

NOTA IMPORTANTE:

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

ININ/ Oficina Nacional de Normalización

NORMA CUBANA

NC

ISO 6506-2: 2010
(Publicada por la ISO en 2005)

**MATERIALES METÁLICOS — ENSAYO DE DUREZA BRINELL
— PARTE 2: VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE LAS
MÁQUINAS DE ENSAYO
(ISO 6506-2:2005, IDT)**

**Metallic materials — Brinell hardness test — Part 2: Verification and calibration
of testing machines**

ICS: 77.040; 77.040.10

1. Edición Marzo 2010
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

**Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La
Habana. Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico:
nc@ncnorma.cu; Sitio Web: www.nc.cubaindustria.cu**



Cuban National Bureau of Standards

NC ISO 6506-2:2010

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba y representa al país ante las organizaciones internacionales y regionales de normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Esta Norma Cubana:

- Consta de las siguientes partes bajo el título general Materiales metálicos- Ensayo de dureza Brinell.

Parte 1: Método de ensayo

Parte 2: Verificación y calibración de las máquinas de ensayo

Parte 3: Calibración de los bloques patrón

Parte 4: Tabla de valores de dureza

Esta Parte 2.

- Ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 69 de Ensayos de Materiales metálicos integrado por representantes de las siguientes entidades:

- Empresa Siderúrgica "Antillana de Acero". (SIME)
- Centro de Investigaciones Metalúrgicas (CIME); (SIME).
- Empresa Inoxidable "Enrique José Varona" (SIME).
- Unidad Docente Metalúrgica (UDM); (CUJAE).
- Empresa de Mantenimiento a Centrales Eléctricas (EMCE); (MINBAS).
- Empresa Motores Taino (SIME).
- Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría (CUJAE).
- Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN); (CITMA).
- Oficina Nacional de Normalización. (CITMA).
- Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM); (SIME).

- Es una adopción idéntica de la ISO 6506-2: 2005 Metallic materials. - Brinell hardness test. Part 2: Verification and calibration of testing machines.

© NC, 2010

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:

Oficina Nacional de Normalización (NC)

Calle E No. 261, Vedado, Ciudad de La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba

MATERIALES METÁLICOS — ENSAYO DE DUREZA BRINELL — PARTE 2: VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE LAS MÁQUINAS DE ENSAYO

0 Introducción

Se llama la atención sobre el hecho de que en esta parte de la Norma ISO 6506 sólo se especifica la utilización de penetradores esféricos de metal duro.

La designación de la dureza Brinell es HBW y no debe confundirse con la anterior designación HB, o HBS cuando se utilizaba un penetrador esférico de acero.

1 Objeto y campo de aplicación

Esta parte de la Norma NC ISO 6506 especifica un método de verificación y calibración de máquinas de ensayo utilizadas para determinar la dureza Brinell de acuerdo con la norma cubana NC ISO 6506-1.

Establece un método de verificación directa para comprobar las funciones principales de operación de la máquina y un método de verificación indirecta apropiado para la comprobación global de la máquina. El método indirecto se puede utilizar por sí solo para revisiones periódicas de rutina de la máquina mientras está en servicio.

Si una máquina de ensayo se va a utilizar también para otros métodos de ensayo de dureza, debería verificarse independientemente para cada método.

Esta parte de la NC ISO 6506 también es aplicable a las máquinas de ensayo de dureza portátiles

2 Referencias normativas

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

ISO 376:2004 Materiales metálicos. Calibración de los instrumentos de medida de fuerza utilizados para la verificación de las máquinas de ensayo uniaxial.

NC ISO 6506 - 1:2009 Materiales metálicos. Ensayo de dureza Brinell. Parte 1: Método de ensayo.

NC ISO 6506-3:2010 Materiales metálicos. Ensayo de dureza Brinell. Parte 3: Calibración de bloque patrón.

ISO 6507-1 Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 1: Método de ensayo.

