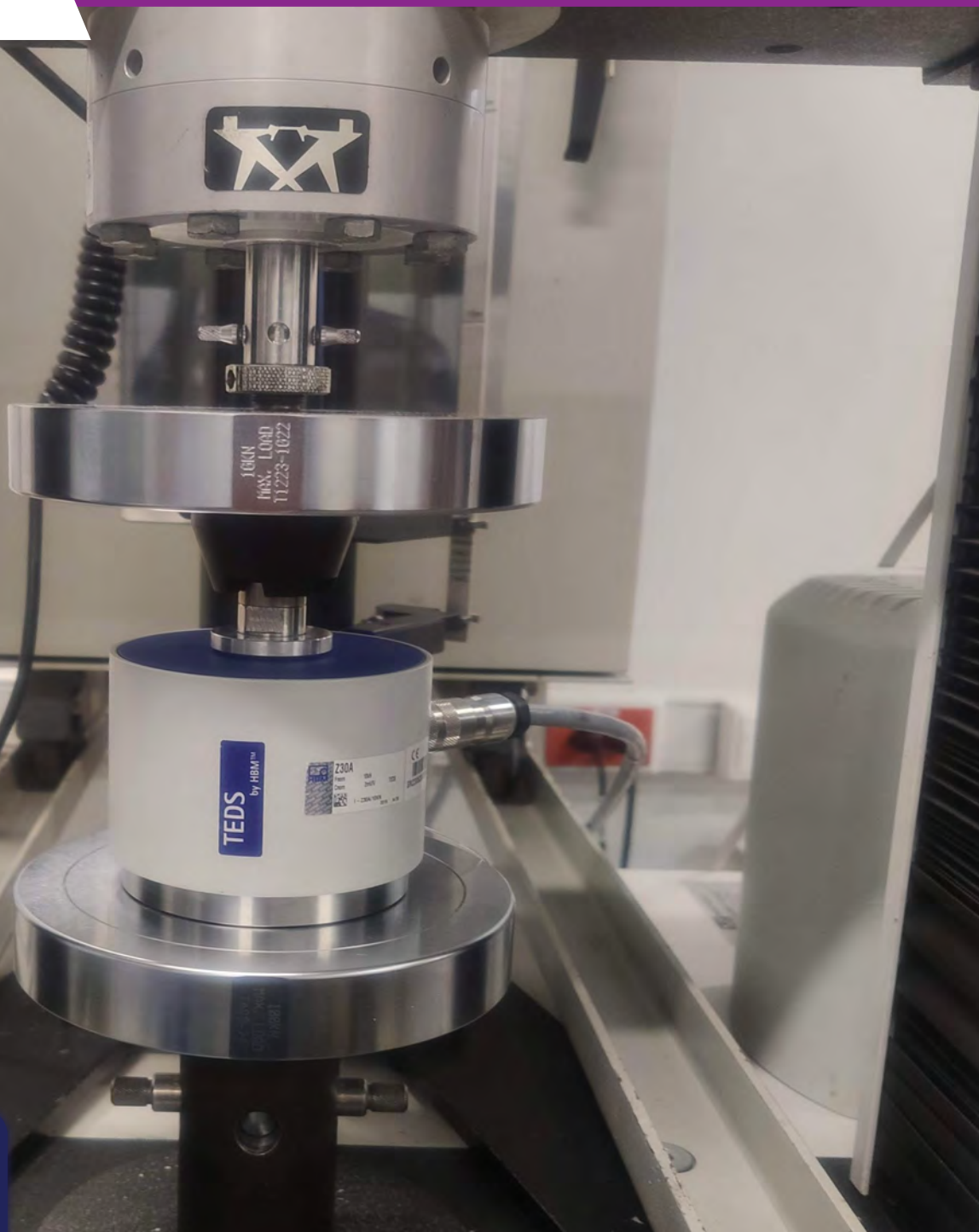


MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYO INM/GTM-F-1

Bogotá - 2022



www.inm.gov.co



INMdeColombia

Guía para la calibración de Máquina Universal de Ensayo /
Iván David Betancur [y otros tres] -- Bogotá, (Colombia) : Instituto Nacional de Metrología, 2022.

