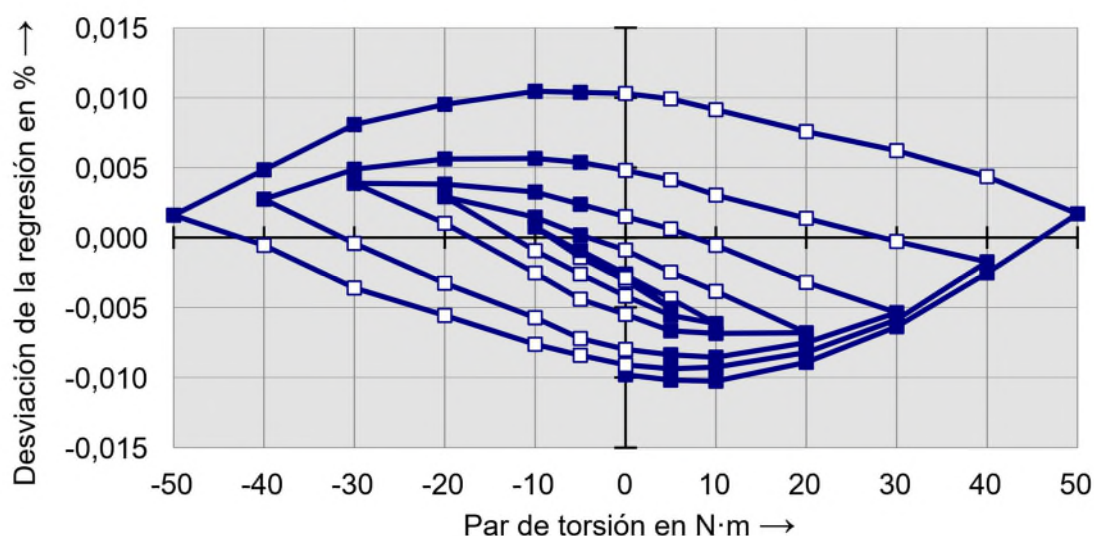


**Figura 6b:** Ciclos de par de torsión alternante con amplitud de par de torsión decreciente

La figura 6b muestra el caso de unos ciclos de carga que se alternan repetidamente entre  $-M_E$  y  $M_E$ , con la cantidad de  $M_E$  disminuyendo con cada ciclo. Como se puede ver, es posible

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                       |            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|
|  | Calibración estática de instrumentos de<br>medida de par de torsión con par alternante<br><br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20210408">https://doi.org/10.7795/550.20210408</a> | DKD-R 10-5 |         |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                       | Edición:   | 01/2020 |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                       | Revisión:  | 1       |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                       | Página:    | 18 / 22 |

acceder a todos los puntos dentro de la curva de par alternante. Además, la diferencia entre los sucesivos pasos por el cero se reduce a medida que disminuye el margen del rango de medición; para un ciclo entre  $-20\%$  y  $+20\%$ , por ejemplo, es sólo el  $5\%$  del valor de remanencia.

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                |            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|
|  | Calibración estática de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20210408">https://doi.org/10.7795/550.20210408</a> | DKD-R 10-5 |         |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Edición:   | 01/2020 |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Revisión:  | 1       |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Página:    | 19 / 22 |

## Apéndice B Determinación de la incertidumbre relativa expandida $W$ para la calibración de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante

La incertidumbre relativa expandida  $W$  de una calibración de par de torsión alternante se calcula según la ecuación (B.1), a partir del margen de desviación relativa del instrumento de medida de par de torsión, suponiendo un historial conocido de la dirección de la carga (véase el punto 4 del Apéndice A

$$W_{MG,i} = \left| \frac{t}{Y_{at,i}} \right| + k \cdot w_{MG,i} \text{ mit } k = 2 \quad (\text{B.1})$$

y a partir de la incertidumbre relativa expandida acreditada (o determinada en el propio laboratorio de calibración) del dispositivo de calibración de par de torsión  $W_{KE}$  según la ecuación (B.2)

$$W = \sqrt{W_{MG}^2 + W_{KE}^2}. \quad (\text{B.2})$$

La incertidumbre relativa estándar del instrumento de medición  $w_{MG}$  se calcula a partir de las contribuciones a la incertidumbre que resultan de los parámetros característicos calculados de acuerdo con el punto 5.4.7 de la norma DIN 51309. Para las contribuciones a la incertidumbre se utilizan las funciones de distribución y los valores de las incertidumbres estándar según la Tabla B.1.

