

Physikalisch- Technische Bundesanstalt



**Directriz
DKD-R 10-8**

**Calibración estática de
instalaciones de calibración para
llaves dinamométricas**

Edición 02/2020

<https://doi.org/10.7795/550.20200825B>



	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	2 / 29

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 17025DKD.

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

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	3 / 29

Sugerencia para citar la fuente:

Directriz DKD-R 10-8, Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas, Edición 02/2020, Revisión 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig y Berlín. DOI: 10.7795/550.20200825B

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:

Diedert Peschel, DrehmomentService Dr. Peschel GmbH & Co. KG, Peine;
Dirk Röske, PTB, Braunschweig; 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 instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	4 / 29

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.

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	5 / 29

Índice

1	Ámbito de aplicación	7
2	Símbolos	8
3	Requisitos para los dispositivos de calibración de las llaves dinamométricas.....	9
3.1	Descripción e identificación del dispositivo de calibración para llaves dinamométricas	9
3.2	Introducir el par de torsión.....	9
4	Calibración del dispositivo de calibración para llaves dinamométricas	10
4.1	Información general.....	10
4.2	Resolución del instrumento indicador.....	10
4.2.1	Indicación de escala.....	10
4.2.2	Indicación digital (indicación por cifras)	10
4.2.3	Unidades.....	11
4.3	Preparar la calibración	11
4.3.1	Dispositivo indicador	11
4.3.2	Equilibrio de temperatura y humedad.....	11
4.3.3	Señal cero del transductor	11
4.3.4	Conexión del transductor	11
4.4	Realizar la calibración	11
4.4.1	Alcance y método de calibración	11
4.4.2	Carga previa	11
4.4.3	Posición del eje de medición	12
4.4.4	Realizar la calibración	12
4.4.5	Condiciones de carga.....	14
4.4.6	Tarar el punto cero.....	14
4.5	Evaluación del dispositivo de calibración para llaves dinamométricas.....	14
4.5.1	Resultado de calibración Y	14
4.5.2	Reproducibilidad b	14
4.5.3	Repetibilidad b'	14
4.5.4	Influencia de la longitud de la palanca b_L	15
4.5.5	Influencia del perfil de conexión b_V	15
4.5.6	Desviación de la regresión f_a	15
4.5.7	Desviación de la indicación f_q	15
4.5.8	Histéresis h	15
5	Determinación de la incertidumbre relativa expandida W o del margen de desviación relativa W'	16
5.1	Modelo	16

	Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas https://doi.org/10.7795/550.20200825B	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	6 / 29

5.2	Presupuesto de incertidumbre.....	17
6	Certificado de calibración y recalibración	18
6.1	Certificado de calibración	18
6.2	Recalibración	19
Apéndice A	Uso de los dispositivos de calibración de llaves dinamométricas calibrados..	21
Apéndice B	Secuencias de calibración – ejemplos	22
Apéndice C	Resultado de calibración – ejemplo	23
Apéndice D	Margen de desviación relativa	27
Apéndice E	Clasificación del instrumento de medición	28

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	7 / 29

1 Ámbito de aplicación

En lo sucesivo, las instalaciones de calibración para llaves dinamométricas se denominan también dispositivos de calibración de llaves dinamométricas (o brevemente dispositivo de calibración).

Esta directriz se aplica para calibrar instalaciones de calibración para llaves dinamométricas mediante llaves de transferencia de par de torsión sirviendo como patrones de transferencia y respalda los requisitos correspondientes de la norma DIN EN ISO 6789 [1]. Se describe un procedimiento para determinar la incertidumbre relativa de estos dispositivos.

Esta directriz excluye la utilización de barras y discos de calibración de longitud fija como patrones de transferencia, dado que con estos instrumentos no es posible determinar el parámetro *span* (alcance) a diferentes longitudes de brazo de palanca – y, por lo tanto, la realización de una calibración adecuada o la determinación correcta de la incertidumbre tampoco es posible. En el contexto de la presente directriz, las instalaciones de calibración para llaves dinamométricas son instrumentos especiales de medición de par de torsión que, por su diseño, permiten introducir el par de torsión mediante un instrumento de medición de par de torsión con brazo de palanca. Esta directriz tiene en cuenta las condiciones diferentes de aplicación de la fuerza sobre el objeto a calibrar respecto a las de los instrumentos de medición de par de torsión según la norma DIN 51309 [2].

Una vez encendidos, los dispositivos de calibración en los que la supresión o dispersión del cero integrada no pueda desconectarse durante la calibración no deben apagarse y encenderse de nuevo a efectos del taraje durante todo el proceso de calibración. Esto sólo se permite si la documentación técnica del fabricante exige un tarado adicional durante la aplicación del dispositivo. Los instrumentos que sólo pueden registrar valores picos no se consideran calibrables según la presente directiva.

Bajo el término *instalación de calibración para llaves dinamométricas* se entiende el dispositivo en su totalidad, es decir la instalación completa desde el transductor de par hasta la unidad de indicación.

La fecha de puesta en aplicación de la presente directriz es el 1 de marzo de 2020. Paralelamente, la directriz DKD-R 3-8 (edición 09/2018) seguirá siendo aplicable hasta el 28 de febrero de 2022. En el caso de que esta directriz se utilice junto con la directriz DKD-R 3-7 (edición 09/2018) – es decir, si un dispositivo de medición calibrado según DKD-R 10-8 (edición 02/2020) debe constituir la base de las calibraciones según DKD-R 3-7 (edición 09/2018) – la histéresis del dispositivo de calibración debe incluirse en el presupuesto de incertidumbre según DKD-R 10-8.

	Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas https://doi.org/10.7795/550.20200825B	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	8 / 29

2 Símbolos

Para la aplicación de esta directriz, se utilizan los símbolos indicados en la Tabla 1.

Tabla 1: Símbolos, unidades y denominación

Símbolo	Denominación	Unidad
M	Par de torsión	N·m
M_N	Par nominal	N·m
M_A	Límite inferior (valor mínimo del rango de medición)	N·m
M_E	Límite superior (valor máximo del rango de medición)	N·m
M_K	Par de calibración	N·m
	UI = Unidad de indicación de la señal de salida (por ejemplo, N·m, mV/V, V, Hz)	
I	Valor de indicación no corregido de la unidad de indicación	UI
I_S	Valor de indicación antes de la instalación en el dispositivo de calibración y en posición vertical (valor cero del transductor)	UI
$I_{0,j}$	Valor de indicación antes de la carga en la posición de montaje j (valor cero)	UI
$I_{f,j}$	Valor de indicación después de la descarga en la posición de montaje j	UI
$I_j(M_K)$	Valor de indicación con par de calibración creciente M_K en la posición de montaje j	UI
$I'_j(M_K)$	Valor de indicación con par de calibración decreciente M_K en la posición de montaje j	UI
X	Valor de indicación de la unidad de indicación corregido por el valor cero	UI
$X_j(M_K)$	Valor de indicación corregido por el valor cero con par de calibración creciente M_K en la posición de montaje j	UI
$X'_j(M_K)$	Valor de indicación corregido por el valor cero con par de calibración decreciente M_K en la posición de montaje j	UI
$X_{L,red}(M_K)$	Valor de indicación corregido por el valor cero con longitud reducida del brazo de la palanca	UI
$X_{L,nom}(M_K)$	Valor de indicación corregido por el valor cero con longitud nominal del brazo de la palanca	UI
$X_V(M_K)$	Valor de indicación corregido por el valor cero con el perfil de conexión girado	UI
Y	Resultado de calibración	UI
$Y(M_K)$	Resultado de la calibración con par de calibración M_K	UI
Y_E	Resultado de la calibración en el límite superior M_E	UI
$Y_a(M_K)$	Resultado de la calibración interpolado con par de calibración M_K	UI
	Magnitudes geométricas	
l	Longitud del brazo de la palanca de la llave de transferencia de par	mm
l_{red}	Longitud reducida del brazo de la palanca según la Tabla 3	mm

	Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas https://doi.org/10.7795/550.20200825B	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	9 / 29

Tabla 1: Símbolos, unidades y denominación (continuación)

Símbolo	Denominación	Unidad
l_{nom}	Longitud nominal del brazo de la palanca o longitud nominal del brazo de la palanca según la Tabla 3	mm
	Cantidades a considerar en la incertidumbre de medida	
$b(M_K)$	Reproducibilidad con par de calibración M_K	UI
$b'(M_K)$	Repetibilidad con par de calibración M_K	UI
$b_L(M_K)$	<i>Span</i> (alcance) con diferentes longitudes de brazo de palanca y con el par de calibración M_K	UI
$f_a(M_K)$	Desviación de la regresión con par de calibración M_K	UI
$f_q(M_K)$	Desviación de la indicación con par de calibración M_K	UI
f_0	Deriva del cero	UI
$h(M_K)$	Histéresis con par de calibración M_K	UI
r	Resolución de la unidad indicadora del dispositivo de calibración	N·m
$w_{TN}(M_K)$	Incertidumbre estándar relativa del valor del par M_K del patrón de transferencia del par	%
$W_{TN}(M_K)$	Incertidumbre expandida relativa del valor del par M_K del patrón de transferencia del par	%
$w(M_K)$	Incertidumbre estándar relativa del resultado de calibración con par de calibración M_K	%
$W(M_K)$	Incertidumbre expandida relativa del resultado de calibración con par de calibración utilizando una función de regresión cúbica	%
$W'(M_K)$	Margen de desviación relativa del resultado de la calibración con par de calibración M_K (véase también el Apéndice D)	%

3 Requisitos para los dispositivos de calibración de las llaves dinamométricas

3.1 Descripción e identificación del dispositivo de calibración para llaves dinamométricas

Funcionalmente, un dispositivo de calibración para llaves dinamométricas se compone de un elemento para sostener el transductor de par, el transductor de par mismo y la unidad de indicación.

Todas las partes del dispositivo de calibración (incluidos los cables para la conexión eléctrica) se identificarán de forma individual y exclusiva (por ejemplo, con el nombre del fabricante, el tipo, el circuito (de 4 o 6 hilos, o algo parecido) y el número de fabricación). El par nominal debe ser indicado.

3.2 Introducir el par de torsión

En el lado de la medición, el par puede introducirse en dirección axial mediante adaptadores intercambiables que deben transmitir las fuerzas transversales y los momentos de flexión generados por la introducción de la fuerza a través del brazo de palanca con una deformación suficientemente baja y que no deben dar lugar a ningún desplazamiento radial del vector del par que influya en la incertidumbre de medida. No deben utilizarse adaptadores múltiples que

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	10 / 29

provoquen desviaciones radiales o angulares del eje de medición. El eje de medición puede alinearse tanto horizontal como verticalmente.

La longitud del brazo de la palanca para generar el par por medio del patrón de transferencia debe ser variable, al menos en el rango de las longitudes del brazo de palanca de las llaves dinamométricas disponibles en el mercado y de acuerdo con el rango de medición que se va a calibrar. La introducción de fuerza en el brazo de la palanca del patrón de transferencia debe efectuarse de manera que se eviten fuerzas y momentos parásitos adicionales.

4 Calibración del dispositivo de calibración para llaves dinamométricas

4.1 Información general

Durante la calibración del dispositivo de calibración se aplican pares, fuerzas transversales y momentos de flexión que, en su combinación, corresponden a las condiciones reales de aplicación durante la calibración de llaves dinamométricas. Las indicaciones correspondientes del dispositivo de calibración y del patrón de transferencia de par serán registradas.

Un indicador eléctrico puede ser sustituido por otro similar siempre que sus desviaciones no tengan una influencia significativa en el resultado, lo cual depende de su especificación técnica y su incertidumbre de medida (la incertidumbre adicional causada por la sustitución del indicador no debe superar $1/3$ de la incertidumbre relativa del dispositivo de calibración de las llaves dinamométricas w_{KE}).

El peso propio del patrón de transferencia no debe generar ninguna fuerza o par perturbador adicional inadmisibles que afecte a la incertidumbre de medida. Si hay un cojinete de apoyo en el lado de medición del transductor de par del dispositivo de calibración, debe comprobarse la posibilidad de una derivación de par no permisible debido al peso propio del patrón de transferencia. El peso propio debe aproximarse al de las llaves dinamométricas comparables en el rango de medición a calibrar del dispositivo de calibración.

Hay que asegurarse de que las piezas de introducción del par de torsión para la adaptación de los patrones de transferencia al dispositivo de calibración puedan transmitir al menos 1,2 veces el par máximo de calibración, asegurando al mismo tiempo un comportamiento de deformación lineal.

Antes de calibrar el dispositivo de calibración, hay que asegurarse de que el dispositivo puede ser calibrado (aptitud de ser calibrado).

4.2 Resolución del instrumento indicador

4.2.1 Indicación de escala

Las marcas de graduación de la escala deben tener el mismo grosor y el ancho del puntero debe ser aproximadamente igual al ancho de una marca de graduación.

La resolución r del instrumento indicador se define como la fracción más pequeña de una división de escala que todavía puede ser estimada. Es el resultado de la relación entre el ancho del indicador y la distancia central de dos líneas de escala adyacentes (longitud de una división de escala). Las relaciones recomendadas son $1/2$, $1/5$ o $1/10$, y se requiere una distancia de 1,25 mm o más para estimar una décima parte de la división de la escala.

4.2.2 Indicación digital (indicación por cifras)

La resolución r se considera equivalente a una etapa de dígitos de la última cifra móvil del indicador numérico más la mitad del rango de variación. En el caso de los dispositivos de indicación con supresión o dispersión activa del punto cero, esto se evitará mediante

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	11 / 29

procedimientos adecuados – por ejemplo, una precarga durante el proceso de tarado – para determinar la variación de lectura.

4.2.3 Unidades

La resolución r se convierte y se especifica en unidades de par.

4.3 Preparar la calibración

4.3.1 Dispositivo indicador

El dispositivo indicador debe ser ajustado de acuerdo con las especificaciones del fabricante o del cliente. Todos los ajustes variables (especialmente la frecuencia de muestreo y los ajustes de los filtros) deben ser registrados. Antes de iniciar la calibración, se comprobará que la estabilidad del punto cero del instrumento sea satisfactoria.

4.3.2 Equilibrio de temperatura y humedad

Antes de comenzar con la calibración del dispositivo de calibración se debe esperar – con la tensión de alimentación aplicada – a que se alcance un equilibrio de temperatura y humedad entre el transductor y el entorno y evaluarlo a través de la estabilidad del punto cero.