17 páginas.

Incluye referencias bibliográficas, tablas y fotos

ISBN e-Book: 978-958-53805-1-6

1. Método de calibración 2. Equipamiento 3. Condiciones ambientales 4. Proceso de calibración 5. Buenas prácticas en la calibración 6. Evaluación de la incertidumbre de medición 7. Presentación de los resultados (Colombia).

U.A.E. Instituto Nacional De Metrología (978-958-53642)

Instituto Nacional de Metrología - INM.
Av. Carrera 50 No 26 - 55 Int. 2, Bogotá.
Código Postal: 111321 - Colombia.

Esta guía es el resultado del trabajo conjunto entre el Instituto Nacional de Metrología de Colombia - INM, miembros de la Red Colombiana de Metrología - RCM (Grupos Técnicos Temáticos o Grupos Técnicos por Magnitud) y el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC con el fin armonizar métodos de calibración y propender por la uniformidad y coherencia en criterios técnicos mínimos a emplear por los laboratorios de calibración y usuarios de estos métodos. Esta guía presenta metodologías reconocidas internacionalmente y se ha elaborado recogiendo el conocimiento y la experiencia de los miembros del equipo de trabajo, de tal forma que pueda ser usada como base para la elaboración de procedimientos e instructivos prácticos por parte de los laboratorios de calibración y ensayo.

En este sentido lo consignado en esta guía se constituye en un referente para:

a. El Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC. b. Los laboratorios de calibración y ensayo que involucren los métodos o criterios técnicos consignados en esta guía. c. Los laboratorios internos de las organizaciones o fabricantes que requieran el uso de estos métodos de calibración o criterios técnicos.

Fecha de recepción: 6 de diciembre de 2021.

Fecha de evaluación: 18 de noviembre de 2021.

Fecha de aceptación: 10 de diciembre de 2021.

Preparación editorial

U.A.E. Instituto Nacional De Metrología
(978-958-53642)

Edición:

Instituto Nacional de Metrología - INM. Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC.
Laboratorios de calibración.

Corrección de estilo:

Instituto Nacional de Metrología - INM.
Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC.
Laboratorios de calibración.

Diagramación:

Instituto Nacional de Metrología - INM.
Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC.

Línea de atención al cliente: +57 (601) 254 2222.

Línea Nacional: 01 8000112542.

contacto@inm.gov.co

www.inm.gov.co

Citación sugerida:

Betancur, I. D., Arias Prieto, J. A., Maldonado Mora, N. I. & Tarazona Guerrero, P. G. (2022). Guía para la calibración de Máquina Universal de Ensayo. Instituto Nacional de Metrología.

Publicado en Bogotá, Colombia, julio de 2022.

CONTENIDO

1. OBJETIVO.....	5
2. ALCANCE	5
3. ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS	5
4. DEFINICIONES	6
5. GENERALIDADES	6
6. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	7
6.1. Método de calibración	7
6.2. Equipamiento	7
6.3. Condiciones ambientales.....	8
6.4. Proceso de calibración	8
6.5. Buenas prácticas en la calibración	9
6.6. Evaluación de la incertidumbre de medición.....	13
6.6.1. Fuentes de incertidumbre de medición	13
6.6.2. Incertidumbre expandida de medición.....	14
6.7. Presentación de los resultados.....	15
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15

EQUIPO DE TRABAJO

Este documento fue elaborado en el espacio del Grupo Técnico por Magnitud de Fuerza de la Red Colombiana de Metrología. Para el desarrollo del documento se contó con la participación del Instituto Nacional de Metrología de Colombia - INM profesional Juan Alberto Arias Prieto e Iván David Betancur Pulido, el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC y los laboratorios de calibración que han desarrollado la magnitud relacionada y que han participado en las reuniones del grupo técnico.

REVISIÓN

Mesa de Trabajo Técnico Científico de la Subdirección de Metrología Física.

1. OBJETIVO

Proporcionar lineamientos para la calibración de Máquinas de Ensayo de materiales de compresión, tracción o flexión, cumpliendo los requisitos establecidos en la Norma ISO 7500-1:2018.

