

INDICE

	Página
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	1
2 INTRODUCCIÓN	2
3 DESARROLLO.....	2
3.1 Calibración tipo 1.1: Calibración externa de una MMC dedicada a la verificación de piezas	2
3.2 Calibración tipo 1.2: Calibración externa de una MMC dedicada a la calibración ENAC de patrones e instrumentos.	4
3.3 Calibración tipo 2.1: Calibración interna de una MMC dedicada a la verificación de piezas dentro del ámbito de una acreditación ENAC.....	4
3.4 Calibración tipo 2.2: Calibración interna de una MMC dedicada a la calibración ENAC de patrones e instrumentos	4
4 ESPECIFICACIONES ADICIONALES PARA LAS CALIBRACIONES TIPO 1.1 Y 2.1.	5
4.1 Metodología	5
4.2 Requisitos sobre los patrones del LC-ENAC.....	6
4.3 Certificado de calibración	7
4.4 Alcance y capacidad óptima de medida	8
5 VERIFICACIÓN DE MMCs BIDIMENSIONALES	9
6 REFERENCIAS	9

MODIFICACIONES RESPECTO A LA REVISIÓN ANTERIOR

Se elimina la posibilidad de calibrar por sub-volúmenes, de acuerdo a lo tratado en el Subcomité Técnico de Calibración Dimensional

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Este documento tiene como objeto establecer los criterios de ENAC en cuanto a la trazabilidad transmitida mediante máquinas medidoras por coordenadas (MMCs) cartesianas con sistemas de palpado mecánico u óptico, en función de la versión de norma ISO 10360-2 que aplique, utilizadas tanto en laboratorios de calibración como en laboratorios de ensayo.

Por tanto, es de aplicación a ambos tipos de laboratorios siempre que calibren o empleen máquinas medidoras por coordenadas, por lo que se ha de entender desde ambos puntos de vista: desde el punto de vista del calibrador y desde el punto de vista del usuario.

En el desarrollo del documento se indicarán los criterios de aplicación tanto en máquinas cuyas especificaciones hagan referencia a la norma en versión anterior UNE-EN ISO 10360-2:2002^[1], como a máquinas cuyas especificaciones hagan referencia a la norma en su versión actual UNE-EN ISO 10360-2:2010^[2].

Resulta necesaria la coexistencia de los requisitos correspondientes a ambas versiones de la norma, ya que el laboratorio al que aplique esta Nota Técnica, podrá calibrar o emplear máquinas con especificaciones referenciadas a una versión u otra de la norma, dependiendo de su año de fabricación.

Es importante indicar, que el laboratorio deberá siempre aplicar los requisitos conforme a la norma que marque las especificaciones de la MMC, no pudiendo utilizar los incluidos en este documento para la versión obsoleta, para máquinas cuyas especificaciones están referenciadas a la versión actual de la norma.

Quedan excluidos del campo de aplicación de esta Nota Técnica los brazos de medida y las máquinas de visión.

La base de este documento fue aprobada en la reunión número N° 35 del Subcomité Técnico de Calibración Dimensional de ENAC.

2 INTRODUCCIÓN

En este documento se analizan los distintos tipos de calibraciones ENAC en las que podría verse involucrada una máquina medidora por coordenadas:

1. Calibraciones externas (*in situ*) de MMC
 - 1.1 Calibración *in situ* de una MMC, cuya labor metrológica se limita a la verificación de piezas, por parte de un laboratorio acreditado por ENAC.
 - 1.2 Calibración *in situ* de una MMC, cuya labor metrológica incluye la calibración ENAC de patrones, por parte de un laboratorio acreditado por ENAC.
2. Calibraciones internas de MMC
 - 2.1 Calibración, por parte del mismo laboratorio ENAC, de una MMC que dicho laboratorio utiliza para verificación de piezas.
 - 2.2 Calibración, por parte del mismo laboratorio ENAC, de una MMC que dicho laboratorio utiliza para la calibración ENAC de patrones.