4.3.3 Señal cero del transductor

Antes de iniciar la calibración y a condición de que sea técnicamente posible, se medirá y registrará la señal de cero no tarada del dispositivo de calibración sin carga mecánica. La señal medida debe registrarse, indicando la posición del eje de medición. Si se conoce el comportamiento de la señal de cero en el tiempo, se pueden sacar conclusiones sobre la estabilidad del dispositivo de calibración y su historial.

4.3.4 Conexión del transductor

El transductor debe conectarse de manera que un par creciente en el sentido horario produzca una indicación ascendente positiva.

4.4 Realizar la calibración

4.4.1 Alcance y método de calibración

La calibración de los dispositivos de calibración para llaves dinamométricas se realiza mediante llaves de transferencia de par de torsión calibradas de forma trazable [3].

La calibración se realiza de forma separada, para el par en sentido horario y en sentido antihorario. La calibración de los equipos de calibración puede realizarse de dos maneras: como procedimiento puramente estático mediante la medición de valores de par de torsión discretos o bien a través de un procedimiento continuo en un recorrido continuo sin tiempo de retención con valores discretos de par de torsión.

En caso de una calibración continua, hay que asegurarse de que no se produzca ningún error de medición relevante a causa del procedimiento con el que se registran los valores medidos de la llave de transferencia de par de torsión y del objeto de calibración. Los factores influyentes son, entre otros, los ajustes de los filtros de las unidades de indicación, una posible diferencia de tiempo al tomar los valores medidos de las señales de medición de las llaves de transferencia de par y del objeto a calibrar, así como la tasa de aumento del par. A fin de poder demostrar la influencia de las condiciones del proceso en la incertidumbre de medida de la calibración, es preciso realizar investigaciones experimentales previas cuando se aplican los procedimientos de calibración continua.

4.4.2 Carga previa

Después de la instalación del patrón de transferencia de par de torsión en el dispositivo de calibración y al cambiar la dirección de carga, hay que aplicar una carga previa correspondiente al valor final del rango de medición M_E a calibrar. Es preciso que la duración

	Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas https://doi.org/10.7795/550.20200825B	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	12 / 29

de la precarga sea lo más breve posible para reducir al mínimo los efectos de la fluencia. Después de la precarga, deberá esperarse a que la señal de cero se haya estabilizado dentro de la resolución mínima al comienzo del rango de medición (valor inicial). Una señal residual existente debe ser registrada.

4.4.3 Posición del eje de medición

Preferentemente, la calibración debe realizarse en la posición del eje de medición del dispositivo de calibración en que se va a utilizar.

4.4.4 Realizar la calibración

El número de series de mediciones depende del objetivo establecido para la incertidumbre de medida del dispositivo de calibración según la Tabla 2. Se aplicará la incertidumbre relativa expandida a determinar de conformidad con la Sección 5 o el margen de desviación relativa (véase Apéndice D). Si el resultado es inferior al valor fijado como objetivo para la incertidumbre de medida, debe utilizarse al menos el valor fijado anteriormente – o bien, la calibración debe repetirse con un valor elegido más pequeño.

Tabla 2: Número mínimo de las series de mediciones requeridas

Posible cambio de la posición de montaje	Incertidumbre relativa expandida ($k = 2$) o margen de variación relativo en %	Número de series de mediciones con				
		Longitud nominal del brazo de la palanca Posición 0°		Longitud reducida del brazo de la palanca Posición 0°	Sensor de par girado	Perfil de conexión girado
		ascendente	descendente			
Sensor y perfil de conexión giratorios	< 0,5	2	1	1	1	1
	≥ 0,5	2	1	1	-	1
Sensor giratorio, perfil de conexión fijo	< 0,5	2	1	1	1	-
	≥ 0,5	2	1	1	-	-
Sensor fijo, perfil de conexión giratorio	< 0,5	3	1	1	-	1
	≥ 0,5	2	1	1	-	1
Sensor y perfil de conexión fijos	< 0,5	3	1	1	-	-
	≥ 0,5	2	1	1	-	-

La calibración del dispositivo de calibración se realiza en una posición de montaje con dos series ascendentes y una serie descendente, y con longitud nominal del brazo de la palanca. Las dos series ascendentes en la misma posición de montaje determinan la repetibilidad.

Para obtener incertidumbres relativas inferiores al 0,5 %, es necesario medir una serie ascendente adicional. En caso de que el transductor de par pueda utilizarse en diferentes posiciones de montaje, esta secuencia ascendente se realizará en una posición adecuada del transductor. Preferiblemente, el transductor de par debe ser girado en 45° o 180°. Si el transductor de par no se utiliza en diferentes posiciones de montaje, se medirá una nueva secuencia ascendente después de que la llave de transferencia de par se haya retirado del dispositivo de medición y se haya vuelto a insertar. Estas mediciones sirven para calcular la reproducibilidad.

Si la llave de transferencia de par de torsión no permite la calibración en la posición de montaje requerida – por ejemplo, porque el perfil de conexión no puede ser girado en 45° – la

	Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas https://doi.org/10.7795/550.20200825B	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	13 / 29

reproducibilidad debe ser estimada sobre la base de otras informaciones. Estos datos deberían proceder de una calibración previa en la cual se utilizó una llave de transferencia de par con perfil de conexión giratorio.

Por regla general, la posición del vector de fuerza en relación con el cuerpo de deformación del transductor de par debe ser definida y marcada de forma correspondiente.

Para determinar la influencia del punto de introducción de la fuerza en el brazo de la palanca sobre el resultado de la calibración, debe medirse una serie adicional ascendente en la posición de instalación de 0° con longitud de brazo de la palanca reducida (véase también Apéndice B). Tabla 3 muestra el rango de variación de la longitud del brazo de la palanca; estos valores se determinaron sobre la base de las longitudes típicas de los brazos de palanca de las llaves dinamométricas disponibles en el mercado. Esta serie de mediciones puede medirse primero, antes de todas las demás series.

Tabla 3: Rangos de variación de la longitud del brazo de la palanca

M_N en N·m	l_{red} en mm	l_{nom} en mm
hasta 20	100	200
más de 20 a 50	200	400
más de 50 a 150	300	500
más de 150 a 400	400	700
más de 400 a 1000	600	1000
más de 1000 a 2000	1000	1500
más de 2000 a 3000	1300	1800

Para determinar la influencia del perfil de conexión sobre el resultado de calibración, hay que medir una serie ascendente adicional en la posición de montaje de 0° para los dispositivos en los que se utiliza un perfil de conexión de posición variable, cuando se cambia la posición de este perfil de conexión (véase Apéndice B). Esta serie de mediciones debe medirse antes de que se gire el transductor de par – si éste es el caso.

Si la llave de transferencia de par de torsión no permite la calibración en la posición de montaje requerida – por ejemplo, debido a un perfil de conexión no giratorio – la influencia del perfil de conexión debe ser estimada sobre la base de otras informaciones. Estas informaciones deben provenir de una calibración previa con una llave de transferencia de par de torsión correspondiente con un perfil de conexión giratorio.