Además se proporciona al lector buenas prácticas que se aconsejan seguir para un adecuado desarrollo de la calibración.

2. ALCANCE

Este documento va dirigido a los laboratorios o empresas que tengan el equipamiento requerido para realizar las calibraciones de las Máquinas de Ensayo de Materiales (ME).

Las máquinas que pueden ser calibradas según esta guía son las de compresión, tracción o flexión, también máquinas universales de ensayos (MUE) las cuales pueden realizar ensayos en ambas direcciones de carga.

Es importante aclarar que dependiendo del intervalo de medición de la máquina, se puede realizar la calibración utilizando pesas calibradas, transductores de fuerza, celdas de carga o anillo dinamométrico.

3. ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS

Abreviatura, siglas y símbolos	Significado
dT	Diferencia entre el diámetro del plato superior de carga de la MUE y la pieza de aplicación de carga
r_c	Radio de centrado
u_{rep}	Incertidumbre por repetibilidad
u_{res}	Incertidumbre por resolución del IBC
a_F	Resolución relativa del indicador de fuerza de la máquina de ensayo a la fuerza aplicada
a_z	Resolución relativa del indicador de fuerza de la máquina de ensayo a fuerza cero
U_{std}	Incertidumbre expandida del patrón
u_{std}	Incertidumbre del patrón
u_T	Incertidumbre debida a la variación de temperatura
u_{der}	Incertidumbre debida a la deriva del patrón
u_c	Incertidumbre combinada
v_{eff}	Grados efectivos de libertad
s	Desviación estándar de la muestra
F	Fuerza indicada por el IBC
r	Resolución del indicador del IBC
k	Factor de cobertura
K	Coeficiente de temperatura del instrumento, en $^{\circ}C^{-1}$. Ver numeral B.4 de (1)

ΔT	Gradiente de temperatura durante la calibración ($T_{max} - T_{min}$)
n	Número de repeticiones
f_1	Valor promedio de las series 1, 3 y 5, obtenidas en el último certificado de calibración del patrón
f_0	Valor promedio de las series 1, 3 y 5, obtenidas en la anterior a la última calibración del patrón
IBC	Instrumento bajo calibración
KCDB	Key Comparison Data Base
ME	Máquina de Ensayos
MUE	Máquina Universal de Ensayos
SI	Sistema Internacional de Unidades
CMCs	Capacidades de Medición y Calibración

4. DEFINICIONES

En esta guía aplican todos los términos y definiciones contemplados en la norma ISO 7500-1:2018 e ISO 376:376.

CADENA DE MEDICIÓN (3.10): serie de elementos de un sistema de medida que constituye la trayectoria de la señal, desde el sensor hasta el elemento de salida (2). En fuerza esta cadena está constituida por el amplificador, transductor y cable.

5. GENERALIDADES

- En la calibración de una escala, la magnitud fuerza es medida en el Instrumento bajo calibración (máquina de ensayo a tracción o compresión) a través de una cadena de medición conformada por un elemento elástico (transductor, celda de carga o anillo dinamométrico), el cable de conexión y el amplificador digital (si aplica).
- La cadena de medición debe contar con trazabilidad metrológica al SI, mediante una calibración realizada por cualquier INM, laboratorio designado con CMCs publicadas en el Anexo C del KCDB o por un laboratorio acreditado con competencia y equipamiento adecuado para tal fin. El certificado de calibración debe contener la ecuación característica del instrumento por la cual hace la conversión de unidades, desde lo medido por el instrumento patrón a unidades del SI.
- El método de calibración empleado es comparación directa, de tal manera que el medio de comparación será un transductor, celda de carga, anillo dinamométrico o pesas calibradas, medio por el cual, se establece trazabilidad al SI.
- Es importante destacar, que la calibración del IBC debe hacerse por cada escala de medición de fuerza, lo anterior teniendo en cuenta que en la industria existen máquinas de ensayo, las cuales por medio del intercambio de las celdas (instrumento sensor) es posible que la máquina tenga diferentes escalas de fuerza.