3 Condiciones generales

Antes de verificar una máquina de ensayo de dureza Brinell, se debe comprobar dicha máquina con el fin de garantizar que está correctamente instalada de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

En particular, se debería comprobar que:

- a) el elemento móvil que sostiene el penetrador se desliza correctamente en su guía;
- b) el soporte del penetrador (procedente de un lote verificado de acuerdo con el apartado 4.3) se encuentra firmemente montado sobre el elemento móvil;
- c) la fuerza de ensayo se aplica y se retira sin sacudidas, vibraciones o deslizamientos y de tal manera que las lecturas no se vean afectadas;
- d) en caso de que el dispositivo de medida se encuentre integrado en la máquina:
 - las lecturas no se ven influenciadas por el cambio de la supresión de la fuerza de ensayo al pasar al modo de lectura;
 - las lecturas no se ven afectadas por la iluminación; y
 - si es necesario, el centro de la huella está en el centro del campo de visión.

4 Verificación directa

4.1 Generalidades

4.1.1 La verificación directa debería llevarse a cabo a una temperatura de $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$. Si la verificación se realiza fuera de este rango de temperatura, esto debe quedar reflejado en el informe de verificación.

4.1.2 Los instrumentos utilizados en la verificación y calibración deben tener trazabilidad a patrones nacionales.

4.1.3 La verificación directa incluye:

- a) la calibración de la fuerza de ensayo;
- b) la verificación del penetrador;
- c) la calibración del sistema de medida;
- d) la verificación del ciclo de ensayo.

4.2 Calibración de la fuerza de ensayo

4.2.1 Cada fuerza de ensayo debe medirse dentro del rango de trabajo de la máquina de ensayo. Cuando sea aplicable, esto se debe hacer en al menos tres posiciones del elemento móvil uniformemente espaciadas a lo largo de su rango de movimiento durante el ensayo.

4.2.2 Se deben realizar tres lecturas por cada fuerza en cada posición del elemento móvil. Inmediatamente antes de cada lectura se debe desplazar el elemento móvil en la misma dirección que durante el ensayo.

4.2.3 La fuerza se debe medir por uno de los dos métodos siguientes:

- midiendo con un instrumento de medida elástico de clase 1 de acuerdo con la Norma Internacional ISO 376:2004; o

- equilibrándola con otra fuerza, medida con una exactitud de $\pm 0,2\%$, aplicada utilizando masas calibradas o por cualquier otro método que tenga la misma exactitud.

4.2.4 Cada medida de fuerza debe estar dentro del $\pm 1,0\%$ de la fuerza de ensayo nominal, como se indica en la norma NC ISO 6506-1.

4.3 Verificación del penetrador

4.3.1 El penetrador consiste en una bola y un soporte de bola. La verificación se aplica únicamente a la bola.

4.3.2 Con el fin de verificar el tamaño y la dureza de las bolas, se debe ensayar una muestra tomada al azar de un lote. Las bolas verificadas en dureza se deben descartar.

4.3.3 Las bolas deben estar pulidas y libres de defectos superficiales.

4.3.4 El usuario debe, o bien medir las bolas para asegurarse de que cumplen los siguientes requisitos, o bien obtener bolas de un proveedor que certifique que se cumplen las siguientes condiciones:

4.3.4.1 El diámetro se debe determinar tomando el valor medio de al menos tres valores individuales del diámetro medido en distintas posiciones de la bola. Ningún valor individual debe diferir del diámetro nominal en más de la tolerancia indicada en la tabla 1.

Tabla 1 — Tolerancias para distintos diámetros de penetradores esféricos

Diámetro del penetrador esférico mm	Tolerancia mm
10	$\pm 0,005$
5	$\pm 0,004$
2,5	$\pm 0,003$
1	$\pm 0,003$

4.3.4.2 Las características de los penetradores esféricos de metal duro deben ser las siguientes:

a) Dureza: La dureza no debe ser menor de 1 500 HV, cuando se determine con una fuerza de ensayo de, al menos, 4,903 N, de acuerdo con la Norma Internacional ISO 6507-1. El penetrador esférico metal duro puede someterse a ensayo directamente sobre esta superficie esférica o bien cortando la bola y ensayando en el interior de la misma.

b) Densidad: $\rho = (14,8 \pm 0,2) \text{ g/cm}^3$.

Se recomienda la siguiente composición química:

- carburo de tungsteno (WC) resto
- total otros carburos 2,0%
- cobalto (Co) 5,0% a 7,0%

4.4 Calibración del sistema de medida

4.4.1 La escala del sistema de medida se debe graduar para permitir una estimación del diámetro de la huella con un margen de $\pm 0,5\%$.