Para una incertidumbre relativa expandida deseada o un margen de desviación relativa deseado, el número mínimo de los niveles de par (además del cero) para cada rango de medición debe ascender a

< 0,5%	8
o	
≥ 0,5%	5

El valor inicial del rango de medición M_A debe formar parte de los valores de calibración. Los pares de torsión deben ser distribuidos de forma adecuada a lo largo del rango de medición. Son útiles, por ejemplo, los pasos de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 y 100 por ciento o 2, 5, 10, 20,

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	14 / 29

40, 60, 80 y 100 por ciento, siempre respecto al valor máximo actual M_E del rango de medición a calibrar.

El dispositivo de calibración puede calibrarse separadamente para varios rangos de medición del par de torsión.

4.4.5 Condiciones de carga

A ser posible, el tiempo entre dos etapas (niveles) de carga sucesivos debe ser el mismo. Los cambios de indicación ocasionados por la fluencia requieren adherirse lo más precisamente posible a la secuencia de tiempo.

La calibración tiene que efectuarse a una temperatura ambiente con estabilidad de ± 1 K, la cual se encontrará en el rango de 18 °C a 28 °C (preferentemente 22 °C). Esta temperatura debe ser registrada.

4.4.6 Tarar el punto cero

El valor de indicación al principio de cada serie de mediciones debe ser tarado a cero, excepto en el caso de los instrumentos con supresión activa del cero o con dispersión del cero (véanse las observaciones del Capítulo 1).

4.5 Evaluación del dispositivo de calibración para llaves dinamométricas

En caso de una calibración continua, los valores medidos para el número mínimo de pasos de torsión para cada serie de mediciones se determinarán mediante cálculo; de ello, se determinarán el resultado de la calibración, los intervalos b , b' y b_L , así como la desviación de regresión f_a (o desviación de indicación f_q) y la histéresis h .

Nota: En las fórmulas (1) a (8), la dependencia del par de calibración M_K no se indica explícitamente.

4.5.1 Resultado de calibración Y

El resultado de calibración Y se calcula según la ecuación (1) como el valor medio de los resultados de medición de las n series ascendentes ($n \geq 1$) en diferentes posiciones de montaje sin serie de repetición en la misma posición de montaje y con longitud nominal del brazo de palanca

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (I_j - I_{0,j}). \quad (1)$$

4.5.2 Reproducibilidad b

La reproducibilidad en las diferentes posiciones de montaje b (este cálculo se omite si las exigencias con respecto a la incertidumbre son de $\geq 0,5\%$) se calcula como desviación estándar para cada nivel de par según la ecuación (2)

$$b = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - Y)^2}{n-1}}. \quad (2)$$

4.5.3 Repetibilidad b'

La repetibilidad en la misma posición de montaje b' se calcula como la magnitud del *span* (alcance) para cada nivel de par de acuerdo con la ecuación (3)

$$b' = |X_1 - X_2|. \quad (3)$$

Aquí, X_1 y X_2 se determinaron a partir de las series ascendentes en la misma posición de montaje con longitud nominal del brazo de palanca.

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	15 / 29

4.5.4 Influencia de la longitud de la palanca b_L

La influencia de la longitud de la palanca b_L se calcula con diferentes longitudes de brazo de palanca como *span* para cada etapa de torsión de acuerdo con la ecuación (4)

$$b_L = X_{L,red} - X_{L,nom} \quad (4)$$

4.5.5 Influencia del perfil de conexión b_V

La influencia del perfil de conexión b_V se calcula con diferentes posiciones de este perfil como *span* para cada etapa de torsión de acuerdo con la ecuación (5)

$$b_V = X_V - X_{0^\circ} \quad (5)$$

4.5.6 Desviación de la regresión f_a

La desviación de la regresión f_a se determina para cada nivel de par mediante una función de regresión cúbica o lineal (función de 3º o 1º grado) sin término absoluto; la indicación se da en función del par de torsión. La determinación matemática de la función de regresión debe realizarse de manera que la suma de los cuadrados de las desviaciones absolutas o relativas en el rango de medición calibrado constituya un mínimo. Se indicará el método utilizado.

Para los dispositivos de calibración con escala en unidades de par donde no es posible adaptar la indicación de forma electrónica a la función de regresión se determina – en lugar de la desviación de regresión – la desviación de la indicación según 4.5.7.

La desviación de la regresión f_a se calcula de la siguiente manera:

$$f_a = Y - Y_a \quad (6)$$

4.5.7 Desviación de la indicación f_q

La desviación de la indicación f_q se determina tan sólo para aquellos dispositivos de calibración cuya indicación muestra la unidad del par de torsión y que no permiten la adaptación electrónica de la indicación a la función de regresión del resultado de calibración. Se determina según la ecuación (7) a partir del valor medio de todas las series ascendentes, con longitud nominal del brazo de palanca

$$f_q = Y - M_K \quad (7)$$

4.5.8 Histéresis h

La histéresis se determina realizando una medición con par de torsión creciente y luego con par de torsión decreciente. Se determina según la ecuación (8), como promedio de las diferencias entre las indicaciones de las series descendentes y ascendentes para cada nivel de par, con longitud nominal del brazo de la palanca

$$h = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (I'_j - I_j) \quad (8)$$

con m siendo el número de las series descendentes ($m \geq 1$).

Nota: La histéresis no se utiliza para determinar la incertidumbre del resultado de calibración. Sin embargo, debe determinarse y especificarse como criterio de calidad del dispositivo de calibración. Los cambios de la histéresis a lo largo del tiempo entre diferentes calibraciones pueden ser indicativos de influencias no detectadas.

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	16 / 29

5 Determinación de la incertidumbre relativa expandida W o del margen de desviación relativa W'

La recomendación para calcular la incertidumbre relativa expandida W para los resultados de calibración de los dispositivos de calibración corresponde a las especificaciones del GUM [4], al documento EA-4/02 M: 2013 [5], así como al cálculo de la incertidumbre relativa para los resultados de calibración de los instrumentos de medida de par de torsión según DIN 51309 [2] o EURAMET cg-14 [6].

Las siguientes explicaciones sirven como ejemplo para el cálculo de la incertidumbre relativa de una calibración estándar. Dependiendo de la aplicación del dispositivo de calibración a calibrar, puede ser conveniente desviarse de este ejemplo o añadirle componentes adicionales de incertidumbre de medida. En estos casos, se debe documentar la base del cálculo. El ejemplo proporciona información sobre la incertidumbre de medida en el momento de la calibración. Pero, entre otras cosas, no tiene en cuenta los componentes de incertidumbre debidos a la estabilidad a largo plazo o las condiciones reales de adaptación y de ambiente durante la utilización del instrumento de medición.

En todo caso, los parámetros y *spans* (alcances) sólo pueden determinarse para puntos de calibración definidos. Para las calibraciones continuas, los valores de medición suelen ser tomados para cada serie de medición a valores de par de calibración distribuidos aleatoriamente. Los parámetros b , b' y b_L así como la histéresis h se determinan a partir de valores interpolados en puntos predefinidos. A continuación, la consideración de la incertidumbre se realiza como en una calibración por etapas (paso a paso).

Si se utilizan funciones de regresión lineal para dispositivos de calibración con escala en unidades adimensionales, la desviación de regresión debe tenerse en cuenta como una cantidad aditiva en el cálculo del margen de desviación relativa según (12) debido a su carácter sistemático. Otras explicaciones acerca de la magnitud del margen de desviación relativa pueden encontrarse en el Apéndice D.