- En caso que la MUE se pueda trabajar en tracción y compresión, cada dirección de carga corresponde a una calibración independiente, como si fueran máquinas diferentes.
- Se recomienda que previamente a la calibración de la ME o MUE se realice el correspondiente mantenimiento con el fin garantizar el adecuado funcionamiento del IBC durante las mediciones.
- Cuando por alguna circunstancia la cadena de medición de fuerza presente señales de haber sido golpeado, sobrecargado (cambio en la señal cero) o presente cortes o añadiduras en el cable de conexión con el amplificador, este debe ser calibrado nuevamente.

6. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

6.1. Método de calibración

El método de calibración utilizado en esta guía, es “*Método de comparación directa*” a través del uso de un cadena de medición de fuerza o anillo dinamométrico. La comparación es de las lecturas tomadas en el dispositivo indicador de la IBC contra las lecturas indicadas del instrumento patrón

Es importante enfatizar que la resolución del patrón debe ser mejor que la del IBC y por lo tanto no debe ser una resolución establecida por software, es decir, que al momento de usar la ecuación reportada en el certificado de calibración del patrón, se puede cometer el error de poner una resolución mayor a la real, por lo tanto se recomienda que la resolución del patrón sea 10 veces mejor a la del IBC.

6.2. Equipamiento

Siguiendo los lineamientos de la Norma ISO 7500-1:2018 (3), es importante que al momento de realizar la calibración de las máquinas de ensayo, el laboratorio encargado de la calibración, cuente con el siguiente equipamiento:

- Instrumento patrón: Generalmente constituido por el transductor, celda de carga o anillo dinamométrico, junto con el cable y el amplificador digital (si aplica). En algunos casos, dependiendo del intervalo de calibración del IBC (por lo general inferior a los 500 N), se puede usar pesas calibradas por un laboratorio competente para tal fin.
- Pie de rey: Teniendo en cuenta que se debe asegurar la aplicación axial de la fuerza, es necesario realizar el centrado del patrón con respecto al plato superior del IBC.
- Nivel de precisión: Usado para verificar el estado de nivelación del IBC.
- Medidor de condiciones ambientales: Se requiere monitorear durante toda la calibración las condiciones ambientales, siendo la temperatura la variable más importante a tener bajo control, de tal manera que no se salgan de especificaciones.

- Galgas de espesores: Utilizadas para medir la posible deformación de los platos de compresión.
- Regla Biselada: Utilizada junto con las galgas, para medir la posible deformación de los platos de compresión.
- Durómetro: Se requiere medir la dureza de los platos de compresión.
- Pieza para aplicación de la carga en compresión: se refiere a los accesorios utilizados en el instrumento patrón, deben ser los mismos utilizados en la calibración. Para la fabricación de las piezas se recomienda seguir los lineamientos de (1), Anexo A.
- Piezas para aplicación de la carga en tracción: Generalmente constituidos por dos juegos de espigos, tuercas y arandelas, deben ser los mismos utilizados en la calibración. Para la fabricación de las piezas se recomienda seguir los lineamientos de (1), Anexo A.
- Otros accesorios adicionales: en caso que el montaje del patrón requiera piezas adicionales para garantizar la axialidad y la libre acomodación del patrón, las piezas adicionales deben ser diseñadas y simuladas con el fin de asegurar que los elementos adicionales soporten la carga de calibración.

Nota: Los instrumentos auxiliares, como el pie de rey, nivel de precisión, galgas de espesores, regla biselada y durómetro, no requieren contar con un certificado de calibración, se considera que una comprobación metrológica es suficiente.

6.3. Condiciones ambientales

La calibración se lleva a cabo bajo las siguientes condiciones:

Temperatura ambiente entre: 10 °C y 35 °C según (3), la humedad relativa ambiente no debe sobrepasar el 70 %HR, para evitar posibles oxidaciones y daños prematuros de los equipos.

Se debe establecer un tiempo de al menos 1 hora para permitir que la cadena de medición de fuerza alcance un valor estable de temperatura. La temperatura del instrumento de medición de fuerza debe permanecer estable en un intervalo de ± 2 °C durante la realización de cada serie de calibración, cuando este requisito no se cumpla, es necesario calcular la incertidumbre debido a variaciones de temperatura.