La incertidumbre relativa se calcula para cada nivel de calibración  $i$ .<sup>1</sup>

$$w_{MG,i}^2 = \frac{1}{12} \left( \frac{f_0}{Y_E} \right)^2 + \frac{1}{12} \left( \frac{b'_{at}}{Y_{at}} \right)^2 + \frac{1}{8} \left( \frac{b_{at}}{Y_{at}} \right)^2 + \frac{1}{24} \left( \frac{f_{a,i}}{Y_a} \right)^2 + \frac{1}{12} \left( \frac{r}{M_{K,i}} \right)^2. \quad (\text{B.3})$$

El procedimiento de una calibración específica en las clases 1 a 5 no prevé la repetición de la medición en la misma posición de montaje. Por lo tanto, la reproducibilidad debería utilizarse también para el valor de la repetibilidad no determinado. Así, el resultado del cálculo es algo más fiable, lo que parece razonable para los dispositivos de esta clase. Lo que da la siguiente ecuación para las clases 1 a 5:

$$w_{MG,i}^2 = \frac{1}{12} \left( \frac{f_0}{Y_E} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{b_{at}}{Y_{at}} \right)^2 + \frac{1}{24} \left( \frac{f_{a,i}}{Y_a} \right)^2 + \frac{1}{12} \left( \frac{r}{M_{K,i}} \right)^2. \quad (\text{B.4})$$

En la clasificación, son los criterios individuales los que determinan la conformidad con una clase, independientemente de un resultado posiblemente mejor de todos los demás parámetros característicos. En el cálculo de la incertidumbre, en cambio, se determina un valor de incertidumbre calculado a partir de todos los parámetros característicos. Dependiendo del uso del instrumento de medición a calibrar, el valor calculado de la incertidumbre o la clase determinada pueden tener prioridad.

<sup>1</sup> Para obtener información sobre el modelo de evaluación, véase [1]

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                |            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|
|  | Calibración estática de instrumentos de medida de par de torsión con par alternante<br><a href="https://doi.org/10.7795/550.20210408">https://doi.org/10.7795/550.20210408</a> | DKD-R 10-5 |         |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Edición:   | 01/2020 |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Revisión:  | 1       |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                | Página:    | 20 / 22 |

**Tabla B.1:** Funciones de distribución para el cálculo de las varianzas de los parámetros característicos calculados a partir de los *spans* determinados experimentalmente

| Parámetro característico         | Función de distribución  | Varianza relativa $w^2$                                                  |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Deriva del cero $f_0$            | Distribución rectangular | $w_0^2 = \frac{1}{3} \left( \frac{f_0}{2 \cdot Y_E} \right)^2$           |
| Reproducibilidad $b_{at}$        | Distribución rectangular | $w_b^2 = \frac{1}{3} \left( \frac{b_{at}}{2 \cdot Y_{at}} \right)^2$     |
| Repetibilidad $b'_{at}$          | Distribución rectangular | $w_{b'}^2 = \frac{1}{3} \left( \frac{b'_{at}}{2 \cdot Y_{at}} \right)^2$ |
| Desviación de la regresión $f_a$ | Distribución triangular  | $w_a^2 = \frac{1}{6} \left( \frac{f_a}{2 \cdot Y_a} \right)^2$           |
| Resolución $r$                   | Distribución rectangular | $w_r^2 = \frac{1}{3} \left( \frac{r}{2 \cdot M_{K,i}} \right)^2$         |

## Apéndice C Secuencia de calibración

Las siguientes ilustraciones muestran variantes de la secuencia de calibración para una calibración de par alternante separada según el punto 3.3 y una variante con examen adicional según el punto 3.4 como complemento de una calibración según la norma DIN 51309 [1] para el par en el sentido horario y antihorario.