4.4.2 El sistema de medida se debe verificar por medio de mediciones hechas con una regla patrón de trazos en un mínimo de cinco intervalos en cada rango de trabajo. El error máximo de cada intervalo no debe exceder del $0,5\%$.

4.4.3 Al medir una superficie proyectada, el error máximo no debe exceder del 1% del área.

4.4.4 Los microscopios portátiles deberían calibrarse conforme al procedimiento especificado en esta norma y a las tolerancias del fabricante

4.5 Verificación del ciclo de ensayo

El ciclo de ensayo debe ser conforme con el especificado en la norma NC ISO 6506-1 y su duración debe medirse con una incertidumbre menor de $\pm 1,0$ s.

5 Verificación indirecta

5.1 La verificación indirecta debería llevarse a cabo a una temperatura de (23 ± 5) °C por medio de bloques patrón calibrados de acuerdo con la Norma NC ISO 6506-3. Si la verificación se realiza fuera de este rango de temperaturas, se debe anotar en el informe de verificación.

Las superficies de ensayo y de apoyo de los bloques patrón y las superficies de los penetradores no deben contener ningún aditivo ni producto procedente de la corrosión.

5.2 Se debe medir sobre cada bloque patrón la huella de referencia. Para cada bloque la diferencia entre el valor medio medido y el diámetro medio certificado no debe ser superior al $0,5\%$.

5.3 La máquina de ensayo se debe verificar para cada fuerza de ensayo y para cada tamaño de bola utilizado. Para cada fuerza de ensayo, se deben seleccionar al menos dos bloques patrón de entre los rangos de dureza siguientes:

- < 200 HBW
- $300 < \text{HBW} < 400$
- > 500 HBW

Los dos bloques patrón se deben tomar de rangos de dureza diferentes siempre que sea posible.

NOTA Cuando el ensayo de dureza en cuestión haga imposible alcanzar la mayor escala de dureza definida en los rangos anteriormente mencionados (para $0,102 \times F/D^2 = 5$ ó 10), la verificación puede llevarse a cabo con un único bloque patrón del menor rango de dureza.

5.4 En cada bloque patrón se deben distribuir uniformemente y medir sobre la superficie de ensayo cinco huellas. El ensayo se debe realizar de acuerdo con la norma NC ISO 6506-1.

5.5 Para cada bloque patrón, sean d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 los valores medios de los diámetros de huella medidos, colocados en orden de magnitud creciente, y

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}{5} \quad (1)$$

5.6 La repetibilidad, r , de la máquina de ensayo en condiciones concretas de verificación se calcula como:

$$r = d_5 - d_1 \quad (2)$$

La repetibilidad, expresada como porcentaje de d , se calcula mediante la expresión:

$$r_{\text{rel}} = 100 \times \frac{d_5 - d_1}{\bar{d}}, \text{ en } \% \quad (3)$$

5.7 La repetibilidad de la máquina de ensayo es satisfactoria cuando r_{rel} cumple los valores especificados en la tabla 2.

5.8 El error, E , de la máquina de ensayo bajo las condiciones concretas de verificación se calcula por medio de la fórmula siguiente:

$$E = \bar{H} - H_c \quad (4)$$

El error expresado en tanto por ciento, E_{rel} , se calcula mediante la expresión:

$$E_{\text{rel}} = 100 \times \frac{\bar{H} - H_c}{H_c}, \text{ en } \% \quad (5)$$

Donde:

H_c es el valor de dureza certificado del bloque patrón.

El error de la máquina de ensayo, expresado en tanto por ciento de la dureza especificada del bloque patrón, no debe ser superior a los valores recogidos en la tabla 2.

Tabla 2 —Repetibilidad y error de la máquina de ensayo

Dureza del bloque patrón HBW	Repetibilidad admisible r_{rel} , de la máquina de ensayo %	Error admisible, E_{rel} , de la máquina de ensayo % de H
< 125	3,0	±3
125 < HBW < 225	2,5	,0
225	2,0	±2

HBW: Dureza Brinell.