6.4. Proceso de calibración

El procedimiento de calibración está descrito en el numeral 6.4 de (3), por lo tanto el laboratorio debe tener en cuenta dentro de sus procedimientos de calibración, el cumplimiento de todos los requisitos de este numeral.

Cada precarga debe tener una duración entre 60 s y 90s y los intervalos de espera entre cada una de ellas será de 180 s, se deben registrar los datos de cada una de ellas.

Si al momento de realizar las precargas se identifica que la máquina requiere ajuste, éste se puede realizar siempre y cuando se cuente con la autorización por parte del usuario de la máquina; una vez realizado el ajuste, se deben incluir los resultados de las precargas antes del ajuste y todos los resultados de la calibración obtenidos después del ajuste.

6.5. Buenas prácticas en la calibración

Se recomienda que el laboratorio que desarrolle las actividades de calibración de ME o MUE, propenda por garantizar:

6.5.1. Axialidad de la carga

6.5.1.1. Compresión

Cuando se calibran ME o MUE en compresión, se busca el centrado del accesorio de aplicación de la carga (pieza para aplicación de la carga en de compresión) respecto al plato superior de carga. Para tal fin se realiza el siguiente procedimiento con la ayuda de un pie de rey, así:

- Medir el diámetro de la pieza que aplica la carga de la ME o MUE (plato superior de carga) d_1 .
- Medir el diámetro de la pieza de aplicación de la carga en compresión propia del transductor, celda de carga o anillo dinamométrico (cojinete de carga) d_2 .
- Calcular la diferencia entre los dos diámetros de acuerdo con la ecuación (1).

$$dT = d_1 - d_2 \quad (1)$$

Dividir la diferencia entre 2 para obtener el radio de centrado r_c , de acuerdo con la ecuación (2).

$$r_c = \frac{dT}{2} \quad (2)$$

- Fijar el valor de r_c en el pie de rey y posteriormente se posiciona el instrumento patrón y el plato superior de carga de la máquina, verificando que la pieza quede completamente centrada con base al radio de centrado r_c .

La relación de medidas se muestra en la siguiente Imagen 1:

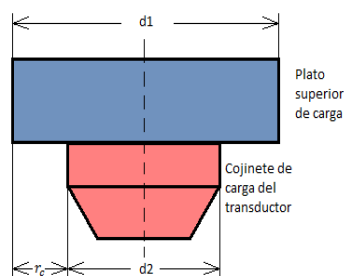


Imagen 1. Centrado Instrumento Patrón

6.5.1.2. Tracción

- a. Con el fin de asegurar la axialidad de la carga en tracción y el libre acomodamiento del patrón, es necesario contar con los accesorios adecuados para tal fin, de tal manera que al momento de aplicar carga en el dispositivo, el sistema de acoples flexibles elimine las cargas parásitas en el transductor.

Además es importante destacar que durante la calibración de la máquina de ensayo se deben utilizar los dispositivos fabricados siguiendo los lineamientos de (1), sin embargo, en algunos casos es posible utilizar dispositivos adicionales, dependiendo de la complejidad en el montaje.

- b. En todo momento se debe asegurar que el montaje del transductor permita su libre acomodación, por lo tanto se debe evitar que el transductor quede rígido durante su montaje en la ME.
- c. Si es posible, el montaje del transductor en el IBC debe hacerse de modo inverso, es decir, suspender el transductor por la base, la parte superior del transductor mirando hacia abajo, lo anterior con el fin que el peso del transductor no afecte las lecturas durante la calibración.
- d. De ser posible, el montaje del transductor debe hacerse del mismo modo como fue calibrado por el proveedor de trazabilidad, lo anterior con el fin de mantener similares condiciones a las de calibración del patrón de transferencia.

6.5.2. Nivelación de la máquina

Antes de comenzar la calibración, el laboratorio debe cerciorarse que el IBC esté razonablemente nivelado, lo anterior con el fin de asegurar la aplicación axial de la fuerza.