3 DESARROLLO

3.1 Calibración tipo 1.1: Calibración externa de una MMC dedicada a la verificación de piezas

Este apartado hace referencia a la calibración "*in situ*" de una MMC por parte de un laboratorio acreditado por ENAC. La actividad metrológica de la MMC no debe incluir la calibración ENAC de patrones y debiera reducirse exclusivamente a la verificación de piezas.

a) Máquinas cuyas especificaciones están referenciadas a la norma UNE-EN ISO 10360-2:2002^[1]

Para este tipo de calibraciones es suficiente una verificación según la norma decir UNE EN ISO 10360 2:2002. ^[1] Los patrones a utilizar en esta verificación (denominados patrones de verificación de aquí en adelante) deberán ser patrones materiales como, por ejemplo, bloques patrón longitudinales, bloques patrón múltiples ("step gauges"), artefactos de esferas u otro tipo de patrones materiales equivalentes, siempre y cuando las medidas sean solamente medidas bidireccionales.

La longitud del patrón de mayor valor nominal utilizado en una posición (orientación) determinada debe ser igual o superior al 66% de la longitud máxima medible por la MMC en dicha posición, a no ser que haya un acuerdo cliente-laboratorio para poder calibrar en un campo reducido la MMC, siempre y cuando se identifique de forma adecuada en el certificado de calibración que los resultados no son extensibles a todo el volumen de medición permitido en la MMC.

Únicamente es aplicable a máquinas de sistema de palpado mecánico.

La verificación UNE-EN ISO 10360-2:2002 puede completarse con una calibración de la MMC en la cual se hayan determinado algunos parámetros de la máquina (junto con sus respectivas incertidumbres) como, por ejemplo, los errores de perpendicularidad entre ejes y los factores de calibración de las escalas de los ejes. El objeto de esta calibración es facilitar al usuario los parámetros necesarios para la elaboración de modelos de estimación de incertidumbres.

Asimismo, la incertidumbre de uso de los patrones de verificación deberá ser igual o inferior a un tercio del error máximo de indicación admisible especificado para la MMC a verificar, para el nominal respectivo (véase apartado 4 caso a).

b) Máquinas cuyas especificaciones están referenciadas a la norma UNE-EN ISO 10360-2:2010^[2]

Análogo al caso a) para este tipo de calibraciones es suficiente una verificación según la norma UNE EN ISO 10360-2:2010^[2]. La calibración es aplicable a máquinas con sistema de palpado mecánico u óptico. Los patrones a utilizar en esta verificación (denominados patrones de verificación de aquí en adelante) pueden ser bloques patrón longitudinales, patrones escalonados, sistemas interferométricos láser, barras o placas de bolas u otros similares. Éstos deberán cumplir con los requisitos establecidos en la norma UNE EN ISO 10360-2:2010^[2] en el anexo B y en el apartado 6.3.2 y deberá poseerse una estimación de su coeficiente de dilatación lineal (CTE, también denominado coeficiente de expansión térmica). Siempre que sea posible y salvo especificación en contrario, se utilizarán patrones con CTE normal (apartado 3.3 de la norma UNE EN ISO 10360-2:2010). A estos efectos, los sistemas interferométricos láser se considerarán patrones de bajo CTE (apartado 6.3.3.3 de la norma UNE EN ISO 10360-2:2010).

Si la longitud de la diagonal espacial de la MMC es igual o inferior a dos metros, se recomienda el uso de patrones materiales con CTE normal frente a sistemas interferométricos láser. La longitud del patrón de mayor valor nominal utilizado en una posición (orientación) determinada debe ser igual o superior al 66% de la longitud máxima medible por la MMC en dicha posición.

Salvo indicación en contrario por parte del cliente y por escrito, se considera obligatorio el ensayo E_{150} descrito en el apartado 6.5 de la norma UNE-EN ISO 10360-2:2010, (ver apartado 4.1 b).

Para poder declarar que la MMC cumple con especificaciones deberá verificarse, para todos los patrones de verificación y para todas las repeticiones, que la suma del valor absoluto del error de indicación (E) más la incertidumbre de uso del patrón de verificación sea inferior o igual (véase apartado 4) al máximo error permitido en la medida de longitud ($E_{L,MPE}$). En el caso de utilizarse patrones de bajo CTE con ajuste matemático (anexo D de la norma UNE EN ISO 10360-2:2010) o interferómetros láser a la incertidumbre de uso de los patrones deberán sumarse las contribuciones del termómetro calibrado, la contribución por deriva temporal del patrón y la contribución asociada a la incertidumbre del CTE.

