

Calibración de un dinamómetro

En esta parte sólo se trata la calibración de un sensor con fuerzas estáticas. No se tiene en cuenta el aspecto dinámico.

Como la relación entre la fuerza aplicada a un dinamómetro y la medición de su señal de salida no se puede determinar con precisión en el momento de su fabricación ni mediante cálculo, es necesario realizar una calibración del dinamómetro. Esta operación consiste en establecer la relación precisa entre la fuerza aplicada al dinamómetro - "magnitud de entrada" - y la señal eléctrica que suministra - "magnitud de salida".

Concretamente, la operación consiste en aplicar al dinamómetro fuerzas conocidas con precisión y obtener los valores proporcionados por el equipo electrónico asociado al sensor. Los resultados obtenidos se aportan en forma de una tabla de valores o de un polinomio matemático que permiten al usuario del dinamómetro conocer el valor de la fuerza a partir de la indicación suministrada por el equipo electrónico asociado. La determinación de la incertidumbre asociada también forma parte de la calibración. Ésta se establece de conformidad con la "Guía para la expresión de la incertidumbre de medición", elaborada por la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (BIPM).

La calibración se realiza generalmente aplicando el protocolo definido por la norma internacional ISO 376. La norma ASTM E 74 constituye también un protocolo propio en Estados Unidos. También se pueden definir otros protocolos de calibración en función de la utilización del dinamómetro y del nivel de incertidumbre que se busque.

La calibración de un dinamómetro debe efectuarse con fuerzas de referencia en la unidad de fuerza (el Newton), tal y como lo define el Sistema Internacional de Unidades (SI). La trazabilidad de este sistema de unidades únicamente queda garantizada por los laboratorios de calibración que aplican la norma ISO 17025, acreditados por uno de los organismos nacionales de acreditación (SMB, COFRAC, DKD, UKAS...).

APLICACION DE LOS ESFUERZOS AL SENSOR

El banco de calibración debe poder aplicar fuerzas unidireccionales en el eje de esfuerzo del sensor. A tales efectos, el eje mediante el cual el banco aplica las fuerzas debe materializarse, y el sensor debe estar centrado en este eje. Esto queda garantizado por un montaje mecánico estricto del sensor sobre el banco de calibración.

Independientemente de su calidad metrológica, un banco de calibración no genera nunca esfuerzos perfectamente unidireccionales. En el sensor también se aplican componentes de esfuerzo y de pares parásitos, debidos a las imperfecciones del banco. Las indicaciones suministradas por el dinamómetro se encuentran afectadas según la sensibilidad del sensor con respecto a dichos esfuerzos. La señal eléctrica aumenta o disminuye según la dirección de estos componentes parásitos. Ahora bien, la dirección de éstos son generalmente constantes para una fuerza dada del banco de calibración. La importancia de la interacción entre el dinamómetro calibrado y los esfuerzos parásitos generados por el banco de calibración se hace evidente mediante un procedimiento particular. Se realizan varias series de aplicación de esfuerzos y, entre cada serie, el sensor gira alrededor de su eje de esfuerzo, en un ángulo que representa una vuelta completa, dividida por el número de series de medición, es decir, un ángulo de 180° para 2 series, 120° para 3 series o 90° para 4 series. La media de los resultados obtenidos en un cojinete de carga dado suprime una gran parte de la influencia de los esfuerzos parásitos y su dispersión (o reproductibilidad) y es un buen indicador de esta influencia.

Por último, la respuesta del sensor a las peticiones depende enormemente de la forma en que las tensiones aplicadas se reparten por el interior del sensor. A tales efectos, las características geométricas y funcionales de las piezas mecánicas de unión con el banco de calibración son esenciales y condicionan los resultados de la calibración. Por consiguiente, deben definirse y describirse con precisión.

DISPOSITIVO ELECTRICO ASOCIADO AL SENSOR

Deben tenerse en cuenta dos casos, dependiendo de si el sensor cuenta con un dispositivo eléctrico asociado o no.