5.9 La determinación de la incertidumbre de medida de los resultados de calibración de la máquina de ensayo de dureza se recoge en el anexo A.

6 Intervalos entre verificaciones

Las especificaciones para las verificaciones directas se indican en la tabla 3.

Debe realizarse una verificación indirecta al menos una vez cada 12 meses y después de que se haya realizado una verificación directa.

Tabla 3 — Verificaciones directas de las máquinas de ensayo de dureza

Requisitos de verificación	Fuerza	Sistema de medida	Ciclo de ensayo	Penetrador ^a
Antes del reglaje para la primera utilización	X	X	X	X
Después de desmontar y volver a montar la máquina, si la fuerza, el sistema de medida o el ciclo de ensayo han resultado afectados	X	X	X	
No conformidad de la verificación indirecta ^b	X	X	X	
Verificación indirecta realizada hace más de 14 meses	X	X	X	
^a Además se recomienda que el penetrador se verifique directamente después de dos años de utilización.				
^b La verificación directa de estos parámetros puede realizarse secuencialmente (hasta que la máquina satisfaga la verificación indirecta), y no se requiere si se puede demostrar (por ejemplo, mediante ensayos con un penetrador patrón) que el penetrador era la causa de la no conformidad.				

7 Informe de verificación/certificado de calibración

El informe de verificación/certificado de calibración debe incluir la siguiente información:

- a) una referencia a esta parte de la norma NC ISO 6506;
- b) el método de verificación (directo y/o indirecto);
- c) los datos de identificación de la máquina de ensayo de dureza;
- d) los medios de verificación (bloque patrón, instrumentos de medida de fuerza, etc.);
- e) el diámetro del penetrador esférico y la fuerza de ensayo;
- f) la temperatura de verificación;
- g) el resultado obtenido;
- h) la fecha de verificación y referencia a la institución de verificación;
- i) la incertidumbre de los resultados de verificación.

ANEXO A
(Informativo)

**INCERTIDUMBRE DE MEDIDA DE LOS RESULTADOS DE LA
CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA DE ENSAYO DE DUREZA**

La cadena metrológica necesaria para definir y diseminar las escalas de dureza se muestra en la figura C.1 de la norma cubana NC ISO 6506-1:2009.

A.1 Calibración directa de la máquina de ensayo de dureza

A.1.1 Calibración de la fuerza de ensayo

La incertidumbre típica combinada relativa de la calibración de la fuerza de ensayo se calcula mediante la expresión:

$$u_F = \sqrt{u_{FRS}^2 + u_{FHTM}^2} \quad (A-1)$$

Donde:

u_{FRS} es la incertidumbre relativa de medida del transductor de fuerza (tomada del certificado de calibración);

u_{FHTM} es la incertidumbre típica relativa de la fuerza de ensayo generada por la máquina de ensayo de dureza.

La incertidumbre de medida del instrumento de referencia, transductor de fuerza, está indicada en el certificado de calibración correspondiente. Los parámetros que tengan influencia, como:

- la dependencia de la temperatura;
- la estabilidad a largo plazo, y
- la desviación de interpolación.

Deberían ser consideradas para las aplicaciones críticas. En función del diseño del transductor de fuerza, debería considerarse la posición angular del transductor respecto al eje del penetrador de la máquina de ensayo de dureza.

EJEMPLO

Incertidumbre de medida del transductor de fuerza (tomada del certificado de calibración):

$$U_{FRS} = 0,12 \% (k = 2)$$

Valor de la calibración del transductor de fuerza:

$$F_{RS} = 1\ 839\ \text{N}.$$

Tabla A.1 – Resultados de la calibración de la fuerza de ensayo

Número del nivel para la calibración de la fuerza de ensayo	Serie 1 F_1 N	Serie 2 F_2 N	Serie 3 F_3 N	Valor medio F N	Desviación relativa %	Incertidumbre típica relativa de medida u_{FHTM} %
1	1 835,0	1 836,6	1 837,9	1 836,5	-0,14	0,05
2	1 834,3	1 835,7	1 837,5	1 835,8	-0,17	0,05
3	1 832,2	1 839,5	1 834,1	1 835,3	-0,20	0,12

Donde:

$$\Delta F_{rel} = \frac{F_{RS} - \bar{F}}{\bar{F}} \quad (A.2)$$

$$u_{FHTM} = \frac{s_{F_i}}{\bar{F}} \times \frac{1}{\sqrt{n}}, (n = 3) \quad (A.3)$$

s_{F_i} es la desviación típica de los valores indicados de la fuerza de ensayo para el i ésimo nivel.

