

Materiales metálicos
Ensayo de dureza Vickers
Parte 1: Método de ensayo
(ISO 6507-1:2018)

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico CTN 7 *Ensayos de materiales*, cuya secretaría desempeña ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN.

UNE-EN ISO 6507-1

Materiales metálicos
Ensayo de dureza Vickers
Parte 1: Método de ensayo
(ISO 6507-1:2018)

Metallic materials. Vickers hardness test. Part 1: Test method (ISO 6507-1:2018).

Matériaux métalliques. Essai de dureté Vickers. Partie 1: Méthode d'essai (ISO 6507-1:2018).

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 6507-1:2018, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 6507-1:2018.

Esta norma anula y sustituye a las Normas UNE-EN ISO 6507-1:2006 y UNE-EN ISO 6507-1:2006 Erratum:2011.

Las observaciones a este documento han de dirigirse a:

Asociación Española de Normalización

Génova, 6
28004 MADRID-España
Tel.: 915 294 900
info@une.org
www.une.org
Depósito legal: M 33672:2018

© UNE 2018

Prohibida la reproducción sin el consentimiento de UNE.

Todos los derechos de propiedad intelectual de la presente norma son titularidad de UNE.

ICS 77.040.10

Sustituye a EN ISO 6507-1:2005

Versión en español

**Materiales metálicos
Ensayo de dureza Vickers
Parte 1: Método de ensayo
(ISO 6507-1:2018)**

Metallic materials. Vickers hardness test. Part 1: Test method (ISO 6507-1:2018).

Matériaux métalliques. Essai de dureté Vickers. Partie 1: Méthode d'essai (ISO 6507-1:2018).

Metallische Werkstoffe. Härteprüfung nach Vickers. Teil 1: Prüfverfahren (ISO 6507-1:2018).

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2018-01-18.

Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional. Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN/CENELEC, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión de CEN/CENELEC, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Antigua República Yugoslava de Macedonia, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Serbia, Suecia, Suiza y Turquía.



**COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
CENTRO DE GESTIÓN: Rue de la Science, 23, B-1040 Brussels, Belgium**

© 2018 CEN. Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

Índice

Prólogo europeo	6
Declaración.....	6
Prólogo	7
1 Objeto y campo de aplicación.....	9
2 Normas para consulta.....	9
3 Términos y definiciones.....	9
4 Principio	10
5 Símbolos y designaciones.....	10
5.1 Símbolos y designaciones utilizadas en esta norma.....	10
5.2 Designación del número de dureza	11
6 Máquina de ensayo	11
6.1 Máquina de ensayo	11
6.2 Penetrador	12
6.3 Sistema de medición de la diagonal.....	12
7 Probeta de ensayo	12
7.1 Superficie de ensayo.....	12
7.2 Preparación	12
7.3 Espesor	13
7.4 Ensayos sobre superficies curvas.....	13
7.5 Apoyo de probetas de ensayo inestables	13
8 Procedimiento	13
8.1 Temperatura de ensayo	13
8.2 Fuerza de ensayo	13
8.3 Verificación periódica.....	14
8.4 Apoyo y orientación de la probeta de ensayo	14
8.5 Enfoque sobre la superficie de ensayo	14
8.6 Aplicación de la fuerza de ensayo.....	15
8.7 Prevención del efecto de golpeo o vibración.....	15
8.8 Distancia mínima entre las huellas contiguas	15
8.9 Medición de la longitud de la diagonal	16
8.10 Cálculo del valor de dureza.....	16
9 Incertidumbre de los resultados	17
10 Informe de ensayo.....	17
Anexo A (Normativo) Espesor mínimo de la probeta de ensayo en relación con la fuerza de ensayo y a la dureza	18
Anexo B (Normativo) Tablas de factores de corrección para utilización en los ensayos realizados sobre superficies curvas.....	20

Anexo C (Normativo)	Procedimiento para la comprobación periódica de la máquina de ensayo, el sistema de medida de la diagonal y el penetrador por parte del usuario	25
Anexo D (Informativo)	Incertidumbre de los valores de dureza medidos	27
Anexo E (Informativo)	Trazabilidad de la medición de dureza Vickers	35
Anexo F (Informativo)	CCM - Grupo de trabajo de dureza	40
Anexo G (Informativo)	Ajuste de los sistemas de iluminación Kohler.....	41
Bibliografía		42

Prólogo europeo

El texto de la Norma EN ISO 6507-1:2018 ha sido elaborado por el Comité Técnico ISO/TC 164 *Ensayos mecánicos de los materiales metálicos* en colaboración con el Comité Técnico ECISS/TC 101 *Métodos de ensayo (distintos de análisis químicos)*, cuya Secretaría desempeña AFNOR.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a ella o mediante ratificación antes de finales de septiembre de 2018, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de septiembre de 2018.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento estén sujetos a derechos de patente. CEN no es responsable de la identificación de dichos derechos de patente.

Esta norma anula y sustituye a la Norma EN ISO 6507-1:2005.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Antigua República Yugoslava de Macedonia, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Serbia, Suecia, Suiza y Turquía.

Declaración

El texto de la Norma ISO 6507-1:2018 ha sido aprobado por CEN como Norma EN ISO 6507-1:2018 sin ninguna modificación.

Prólogo

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). El trabajo de elaboración de las Normas Internacionales se lleva a cabo normalmente a través de los comités técnicos de ISO. Cada organismo miembro interesado en una materia para la cual se haya establecido un comité técnico, tiene el derecho de estar representado en dicho comité. Las organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales, vinculadas con ISO, también participan en el trabajo. ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todos los temas de normalización electrotécnica.

En la Parte 1 de las Directivas ISO/IEC se describen los procedimientos utilizados para desarrollar este documento y aquellos previstos para su mantenimiento posterior. En particular debería tomarse nota de los diferentes criterios de aprobación necesarios para los distintos tipos de documentos ISO. Este documento ha sido redactado de acuerdo con las reglas editoriales de la Parte 2 de las Directivas ISO/IEC (véase www.iso.org/directives).

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento puedan estar sujetos a derechos de patente. ISO no asume la responsabilidad por la identificación de alguno o todos los derechos de patente. Los detalles sobre cualquier derecho de patente identificado durante el desarrollo de este documento se indicarán en la Introducción y/o en la lista ISO de declaraciones de patente recibidas (véase www.iso.org/patents).

Cualquier nombre comercial utilizado en este documento es información que se proporciona para comodidad del usuario y no constituye una recomendación.

Para una explicación de la naturaleza voluntaria de las normas, el significado de los términos específicos de ISO y las expresiones relacionadas con la evaluación de la conformidad, así como la información acerca de la adhesión de ISO a los principios de la Organización Mundial del Comercio (OMC) respecto a los Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC), véase www.iso.org/iso/foreword.html.

Este documento ha sido elaborado por el Comité Técnico ISO/TC 164, *Ensayos mecánicos de los materiales metálicos*, Subcomité SC 3, *Ensayos de dureza*.

Esta cuarta edición anula y sustituye a la tercera edición (ISO 6507-1:2005) que ha sido revisada técnicamente.

Los cambios principales en comparación con la edición previa son los siguientes:

- se han añadido los requisitos para el ensayo de metales duros y otros carburos cementados;
- se han eliminado todas las referencias a las diagonales de huella menores de 0,020 mm;
- se han definido los requisitos de resolución para el sistema de medición;
- se ha ampliado el límite inferior de la fuerza de ensayo de microdureza Vickers hasta 0,009 807 N;
- los requisitos para las verificaciones periódicas (semanales o diarias) de la máquina de ensayo son normativos, y se ha revisado el valor del error máximo permitido; se han revisado los requisitos para el error máximo permitido en la medición de una huella de referencia;

- se han añadido recomendaciones para la inspección y monitorización del penetrador;
- se han añadido los requisitos para el enfoque de la velocidad del penetrador antes de contactar con la superficie de la probeta;
- se han revisado los requisitos de tiempo para la aplicación de la fuerza de ensayo y de la duración de la fuerza de ensayo máxima para indicar los valores objetivos de tiempo;
- se ha añadido la figura 2 que muestra los requisitos de distancia mínima entre huellas contiguas, pero los requisitos no han cambiado;
- se han añadido los requisitos para presentar en el informe de ensayo la fecha de ensayo cualquier método utilizado de conversión de la dureza;
- se ha revisado el anexo D;
- se han añadido los anexos E, F y G relativos a la trazabilidad de la medición de la dureza Vickers, el CCM – Grupo de trabajo de dureza y el ajuste de los sistemas de iluminación Köhler.

En el sitio web de ISO se puede encontrar un listado de todas las partes de la serie de Normas ISO 6507.

1 Objeto y campo de aplicación

Esta norma especifica el método de ensayo de dureza Vickers para los tres rangos diferentes de fuerza aplicados en materiales metálicos, incluyendo metales duros y otros carburos cementados (véase la tabla 1).

Tabla 1 – Rangos de fuerza de ensayo

Rangos de fuerza de ensayo, F N	Símbolo de dureza	Designación
$F \geq 49,03$	$\geq HV 5$	Ensayo de dureza Vickers
$1,961 \leq F < 49,03$	HV 0,2 a <HV 5	Ensayo de dureza Vickers a baja fuerza
$0,009\ 807 \leq F < 1,961$	HV 0,001 a <HV 0,2	Ensayo de microdureza Vickers

El ensayo de dureza Vickers se especifica en este documento para longitudes de diagonales de huella comprendidas entre 0,020 mm y 1,400 mm. El uso de este método para determinar la dureza Vickers a partir de huellas más pequeñas está fuera del alcance de este documento, ya que los resultados podrían tener grandes incertidumbres debido a las limitaciones de las mediciones ópticas y las imperfecciones en la geometría de la punta.

Se especifica un método de verificación periódica del usuario para las comprobaciones rutinarias de la máquina de ensayo en servicio por parte del usuario.

Para materiales y/o productos específicos, existen normas internacionales particulares.

2 Normas para consulta

En el texto se hace referencia a los siguientes documentos de manera que parte o la totalidad de su contenido constituyen requisitos de este documento. Para las referencias con fecha, solo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición (incluida cualquier modificación de esta).

ISO 6507-2, *Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 2: Verificación y calibración de las máquinas de ensayo.*

ISO 6507-3, *Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 3: Calibración de los bloques patrón.*

3 Términos y definiciones

No se presentan términos ni definiciones en esta norma.