Asimismo, la incertidumbre de uso de los patrones de verificación deberá ser igual o inferior al máximo error permitido en la medida de longitud especificado para la MMC a verificar, para el nominal respectivo (véase apartado 4).

Al igual que en el caso a) la verificación puede completarse con una calibración de la MMC en la cual se hayan determinado algunos parámetros de la máquina (junto con sus respectivas incertidumbres) como, por ejemplo, los errores de perpendicularidad entre ejes y los factores de calibración de las escalas de los ejes. El objeto de esta calibración es facilitar al usuario los parámetros necesarios para la elaboración de modelos de estimación de incertidumbres.

3.2 Calibración tipo 1.2: Calibración externa de una MMC dedicada a la calibración ENAC de patrones e instrumentos.

Este apartado hace referencia a una MMC, entre cuyas actividades metrológicas se incluye la calibración ENAC de patrones, ya sean propios o de clientes, cuando la calibración de la MMC se encarga a un laboratorio ENAC distinto del propietario de la MMC.

La utilización de una MMC para calibrar patrones es una labor delicada dado que los resultados de dichas calibraciones pueden verse afectados por un gran número de factores.

Es responsabilidad exclusiva del usuario de la MMC la justificación y determinación de las incertidumbres de uso asociadas a todas y cada una de las actividades de calibración ENAC en las que intervenga la MMC.

Asimismo, es también responsabilidad del usuario de la MMC asegurar la trazabilidad en dichas actividades de calibración donde la MMC interviene.

Por todo lo anterior, no se podrán utilizar certificados de calibración externa ENAC de la MMC como única justificación de la trazabilidad de las calibraciones de patrones realizadas por dicha medidora.

3.3 Calibración tipo 2.1: Calibración interna de una MMC dedicada a la verificación de piezas dentro del ámbito de una acreditación ENAC

Este apartado hace referencia a la calibración interna por parte de un laboratorio acreditado por ENAC, de una MMC de su propiedad que dicho laboratorio utiliza en labores de verificación de piezas incluidas en el ámbito de su acreditación ENAC.

Los requisitos de este tipo de calibración son idénticos a los de las calibraciones tipo 1.1 aplicando el correspondiente apartado a) o b), en función de la versión de la norma UNE-EN ISO 10260-2 a la que haga referencia las especificaciones de la máquina.

3.4 Calibración tipo 2.2: Calibración interna de una MMC dedicada a la calibración ENAC de patrones e instrumentos

Este apartado hace referencia a la calibración, por parte de un mismo laboratorio acreditado por ENAC, de una MMC de su propiedad que dicho laboratorio utiliza para la calibración ENAC, interna o externa, de patrones.

Existen dos alternativas para resolver el problema de la trazabilidad en calibraciones de patrones realizadas con MMCs:

- a. Utilización de la MMC como un comparador. En este caso el laboratorio debe poseer una colección de patrones de referencia que cubra razonablemente bien el rango de los patrones que quiere calibrar. Los patrones de referencia deberán ser muy similares a los que se desea calibrar.

Se requiere una verificación UNE-EN ISO 10360-2 previa (o una actuación de nivel metrológico equivalente o superior).

Sin embargo, dicha verificación no es suficiente para garantizar la trazabilidad de la MMC en actividades de calibración ENAC. Por ello, es imprescindible realizar una calibración de la MMC con el fin de determinar ciertos parámetros de la máquina que van a ser necesarios, bien en la aplicación de correcciones durante la medición de los patrones por comparación o bien durante la estimación de las incertidumbres de dichas medidas.

- b. Justificación adecuada de la incertidumbre y la trazabilidad de la MMC en situaciones de mayor generalidad. Esto requeriría técnicas especiales de calibración y de estimación de incertidumbres.