En el primer caso, deben definirse las condiciones de ajuste de la cadena de medición. Si esta cadena está provista de un dispositivo de calibrado, éste debe ser activado, recuperado y, eventualmente, ajustado en función de las necesidades del usuario. Si se efectúa un ajuste del calibrado, esto implicará una pérdida de la trazabilidad de las mediciones efectuadas con el dinamómetro y deberán recuperarse los valores del calibrado obtenidos antes y después de su ajuste. Una modificación del calibrado después de la calibración invalida esta calibración.

Cuando sólo hay que calibrar el sensor, el laboratorio de calibración le asocia un dispositivo de medición que permite alimentar eléctricamente el sensor y medir la señal de salida. Las características y los ajustes de estos dispositivos de alimentación y de medición deben definirse con precisión, de acuerdo con el usuario del sensor. Hay que precisar las conexiones eléctricas realizadas. Debe garantizarse la trazabilidad de las mediciones eléctricas en el Sistema Internacional de Unidades (SI). Los resultados de la calibración no se aplicarán a menos que el usuario asocie al sensor una cadena de medición que presente características y ajustes similares a los obtenidos durante la calibración, con una garantía similar a la de la trazabilidad eléctrica.

En todos los casos, el usuario del dinamómetro debe integrar en el cálculo de la incertidumbre las fuerzas medidas con este dinamómetro los componentes que tienen en cuenta la sustitución del dispositivo eléctrico asociado al sensor.

PRINCIPALES PARAMETROS DE CALIBRACION DE UN DINAMOMETRO

Los principales parámetros necesarios para definir una calibración son los siguientes:

- Identificación del sensor y de la instrumentación asociada al sensor, incluyendo los cables de conexión
- El sentido de sollicitación del sensor: tracción y/o compresión.
- La naturaleza y las características de las interfaces mecánicas utilizadas para aplicar las fuerzas.
- El área de calibración definida por las fuerzas máximas y mínimas aplicadas
- Aplicación de las cargas crecientes únicamente, o crecientes y decrecientes
- Las condiciones de carga del sensor: precargas eventuales, tiempo de espera para estabilizar la fuerza, tiempo de relajación entre dos series de carga, etc.
- La incertidumbre de calibración o la clase de precisión buscada

CARACTERISTICAS METROLOGICAS

Las principales características metroológicas derivadas de una calibración son las siguientes:

- La resolución del dinamómetro. Ésta corresponde al incremento más pequeño de lectura de la indicación.
- La repetibilidad de las mediciones. Ésta caracteriza la dispersión de las indicaciones obtenidas durante varias series de mediciones para un mismo cojinete de carga, efectuadas sin modificar la posición del sensor sobre el banco de calibración.
- La reproductibilidad de las mediciones. Ésta caracteriza la dispersión de las indicaciones obtenidas durante varias series de mediciones para un mismo cojinete de carga, efectuadas sin modificar la posición angular del sensor entre las series de mediciones.
- La reversibilidad o histéresis. Caracteriza la diferencia las indicaciones obtenidas en un mismo cojinete de carga mediante carga creciente y, después, decreciente.
- Error de conformidad, interpolación o linealidad. Las indicaciones obtenidas en función de las cargas aplicadas pueden modelarse mediante un polinomio que permita calcular la señal suministrada por el

dinamómetro para un valor cualquiera de la fuerza en el área de la calibración. Las diferencias constatadas entre los valores medios de las indicaciones derivadas en cada cojinete de carga y las dadas por el polinomio definen los errores de conformidad o de interpolación, denominadas también error de no linealidad si la modelación es una recta.