ISO e IEC mantienen bases de datos terminológicas para su utilización en normalización en las siguientes direcciones:

- Plataforma de búsqueda en línea de ISO: disponible en <http://www.iso.org/obp>
- Electropedia de IEC: disponible en <http://www.electropedia.org/>

4 Principio

Un penetrador de diamante, en forma de pirámide recta de base cuadrada y con un ángulo especificado entre las caras opuestas en el vértice, se fuerza sobre la superficie de una pieza de ensayo seguida de una medición de la longitud de la diagonal de la penetración que queda en la superficie después de retirar la fuerza de ensayo, F (véase la figura 1).

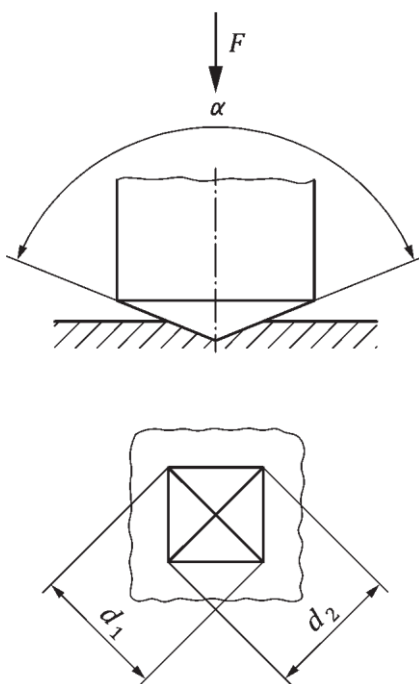


Figura 1 – Principio del ensayo, geometría del penetrador y huella Vickers

La dureza Vickers es proporcional al cociente obtenido mediante la división de la fuerza de ensayo entre el área de la superficie inclinada de la huella, que se asume como una pirámide recta de base cuadrada y que tiene en el vértice el mismo ángulo que el penetrador.

NOTA 1 Una pirámide recta tiene su vértice superior alineado con el centro de la base.

NOTA 2 Como aplicable, este documento ha adoptado los parámetros de ensayo de dureza según se define por el Grupo de Trabajo de Dureza (CCM-WGH) bajo el marco del Comité Internacional de Pesos y Medidas (CIPM), el Comité Consultivo para la Masa y las Magnitudes Relacionadas (CCM) (véase el anexo F).

5 Símbolos y designaciones

5.1 Símbolos y designaciones utilizadas en esta norma

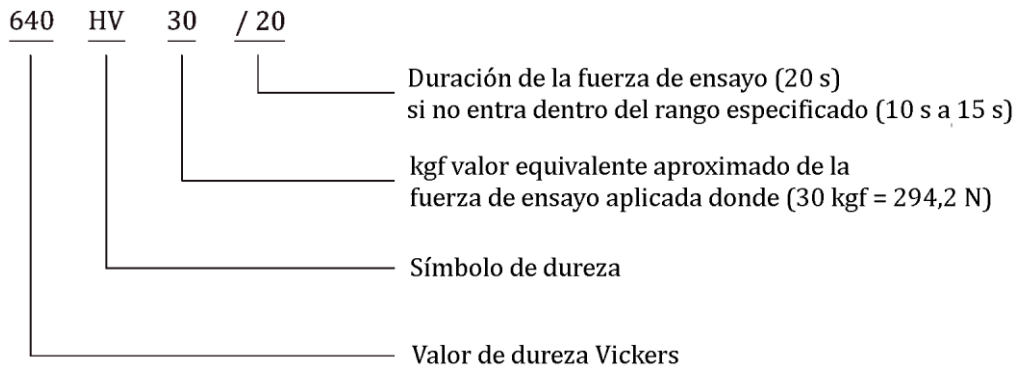
Véase la tabla 2 y la figura 1.

Tabla 2 – Símbolos y designaciones

Símbolo	Designación
α	Ángulo medio entre las caras opuestas en el vértice del penetrador piramidal (nominalmente 136°) (véase la figura 1)
F	Fuerza de ensayo, en newtons (N)
d	Media aritmética, en milímetros, de dos longitudes de diagonal d_1 y d_2 (véase la figura 1)
HV	$\text{Dureza Vickers} = \frac{\text{Fuerza de ensayo (kgf)}}{\text{Área superficial de huella (mm}^2\text{)}}$ $= \frac{1}{g_n} \times \frac{\text{Fuerza de ensayo (N)}}{\text{Área superficial de huella (mm}^2\text{)}}$ $= \frac{1}{g_n} \times \frac{F}{d^2 / \left(2 \text{sen} \frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{1}{g_n} \times \frac{2 F \text{sen} \frac{\alpha}{2}}{d^2}$ <p>Para el ángulo nominal $\alpha = 136^\circ$</p> $\text{Dureza Vickers} \approx 0,1891 \times \frac{F}{d^2}$
<p>NOTA 1 La aceleración estándar debida a la gravedad, $g_n = 9,806\ 65\ \text{m/s}^2$ que es el factor de conversión de kgf a N. Para reducir la incertidumbre, la dureza Vickers se puede calcular utilizando el ángulo real medio del penetrador, α.</p>	

5.2 Designación del número de dureza

La dureza Vickers, HV, se designa según se muestra en el siguiente ejemplo.



6 Máquina de ensayo

6.1 Máquina de ensayo

La máquina de ensayo debe ser capaz de aplicar una fuerza o fuerzas determinadas dentro del rango deseado de fuerzas de ensayo, de acuerdo con la Norma ISO 6507-2.

6.2 Penetrador

El penetrador debe ser un diamante con forma de pirámide recta de base cuadrada, según se especifica en la Norma ISO 6507-2.

6.3 Sistema de medición de la diagonal

El sistema de medición de la diagonal debe satisfacer los requisitos de la Norma ISO 6507-2.

Los aumentos deberían seleccionarse de forma que la diagonal pueda ampliarse más de un 25% pero menos de un 75% del valor máximo posible del campo óptico de visión. Muchas lentes de objetivos son no lineales en las proximidades del borde del campo de visión.

Un sistema de medición de la diagonal que emplee una cámara puede utilizar el 100% de su campo de visión, siempre que se diseñe para considerar las limitaciones del campo de visión del sistema óptico.

La resolución requerida del sistema de medición de la diagonal depende del tamaño de la huella más pequeña a medir y debe ser conforme con la tabla 3. Para determinar la resolución del sistema de medición, se deberían tener en cuenta la resolución de la óptica del microscopio, la resolución de la diagonal de la escala de medición y el tamaño de paso de cualquier movimiento, cuando sean aplicables.

Tabla 3 – Resolución del sistema de medición

Longitud de la diagonal, d mm	Resolución del sistema de medición
$0,020 \leq d < 0,080$	0,000 4 mm
$0,080 \leq d \leq 1,400$	0,5% de d

7 Probeta de ensayo

7.1 Superficie de ensayo

El ensayo se debe realizar sobre una superficie lisa y plana, libre de óxidos, materias extrañas y, en particular, completamente libre de lubricantes, a menos que se especifique en cualquier otra norma de producto. El acabado superficial debe permitir una determinación precisa de la longitud de la diagonal de la huella.

Para las probetas de metales duros, el espesor de la capa retirado de la superficie no debe ser menor a 0,2 mm.

7.2 Preparación

La preparación de la superficie debe realizarse de forma que impida cualquier daño o alteración de la dureza de la superficie debida a un excesivo calentamiento o trabajo en frío.

Debido a la escasa profundidad de las huellas de microdureza Vickers, es imprescindible que se tomen precauciones específicas durante la preparación. Se recomienda utilizar un proceso de pulido/electropulido que sea adecuado al material a medir.

7.3 Espesor

El espesor de la probeta de ensayo o de la capa a ensayar, debe ser al menos de 1,5 veces la longitud de la diagonal de la huella según se define en el anexo A. No debe ser visible ninguna deformación en la cara opuesta de la probeta tras el ensayo.

El espesor de una probeta de metal duro debe ser de al menos 1 mm.

NOTA La profundidad de la huella es aproximadamente $1/7$ de la longitud de la diagonal ($0,143 d$).

7.4 Ensayos sobre superficies curvas

En ensayos sobre superficies curvas, se deben aplicar las correcciones definidas en las tablas B.1 a B.6.

7.5 Apoyo de probetas de ensayo inestables

Para una probeta de ensayo de pequeña sección transversal o de forma irregular, debería utilizarse un soporte dedicado o debería montarse de forma similar a una microsección metalográfica de material apropiado, de forma que se apoye adecuadamente y no se mueva durante la aplicación de la fuerza.

8 Procedimiento

8.1 Temperatura de ensayo

El ensayo se realiza normalmente a una temperatura ambiente dentro del rango 10 °C a 35 °C . Si el ensayo se realiza fuera de este rango de temperaturas, se debe anotar en el informe de ensayo. Los ensayos realizados bajo condiciones controladas se deben realizar a una temperatura de $(23 \pm 5)\text{ °C}$.

8.2 Fuerza de ensayo

Son comunes las fuerzas de ensayo definidas en la tabla 4. Se pueden utilizar otras fuerzas de ensayo incluyendo aquellas mayores a $980,7\text{ N}$, pero no menores que $0,009\ 807\text{ N}$. Las fuerzas de ensayo se deben elegir para que las diagonales de las huellas sean mayores de $0,020\text{ mm}$.

NOTA Para metales duros, la fuerza de ensayo preferida es $294,2\text{ N}$ (HV 30).

Tabla 4 – Fuerzas de ensayo comunes

Ensayo de dureza ^a		Ensayo de dureza a baja fuerza		Ensayo de microdureza	
Símbolo de dureza	Valor nominal de la fuerza de ensayo, <i>F</i> N	Símbolo de dureza	Valor nominal de la fuerza de ensayo, <i>F</i> N	Símbolo de dureza	Valor nominal de la fuerza de ensayo, <i>F</i> N
-	-	-	-	HV 0,001	0,009 807
-	-	-	-	HV 0,002	0,019 61
-	-	-	-	HV 0,003	0,029 42
-	-	-	-	HV 0,005	0,049 03
HV 5	49,03	HV 0,2	1,961	HV 0,01	0,098 07
HV 10	98,07	HV 0,3	2,942	HV 0,015	0,147 1
HV 20	196,1	HV 0,5	4,903	HV 0,02	0,196 1
HV 30	294,2	HV 1	9,807	HV 0,025	0,245 2
HV 50	490,3	HV 2	19,61	HV 0,05	0,490 3
HV 100 ^a	980,7	HV 3	29,42	HV 0,1	0,980 7

a Se pueden aplicar fuerzas de ensayo nominales mayores a 980,7 N.