6.5.3. Dureza de los platos

Dependiendo de las cargas que se manejan para los ensayos en el IBC, los platos de compresión deben tener una dureza la cual está establecida en el Anexo B de (3). La dureza se establece con el fin de asegurar que durante la calibración no se va a presentar

deformación de los platos por las fuerzas involucradas allí. Además, si los platos exceden la dureza pueden realizar marcaciones al patrón.

6.5.4. Planitud de los platos

Debido a que se requiere aplicación axial de la fuerza, la geometría de los platos de compresión debe ser lo más plana posible, de tal manera que no haya fuerzas parásitas debido a una superficie irregular, la desviación máxima de la planitud debería ser de 0.01 mm medidos sobre 100 mm.

6.5.5. Estiramiento del cable

Es importante que al realizar la instalación del transductor o celda de carga el laboratorio asegure que el cable del patrón está extendido, lo anterior debido a que por el cable circulan tensiones las cuales generan campos magnéticos cuando están enrollados simulando una bobina lo cual produce ruido en la señal leída en el amplificador digital.

6.5.6. Configuración del amplificador digital

Algunos amplificadores permiten ser programados para indicar en valores de fuerza, sin embargo esta práctica altera los resultados de manera significativa, lo anterior debido a que generalmente estos amplificadores hacen la interpolación a través de dos puntos (mínimo y máximo), lo cual induce a errores en los puntos medios de la calibración, es recomendable que el laboratorio haga uso de la ecuación reportada en el certificado de calibración del patrón en la hoja de cálculo o aplicativo que use para realizar los cálculos y no realice programación del amplificador digital (4).

Por otro lado, existen algunos dispositivos que permiten ingresar los coeficientes de la ecuación directamente en el amplificador, de tal manera que el mismo amplificador realiza el proceso de conversión pasando a las unidades de fuerza del SI. Si el laboratorio usa esta metodología debe tener en cuenta que se deben programar los coeficientes para cada transductor que tenga, ya que las ecuaciones son diferentes. Se recomienda realizar esta programación para los diferentes transductores en canales diferentes, solo cuando el amplificador lo permita.

6.5.7. Ambiente de calibración

La calibración debe desarrollarse a temperaturas comprendidas en el numeral 6.4.2 de (3), sin embargo, si hay variaciones de temperatura superiores a los indicados en esta guía, se deben realizar correcciones y agregar un componente adicional a la incertidumbre.

6.5.8. Operación del IBC

La operación del IBC siempre debe realizarse por el personal técnico autorizado por la empresa solicitante del servicio de calibración para tal actividad, lo anterior con el fin de evitar daños por desconocimiento en la operación del IBC.

6.5.9. Manipulación del instrumento patrón

Teniendo en cuenta que el patrón utilizado está compuesto por un elemento elástico, se recomienda que el instrumento sea manipulado con guantes, de tal manera que aisle el patrón de la temperatura corporal de la persona que realiza la calibración.

6.5.10. Acondicionamiento del patrón

En lo posible se recomienda que los instrumentos patrones utilizados en la calibración, logren una estabilización a las condiciones ambientales del laboratorio, también se deben excitar eléctricamente con el fin que alcance las condiciones ideales de trabajo, por lo tanto, antes de comenzar la calibración se deben dejar conectados y encendidos por lo menos 1 hora para lograr el acondicionamiento del patrón.

6.5.11. Cambio de amplificador digital

Si la cadena de medición del instrumento patrón medidor de fuerza está equipado con dispositivo de indicación digital; cuando por razones técnicas este último deba ser reemplazado, se deben tener en la siguiente recomendación garantizando la compatibilidad de la cadena de medición.

Con el fin de asegurar que el cambio del dispositivo no va a tener influencia en la calibración, se debe constatar que la incertidumbre adicional debida al intercambio del aparato indicador, es máximo $1/3$ de la incertidumbre total del sistema de medición. Lo anterior permite a los laboratorios tener flexibilidad siempre y cuando cuenten con los amplificadores calibrados.