No resulta útil determinar una función de regresión para los dispositivos de calibración con escala fija en unidades de par. En su lugar, se calcula la desviación de la indicación. La desviación de indicación también es de carácter sistemático. Sin embargo, no es posible corregirla en la utilización del instrumento medidor calibrado como lo sería el caso de una desviación sistemática conocida. Por lo tanto, debe incluirse de forma aditiva en el cálculo del margen de desviación relativa según la ecuación (13). Sin embargo, si la escala en unidades de par se forma adaptando la electrónica de indicación a la función de regresión, este caso se tratará de manera idéntica al de una escala en unidades adimensionales.

5.1 Modelo

Se recomienda utilizar el siguiente modelo de producto para describir las influencias sobre el resultado de calibración de un dispositivo de calibración para llaves dinamométricas

$$M = C \cdot M_K \cdot \prod_{i=1}^n (1 - \delta M_i) , \quad (9)$$

donde los valores individuales tienen los siguientes significados:

- δM_1 Influencia de la resolución r del instrumento de indicación del dispositivo de calibración sobre la señal cero
- δM_2 Influencia de la resolución r del instrumento de indicación del dispositivo de calibración sobre el valor de medición
- δM_3 Influencia de la reproducibilidad b
- δM_4 Influencia de la repetibilidad b'

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	17 / 29

- δM_5 Influencia de la longitud del brazo de palanca b_L
- δM_6 Influencia del perfil de conexión b_V
- δM_7 Influencia de la desviación de la regresión cúbica f_a (para la desviación de la regresión lineal véase 5.2, fórmula (12)).

Por medio del factor constante C , se pueden tener en cuenta los casos en que la unidad de medida indicada por el dispositivo de calibración difiere de la del par de torsión.

Al utilizar el dispositivo de calibración, también se debe tener en cuenta lo siguiente:

- δM_8 Influencia del acoplamiento no ideal del objeto de calibración
- δM_9 Influencia de la desviación de las condiciones de calibración (temperatura, humedad relativa) de los valores de referencia.

5.2 Presupuesto de incertidumbre

Para las magnitudes de entrada no correlacionadas, la incertidumbre estándar relativa $w(M)$ atribuida al par de torsión M se obtiene por la siguiente ecuación

$$w(M) = \sqrt{w_{TN}^2(M_K) + \sum_{i=1}^n w^2(\delta M_i)}. \quad (10)$$

Aquí, $w_{TN}(M_K)$ se determina por la influencia de la incertidumbre de la llave de transferencia de par de torsión sobre el par de calibración MK, incluyendo una parte para la estabilidad a largo plazo y la sensibilidad a la temperatura o la humedad de la llave de transferencia, si no se corrigen. En caso de que se haya calculado un margen de desviación relativa para la llave de transferencia, debe observarse el Apéndice D.

La incertidumbre estándar relativa $w(M)$ se calcula a partir de los componentes de la incertidumbre resultantes, entre otras cosas, de los valores característicos calculados según los puntos 4.5.2 a 4.5.7. Para los componentes de error aleatorio a ser considerados, se proponen las funciones de distribución estadísticas según la Tabla 4. El Apéndice C contiene un ejemplo del cálculo de la incertidumbre de medida.

En caso de que no se determine la reproducibilidad b debido al procedimiento de calibración abreviado, la contribución de la reproducibilidad debe ser considerada duplicando la contribución de la repetibilidad b' .

La influencia de la histéresis h puede ignorarse al considerar la incertidumbre de medida. Sin embargo, la determinación de este valor característico sigue formando parte del procedimiento de calibración y requiere una evaluación crítica con respecto a la idoneidad del equipo de calibración.

La incertidumbre relativa expandida W se calcula a partir de la incertidumbre relativa estándar $w(M)$, multiplicándola por el factor de cobertura k determinado adecuadamente

$$W(M) = k \cdot w(M). \quad (11)$$

El margen de desviación relativa W' de una calibración se calcula de la siguiente manera:

– para una escala en unidades adimensionales y aplicando una función de regresión lineal

$$W'(M) = \left| \frac{f_a(M)}{M_K} \right| + k \cdot w(M), \quad (12)$$

– para una escala en unidades de par

$$W'(M) = \left| \frac{f_q(M)}{M_K} \right| + k \cdot w(M). \quad (13)$$

Las desviaciones sistemáticas no corregidas $f_a(M)/M_K$ y $f_q(M)/M_K$ deben indicarse, con signo correcto, en el certificado de calibración.¹

Tabla 4: Funciones de distribución para calcular las desviaciones estándar de los valores característicos determinados de forma experimental

Valor característico	Función de distribución	Desviación estándar relativa w en %
Resolución r	Tipo B Distribución rectangular	$w_r = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r}{2} \cdot \frac{100}{M_K}$
Reproducibilidad b	Tipo B Distribución normal	$w_b = \frac{b(M_K)}{\sqrt{n}} \cdot \frac{100}{Y(M_K)}$
Repetibilidad b'	Tipo B Distribución normal	$w_{b'} = \frac{b'(M_K)}{\sqrt{2}} \cdot \frac{100}{Y(M_K)}$
Influencia de la longitud del brazo de palanca b_L	Tipo B Distribución rectangular	$w_L = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b_L(M_K)}{2} \cdot \frac{100}{Y(M_K)}$
Perfil de conexión b_V	Tipo B Distribución rectangular	$w_V = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b_V(M_K)}{2} \cdot \frac{100}{Y(M_K)}$
Desviación de la regresión f_a	Tipo B Distribución triangular	$w_f = \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \frac{f_a(M_K)}{2} \cdot \frac{100}{Y(M_K)}$

6 Certificado de calibración y recalibración

6.1 Certificado de calibración

Si en el momento de la calibración un dispositivo de calibración para llaves dinamométricas cumple los requisitos de la presente directriz, el laboratorio de calibración va a emitir un certificado de calibración basado en el documento DAkKS 71 SD 0 025 [7]; este certificado incluye, entre otras cosas, la siguiente información:

- persona o institución que solicita (encarga) la calibración (cliente),
- identidad de todos los elementos del dispositivo de calibración y de las piezas de introducción (aplicación) del par de torsión, así como la designación del patrón de transferencia del par de torsión,
- información respecto a los pares de torsión (horario y antihorario) y las longitudes de brazo de palanca,
- resultado de calibración, indicando la incertidumbre relativa expandida, el margen de desviación relativa y las desviaciones relativas no corregidas según el punto 5,

¹ Las desviaciones sistemáticas relativas mencionadas aquí equivalen a las desviaciones de medición relativas del dispositivo de medición b_{ep} según la norma DIN EN ISO 6789-2:2017-07 [1].

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	19 / 29

- e) la función de regresión – de ser necesario (no se requiere en caso de una escala en unidades adimensionales),
- f) condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa) en las que se realizó la calibración,
- g) fecha y, de ser necesario, lugar de calibración,
- h) información para identificar el laboratorio de calibración,
- i) referencia a la presente directiva,
- j) posición del eje de medición durante la calibración (horizontal y/o vertical),
- k) distancia de apoyo del punto de introducción de la fuerza desde un punto de referencia del dispositivo de calibración en la dirección del eje de par de torsión (ilustración mostrando la distancia especificada) e
- l) indicación que hace referencia a la posición de 0° del sensor (por ejemplo, una imagen (ilustración) que muestra la conexión de los cables).