8.3 Verificación periódica

Se debe realizar la verificación periódica definida en el anexo C dentro de la semana previa a la utilización para cada fuerza de ensayo empleada, pero se recomienda que sea en el mismo día de utilización. Se recomienda que la verificación periódica se realice siempre que cambie la fuerza de ensayo. La verificación periódica se debe realizar siempre que se cambie el penetrador.

8.4 Apoyo y orientación de la probeta de ensayo

La probeta de ensayo se debe colocar sobre un apoyo rígido. Las superficies de apoyo deben estar limpias y libres de materia extraña (escamas, aceite, suciedad, etc.). Es importante que la probeta de ensayo descanse firmemente sobre el apoyo de forma que no pueda producirse ningún movimiento que afecte a los resultados durante el ensayo.

Por ejemplo, para los materiales anisotrópicos, aquellos que han sido producidos mediante trabajo en frío, podría haber una diferencia entre las longitudes de dos diagonales de la huella. Por tanto, cuando sea posible, la huella debería estar hecha de forma que las diagonales se orienten en un plano de aproximadamente 45° de inclinación en la dirección del trabajo en frío. La especificación para el producto podría indicar los límites de las diferencias entre las longitudes de las dos diagonales.

8.5 Enfoque sobre la superficie de ensayo

El sistema microscópico de medición de la diagonal debe enfocarse de forma que se puedan observar la superficie de la probeta y la situación deseada del ensayo.

NOTA Algunas máquinas de ensayo no exigen que el microscopio se enfoque sobre la superficie de la probeta.

8.6 Aplicación de la fuerza de ensayo

El penetrador debe ponerse en contacto con la superficie de ensayo y la fuerza de ensayo debe aplicarse en la dirección perpendicular a la superficie, sin golpes, vibraciones o sobrecargas, hasta que la fuerza aplicada alcance el valor especificado. El tiempo desde la aplicación inicial de la fuerza hasta que se alcanza la fuerza completa de ensayo debe ser 7_{-5}^{+1} s.

NOTA 1 Los requisitos de los tiempos se presentan con límites asimétricos. Por ejemplo, 7_{-5}^{+1} s indica que 7 s es la duración nominal, con un rango aceptable no inferior a 2 s (se calcula como $7\text{ s} - 5\text{ s}$) y no mayor que 8 s (calculado como $7\text{ s} + 1\text{ s}$).

Para los ensayos de rango de dureza Vickers y rango de dureza Vickers a baja fuerza, el penetrador debe contactar la probeta de ensayo a una velocidad de $\leq 0,2$ mm/s. Para los ensayos de microdureza Vickers, el penetrador debe contactar la probeta de ensayo a una velocidad de $\leq 0,070$ mm/s.

La duración de la fuerza de ensayo debe ser 14_{-4}^{+1} s, excepto para los ensayos sobre materiales cuyas propiedades dependientes del tiempo hicieran este rango inadecuado. Para estos ensayos, se debe especificar esta duración como parte de la designación de dureza (véase 5.2).

NOTA 2 Hay evidencia de que algunos materiales son sensibles al ritmo a la velocidad de deformación la cual provoca cambios en el valor del límite elástico. El correspondiente efecto sobre la terminación de la formación de una huella puede provocar una alteración en el valor de dureza.

8.7 Prevención del efecto de golpeo o vibración

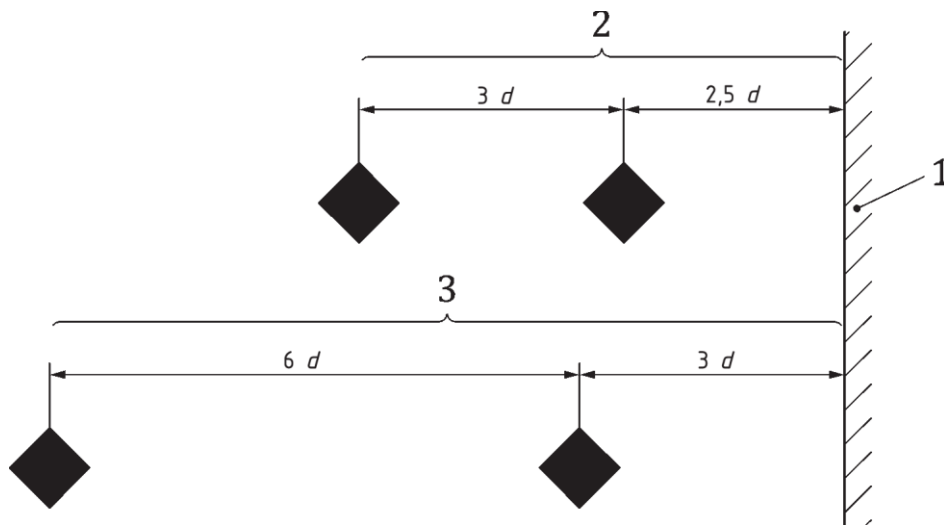
A lo largo del ensayo, la máquina de ensayo debe estar protegida contra cualquier golpe o vibración [5].

8.8 Distancia mínima entre huellas contiguas

La figura 2 muestra la distancia mínima entre huellas contiguas y la distancia mínima entre una huella y el borde de la probeta de ensayo.

La distancia entre el centro de cualquier huella y el borde de la probeta de ensayo debe ser al menos 2,5 veces la longitud media de la diagonal de la huella en el caso de acero, cobre y aleaciones de cobre, y de al menos 3 veces en el caso de metales ligeros, plomo y estaño y sus aleaciones.

La distancia entre los centros de dos huellas contiguas debe ser al menos 3 veces la longitud media de la diagonal de la huella en el caso de acero, cobre y aleaciones de cobre, y de al menos 6 veces en el caso de metales ligeros, plomo y estaño y sus aleaciones. Si dos huellas contiguas difieren en su tamaño, la separación se debe basar en la longitud media de la diagonal de la huella mayor.



Leyenda

- 1 Borde de la probeta de ensayo
- 2 Acero, cobre y aleaciones de cobre
- 3 Metales ligeros, plomo y estaño y sus aleaciones

Figura 2 – Distancia mínima para las huellas Vickers

8.9 Medición de la longitud de la diagonal

Las longitudes de las dos diagonales deben medirse. La media aritmética de las dos lecturas debe tomarse para el cálculo de la dureza Vickers. Para todos los ensayos, el perímetro de la huella debe estar claramente definido en el campo de visión del microscopio.

Los aumentos deberían seleccionarse de forma que la diagonal pueda extenderse más de un 25% pero menos de un 75% del valor máximo posible del campo óptico de visión; véase el apartado 6.3.

NOTA 1 En general, la reducción de la fuerza de ensayo aumenta la dispersión de los resultados de las mediciones. Esto es particularmente cierto para los ensayos de dureza Vickers a baja fuerza y de microdureza, en que la principal limitación procede de la medición de las diagonales de la huella. Para la microdureza Vickers, la exactitud de la determinación de la longitud media de la diagonal es improbable que sea mejor que $\pm 0,001$ mm cuando se utilice un microscopio óptico (véanse las referencias [6] a [9]).

NOTA 2 El anexo G presenta una técnica útil para ajustar sistema ópticos que tienen una iluminación Kohler.

Para superficies planas, la diferencia entre las longitudes de las diagonales no debería ser mayor al 5%. Si la diferencia fuese mayor, esto se debe registrar en el informe de ensayo.

8.10 Cálculo del valor de dureza

Se calcula el valor de dureza Vickers mediante la fórmula de la tabla 2. El valor de dureza Vickers puede además determinarse mediante las tablas de cálculo descritas en la Norma ISO 6507-4. Para superficies curvas, se deben aplicar los factores de corrección incluidos en el anexo B.

9 Incertidumbre de los resultados

Debería hacerse una evaluación completa de la incertidumbre de acuerdo con el JCGM 100:2008 [4].

Independientemente del tipo de fuentes, para la dureza hay dos posibilidades para las determinaciones de la incertidumbre.

- Una posibilidad se basa en la evaluación de todas las fuentes importantes que aparecen durante una calibración directa. Como referencia, está disponible la guía Euramet [10].
- La otra posibilidad se basa en una calibración indirecta, utilizando un bloque patrón de dureza [abajo abreviado como material certificado de referencia (CRM)] (véanse las referencias [10] a [13]). El anexo D presenta una guía para su determinación.

Puede no ser siempre posible cuantificar todas las contribuciones identificadas para la incertidumbre. En este caso, se puede obtener una estimación de la incertidumbre típica del tipo A a partir del análisis estadístico de las huellas repetidas sobre la probeta de ensayo. Se debería realizar con precaución, si las incertidumbres típicas de los tipos A y B se resumen, de forma que las contribuciones no se cuenten dos veces (capítulo 4 del JCGM 100:2008 [4]).

10 Informe de ensayo

El informe de ensayo debe incluir la siguiente información, salvo que se acuerde lo contrario por las partes afectadas:

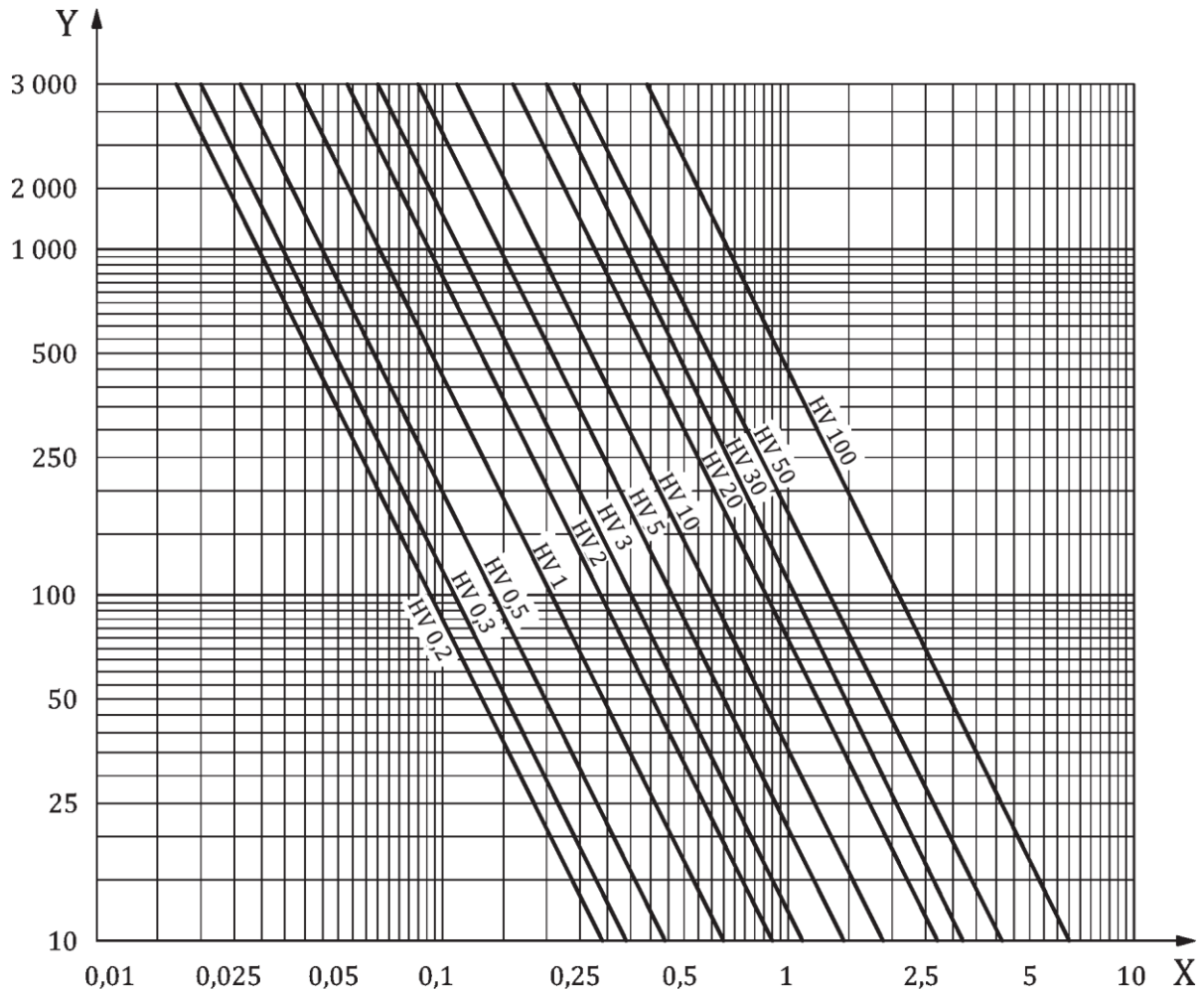
- a) una referencia a esta norma, es decir, Norma ISO 6507-1;
- b) toda la información necesaria para la identificación de la probeta de ensayo;
- c) la fecha del ensayo;
- d) el resultado de dureza obtenido en HV, presentado en el formato definido en el apartado 5.2;
- e) todas las operaciones no especificadas en esta norma o consideradas opcionales;
- f) detalles de cualquier circunstancia que afecte a los resultados;
- g) la temperatura del ensayo, si está fuera del rango de temperatura especificado en el apartado 8.1;
- h) cuando se realice la conversión a otra escala de dureza, la base y el método de esta conversión.

No hay un proceso general para convertir con exactitud la dureza Vickers a otras escalas de dureza o a otras resistencias de tracción. Por tanto, tales conversiones deberían evitarse, a menos que pudiera obtenerse una base fiable para la conversión por ensayos de comparación (véase además la Norma ISO 18265).

NOTA Sólo es posible una comparación estricta de los valores de dureza a fuerzas idénticas de ensayo.

Anexo A (Normativo)

Espesor mínimo de la probeta de ensayo en relación con la fuerza de ensayo y a la dureza

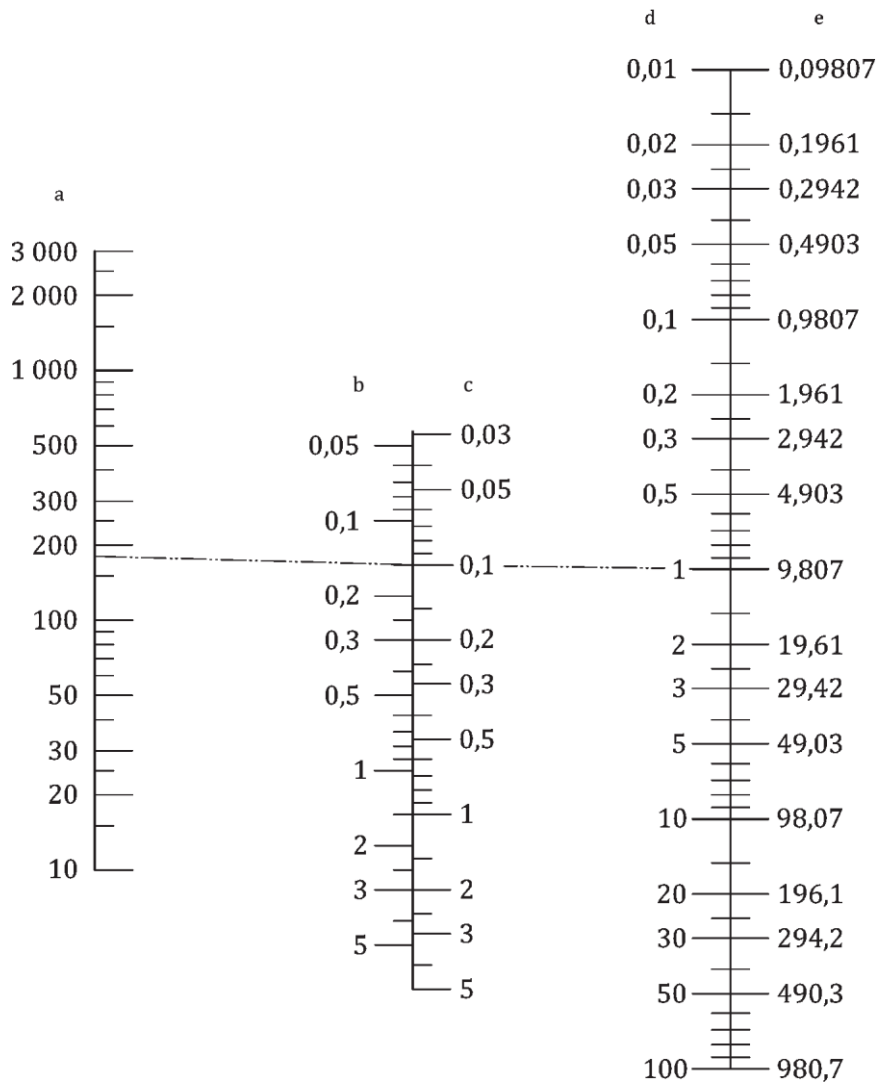


Leyenda

X Espesor de la probeta de ensayo, mm

Y Dureza, HV

Figura A.1 – Espesor mínimo de la probeta de ensayo en relación con la fuerza de ensayo y la dureza (HV 0,2 a HV 100)



Leyenda

- a Valor de dureza, HV
- b Espesor mínimo, *t*, mm
- c Longitud de la diagonal, *d*, mm
- d Símbolo de dureza, HV
- e Fuerza de ensayo *F*, N

Figura A.2 – Nomograma diseñado para el espesor mínimo de la probeta de ensayo (HV 0,01 a HV 100)

El nomograma mostrado en la figura A.1 ha sido diseñado para el espesor mínimo de una probeta de ensayo, asumiendo que el espesor mínimo tiene que ser 1,5 veces la longitud de la diagonal de la huella. El espesor requerido se presenta por el punto de intersección de la escala de espesor mínimo y una línea (se muestra punteada en el ejemplo de la figura A.2) uniendo la fuerza de ensayo (escala a mano derecha) con la dureza (escala a mano izquierda).

Anexo B (Normativo)

Tablas de factores de corrección para utilización en los ensayos realizados sobre superficies curvas

B.1 Superficies esféricas

Las tablas B.1 y B.2 presentan los factores de corrección cuando los ensayos se realizan sobre superficies esféricas.

Los factores de corrección se tabulan en términos de la relación de la diagonal media, d , de la huella entre el diámetro, D , de la esfera.

EJEMPLO

Esfera convexa, $D = 10$ mm

Fuerza de ensayo, $F = 98,07$ N

Diagonal media de la huella, $d = 0,150$ mm

$$\frac{d}{D} = \frac{0,150}{10} = 0,015$$

$$\text{Dureza Vickers} = 0,1891 \times \frac{98,07}{(0,15)^2} = 824 \text{ HV } 10$$

El factor de corrección de la tabla B.1 por interpolación = 0,983

Dureza de la esfera = $824 \times 0,983 = 810 \text{ HV } 10$

Tabla B.1 – Superficies esféricas convexas

<i>d/D</i>	Factor de corrección	<i>d/D</i>	Factor de corrección
0,004	0,995	0,086	0,920
0,009	0,990	0,093	0,915
0,013	0,985	0,100	0,910
0,018	0,980	0,107	0,905
0,023	0,975	0,114	0,900
0,028	0,970	0,122	0,895
0,033	0,965	0,130	0,890
0,038	0,960	0,139	0,885
0,043	0,955	0,147	0,880
0,049	0,950	0,156	0,875
0,055	0,945	0,165	0,870
0,061	0,940	0,175	0,865
0,067	0,935	0,185	0,860
0,073	0,930	0,195	0,855
0,079	0,925	0,206	0,850

Tabla B.2 – Superficies esféricas cóncavas

<i>d/D</i>	Factor de corrección	<i>d/D</i>	Factor de corrección
0,004	1,005	0,057	1,080
0,008	1,010	0,060	1,085
0,012	1,015	0,063	1,090
0,016	1,020	0,066	1,095
0,020	1,025	0,069	1,100
0,024	1,030	0,071	1,105
0,028	1,035	0,074	1,110
0,031	1,040	0,077	1,115
0,035	1,045	0,079	1,120
0,038	1,050	0,082	1,125
0,041	1,055	0,084	1,130
0,045	1,060	0,087	1,135
0,048	1,065	0,089	1,140
0,051	1,070	0,091	1,145
0,054	1,075	0,094	1,150

B.2 Superficies cilíndricas

Las tablas B.3 a B.6 presentan los factores de corrección cuando los ensayos se realizan sobre superficies cilíndricas.

Los factores de corrección se tabulan en términos de la relación de la diagonal media, d , de la huella entre el diámetro, D , de la esfera.