4 ESPECIFICACIONES ADICIONALES PARA LAS CALIBRACIONES TIPO 1.1 Y 2.1.

Las calibraciones tipo 1.1 y 2.1 incluyen una verificación de la MMC de acuerdo con lo indicado en la norma UNE-EN ISO 10360-2:2002^[1] o en la norma UNE-EN ISO 10360-2:2010^[2], según la versión de la norma que aplique a las especificaciones de la MMC. El presente apartado establece los límites de algunos parámetros que intervienen en la misma con objeto de alcanzar una mayor uniformidad y coherencia en los resultados de dicha calibración cuando se realiza por diferentes laboratorios acreditados.

Asimismo, las condiciones especificadas en el presente documento constituirán criterios objetivos que deberán exigirse en las auditorías de primera acreditación y sucesivas. De esta forma, se asegurará a los usuarios de este tipo de calibraciones que los alcances de los laboratorios de calibración acreditados ENAC (en adelante, LC-ENAC) se refieren a calibraciones similares.

4.1 Metodología

a) Máquinas cuyas especificaciones están referenciadas a la norma UNE-EN ISO 10360-2:2002^[2]

De acuerdo con la terminología de la norma UNE-EN ISO 10360-2:2002^[1], la calibración consiste en la verificación de que los “errores de indicación para medidas dimensionales (E)” y el “error de palpado (P)” no superan unos valores máximos previamente establecidos que se denominan “error máximo de indicación admisible (MPE_E)” y “error máximo de palpado admisible (MPE_P)”, respectivamente.

Para el “error máximo de indicación admisible” se suele adoptar una ley lineal expresada mediante

$$MPE_E(L) = A + B \cdot L \quad (L : \text{longitud medida})$$

y es habitual utilizar como “error máximo de palpado admisible”

$$MPE_P = A$$

Si $U_{95}(L)$ es la incertidumbre de uso del patrón de nominal L del LC-ENAC, la verificación deberá realizarse imponiendo la condición

$$|E| \leq MPE_E(L) - U_{95}(L) \quad (1)$$

Asimismo, deberá verificarse que

$$P \leq MPE_P \quad (2)$$

b) Máquinas cuyas especificaciones están referenciadas a la norma UNE-EN ISO 10360-2:2010^[2]

De acuerdo con la terminología de la norma UNE-EN ISO 10360-2:2010^[2] la calibración consiste en la verificación de que los “errores de indicación” (E_0 , o en su caso, E_L , siendo L la desviación en la punta del palpador del eje del cabezal) y el “rango de repetibilidad” (R_0) no superan el máximo error permitido $E_{L,MPE}$ y el máximo límite permitido $R_{0,MPL}$ respectivamente.

En el caso de que la MMC utilice sistemas de palpado con palpador múltiple o sencillo se recomienda aplicar los ensayos establecidos en la norma UNE-EN ISO 10360-5:2012. El resultado se recogería en un anexo al certificado donde se debería también incluir el defecto de esfericidad de la esfera utilizada.

Para el máximo error permitido $E_{L,MPE}$ se suele adoptar una ley lineal (para $L=0$ y para $L=150$ mm) expresada mediante :

$$E_{L,MPE}(x) = A_L + B_L \cdot x \quad (x : \text{longitud medida})$$

y es habitual utilizar como máximo límite permitido $R_{0,MPL}$

$$R_{0,MPL} = A_0$$

Si $U_{95}(x)$ es la incertidumbre de uso para el patrón de nominal x del LC-ENAC, la verificación deberá realizarse imponiendo la condición

$$|E_L| \leq E_{L,MPE}(x) - U_{95}(x) \quad (3)$$

Asimismo, deberá verificarse que

$$R_0 \leq R_{0,MPL} \quad (4)$$

4.2 Requisitos sobre los patrones del LC-ENAC

a) Máquinas cuyas especificaciones están referenciadas a la norma UNE-EN ISO 10360-2:2002^[1]