En la tabla A.2 se utiliza el valor máximo de u_{FHTM} de la tabla A.1.

Tabla A.2 – Cálculo de la incertidumbre de medida para la fuerza de ensayo

Magnitud	Valor estimado	Valores límite relativos	Tipo de distribución	Incertidumbre típica relativa de Medida	Coficiente de sensibilidad	Contribución a la incertidumbre relativa
X_i	x_i	a_t		$w(x_i)$	c_i	$u_{rel}(H)$
u_{FRS}	1 839 N		Normal	$6,0 \times 10^{-4}$	1	$6,0 \times 10^{-4}$
u_{FHTM}	1 839 N		Normal	$12,0 \times 10^{-4}$	1	$12,0 \times 10^{-4}$
Incertidumbre típica combinada relativa u_F						$13,3 \times 10^{-4}$
Incertidumbre expandida relativa de medida $U_F (k = 2)$						$2,7 \times 10^{-3}$

Tabla A.3 – Cálculo de la desviación relativa máxima de la fuerza de ensayo incluyendo la incertidumbre de medida del instrumento de referencia

Desviación relativa de la fuerza de ensayo	Incertidumbre expandida relativa de medida de la fuerza de ensayo	Desviación relativa máxima de la fuerza de ensayo incluyendo la incertidumbre de medida del instrumento de referencia
ΔF_{rel} %	U_P %	$\Delta F_{mín.}$ %
0,20	0,27	0,47

Donde:

$$F_{m\acute{a}x.} = |\Delta F_{rel}| + U/F \quad (A.4)$$

El resultado del ejemplo muestra que la desviación de la fuerza de ensayo, incluyendo la incertidumbre de medida del instrumento de referencia, cumple con el valor de + 1,0% especificado en el apartado 4.2.

A. 1.2 Calibración del sistema de medida óptico

La incertidumbre típica combinada relativa del instrumento de referencia para el sistema de medida se calcula mediante la expresión:

$$u_L = \sqrt{u_{LRS}^2 + u_{ms}^2 + u_{LHTM}^2} \quad (A.5)$$

Donde:

u_{LRS} es la incertidumbre relativa de medida de la regla patrón de trazos (patrón de referencia) obtenida del certificado de calibración para $k=1$;

u_{ms} es la incertidumbre relativa de medida debida a la resolución del sistema de medida;

u_{LHTM} es la incertidumbre típica relativa de medida de la máquina de ensayo de dureza.

La incertidumbre de medida del instrumento de referencia para el sistema de medida óptico, la regla patrón de trazos, se indica en el certificado de calibración correspondiente. Las magnitudes que tienen influencia, tales como:

- la dependencia de la temperatura;
- la estabilidad a largo plazo, y
- la desviación de interpolación;

no ejercen una influencia esencial sobre la incertidumbre de medida de la regla patrón de trazos.

EJEMPLO

Incertidumbre de medida de la regla patrón de trazos: $U_{HTM} = 0,0005 \text{ mm} (k= 2)$

Resolución del sistema de medida: $\Delta_{ms} = 0,1 \mu\text{m}$

Tabla A.4 - Resultados de calibración del sistema de medida

Valor indicado en la regla patrón de trazos L_{RS} mm	Serie 1 L_1 mm	Serie 2 L_2 mm	Serie 3 L_3 mm	Valor medio L mm	Desviación relativa ΔL_{rel} %	Incertidumbre típica relativa de medida u_{LHTM} %
1,0	1,002	1,003	1,001	1,002	0,20	0,06
2,0	2,001	2,003	2,001	2,002	0,08	0,03
3,0	3,002	3,002	3,001	3,002	0,06	0,01
4,0	4,001	4,003	4,002	4,002	0,05	0,01

Donde:

$$u_{LHTM} = \frac{s_{L_i}}{L} \times \frac{1}{\sqrt{n}}, (n = 3) \tag{A.6}$$

$$\Delta L_{rel} = \frac{\bar{L} - L_{RS}}{L_{RS}} \tag{A.7}$$

s_{L_i} es la desviación típica de los valores de longitud indicados para el valor i -ésimo de la regla patrón de trazos.