Además, el certificado de calibración debería incluir lo siguiente:

- m) tabla de valores medidos y valores característicos calculados según los puntos 4.5.2 a 4.5.8 y
- n) una representación gráfica de la curva característica.

6.2 Recalibración

Según lo dispuesto en la presente directriz, el dispositivo de calibración ha de ser recalibrado después de 26 meses como máximo.

En el caso de que el dispositivo de calibración se haya sometido a una sobrecarga superior a la de la prueba de sobrecarga (véase 4.1), el dispositivo también debe ser recalibrado. Lo mismo aplica después de una reparación o de un manejo inadecuado que pueda afectar a la incertidumbre de medida.

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	20 / 29

Bibliografía

- [1] DIN EN ISO 6789-2 Schraubwerkzeuge – Handbetätigte Drehmoment-Werkzeuge – Teil 2: Anforderungen an die Kalibrierung und die Bestimmung der Messunsicherheit, Ausgabe 2017-07 [Assembly tools for screws and nuts – Hand torque tools – Part 2: Requirements for calibration and determination of measurement uncertainty (ISO 6789-2:2017), German version EN ISO 6789-2:2017]
- [2] DIN 51309 Kalibrierung von Drehmomentmessgeräten für statische Drehmomente, Ausgabe 2005-12
- [3] DKD-R 3-7 Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln, Ausgabe 09/2018, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin, DOI 10.7795/550.20180823H
- [4] Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), https://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf
- [5] EA-4/02 M: 2013 Ermittlung der Messunsicherheit bei Kalibrierungen (Traducción al alemán, 2019), <https://www.dakks.de/> (EA-4/02 M: 2013 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration, <https://european-accreditation.org/publications/ea-4-02-m/>)
- [6] EURAMET cg-14 Guidelines on the Calibration of Static Torque Measuring Devices, Version 2.0 (03/2011), <https://www.euramet.org/publications-media-centre/calibration-guidelines/>
- [7] DAkkS 71 SD 0 025 Darstellung von Kalibrierergebnissen und die Verwendung der DAkkS-Kalibriermarke (2019), <https://www.dakks.de/>

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	21 / 29

Apéndice A Uso de los dispositivos de calibración de llaves dinamométricas calibrados

La calibración sólo es válida para aplicaciones en las que el dispositivo de calibración se utiliza conforme a las condiciones de calibración. Hay que tomar las medidas necesarias para evitar que el instrumento esté sometido a pares de torsión que sean superiores al par nominal o a fuerzas y pares perturbadores causados por piezas de instalación y condiciones de adaptación inadecuadas durante su utilización y que podrían dar lugar a desviaciones mayores que las determinadas durante la calibración.

En el caso de que el dispositivo de calibración se utilice a una temperatura diferente de la de calibración, la incertidumbre adicional resultante deberá calcularse utilizando las especificaciones del fabricante sobre la influencia de la temperatura en el punto cero y el valor característico; esta incertidumbre adicional ha de tenerse en cuenta de forma correspondiente.

Igualmente, los valores de humedad relativa divergentes pueden afectar los resultados de la calibración de un dispositivo de calibración de llaves dinamométricas; por lo tanto, deben tratarse de forma correspondiente.

Apéndice B Secuencias de calibración – ejemplos

Die Las siguientes imágenes muestran ejemplos de secuencias de calibración para un dispositivo de calibración de llaves dinamométricas.

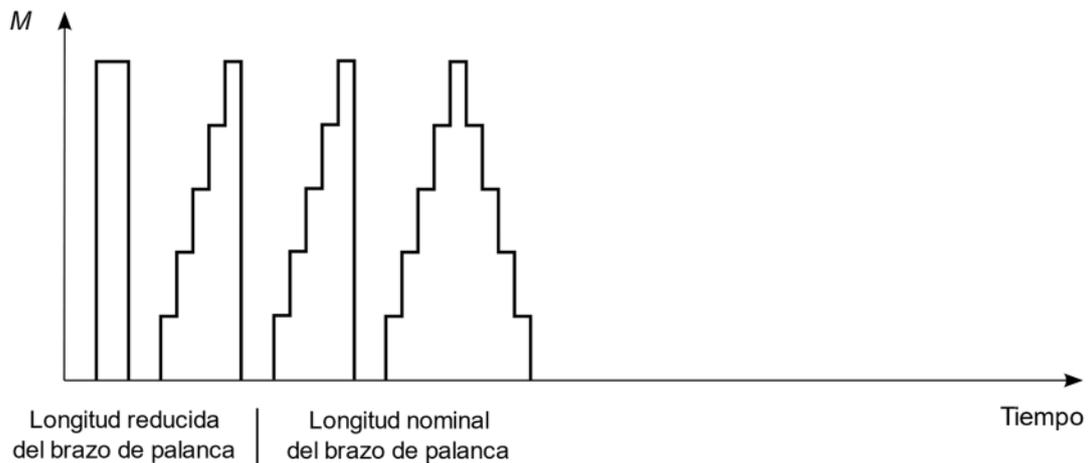


Fig. B.1: Ejemplo de una secuencia de calibración de un dispositivo de calibración para llaves dinamométricas con sensor de par fijo y perfil de conexión fijo y con una incertidumbre deseada de $\geq 0,5\%$

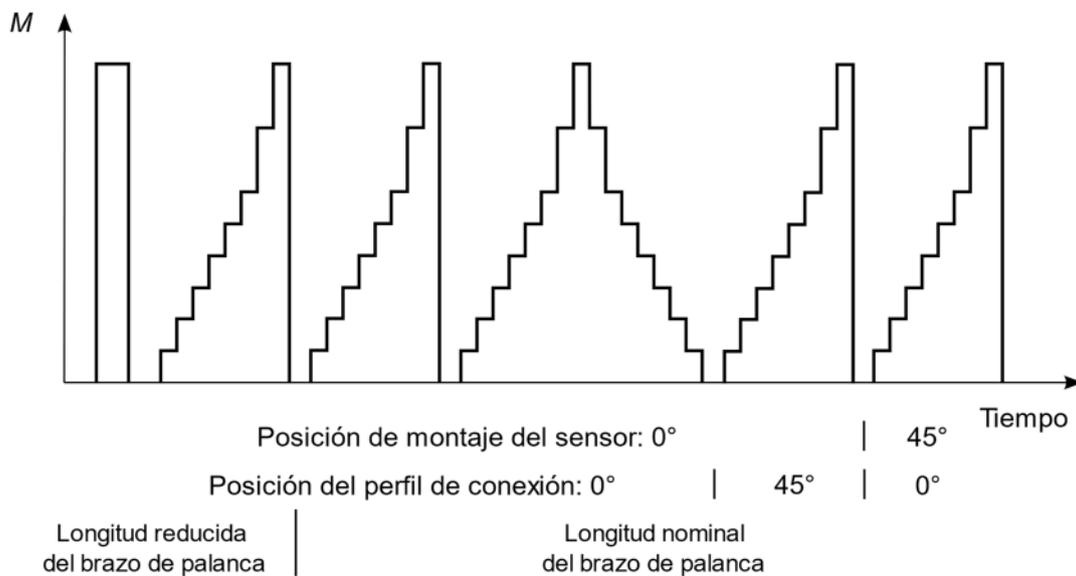


Fig. B.2: Ejemplo de la secuencia de calibración de un dispositivo de calibración para llaves dinamométricas con una incertidumbre deseada de $< 0,5\%$

	Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas https://doi.org/10.7795/550.20200825B	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	23 / 29

Apéndice C Resultado de calibración – ejemplo

Objeto a calibrar

Dispositivo de calibración de llaves dinamométricas

- Denominación: DmS-KE 100 Nm
- Par nominal: 100 N·m
- Unidad de indicación: N·m
- Sensor de par de torsión: giratorio
- Longitud nominal del brazo de palanca: 500 mm
- Longitud reducida del brazo de palanca: 300 mm
- Etapa de dígitos: 0,001 N·m
- Fluctuación de la indicación: 0,001 N·m
- Incertidumbre deseada: 0,2 %

Patrón de calibración

Llave de transferencia de par

- Denominación: DmTS 100 Nm
- Par nominal: 100 N·m
- Unidad de indicación: N·m
- Perfil de conexión: fijo

Datos de medición

Par de torsión en sentido horario, valores de indicación del objeto a calibrar en N·m

Par de calibración en el patrón en N·m	Precarga	0° reduc.	0° /1 asc	0° /2 asc.	0° /2 dsc.	45° Sensor	45° Conector
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	-
2	-	2,002	2,002	2,001	2,002	2,001	-
4	-	4,004	4,004	4,002	4,003	4,002	-
10	-	10,010	10,008	10,006	10,010	10,006	-
20	-	20,020	20,012	20,012	20,020	20,012	-
40	-	40,040	40,018	40,024	40,038	40,025	-
60	-	60,060	60,026	60,036	60,050	60,038	-
80	-	80,080	80,038	80,048	80,058	80,050	-
100	100,111	100,100	100,052	100,060	100,060	100,065	-

Par de torsión en sentido antihorario, valores de indicación del objeto a calibrar en N·m

Par de calibración en el patrón en N·m	Precarga	0° reduc.	0° /1 asc.	0° /2 asc.	0° /2 dsc.	45° Sensor	45° Conector
0	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000	-
2	-	-2,002	-2,002	-2,001	-2,002	-2,001	-
4	-	-4,004	-4,004	-4,002	-4,003	-4,002	-
10	-	-10,010	-10,008	-10,006	-10,010	-10,006	-
20	-	-20,020	-20,012	-20,012	-20,020	-20,012	-
40	-	-40,040	-40,018	-40,024	-40,038	-40,025	-
60	-	-60,060	-60,026	-60,036	-60,050	-60,038	-
80	-	-80,080	-80,038	-80,048	-80,058	-80,050	-
100	-100,111	-100,100	-100,052	-100,060	-100,060	-100,065	-

	Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas https://doi.org/10.7795/550.20200825B	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	24 / 29

Evaluación

Resultado de calibración

Par de torsión en sentido horario:

Par de torsión de calibración en N·m	Resultado de calibración Y en N·m	$W(k=2)$ en %	W' en % 1)	W' en % 2)	W' en % 3)	$W_{TN}(k=2)$ en %
0	0,000	-	-	-	-	-
2	2,002	0,154	0,229	0,173	0,173	0,050
4	4,003	0,145	0,220	0,163	0,163	0,050
10	10,007	0,118	0,188	0,132	0,132	0,050
20	20,012	0,114	0,174	0,118	0,118	0,050
40	40,022	0,119	0,173	0,122	0,122	0,050
60	60,032	0,121	0,174	0,124	0,124	0,050
80	80,044	0,118	0,173	0,120	0,120	0,050
100	100,059	0,116	0,175	0,119	0,119	0,050

Par de torsión en sentido antihorario:

Par de torsión de calibración en N·m	Resultado de calibración Y en N·m	$W(k=2)$ en %	W' en % 1)	W' en % 2)	W' en % 3)	$W_{TN}(k=2)$ en %
-0	0,000	-	-	-	-	-
-2	-2,002	0,154	0,229	0,173	0,173	0,050
-4	-4,003	0,145	0,220	0,163	0,163	0,050
-10	-10,007	0,118	0,188	0,132	0,132	0,050
-20	-20,012	0,114	0,174	0,118	0,118	0,050
-40	-40,022	0,119	0,173	0,122	0,122	0,050
-60	-60,032	0,121	0,174	0,124	0,124	0,050
-80	-80,044	0,118	0,173	0,120	0,120	0,050
-100	-100,059	0,116	0,175	0,119	0,119	0,050

Explicaciones:

La incertidumbre relativa expandida indicada se aplica al caso de una escala ajustable en unidades adimensionales y la aplicación de una función de regresión cúbica. También se indican los márgenes de desviación relativa en los que se incluye $W(k=2)$

- 1) en caso de que el objeto de calibración sea un instrumento con escala en unidades de par,
- 2) en caso de que se aplique una función de regresión lineal de forma separada tanto para el par en el sentido horario y para el par en sentido antihorario, y
- 3) en caso de que se aplique una función de regresión lineal común para el par en sentido horario y antihorario.

El último caso no es idéntico con un resultado de calibración para par de torsión alternante. Pero gracias a la función de regresión común, la unidad de indicación puede adaptarse de forma óptima al par en el sentido horario y antihorario con un solo factor de calibración.

Las funciones de regresión utilizadas se enumeran a continuación.

	Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas https://doi.org/10.7795/550.20200825B	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	25 / 29

Valores relativos de los parámetros característicos

Par de torsión en sentido horario:

Par de torsión de calibración en N·m	b'/Y en %	b/Y en %	b_L/Y en %	b_V/Y en %	f_a/Y en %	f_q/Y en % ₁₎	f_a/Y en % ₂₎	f_a/Y en % ₃₎	h/Y en %
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,050	0,035	0,000	0,173	0,008	0,075	0,019	0,019	0,050
4	0,050	0,035	0,000	0,173	0,009	0,075	0,019	0,019	0,025
10	0,020	0,014	0,020	0,173	0,007	0,070	0,014	0,014	0,040
20	0,000	0,000	0,040	0,173	0,000	0,060	0,004	0,004	0,040
40	0,015	0,012	0,055	0,173	-0,001	0,054	-0,003	-0,003	0,035
60	0,017	0,014	0,057	0,173	0,000	0,053	-0,003	-0,003	0,023
80	0,012	0,011	0,052	0,173	0,000	0,055	-0,001	-0,001	0,012
100	0,008	0,009	0,048	0,173	0,000	0,058	0,002	0,002	-

Par de torsión en sentido antihorario:

Par de torsión de calibración en N·m	b'/Y en %	b/Y en %	b_L/Y en %	b_V/Y en %	f_a/Y en %	f_q/Y en % ₁₎	f_a/Y en % ₂₎	f_a/Y en % ₃₎	h/Y en %
-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2	-0,050	-0,035	0,000	0,173	0,008	0,075	0,019	0,019	0,050
-4	-0,050	-0,035	0,000	0,173	0,009	0,075	0,019	0,019	0,025
-10	-0,020	-0,014	0,020	0,173	0,007	0,070	0,014	0,014	0,040
-20	0,000	0,000	0,040	0,173	0,000	0,060	0,004	0,004	0,040
-40	-0,015	-0,012	0,055	0,173	-0,001	0,054	-0,003	-0,003	0,035
-60	-0,017	-0,014	0,057	0,173	0,000	0,053	-0,003	-0,003	0,023
-80	-0,012	-0,011	0,052	0,173	0,000	0,055	-0,001	-0,001	0,012
-100	-0,008	-0,009	0,048	0,173	0,000	0,058	0,002	0,002	-

Explicaciones:

Dado que la llave de transferencia del par de torsión tiene un perfil de conexión fijo, la contribución del perfil de conexión se derivó de una medición anterior con otra llave de transferencia sin conexión fija. En esta medición efectuada anteriormente se obtuvo - según lo determinado en la Tabla 4 - una desviación estándar máxima w_V del 0,05 % para el parámetro perfil de conexión. Con esto, se puede calcular b_V/Y .