6.5.12. Uso de más de un transductor para calibrar una escala de fuerza de una máquina de ensayo

Se puede utilizar más de un transductor para calibrar una escala de una máquina de ensayos, con las siguientes restricciones:

- a) La calibración se realizará utilizando, en primer lugar, el transductor de mayor capacidad.
- b) El error de cero se determinará durante el uso del transductor de mayor capacidad.
- c) Se recomienda no utilizar más de dos transductores entre el 20% y el 100% del valor máximo de la escala calibrada.
- d) Se recomienda no utilizar más de un transductor si hay que determinar la reversibilidad.
- e) Los transductores a utilizar deberán tener puntos comunes de calibración para comprobar con ambos el punto de coincidencia de la escala (de acuerdo a lo especificado en el punto 6.1 de (3)).

- f) En el punto de solape se utilizarán los valores de error relativo de indicación (q) y de error relativo de repetibilidad (b') del transductor de menor capacidad y el valor de error relativo de reversibilidad (v) del transductor de mayor capacidad.

6.5.13. Calibración de máquinas de ensayo a tracción con cabezales

La calibración podrá realizarse con los cabezales de tracción montados o sin montar, indicando claramente en el certificado el método utilizado.

6.5.14. Tiempo de aplicación de la carga

El intervalo de tiempo de aplicación de las cargas consecutivas en cada serie, debe ser lo más uniformemente posible. Entre la finalización de una serie y el inicio de la siguiente debe transcurrir un intervalo tiempo como mínimo de 180 s.

6.5.15. Calibración de máquinas de ensayo de compresión con sistema de medida mediante anillo dinamométrico

La calibración de anillos como transductores de fuerza (no como escalas de la máquina) según (1) con interpolación, no puede realizarse si no se ha hecho la calibración dimensional.

Si el anillo se calibra como escala de la máquina de ensayo, no puede ser calibrado independientemente de la máquina y, si tiene la indicación en unidades de longitud la calibración no se realiza según (1), puesto que la norma no permite hacer la correspondencia entre la indicación en mm y la fuerza a través de constantes o ajustes arbitrarios.

6.6. Evaluación de la incertidumbre de medición

La incertidumbre de calibración debe estimarse para cada punto de carga medido y se realiza siguiendo los lineamientos de la GUM (5) y también a través de las recomendaciones establecidas en el anexo C de (3). Todas las incertidumbres relacionadas en esta guía son incertidumbres relativas

6.6.1. Fuentes de incertidumbre de medición

A continuación en la Tabla 1, se relacionan las principales fuentes de incertidumbre que deben ser tenidas en cuenta en el análisis de los datos obtenidos. Estos componentes de incertidumbre son relativos y están explicados detalladamente (3).

Fuente de Incertidumbre	Incertidumbre Típica	Tipo de Distribución	Tipo	Coficiente de Sensibilidad
Repetibilidad	$u_{rep} = \frac{s}{F(\sqrt{n})}$ (3)	Normal	A	1

Resolución	$u_{res} = \sqrt{\left[\frac{a_F}{2\sqrt{3}}\right]^2 + \left[\frac{a_z}{2\sqrt{3}}\right]^2}$ (4)	Rectangular	B	1
Patrón	$u_{std} = \frac{U_{std}}{k}$ (5)	Rectangular	B	1

Tabla 1. Principales fuentes de incertidumbre

Adicionalmente, como se indica en el numeral 7.1 de la (6), se deben considerar otras fuentes de incertidumbre del patrón cuando este se utilice después de su calibración. Si se siguen los lineamientos establecidos en el numeral 6.5.1 de esta guía, algunos de los componentes se pueden omitir; sin embargo, se deben considerar otras fuentes indicados en la Tabla 2, que dependen de las condiciones de calibración.

En caso de utilizar pesas calibradas como patrón, es necesario realizar corrección por empuje del aire y contemplar dentro de la estimación de incertidumbre el componente debido al uso de este patrón.