EJEMPLO

Cilindro cóncavo, una diagonal de la huella paralela al eje, $D = 5$ mm

Fuerza de ensayo, $F = 294,2$ N

Diagonal media de la huella, $d = 0,415$ mm

$$\frac{d}{D} = \frac{0,415}{5} = 0,083$$

$$\text{Dureza Vickers} = 0,1891 \times \frac{294,2}{(0,415)^2} = 323 \text{ HV } 30$$

El factor de corrección de la tabla B.6 = 1,075

Dureza del cilindro = $323 \times 1,075 = 347 \text{ HV } 30$

Tabla B.3 – Superficies cilíndricas convexas – Diagonales a 45ª del eje

d/D	Factor de corrección	d/D	Factor de corrección
0,009	0,995	0,119	0,935
0,017	0,990	0,129	0,930
0,026	0,985	0,139	0,925
0,035	0,980	0,149	0,920
0,044	0,975	0,159	0,915
0,053	0,970	0,169	0,910
0,062	0,965	0,179	0,905
0,071	0,960	0,189	0,900
0,081	0,955	0,200	0,895
0,090	0,950		
0,100	0,945		
0,109	0,940		

Tabla B.4 – Superficies cilíndricas cóncavas – Diagonales a 45ª del eje

<i>d/D</i>	Factor de corrección	<i>d/D</i>	Factor de corrección
0,009	1,005	0,127	1,080
0,017	1,010	0,134	1,085
0,025	1,015	0,141	1,090
0,034	1,020	0,148	1,095
0,042	1,025	0,155	1,100
0,050	1,030	0,162	1,105
0,058	1,035	0,169	1,110
0,066	1,040	0,176	1,115
0,074	1,045	0,183	1,120
0,082	1,050	0,189	1,125
0,089	1,055	0,196	1,130
0,097	1,060	0,203	1,135
0,104	1,065	0,209	1,140
0,112	1,070	0,216	1,145
0,119	1,075	0,222	1,150

Tabla B.5 – Superficies cilíndricas convexas – Una diagonal paralela al eje

<i>d/D</i>	Factor de corrección	<i>d/D</i>	Factor de corrección
0,009	0,995	0,085	0,965
0,019	0,990	0,104	0,960
0,029	0,985	0,126	0,955
0,041	0,980	0,153	0,950
0,054	0,975	0,189	0,945
0,068	0,970	0,243	0,940

Tabla B.6 – Superficies cilíndricas cóncavas – Una diagonal paralela al eje

<i>d/D</i>	Factor de corrección	<i>d/D</i>	Factor de corrección
0,008	1,005	0,087	1,080
0,016	1,010	0,090	1,085
0,023	1,015	0,093	1,090
0,030	1,020	0,097	1,095
0,036	1,025	1,100	1,100
0,042	1,030	0,103	1,105
0,048	1,035	0,105	1,110
0,053	1,040	0,108	1,115
0,058	1,045	0,111	1,120
0,063	1,050	0,113	1,125
0,067	1,055	0,116	1,130
0,071	1,060	0,118	1,135
0,076	1,065	0,120	1,140
0,079	1,070	0,123	1,145
0,083	1,075	0,125	1,150

Anexo C (Normativo)

Procedimiento para la comprobación periódica de la máquina de ensayo, el sistema de medida de la diagonal y el penetrador por parte del usuario

C.1 Verificación periódica

El penetrador a emplear para la verificación periódica debe ser el mismo que se utiliza en el ensayo. El bloque patrón de dureza debe seleccionarse para el ensayo y es calibrado de acuerdo con la Norma ISO 6507-3 en la escala y al nivel de dureza aproximado a que la máquina se utilizará.

Antes de realizar la verificación periódica, el sistema de medición de la diagonal debe verificarse indirectamente utilizando una de las huellas de referencia del bloque patrón de dureza. La longitud de huella medida debe ser conforme con el valor certificado dentro del valor que sea mayor: 0,001 mm o de un 1,25% de la longitud de huella. Si el sistema de medición de la diagonal no supera esta prueba, el sistema se debe ajustar o reparar y realizar una verificación directa e indirecta de acuerdo con la Norma ISO 6507-2.

Deben realizarse al menos dos mediciones de dureza sobre la superficie calibrada del bloque patrón de dureza. Las huellas deben distribuirse uniformemente sobre la superficie del bloque patrón. La máquina se considera satisfactoria si el máximo error de porcentaje positivo o negativo, b_{rel} , para cada lectura, no supera los límites indicados en la tabla C.1.

El porcentaje de error, b_{rel} , se calcula de acuerdo con la fórmula (C.1):

$$b_{rel} = 100 \times \frac{H - H_{CRM}}{H_{CRM}} \quad (C.1)$$

donde

H es el valor de dureza correspondiente a la medición de dureza tomada;

H_{CRM} es la dureza certificada del bloque patrón utilizado.

Si la máquina de ensayo no supera esta prueba, se debe verificar que el penetrador y la máquina de ensayo se hallan en buenas condiciones y se debe repetir la verificación periódica. Si la máquina continúa fallando en la verificación periódica, se debe realizar una verificación indirecta de acuerdo con la Norma ISO 6507-2. Se debería mantener un registro de los resultados de la verificación periódica durante un periodo de tiempo y utilizarse para medir la reproducibilidad y monitorizar la desviación de la máquina.

Tabla C.1 – Porcentaje de error máximo permitido HV

Longitud media de la diagonal, \bar{d} mm	Porcentaje de error máximo permitido HV, b_{rel} , de la máquina de ensayo $\pm\% HV$
$0,02 \leq \bar{d} < 0,14$	$0,21/\bar{d} + 1,5$
$0,14 \leq \bar{d} \leq 1,400$	3

NOTA Los criterios especificado en esta norma para el comportamiento de la máquina de ensayo han sido desarrollados y refinados a lo largo de un periodo de tiempo significativo. Cuando se determina una tolerancia específica que la máquina necesita cumplir, la incertidumbre asociada con el uso del equipo de medición y/o las normas de referencia ha sido incorporada dentro de esta tolerancia y, por tanto, sería inapropiado permitir cualquier otra provisión para esta incertidumbre, por ejemplo, para reducir la tolerancia de la incertidumbre de medida. Esto se aplica a todas las mediciones realizadas cuando se realiza una verificación periódica de la máquina.

C.2 Inspección del penetrador

La experiencia demuestra que un número de penetradores inicialmente satisfactorios pueden quedar defectuosos después de su empleo para un tiempo comparativamente corto. Esto se debe a pequeñas grietas, fisuras u otros defectos en la superficie. Si tales errores se detectan a tiempo, pueden recuperarse muchos penetradores mediante rectificado. Si no es así, muchos pequeños defectos sobre la superficie pueden agravarse rápidamente e incapacitar al penetrador. Por tanto,

- debería monitorizarse la condición de los penetradores mediante comprobación visual del aspecto de las huellas sobre el bloque patrón, cada día de uso de la máquina de ensayo;
- la verificación del penetrador queda invalidada cuando el penetrador presenta defectos;
- rectificado u otros penetradores reparados deben cumplir todos los requisitos de la Norma ISO 6507-2.

Anexo D (Informativo)

Incertidumbre de los valores de dureza medidos

D.1 Requisitos generales

El análisis de la incertidumbre de las mediciones es una herramienta útil que ayuda a determinar las fuentes de error y permite entender las diferencias en los resultados de los ensayos. Este anexo proporciona una guía sobre la estimación de la incertidumbre, pero los métodos contenidos son únicamente para información, salvo que el cliente presente de otra forma instrucciones específicas.

La mayoría de las especificaciones de producto tienen tolerancias que han sido desarrolladas a lo largo de los últimos años, basándose principalmente en los requisitos del producto, aunque también, en parte, en el comportamiento de la máquina empleada para realizar la medición de la dureza. Por tanto, estas tolerancias incorporan una contribución debida a la incertidumbre de medida de la dureza y serían inadecuadas para realizar cualquier otra provisión adicional para esta incertidumbre, por ejemplo, mediante la reducción de la tolerancia especificada en la incertidumbre estimada de la medición de la dureza. De otra forma, cuando una especificación de producto declara que la dureza de un componente debe ser mayor o menor que un determinado valor, esto se debería interpretar como una simple especificación que el(los) valor(es) de dureza calculado(s) deben cumplir este requisito, salvo que se declara específicamente otro en la norma de producto. No obstante, puede haber circunstancias especiales cuando es adecuada la reducción de la tolerancia mediante la reducción de la incertidumbre. Esto sólo se debería hacer por acuerdo entre las partes implicadas.

Este enfoque para determinar la incertidumbre presentada en este anexo considera únicamente aquellas incertidumbres asociadas con el comportamiento general de la medición de la máquina de ensayo de dureza con respecto a los bloques patrón de dureza (abreviados como CRM según se indica más abajo). Estas incertidumbres de comportamiento reflejan el efecto combinado de todas las incertidumbres separadas (verificación indirecta). A causa de este enfoque, es importante que los componentes individuales de la máquina operen dentro de las tolerancias. Se recomienda encarecidamente que este procedimiento se aplique para un máximo de un año después de haber superado satisfactoriamente una verificación directa.

El anexo E muestra la estructura de cuatro niveles de la cadena metrológica necesaria para definir y diseminar las escalas de dureza. La cadena comienza en el nivel internacional utilizando las definiciones de las distintas escalas de dureza para la realizar las intercomparaciones internacionales. Un número inicial de máquinas patrones primarios de dureza a nivel nacional "producen" bloques patrón de dureza de referencia para la calibración a nivel de laboratorio. Naturalmente, la calibración directa y la verificación de estas máquinas se deberían realizar a la máxima exactitud posible.

D.2 Procedimiento general

El procedimiento calcula una incertidumbre combinada, u_H , mediante el método de la raíz de la suma de los cuadrados de las distintas fuentes definidas en la tabla D.1 La incertidumbre expandida, U , se obtiene de u_H multiplicándola por el factor de cobertura $k = 2$. La tabla D.1 contiene todos los símbolos y su designación.

El error, b , de una máquina de ensayo de dureza (también denominado "error"), se obtiene de la diferencia entre

- el valor de la calibración certificada del bloque patrón de dureza utilizado, y
- el valor medio de dureza de las cinco huellas hechas en este bloque durante la calibración de la máquina de ensayo de dureza (véase la Norma ISO 6507-2), pueden implementarse de diferentes formas en la determinación de la incertidumbre.

Se presentan dos métodos para determinar la incertidumbre de las mediciones de dureza:

- El método 1 contabiliza el error sistemático de la máquina de dureza de dos formas diferentes. En un enfoque, se añade aritméticamente la contribución a la incertidumbre del error sistemático a este valor. En el otro enfoque, se realiza una corrección al resultado de la medición para compensar el error sistemático.
- El método 2 permite determinar la incertidumbre sin tener que considerar la magnitud del error sistemático.