Más explicaciones: véase arriba "Resultado de calibración".

	Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas https://doi.org/10.7795/550.20200825B	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	26 / 29

Funciones de regresión

Se especifican las funciones de regresión para los casos mencionados arriba. Con

X - siendo la indicación del objeto a calibrar y

M - siendo el par de torsión correspondiente.

1. Función de regresión cúbica

- Par de torsión en sentido horario

$$X = 1,00068 \cdot M - 0,46 \cdot 10^{-5} \cdot M^2 + 0,37 \cdot 10^{-7} \cdot M^3$$

$$M = 0,99932 \cdot X + 0,46 \cdot 10^{-5} \cdot X^2 - 0,37 \cdot 10^{-7} \cdot X^3$$

- Par de torsión en sentido antihorario

$$X = 1,00068 \cdot M + 0,46 \cdot 10^{-5} \cdot M^2 + 0,37 \cdot 10^{-7} \cdot M^3$$

$$M = 0,99932 \cdot X - 0,46 \cdot 10^{-5} \cdot X^2 - 0,37 \cdot 10^{-7} \cdot X^3$$

2. Función de regresión lineal, separadamente para el par en el sentido horario y antihorario

- Par de torsión en sentido horario

$$X = 1,00056 \cdot M$$

$$M = 0,99944 \cdot X$$

- Par de torsión en sentido antihorario

$$X = 1,00056 \cdot M$$

$$M = 0,99944 \cdot X$$

3. Función de regresión lineal, de manera conjunta para el par en el sentido horario y antihorario

$$X = 1,00056 \cdot M$$

$$M = 0,99944 \cdot X$$

Clasificación (véase Apéndice E)

Clase	Función de regresión cúbica 1		Función de regresión lineal 2		Función de regresión lineal 3	
	de	hasta	hasta	hasta	de	hasta
	in N·m		en N·m		en N·m	
	Par de torsión en sentido horario					
0,1 0,2 0,5 1	2	100	2	100	2	100
	Par de torsión en sentido antihorario					
0,1 0,2 0,5 1	-2	-100	-2	-100	-2	-100

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	27 / 29

Apéndice D Margen de desviación relativa

Según GUM [4], los resultados de las mediciones deben ser corregidos por todas las desviaciones sistemáticas significativas conocidas. Puede ser que esto implique un mayor esfuerzo como, por ejemplo, en los siguientes casos:

- instrumentos de medición con escala en unidades de par no ajustable y para los cuales se ha detectado una fluctuación significativa de la indicación
- instrumentos de medición que permiten ajustar la escala mediante una función de regresión lineal, pero a los que habría que aplicar una función de orden superior debido a la significativa no linealidad encontrada

En tales casos, el margen de desviación relativa se calcula de acuerdo con los puntos (12) o (13). No se trata de una incertidumbre de medida, sino más bien de un límite de especificación cuyo objetivo es facilitar la comparación entre diferentes instrumentos de medida, incluidos aquellos para los que se ha calculado una incertidumbre relativa expandida de medida según GUM.

Si los instrumentos de medición aquí considerados forman parte de una cadena de trazabilidad, la incertidumbre estándar de sus valores medidos no deberá obtenerse dividiendo los márgenes de desviación relativos por el factor de cobertura k . En cambio, las desviaciones sistemáticas y las incertidumbres de medida deben considerarse por separado. Dependiendo de los requisitos de otras normas y directrices que deban tenerse en cuenta, puede ser necesario calcular magnitudes de forma análoga al margen de desviación relativa, de acuerdo con los puntos 12) o 13), lo que requiere el conocimiento de ambos tipos de contribuciones. En el caso de la presente directriz, esto se aplica tanto a los patrones utilizados para la calibración (llaves de transferencia) como a la posterior utilización de los equipos de calibración calibrados según esta directriz.

	<p>Calibración estática de instalaciones de calibración para llaves dinamométricas</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20200825B</p>	DKD-R 10-8	
		Edición:	02/2020
		Revisión:	0
		Página:	28 / 29

Apéndice E Clasificación del instrumento de medición

Principio de clasificación

El rango de medición – para el cual se asigna una clase específica al dispositivo de calibración de llaves dinamométricas – incluye todos los pares de torsión de calibración para los cuales se cumplen los criterios correspondientes de clasificación, partiendo del límite superior (es decir, valor máximo o final) del rango de medición al par de calibración más bajo.

Criterios de clasificación

El límite inferior (valor inicial del rango de medición) M_A para la clasificación debe ascender al $\leq 20\%$ de M_E (límite superior).

Han de observarse los siguientes criterios:

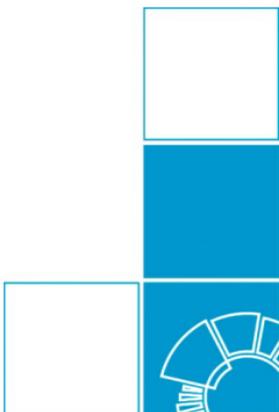
- reproducibilidad relativa b/Y
- repetibilidad relativa b'/Y
- influencia relativa de la longitud del brazo de palanca b_L/Y
- influencia relativa del perfil de conexión b_V/Y y
- desviación relativa de regresión f_a/Y o desviación relativa de indicación f_q/Y .

En la tabla E.1 se muestran los valores admisibles de estos diferentes parámetros para las respectivas clases de los dispositivos de calibración y la correspondiente incertidumbre expandida relativa del par de calibración.

En la última columna se indica la máxima incertidumbre relativa expandida admisible (o margen de desviación relativa) de la llave de transferencia del par de torsión utilizada como patrón de transferencia para la calibración.

Tabla E.1: Características de clasificación del dispositivo de calibración para llaves dinamométricas

Clase	$ b/Y $ en %	$ b'/Y $ en %	$ b_L/Y $ en %	$ b_V/Y $ en %	$ f_a/Y $ o $ f_q/Y $ en %	Límite inferior M_A	W_{TN} ($k = 2$) en %
0,1	0,10	0,05	0,10	0,10	0,05	$\geq 2000 r$	0,02
0,2	0,20	0,10	0,20	0,20	0,10	$\geq 1000 r$	0,04
0,5	0,50	0,25	0,50	0,50	0,25	$\geq 400 r$	0,10
1	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	$\geq 200 r$	0,20



Publicado por:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Deutscher Kalibrierdienst

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

www.dkd.eu

www.ptb.de