Con objeto de no penalizar excesivamente al usuario, los patrones de verificación de longitud a emplear para la calibración de la medidora por el LC-ENAC tendrán valores con incertidumbres de uso correspondientes a un intervalo de cobertura del 95% tal que:

$$U_{95}(L) \leq \frac{1}{3} MPE_E(L)$$

Se recomienda que el defecto de esfericidad D_e y su incertidumbre expandida $U_{95}(D_e)$, certificados para la bola patrón, satisfagan las relaciones siguientes:

$$D_e \leq \frac{1}{3} MPE_P ; \quad U_{95}(D_e) \leq \frac{1}{3} MPE_P$$

o, al menos, que

$$D_e + U_{95}(D_e) \leq \frac{2}{3} MPE_P$$

admitiéndose que el defecto de esfericidad pueda estimarse a partir de defectos de redondez.

Hay que tener en cuenta que una bola patrón con un defecto de esfericidad significativo contribuirá a empeorar el “error de palpado” P, pudiendo darse el caso de que MMCs en correcto estado no cumplan con la especificación de palpado (2).

Se recuerda que, entre otras cosas, la norma UNE-EN ISO 10360-2:2002 ^[1] impide utilizar la bola de referencia (bola de ajuste) de la MMC como patrón para verificar la condición (2).

b) Máquinas cuyas especificaciones están referenciadas a la norma UNE-EN ISO 10360-2:2010^[2]

Los patrones de verificación a emplear para la calibración de la medidora por el LC-ENAC tendrán sus valores certificados con incertidumbres de uso correspondientes a un intervalo de cobertura del 95% tal que:

$$U_{95}(x) < E_{L,MPE}(x)$$

4.3 Certificado de calibración

a) Máquinas cuyas especificaciones están referenciadas a la norma UNE-EN ISO 10360-2:2002^[1]

El laboratorio de Calibración Acreditado (LC-ENAC) deberá solicitar a su cliente que incluya en su solicitud de calibración una especificación para el “error máximo de especificación admisible”, de tal forma que esta documentación el laboratorio la disponga antes de proceder a la calibración. Esta especificación deberá ser de la forma:

$$MPE_E(L)$$

habitualmente $A+B \cdot L$, junto con un valor para MPE_p .

En su defecto, el LC-ENAC utilizará la establecida por el fabricante de la MMC u otra que previamente se acuerde con el solicitante.

El certificado de calibración emitido por el LC-ENAC deberá recoger la expresión $MPE_E(L)$, el valor MPE_p y declarar los valores $U_{95}(L)$, D_e y $U_{95}(D_e)$, así como la declaración de conformidad o no de la MMC con respecto a las especificaciones dadas ($MPE_E(L)$, MPE_p).

Es conveniente que el certificado de calibración incluya gráficos limitados por las rectas de especificación en los que se representen los valores obtenidos al medir los patrones para cada una de las siete series que señala la norma UNE-EN ISO 10360-2:2002 ^[1].

Para aquellas MMC en las que se ha calibrado un campo reducido de medida, siempre con acuerdo cliente-laboratorio, se deberá indicar de forma explícita que los resultados no son extensibles a otro volumen de trabajo que no sea el calibrado.

b) Máquinas cuyas especificaciones están referenciadas a la norma UNE-EN ISO-10360-2:2010^[2]

El laboratorio de Calibración Acreditado (LC-ENAC) deberá solicitar a su cliente que incluya en su solicitud de calibración una especificación para el “máximo error permitido en la medida de longitud ($E_{L,MPE}$)”, de tal forma que esta documentación el laboratorio la disponga antes de proceder a la calibración. Esta especificación deberá ser de la forma:

$$E_{L,MPE}(x)$$

habitualmente $A+B \cdot L$, junto con un valor para $R_{0,MPL}$.

En su defecto, el LC-ENAC utilizará la establecida por el fabricante de la MMC u otra que previamente se acuerde con el solicitante.

El certificado de calibración emitido por el LC-ENAC deberá recoger la expresión $E_{L,MPE}(x)$, el valor $R_{0,MPL}$ y declarar los valores $U_{95}(L)$, así como la declaración de conformidad o no de la MMC en los parámetros medidos, con respecto a las especificaciones dadas.