Se puede encontrar información adicional sobre el cálculo de las incertidumbres de la dureza en la referencias [4] a [10].

NOTA 1 Este enfoque de incertidumbre no permite ninguna deriva posible en el comportamiento de la máquina después de su última calibración, ya que se supone que ninguno de estos cambios será insignificante en magnitud. Por tanto, la mayoría de este análisis podría realizarse de forma inmediata después de la calibración de la máquina y los resultados incluidos en el certificado de la calibración de la máquina.

NOTA 2 En este anexo, "CRM" significa "material certificado de referencia". En las normas de ensayo de dureza, el material certificado de referencia es equivalente al bloque patrón de dureza, es decir, una probeta de un material con un valor certificado y una incertidumbre asociada.

D.3 Procedimientos para el cálculo de la incertidumbre: Valores de medición de dureza

D.3.1 Procedimiento con error (método M1)

El procedimiento del método M1 para la determinación de la incertidumbre de medida se explica en la tabla D.1. El error de medición, b , de la máquina de ensayo de dureza puede esperarse como un efecto sistemático. En el documento JCGM 100:2008 [4], se recomienda que se utilice una corrección para compensar los efectos sistemáticos, y éstas es la base de M1. El resultado de utilizar este método es que bien todos los valores de dureza determinados, x , tienen que reducirse por b , o bien que la incertidumbre, U , se tiene que incrementar por b . El procedimiento para la determinación de U_{M1} se explica en la tabla D.1.

La incertidumbre combinada expandida de medida para una medición individual de dureza, x , se calcula de acuerdo con la fórmula (D.1.):

$$U_{M1} = k \times \sqrt{u_H^2 + 2 \times u_{ms}^2 + u_{HTM}^2} \quad (D.1)$$

donde

- u_H es una contribución a la incertidumbre de la medida debida a la falta de repetibilidad de la medición de la máquina de ensayo de dureza;
- u_{ms} es una contribución a la incertidumbre de medida debida a la resolución de la máquina de ensayo de dureza. Se deben considerar tanto la resolución de la medición de la longitud que indica el instrumento como la resolución óptica del microscopio de medición. En la mayoría de los casos, la resolución global del sistema de medición debería incluirse dos veces en el cálculo de u_H para tener en cuenta las posiciones de ambos extremos de la diagonal de forma independiente;
- u_{HTM} es una contribución a la incertidumbre de medida debida a la incertidumbre típica del error de medición, b , generado por la máquina de ensayo de dureza (este valor se informa como un resultado de la verificación indirecta que se define en la Norma ISO 6507-2) y que se define de acuerdo con la fórmula (D.2):

$$u_{HTM} = \sqrt{u_{CRM}^2 + u_{HCRM}^2 + 2 \times u_{ms}^2} \quad (D.2)$$

donde

- u_{CRM} es la contribución a la incertidumbre de medida debida a la incertidumbre de calibración del valor certificado de CRM de acuerdo con el certificado de calibración para $k = 1$;
- u_{HCRM} es la contribución a la incertidumbre de medida debida a la combinación de la falta de repetibilidad de medidas de la máquina de ensayo de dureza y a la falta de uniformidad de dureza de CRM, calculada como la desviación típica de la media de las mediciones de dureza cuando se mide el CRM;
- u_{ms} es la contribución a la incertidumbre de la medida debida a la resolución de la máquina de ensayo de dureza cuando mide el CRM.

El resultado de la medición puede presentarse de dos formas:

- como X_{corr} , donde el valor de la medición, x , se corrige por el error de medición, b , calculado de acuerdo con la fórmula (D.3):

$$X_{corr} = (x - b) \pm U_{M1} \quad (D.3)$$

- o como X_{ucorr} , donde el valor de la medición, x , no se corrige por el error de medición, b , y la incertidumbre expandida, U , se incrementa por el valor absoluto del error de la medición de acuerdo con la fórmula (D.4):

$$X_{ucorr} = x \pm \left[U_{M1} + |b| \right] \quad (D.4)$$

Cuando se utiliza el método M1, puede ser además apropiado el incluir las contribuciones adicionales de incertidumbre dentro del término RSS relativo al valor empleado de b . Este caso será particularmente cuando

- la dureza medida es significativamente diferente de los niveles de dureza de los bloques utilizados durante la calibración de la máquina;
- el valor del error de la máquina varía significativamente a lo largo de su rango calibrado;
- el material que se mide es diferente del material de los bloques patrón de dureza utilizados durante la calibración de la máquina; o
- el comportamiento día a día (reproducibilidad) de la máquina de ensayo de dureza varía significativamente.

Los cálculos de estas contribuciones adicionales a la incertidumbre de medida no se discuten en este documento. En todas las circunstancias, se requerirá un método robusto para la estimación de la incertidumbre asociada con b .

D.3.2 Procedimiento sin error (método M2)

Como alternativa al método M1, el método M2 se puede utilizar en determinadas circunstancias. El método M2 sólo es válido para las máquinas de ensayo de dureza que hayan superado una verificación indirecta, de acuerdo con la Norma ISO 6507-2 utilizando el valor $|b| + U_{\text{HTM}}$, en lugar de sólo el valor del error, b , cuando se cumpla con la máxima desviación permitida del error (véase la Norma ISO 6507-2). En el método M2, el valor máximo permitido del error, b_E (la cantidad positiva por la que la lectura de la máquina permite diferir del valor de referencia del bloque), según se especifica en la tabla 5 de la Norma ISO 6507-2:2017, se utiliza para definir un componente, u_E , de la incertidumbre. No hay corrección de los valores de dureza con respecto al límite del error. El procedimiento para la determinación de U se explica en la tabla D.1.

La incertidumbre de medida combinada expandida para una medición futura individual de la dureza se calcula de acuerdo con la fórmula (D.5):

$$U_{\text{M2}} = k \times \sqrt{u_{\text{H}}^2 + 2 \times u_{\text{ms}}^2 + u_{\text{E}}^2} \quad (\text{D.5})$$

donde

- u_{H} es una contribución a la incertidumbre de medida debida a la falta de repetibilidad de la medición de la máquina de ensayo de dureza;
- u_{ms} es una contribución a la incertidumbre de la medida debida a la resolución de la máquina de ensayo de dureza. Se deben considerar tanto la resolución de la medición de la longitud que indica el instrumento como la resolución óptica del microscopio de medición. En la mayoría de los casos, la resolución global del sistema de medición debería incluirse dos veces en el cálculo de u_{H} para tener en cuenta las posiciones de ambos extremos de la diagonal de forma independiente;
- u_{E} es una contribución a la incertidumbre de la medida debida a la máxima desviación permitida del error, $u_{\text{E}} = b_{\text{E}} / \sqrt{3}$ (distribución rectangular), donde b_{E} es la máxima desviación permitida del error según se especifica en la Norma ISO 6507-2, y el resultado de la medición se calcula de acuerdo con la fórmula (D.6):

$$X = x \pm U_{M2} \quad (D.6)$$

D.4 Expresión de los resultados de la medición

EJEMPLO

Una máquina de ensayo de dureza realiza una medida individual de la dureza Vickers, x , sobre una probeta de ensayo.

El valor individual de la medición de dureza, x : $x = 410 \text{ HV } 30$

La longitud de la diagonal, d : $d = 0,368 \text{ mm}$

La resolución del sistema de medición de la longitud de la diagonal se calcula de acuerdo con la fórmula (D.7):

$$\delta_{ms} = \sqrt{\delta_{OR}^2 + \delta_{IR}^2} \quad (D.7)$$

$\delta_{ms} = 0,000 \text{ mm}$

donde

δ_{OR} es la resolución óptica del objetivo del microscopio (0,000 5 mm);

δ_{IR} es la resolución del indicador de la pantalla del sistema de medición (0,000 1 mm).

La última verificación indirecta de la máquina de ensayo determina un error de medición, b , con una incertidumbre del error, U_{HTM} , utilizando un CRM de $\bar{H}_{CRM} = 401,6 \text{ HV } 30$ con una incertidumbre declarada, U_{CRM} , de 5,0 HV30. La dureza de este CRM es la más cercana a la dureza de la probeta de ensayo de aquellos CRMs utilizados para la verificación indirecta.

El error de la medición de la máquina de ensayo, b : $b = 1,62 \text{ HV } 30$.

La incertidumbre del error de medida de la máquina de ensayo, U_{HTM} : $U_{HTM} = 5,14 \text{ HV } 30$.

Para determinar la falta de repetibilidad de la máquina de ensayo, el laboratorio realizó cinco mediciones HV 30, H_i , sobre un CRM que tiene una dureza similar al de la probeta de ensayo. Las cinco medidas fueron realizadas junto a otros requisitos de espacio de forma que se redujera la influencia de la falta de uniformidad del bloque.

Los valores de las cinco medidas H_i , fueron: 405,5 HV 30; 399,0 HV 30; 400,9 HV 30; 403,4 HV 30; 397,5 HV 30

El valor medio de las mediciones, H : $\bar{H} = 401,3 \text{ HV } 30$

La desviación típica de los valores medidos, S_H : $S_H = 3,2 \text{ HV } 30$

Puede utilizarse el valor de S_H basado en las mediciones desde la última verificación indirecta de acuerdo con la Norma ISO 6507-2 en lugar de realizar los ensayos de repetibilidad anteriores; no obstante, este valor de desviación típica normalmente sobrestimaré la falta de repetibilidad del componente de la incertidumbre puesto que se incluye además en la ausencia de uniformidad del CRM.

Para este ejemplo,

$$|b| + U_{\text{HTM}} = 1,62 + 5,14 = 6,76 \text{ HV } 30 \text{ y}$$

$$b_E = 3\% \text{ de } 410 \text{ HV } 30 = 12,3 \text{ HV } 30.$$

Dado que el error de la máquina de ensayo más la incertidumbre expandida en la determinación del error $[|b| + U_{\text{HTM}}]$ está dentro del error máximo permitido, b_E , se pueden utilizar tanto el Método M1 como el Método M2.