Fuente de Incertidumbre	Incertidumbre Típica	Tipo de Distribución	Tipo	Coeficiente de Sensibilidad
Temperatura	$u_T = K * \frac{\Delta T}{2\sqrt{3}}$ (6)	Rectangular	B	1
Deriva	$u_{der} = \frac{(f_1 - f_0)}{\sqrt{3}}$ (7)	Rectangular	B	1

Tabla 2. Otras fuentes de incertidumbre

Teniendo en cuenta las fuentes de incertidumbre relacionadas en las tablas 1 y 2, tenemos que la incertidumbre combinada corresponde a:

$$u_c = \sqrt{u_{rep}^2 + u_{res}^2 + u_{std}^2 + u_T^2 + u_{der}^2} \quad (8)$$

6.6.2. Incertidumbre expandida de medición.

Para hallar la incertidumbre expandida de la medición, es necesario multiplicarla por un factor de cobertura el cual se debe calcular dependiendo de los grados efectivos de libertad, como se muestra a continuación según la GUM (5)

De acuerdo con (3), una vez se hayan tenido en cuenta todas las incertidumbres típicas pertinentes, la incertidumbre combinada u_c se multiplica por un factor de cobertura k que proporciona la incertidumbre expandida U . Se recomienda emplear un valor de $k = 2$.

Para los casos en que alguna contribución de incertidumbre con distribución diferente a la normal sea dominante sobre las demás, es necesario calcular la distribución que corresponde al resultado de la calibración y su correspondiente factor de cobertura k , para una probabilidad del 95.45%; para ello se procede a calcular los grados efectivos de libertad utilizando la ecuación del Anexo G, numeral G.4 de la GUM (5), con la fórmula de *Welch-Satterthwaite*.

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (9)$$

Una vez conocidos los grados de libertad, se determina el factor de cobertura k en la tabla G.2 de (5); para el cual se logra una probabilidad de cobertura del 95.45% de tal manera que la incertidumbre expandida es:

(10)

6.7. Presentación de los resultados

El certificado o informe de calibración debe cumplir con los requisitos indicados en ISO/IEC 17025. Los resultados se deben presentar de manera exacta, clara, inequívoca y objetiva. Se debe incluir toda información necesaria para la interpretación de los resultados de medición y una descripción del método utilizado (7).

También se recomienda que en el certificado de calibración, aparezca la información necesaria para que el usuario del IBC pueda replicar los resultados obtenidos por el laboratorio y así, realizar sus propios análisis en caso de ser necesario.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ISO.** *ISO 376:2011, Metallic materials - Calibration of force - proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines.* s.l. : ISO, 2011.
2. **VIM.** *Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados.* España : Centro Español de Metrología, 2012.
3. **ISO.** *ISO 7500-1:2018, Metallic materials - Calibration and verification of static uniaxial testing machines.* s.l. : ISO, 2018.
4. **Espeleta, Arístides C. Dájer.** Efectos en las mediciones al programar los indicadores digitales, para medir directamente en unidades de fuerza (kN). *Simposio de Metrología 2012.* Vol. 1.
5. **JCGM.** *100:2008, Evaluación de datos de medición, Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida: GUM con ligeras correcciones.* España : EDICIÓN DIGITAL, 2008.
6. **EURAMET cg-4.** *Uncertainty of Force Measurements.* Braunschweig : EURAMET, 2011. cg-4.
7. **ISO/IEC.** *17025, Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración.* s.l. : ISO, 2017.



**MINISTERIO DE COMERCIO,
INDUSTRIA Y TURISMO**

**Subdirección de
METROLOGÍA FÍSICA**

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE

MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYO INM/GTM-F-1

ISBN e-Book: 978-958-53805-1-6

Instituto Nacional de Metrología de Colombia - INM

Subdirección de Metrología Física
Red Colombiana de Metrología
Av. Cra 50 No 26-55 Int. 2 CAN - Bogotá, D.C. Colombia
Conmutador: (57 601) 254 22 22
E-mail: contacto@inm.gov.co
www.inm.gov.co

Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC

Av. Calle 26 # 57 – 83, Torre 8, Oficina 1001 - Bogotá, D.C. Colombia
PBX: (57 601) 742 7592
E-mail: onac@onac.org.co
www.onac.org.co