Es conveniente que el certificado de calibración incluya gráficos limitados por las rectas de especificación en los que se representen los valores obtenidos al medir los patrones para cada una de las siete series que señala la norma UNE-EN ISO 10360-2:2010^[2].

Los resultados del ensayo de repetibilidad deberán presentarse en una tabla donde aparezcan los rangos de variación observados sobre cada uno de los 35 patrones utilizados (7 posiciones \times 5 patrones / posición = 35 patrones).

Asimismo el certificado deberá incluir información adicional sobre:

- el CTE de los patrones utilizados
- el procedimiento de medida utilizado (unidireccional o bidireccional)
- la orientación y posición de los patrones durante la verificación

Cuando no fuera posible la utilización de patrones con CTE normal, los resultados $E_{L,MPE}$ del ensayo deberán marcarse con un asterisco (*).

Cuando el ensayo no pueda ser realizado con una desviación $L=0$ en la punta del palpador (apartado 6.3 de la norma UNE-EN ISO 10360-2:2010) deberá recogerse esta información en el certificado de calibración junto con la longitud del palpador utilizado, su orientación respecto al cabezal de la MMC y la desviación L en la punta del palpador.

4.4 Alcance y capacidad óptima de medida

a) Máquinas cuyas especificaciones están referenciadas a la norma UNE-EN ISO 10360-2:2002^[1]

En el alcance del Laboratorio de Calibración ENAC (LC-ENAC) Acreditado figurará, en la columna de Capacidad de Medida y Calibración, la especificación mínima verificable para $MPE_E(L)$ y para MPE_p .

Esta especificación mínima verificable representa la mejor $MPE_E(L)$ y MPE_p que el Laboratorio de Calibración Acreditado LC-ENAC es capaz de verificar conforme a la norma UNE-EN ISO 10360-2:2002 y de acuerdo a lo indicado en el apartado 4.2.a) de esta nota.

Se añadirá una referencia a la norma utilizada en el ensayo (UNE-EN ISO 10360-2:2002).

b) Máquinas cuyas especificaciones están referenciadas a la norma UNE-EN ISO 10360-2:2010^[2]

En el alcance del Laboratorio de Calibración ENAC (LC-ENAC) Acreditado figurará, en la columna de Capacidad de Medida y Calibración, la incertidumbre de uso de los patrones con los que se realiza la verificación. Se deberá incluir, además, información acerca del tipo de patrón utilizado aclarando, al menos, si se trata de patrones de CTE normal o de bajo CTE y una referencia a la norma utilizada en el ensayo (UNE-EN ISO 10360-2:2010).

5 VERIFICACIÓN DE MMCs BIDIMENSIONALES

En el caso de verificaciones de MMCs bidimensionales, aplicable solo con la versión de la norma UNE-EN ISO-10360-2:2010, el número de posiciones puede reducirse a un mínimo de cuatro cuyas orientaciones serían las siguientes:

- dos paralelas a la diagonales del área de medida de la MMC
- dos paralelas a los ejes.

6 REFERENCIAS

- [1] ISO 10360-2:2001. *Geometrical Product Specifications (GPS) - Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) – Part 2: CMMs used for measuring size.*

UNE-EN ISO 10360-2:2002. *Especificación geométrica de productos (GPS) – Ensayos de aceptación y de verificación periódica de máquinas de medición por coordenadas (MMC) – Parte 2: MMC utilizadas para la medición de tamaño.*

- [2] ISO 10360-2:2009. *Geometrical Product Specifications (GPS) - Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) – Part 2: CMMs used for measuring linear dimensions.*

UNE-EN ISO 10360-2:2010. *Especificación geométrica de productos (GPS) – Ensayos de aceptación y de verificación periódica de máquinas de medición por coordenadas (MMC) – Parte 2: MMC utilizadas para la medición de dimensiones lineales.*

La edición en vigor de este documento está disponible en www.enac.es. Las organizaciones acreditadas deben asegurarse de que disponen de la edición actualizada.

Puede enviar a ENAC sus puntos de vista y comentarios en relación con este documento, así como sus propuestas de cambio o de mejora para futuras ediciones, en la siguiente dirección (calidad@enac.es) indicando en el asunto el código del documento.