- Fluencia bajo carga. Esta característica traduce el hecho de que la indicación derivada bajo una carga mantenida constante evoluciona lentamente debido al hecho de un comportamiento imperfectamente elástico del material y de los elementos detectores del sensor. Esto implica una indecisión en relación con la indicación derivada. Para paliar este inconveniente, se definen duraciones de mantenimiento de la carga y de espera tras la suspensión de esta carga. Una evaluación de la importancia de este fenómeno se lleva a cabo derivando en condiciones determinadas la indicación de fuerza nula al final de cada serie de aplicación de las fuerzas en el sensor. Esta característica es muy importante, ya que condiciona ampliamente la calidad de la calibración.

RESULTADO E INCERTIDUMBRE DE CALIBRACION

La mejor forma de dar el resultado de la calibración es suministrar al usuario del sensor un polinomio de grado 1, 2 ó 3 que le permita calcular la fuerza en función de la indicación suministrada por el dinamómetro. Por ejemplo, en el caso del grado 2, este resultado tiene la forma siguiente:

Donde:

F es la fuerza aplicada al dinamómetro en unidades de fuerza (mN, daN, kN, MN)

a, b y c son constantes

es la deformación del dinamómetro por la fuerza F

Indicación con fuerza F

Indicación con fuerza nula

Del mismo modo, la mejor expresión de la incertidumbre de calibración tiene esta forma: ()

U = incertidumbre ampliada sobre la fuerza F con un factor de ampliación $k = 2$

A = constante expresada en unidades de fuerza

B = constante sin dimensión

La incertidumbre de calibración se calcula teniendo en cuenta, como mínimo, las componentes siguientes:

- incertidumbre de las fuerzas aplicadas al sensor
- resolución de la indicación
- repetibilidad de las indicaciones
- reproductibilidad de las indicaciones
- la separación de indicación de fuerza nula antes y después de aplicar una serie de cargas
- la temperatura y sus fluctuaciones durante la calibración
- error de interpolación

Estas distintas componentes se evalúan en cada cojinete de fuerza y se calcula la incertidumbre combinada correspondiente. A continuación se aplica una regresión lineal en función de la fuerza a las incertidumbres combinadas y el resultado se amplía con el factor de ampliación igual a 2.

Cuando el dinamómetro suministra indicaciones directamente en unidades de fuerza. Los resultados de la calibración se indican generalmente en forma de errores de indicación para cada cojinete de fuerza, con su

incertidumbre correspondiente, que se establece teniendo en cuenta las componentes citadas anteriormente.

Los resultados de la calibración de un dinamómetro deben estar acompañadas por todos los elementos necesarios para su comprensión y para utilizar correctamente el dinamómetro. Deben precisarse todos los parámetros de calibración. Esto incluye, en particular, el montaje mecánico de aplicación de los esfuerzos y los ajustes del dispositivo indicador asociado al sensor.

UTILIZACION DE UN DINAMOMETRO

La utilización de un dinamómetro debe realizarse respetando los parámetros definidos durante su calibración. Todo cambio significativo, en relación con estas condiciones, va dirigido a anular los resultados de la calibración.

La incertidumbre respecto a la fuerza medida con un dinamómetro calibrado debe evaluarse teniendo en cuenta lo siguiente:

- la incertidumbre de calibración del dinamómetro
- los componentes que caracterizan el dinamómetro y la medición realizada: resolución, repetibilidad y reproductibilidad de las mediciones, efecto de la temperatura, fluencia, etc.
- los componentes que resultan de una diferencia eventual en relación con las condiciones de calibración: cambio del indicador de medición, procedimiento de carga o aplicación de fuerzas diferentes, etc.
- un componente que haga intervenir la evolución de la sensibilidad del dinamómetro desde la calibración anterior.

La estabilidad en el tiempo de sensibilidad de un dinamómetro no queda garantizada, por lo que resulta necesario proceder periódicamente a su re-calibración, en unos intervalos que dependen esencialmente del sensor y del uso que se le vaya a dar. A título indicativo, la norma ISO 376 recomienda un intervalo no superior a 2 años.