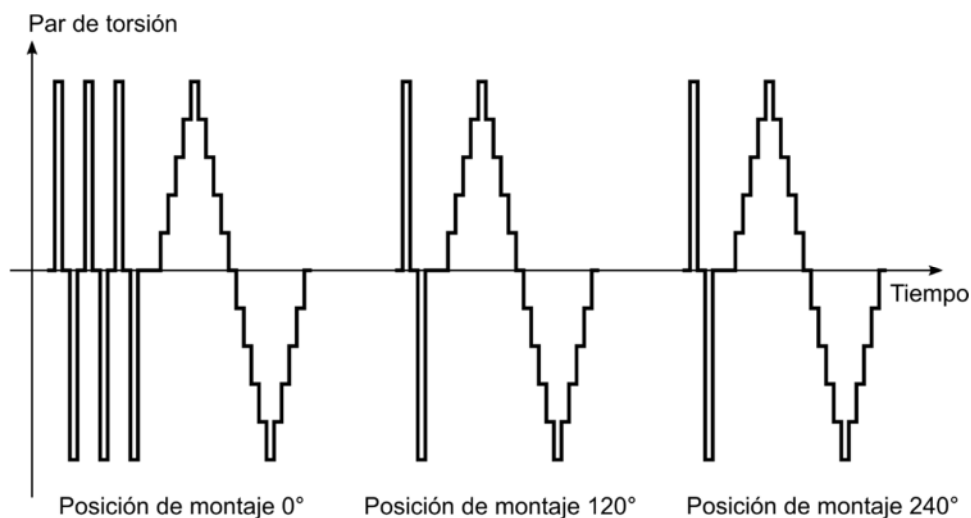


**Figura C.1:** Ejemplo de las precargas y series de mediciones para las clases 0,2 y 0,5 en calibraciones según 3.3

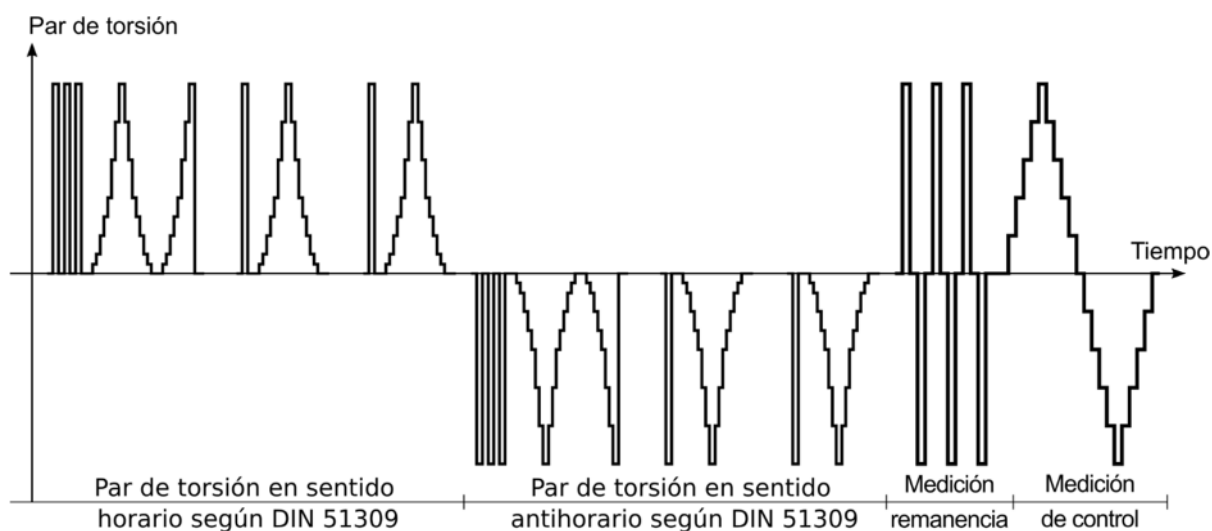


**Figura C.2:** Ejemplo de las precargas y series de mediciones para una calibración de par alternante como calibración adicional según 3.4 a una calibración de par en sentido horario y antihorario según DIN 51309



Publicado por:

**Physikalisch-Technische Bundesanstalt**  
Deutscher Kalibrierdienst  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig

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