Tabla D.1 – Determinación de la incertidumbre ampliada de acuerdo con los métodos M1 y M2

Paso	Fuentes de incertidumbre	Símbolos	Fórmula	Literatura/certificado	Ejemplo
1 M1,M2	Resultado de medición	x			$x = 410 \text{ HV } 30$
2 M1	Valor del error, b , e incertidumbre, U_{HTM} , del error de la máquina de ensayo de dureza a partir de la verificación indirecta	b U_{HTM} u_{HTM}	$u_{\text{HTM}} = \frac{U_{\text{HTM}}}{2}$	b y U_{HTM} de acuerdo con un informa de verificación indirecta utilizando un CRM de $\bar{H}_{\text{CRM}} = 401,6 \text{ HV } 30$ (véase la NOTA 1)	$b = 1,62 \text{ HV } 30$ $U_{\text{HTM}} = 5,14 \text{ HV } 30$ $u_{\text{HTM}} = \frac{5,14}{2} = 2,57 \text{ HV } 30$
3 M2	Desviación máxima permitida del error	b_E	$b_E =$ valor máximo positivo del error permitido	Error permitido, b , de acuerdo con la tabla 5 de la Norma ISO 6507-2:2017	$b_E = 3 \%$ $b_E = \frac{3 \times 410}{100} = 12,3 \text{ HV } 30$
4 M2	Incertidumbre típica debida a la desviación máxima permitida del error	u_E	$u_E = b_E / \sqrt{3}$	Distribución rectangular	$u_E = \frac{12,3}{\sqrt{3}} = 7,10 \text{ HV } 30$
5 M1,M2	La desviación típica de la repetibilidad de las mediciones	s_H	$s_H = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}$	Cinco mediciones realizadas en laboratorio sobre un CRM que tiene una dureza similar al de la probeta de ensayo (véase la NOTA 2)	$s_H = 3,2 \text{ HV } 30$
6 M1,M2	Incertidumbre típica debida a la falta de repetibilidad	U_H	$u_H = t \times s_H$	$t = 1,14$ para $n = 5$ (véase JCGM 100:2008 [4])	$u_H = 1,14 \times 3,2 = 3,69 \text{ HV } 30$
7 M1,M2	Incertidumbre típica debida a la resolución del valor de dureza que indica la pantalla	u_{ms}	$u_{\text{ms}} = -\frac{2x}{d} \times \frac{\delta_{\text{ms}}}{2\sqrt{3}}$	$\delta_{\text{ms}} = 0,000 \text{ 51 mm}$ $x = 410 \text{ HV } 30$ $d = 0,368 \text{ 4 mm}$ (véase la NOTA 3)	$u_{\text{ms}} = -\frac{2 \times 410,0}{0,368 \text{ 4}} \times \frac{0,000 \text{ 51}}{2 \times \sqrt{3}} = -0,33 \text{ HV } 30$

Paso	Fuentes de incertidumbre	Símbolos	Fórmula	Literatura/certificado	Ejemplo
8 M1	Determinación de la incertidumbre expandida	U_{M1}	$U_{M1} = k \times \sqrt{u_H^2 + 2 \times u_{ms}^2 + u_{HTM}^2}$	Pasos 2, 6 y 7 $k = 2$	$U_{M1} = 2 \times \sqrt{3,69^2 + 2 \times (-0,33)^2 + 2,57^2}$ $U_{M1} = 9,04 \text{ HV } 30$
9 M1	Resultado de la medida con la dureza modificada	X_{corr}	$X_{\text{corr}} = (x - b) \pm U_{M1}$	Pasos 1, 2 y 8	$x = 410 \text{ HV } 30$ $X_{\text{corr}} = (408 \pm 9) \text{ HV } 30$
10 M1	Resultado de la medida con la incertidumbre modificada	X_{ucorr}	$X_{\text{ucorr}} = x \pm (U_{M1} + b)$	Pasos 1, 2 y 8	$x = 410 \text{ HV } 30$ $X_{\text{ucorr}} = (410 \pm 11) \text{ HV } 30$
11 M2	Determinación de la incertidumbre expandida	U_{M2}	$U_{M2} = k \times \sqrt{u_H^2 + 2 \times u_{ms}^2 + u_E^2}$	Pasos 4, 6 y 7 $k = 2$	$U_{M2} = 2 \times \sqrt{3,69^2 + 2 \times (-0,33)^2 + 7,10^2}$ $U_{M2} = 16,0 \text{ HV } 30$
12 M2	Resultado de la medición	X	$X = x \pm U_{M2}$	Pasos 1 y 2	$x = 410 \text{ HV } 30$ $X = (410 \pm 16) \text{ HV } 30$

NOTA 1 Si $0,8 b_E < b < 1,0 b_E$, se deberían considerar la relación de los valores de dureza entre CRM y la probeta.

NOTA 2 Se puede utilizar el valor de s_H basado en las medidas de la última verificación indirecta realizada de acuerdo con la Norma ISO 6507-2, pero esto normalmente sobrestimaré la falta de repetibilidad del componente de incertidumbre desde que se incluye en la falta de uniformidad del CRM. En aquellas circunstancias en que se comunica la media de múltiples medidas de dureza sobre una probeta de ensayo, en lugar de una medida individual de dureza, debería sustituirse el valor s_H del Paso 5 por la desviación típica de las múltiples medidas de dureza de la probeta a ensayar dividido por la raíz cuadrada del número de medidas de dureza, n , y el valor de t del Paso 6 debería ser apropiada a las n mediciones ($u_H = t \times s_H / \sqrt{n}$). La contribución de la incertidumbre calculada, u_H , tendrá así en cuenta la falta de uniformidad de la probeta de ensayo.

NOTA 3 El coeficiente de sensibilidad $-2x/d$ sigue desde $\partial x/\partial d$ para convertir la incertidumbre en la longitud de la diagonal (mm) a la incertidumbre en HV.

Anexo E (Informativo)

Trazabilidad de la medición de dureza Vickers

E.1 Definición de trazabilidad

La ruta a la trazabilidad para una medición de la dureza Vickers es diferente comparada con cualquier otra magnitud de medida, tales como longitud o temperatura. Este se debe originalmente a la medición de la dureza que incluye Vickers que sigue un procedimiento de ensayo definido que utiliza una máquina de ensayo que realiza múltiples medidas de parámetros distintos durante el ensayo, por ejemplo, fuerza, longitud, tiempo. Cada una de estas mediciones, así como otros parámetros de ensayo, influyen el resultado de dureza.

La Metrología de Vocabulario Internacional (VIM3) ^[14] define la trazabilidad metrológica como:

***trazabilidad metrológica** – propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia a través de una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuyen a la incertidumbre de medida, VIM3, 2012.*

De esta definición, dos aspectos son necesarios para que un resultado de medición tenga trazabilidad: 1) una cadena ininterrumpida de calibraciones, cada una de las cuales contribuyen a la incertidumbre de medida y 2) una referencia a la trazabilidad que se reclama. Estos aspectos definirán la cadena de trazabilidad metrológica.

E.2 Cadenas de calibraciones

La Norma ISO 6507-2 especifica un conjunto de procedimientos de calibración y verificación necesarios para demostrar que la máquina de ensayo es adecuada para el uso conforme con este documento. Los procedimientos de calibración incluyen mediciones directas de varios componentes que afectan al comportamiento de la máquina, tales como las fuerzas de ensayo, la forma del penetrador y el equipo de medida de la huella, así como las mediciones de dureza de un rango de bloques patrón. Cada una de estas mediciones de calibración tiene especificados los límites dentro de los cuales el resultado debe estar para que la máquina supere la verificación. Históricamente, la calibración y la verificación de los componentes de la máquina se han denominado Verificación Directa de la máquina y la calibración y la verificación de la máquina de ensayo mediante medidas en bloque patrón como Verificación Indirecta.

La Norma ISO 6507-3 especifica tanto el procedimiento requerido para calibrar los bloques patrón utilizados en la Verificación Indirecta de la máquina de ensayo, así como además los procedimientos de calibración y verificación exigidos a la máquina utilizada para calibrar estos bloques.

Cuando se considere una "cadena ininterrumpida de calibraciones" para proporcionar la trazabilidad de la medida a la máquina de ensayo, es aparente que podría proceder tanto de la ruta de la Verificación Directa como de la Verificación Indirecta.

Los requisitos de Verificación Directa especifican las mediciones de los componentes individuales de la máquina de ensayo, con la trazabilidad alcanzada de cada una de estas mediciones a través de las cadenas de trazabilidad del Sistema Internacional de unidades (SI), normalmente según se realiza por el Instituto Metrológico Nacional (NMI). Estas cadenas de calibración se ilustran en el margen derecho de la figura E.1. Conjuntamente, estas cadenas de calibración forman una ruta potencial de trazabilidad para una máquina de ensayo.

El margen izquierdo de la figura E.1 ilustra una ruta de trazabilidad realizada a través de una cadena individual de calibración para cada nivel en la jerarquía de calibración, es decir, nacional, calibración y usuario, que incluye la calibración de los bloques patrón y la correspondiente Verificación Indirecta de las máquinas de dureza Vickers. Una máquina patrón primario (a nivel nacional) calibra los bloques originales patrón que son posteriormente empleados para calibrar una máquina de calibración (a nivel de calibración). Esta máquina calibra los bloques patrón que son finalmente utilizados para calibrar una máquina de ensayo (a nivel de ensayo).