Tabla A.5 – Cálculo de la incertidumbre de medida del sistema de medida

Magnitud X_i	Valor estimado x_i	Valores límite relativos a_t	Tipo de distribución	Incertidumbre típica relativa de Medida $u(x_i)$	Coefficiente de sensibilidad C_i	Contribución a la incertidumbre relativa $u_i(H)$
u_{LRS}	1,0 mm		Normal	$2,5 \times 10^{-4}$	1	$2,5 \times 10^{-4}$
u_{ms}	1,0 mm	$\pm 1,0 \times 10^{-4}$	Rectangular	$2,9 \times 10^{-5}$	1	$2,9 \times 10^{-5}$
u_{LHTM}	1,0 mm		Normal	$6,0 \times 10^{-4}$	1	$6,0 \times 10^{-4}$
Incertidumbre combinada relativa de medida, u_L						0,06
Incertidumbre expandida relativa de medida, $U_L (k = 2), \%$						0,13

Tabla A.6 – Cálculo de la desviación relativa máxima del sistema de medida incluyendo la incertidumbre de medida del instrumento de referencia de longitud

Longitud de ensayo L_{RS}	Desviación relativa del sistema de medida $\Delta L_{rel} \%$	Incertidumbre relativa expandida de medida $U_L \%$	Desviación relativa máxima del sistema de medida, incluyendo la incertidumbre de medida del instrumento de referencia de longitud $\Delta L_{m\acute{a}x.} \%$
1,0 mm	0,20	0,13	0,33

Donde:

$$\Delta L_{m\acute{a}x.} = |\Delta L_{rel}| + U_L \quad (A.8)$$

El resultado del ejemplo muestra que la desviación del sistema de medida, incluyendo la incertidumbre de medida del instrumento de referencia de longitud, cumple con el valor de + 0,5% especificado en el apartado 4.4.

A.1.3 Verificación del penetrador

El penetrador, constituido por la punta del penetrador (bola) y el porta-penetrador no puede verificarse y/o calibrarse “*in situ*”. Se debe disponer de un certificado de calibración válido de un laboratorio de calibración acreditado que confirme las desviaciones geométricas, las propiedades físicas y la composición química del penetrador (véase el apartado 4.3).

A. 1.4 Verificación del ciclo de ensayo

En el apartado 4.5, la desviación admisible para cada parte del ciclo del ensayo está establecidas como + 0,5 s. Cuando la medición del tiempo se realice con un sistema usual de medida (cronómetro), la incertidumbre de medida puede indicarse como 0,1 s. Por ello, no es necesaria una estimación de la incertidumbre de medida.

A.2 Verificación indirecta de la máquina de ensayo de dureza

NOTA En este anexo, el índice “MRC” (material de referencia certificado) significa “bloque patrón de dureza” según las definiciones de las normas de ensayo de dureza.

Mediante la verificación indirecta con bloques patrón de dureza se comprueba el funcionamiento global de la máquina de ensayo de dureza y se determina la repetibilidad así como la desviación de la máquina de ensayo de dureza respecto al valor real de la dureza.

La incertidumbre de medida de la verificación indirecta de la máquina de ensayo de dureza viene dada por la expresión:

$$u_{MC} = \sqrt{u_{MRC}^2 + u_{MRC-D}^2 + u_H^2 + u_{ms}^2} \quad (A.9)$$

Donde:

u_{MRC} es la incertidumbre de calibración del bloque patrón de dureza según el certificado de calibración para $k = 1$;

u_{MRC-D} es la variación de la dureza del bloque patrón de dureza después de su última calibración, debida a la deriva (despreciable para la utilización del bloque patrón conforme a la norma);

u_H es la incertidumbre típica de la máquina de ensayo de dureza durante la medición del MRC;

u_{ms} es la incertidumbre típica debida a la resolución de la máquina de ensayo de dureza.

EJEMPLO

Dureza del bloque patrón: $H_{MRC} = (100,0 + 1,0) \text{ HBW } 2,5/187,5$

Incertidumbre de medida del bloque: $u_{MRC} = 0,5 \text{ HBW } 2,5/187,5$

Resolución de la máquina de ensayo de dureza: $\partial_{ms} = 0,5 \mu\text{m}$.

Tabla A.7 – Resultados de la verificación indirecta

Número	Diámetro de la huella medido, d mm	Valor de la dureza calculado, H HBW ^a
1	1,462 _{mín.}	101,1 _{máx.}
2	1,469	100,1
3	1,472 _{máx.}	99,6 _{mín.}
4	1,471	99,8
5	1,468	100,3
Valor medio, H	1,468 4	100,2
Desviación típica, s_H		0,60
^a HBW: Dureza Brinell.		

Donde:

$$\begin{aligned} \bar{b} &= \bar{H} - H_{CRM} \\ \bar{b} &= 100,2 - 100,0 = 0,2 \text{ HBW} \end{aligned} \tag{A.10}$$

$$u_H = \frac{t \cdot s_H}{\sqrt{n}} \tag{A.11}$$

Para $t = 1,14$, $n = 5$ y $s_H = 0,60 \text{ HBW}$, se obtiene:

$$u_H = 0,31 \text{ HBW}$$

A.3 Balance de incertidumbre de medida

Tabla A.8 – Balance de incertidumbre de medida

Magnitud X_i	Valor estimado x_i	Incertidumbre típica relativa de Medida $u(x_i)$	Tipo de distribución	Coefficiente de sensibilidad c_i	Contribución a la incertidumbre $u_i(H)$
u_{MRC}	100,0 HBW	0,50 HBW	Normal	1,0	0,50 HBW
U_H	OHBW	0,31 HBW	Normal	1,0	0,31 HBW
u_{ms}	OHBW	0,000 14 mm	Rectangular	-152,2 HBW/mm ²	-0,02 HBW
u_{MRC-D}	OHBW	OHBW	Triangular	1,0	OHBW
Incertidumbre combinada de medida u_{HTM}					0,59 HBW
Incertidumbre expandida de medida U_{HTM} ($k = 2$)					1,17 HBW
HBW : Dureza Brinell					
^a El coeficiente de sensibilidad proviene de:					
$\frac{\partial H}{\partial d} = -\frac{H}{d} \cdot \frac{D + \sqrt{D^2 - d^2}}{\sqrt{D^2 - d^2}} \quad (A.12)$					
para $H = 100,0$ HBW, $D = 2,5$ mm, $d = 1,469$ mm					

Tabla A.9 – Desviación máxima de la máquina de ensayo de dureza incluyendo la incertidumbre de medida

Dureza medida en la máquina de ensayo de dureza	Incertidumbre expandida de medida	Desviación de la máquina de ensayo durante la calibración con el bloque patrón	Desviación máxima de la máquina de ensayo, incluyendo la incertidumbre de medida
H	U_{HTM}	$ \bar{b} $	$\Delta H_{HTM \text{máx.}}$
	HBW	HBW	HBW
100,2 HBW 2,5/187,5	1,2	0,2	1,4
HTB: Dureza Brinell.			

Donde:

$$\Delta H_{HTM \text{máx.}} = U_{HTM} + |\bar{b}| = 1,2 + 0,2 = 1,4 \text{ HBW} \quad (A.13)$$

Bibliografia

- [1] SAWLA, A. *Uncertainty of measurement in the verification and calibration of the force-measuring systems of testing machines*, Proceedings of the Asia-Pacific symposium on measurement of force, mass and torque (APMF), Tsukuba, Japan, November 2000.
- [2] WEHRSTEDT, A. and PATKOVŠKY, I. *News in the field of standardization about verification and calibration of materials testing machines*, May 2001, EMPA Academy, 2001.
- [3] GABAUER, W., *Manual codes of practice for the determination of uncertainties in mechanical tests on metallic materials, The estimation of uncertainties in hardness measurements*, Project No. SMT4-CT97-2165, UNCERT COP 14:2000.
- [4] POLZIN, T. and SCHWENK D. Method for Uncertainty Determination of Hardness Testing; PC File for Determination, *Materialprüfung* 44 (2002) 3, pp. 64 - 71.