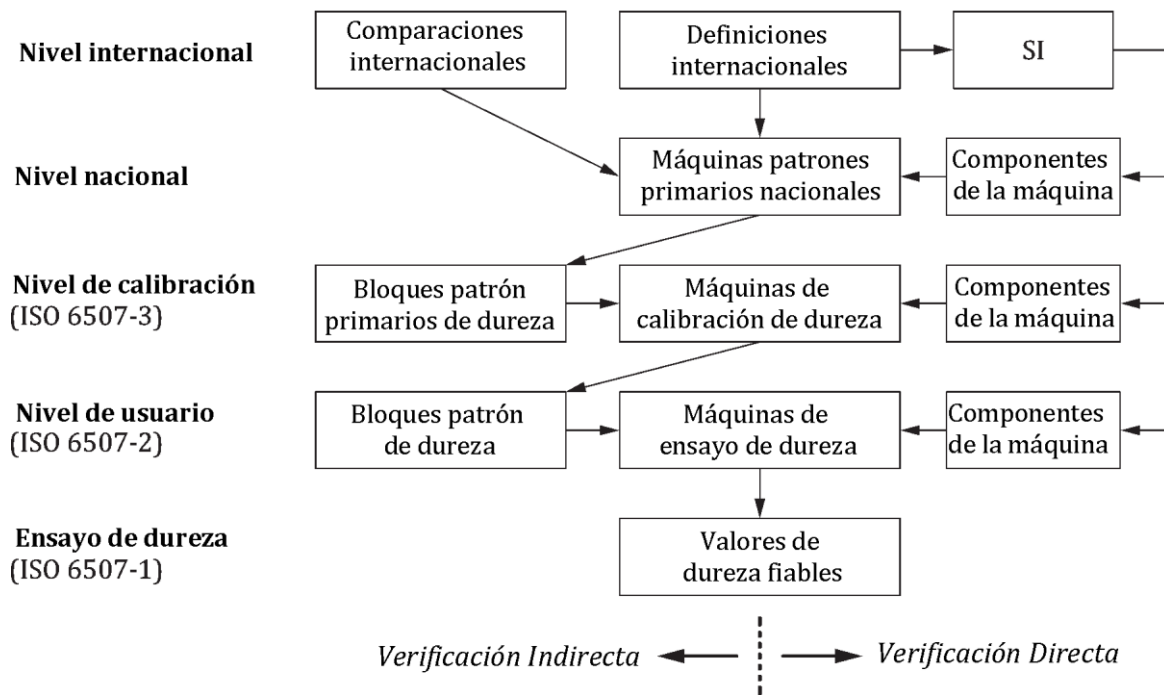


Figura E.1 - Cadenas de calibraciones

E.3 Referencia de dureza Vickers

El otro requisito para alcanzar la trazabilidad es una referencia a la que se reclama la trazabilidad. La dureza Vickers no es una propiedad fundamental del material, sino más bien una magnitud ordinal dependiente del método de ensayo definido. Idealmente, la última referencia para una medición dureza Vickers debería ser una definición acordada internacionalmente de este método, incluyendo los valores de todos los parámetros. La trazabilidad de dureza sería entonces esta definición a través de la realización en laboratorio o el cumplimiento de la definición, la exactitud de esta realización se reflejaría en la incertidumbre de medida de laboratorio y se confirmaría por comparaciones internacionales. La definición acordada internacionalmente estaría desarrollada por el Grupo de Trabajo de Dureza (CCM-WGH) (véase el anexo F) y se realizaría por la NMIs que normaliza la dureza Vickers. En este momento, el CCM-WGH no ha desarrollado las definiciones para las escalas de dureza Vickers así que la referencia más alta es normalmente una realización de NMI's de las escalas Vickers basadas en la propia definición escogida del ensayo. En los casos en que un NMI no calibre los bloques patrón para determinadas escalas Vickers, la referencia más alta en un país puede ser la realización de una calibración de laboratorio de la definición de escala Vickers.

E.4 Asuntos prácticos

Una de las dos rutas de trazabilidad de las cadenas de calibración mostradas en la figura E.1 (margen izquierdo y margen derecho) podrían teóricamente proporcionar la trazabilidad a una referencia apropiada de dureza Vickers. No obstante, existen asuntos prácticos con ambas rutas que deben ser consideradas. Para la ruta de Verificación Directa presentada en el margen derecho de la figura E.1, es extremadamente difícil identificar, medir y, si es necesario, corregir todos los parámetros que pueden afectar el valor de dureza medido. Incluso si la máquina supera su Verificación Directa, la trazabilidad no asegurará si uno o más parámetros incontrolados o sin identificar, tienen un efecto significativo. Este es normalmente el caso y se convierte en más de un asunto a niveles inferiores en la jerarquía de la calibración.

La cadena de calibración de la Verificación Indirecta presentada en el margen izquierdo de la figura E.1 tiene además asuntos prácticos que deben considerarse. Una consecuencia de utilizar una máquina de ensayo que cuenta con múltiples componentes, cada medición realizada durante el ensayo de dureza, es que un error en una de las mediciones de los componentes puede compensarse o contrarrestarse por un error en una medición de un componente distinto. Esto puede resultar en mediciones exactas de la dureza para los niveles específicos de dureza y de los materiales del bloque ensayados durante la verificación indirecta; no obstante, el error de medición puede incrementarse cuando se ensayen otros niveles de dureza o materiales. Si los errores en los componentes individuales de la máquina son significativos, entonces la trazabilidad no podrá ser asegurada de nuevo.

E.5 Trazabilidad de la medición de dureza Vickers

E.5.1 Generalidades

Los aspectos anteriores indican que ambos tipos de rutas de trazabilidad normalmente necesitan estar en el lugar para alcanzar la trazabilidad de la medición de la dureza Vickers. No obstante, la trazabilidad se puede conseguir basada únicamente en una de las dos rutas si se realiza una examinación y una evaluación minuciosas del proceso de medición. Por ejemplo, a Nivel Nacional, se alcanza la trazabilidad de una máquina patrón de dureza original Vickers de un NMI a través de una cadena de calibración de Verificación Directa, puesto que no se reconoce un artefacto de referencia de nivel superior de dureza. La trazabilidad a través de esta ruta es posible puesto que el NMI tiene normalmente la capacidad de evaluar minuciosamente sus sistemas de medición y sus niveles de incertidumbre se confirman a través de comparaciones internacionales con otros NMIs. Por el contrario, décadas de experiencia en la medición de la dureza Vickers han mostrado que, para los niveles más bajos en la jerarquía de calibración, lo más práctico es obtener la trazabilidad y determinar la incertidumbre de medida basada originalmente en la cadena de calibración de Verificación Indirecta; no obstante, es también importante la trazabilidad apropiada de los valores de magnitud del componente de la máquina individual. Este esquema de trazabilidad ha probado ser adecuado para mediciones industriales de la dureza Vickers.

E.5.2 Trazabilidad del nivel de calibración

La trazabilidad de la medida se obtiene mejor a través de la cadena de calibración de Verificación Indirecta utilizando bloques patrón primarios que hayan sido calibrados a nivel nacional NMI. Esta es además la ruta que debería utilizarse para la determinación de la incertidumbre de medida. Al mismo tiempo, no obstante, los componentes especificados de la máquina de calibración deberían calibrarse sobre una base frecuente para asegurar que los errores compensados no son significativos. La trazabilidad de la dureza debería ser a la realización por un NMI de la definición del CCM-WGH de la escala Vickers o en ausencia de una definición del CCM-WGH; la trazabilidad debería ser a la realización por un NMI de su propia definición elegida. Si el NMI no proporciona unos bloques patrón calibrados o realiza mediciones de comparación con un laboratorio de calibración y no es práctico que se utilicen bloques patrón de otro NMI, se reclamará que la referencia a esta trazabilidad pueda necesitar que se lleve a cabo en un laboratorio de calibración de la definición de escala Vickers basada en un método internacional de ensayo, tal como el que se define en esta norma. En este caso, la trazabilidad de la medición del laboratorio de calibración puede alcanzarse a través de la ruta de Verificación Indirecta utilizando bloques patrón de referencia o a través de la ruta de Verificación Directa confirmada por intercomparaciones.

E.5.3 Trazabilidad del nivel del usuario

La trazabilidad de la medida se obtiene mejor a través de la cadena de calibración de Verificación Indirecta utilizando bloques patrón que hayan sido calibrados a nivel de calibración o a nivel nacional. Con esta trazabilidad de nivel de calibración, esta puede ser la ruta más práctica y debería ser además utilizada para la determinación de la incertidumbre de medida. Es además deseable que los componentes de la máquina de dureza superen periódicamente una Verificación Directa para asegurar que los errores de compensación no son significativos. No obstante, la práctica industrial común es que estas mediciones se hagan únicamente cuando la máquina de dureza se fabrica o se repara, lo que es el requisito mínimo de esta norma.

NOTA Los siguientes términos utilizados en este anexo son conformes con el VIM3 ^[14]:

- calibración;
- jerarquía de calibración;
- trazabilidad metrológica;
- cadena de trazabilidad metrológica;
- magnitud ordinal;
- verificación.

Anexo F (Informativo)

CCM – Grupo de trabajo de dureza

En 1999, en la 88ª Sesión del Comité Internacional de Pesos y Medidas (CIPM), el Dr. Kozo Iizuka, Presidente del Comité Consultivo para la Masa y las Magnitudes Relacionadas (CCM), declaró que "Aunque la definición de las escalas de dureza es ciertamente convencional en el sentido del uso de una fórmula escogida arbitrariamente, el método de ensayo se define por una combinación de magnitudes físicas expresadas por unidades del SI; el patrón de dureza se establece y se mantiene en la mayoría de NMIs y la trazabilidad a este patrón de NMI se demanda en la industria y en cualquier lugar". Las consiguientes discusiones condujeron a la comprensión de que se deberían incluir unos patrones de dureza en la base de datos de comparaciones clave (KCDB) para el acuerdo de reconocimiento mutuo (MRA) y, de esta forma, se estableció un completo Grupo de Trabajo de Dureza (CCM-WGH) en el marco del CCM ^[15].

El establecimiento del CCM-WGH proporcionó un marco técnico-diplomático en el cual los parámetros de influencia en la dureza pueden examinar y mejorar las definiciones internacionales de los ensayos de dureza, que pueden ser propuestos y aprobados para utilizar el NMI a fin de reducir las diferencias en las mediciones al máximo nivel nacional. Debido a la necesidad de un acuerdo internacional, el CCM-WGH tiene un enlace cercano con el comité ISO/TC 164/SC3 con el fin de asegurar una diseminación adecuada de las escalas de dureza. La mejora más significativa de las definiciones del CCM-WGH es que los parámetros del ensayo de dureza se definen con valores específicos, más que con rangos de límites aceptables tal como especifica este método de ensayo. Según proceda, este documento ha adoptado los valores definidos de las definiciones del CCM-WGH como valores a utilizar.

Las definiciones del CCM-WGH se publican en la web <http://www.bipm.org>

Anexo G (Informativo)

Ajuste de los sistemas de iluminación Kohler

G.1 Generalidades

Mientras que algunos sistemas ópticos están permanentemente alineados, hay otros que tienen medios de ajustes menores. Para lograr la máxima resolución, los siguientes ajustes pueden resultar útiles.

G.2 Iluminación Kohler

Enfocar, a exactitud crítica, la superficie de una probeta plana pulida.

Centrar la fuente de iluminación.

Alinear centradamente el campo y la apertura de los diafragmas.

Abrir el diafragma de campo de forma que justo desaparezca del campo de visión.

Retirar el ocular y examinar el plano focal trasero del objetivo. Si todos los componentes están situados correctamente, la fuente de iluminación y el diafragma de apertura aparecerán en el enfoque exacto.

Se prefiere un diafragma de apertura completa para una potencia máxima de resolución. Si el reflejo es excesivo, se debe reducir la apertura, pero nunca utilizar menos que el 3/4 de la apertura, ya que la resolución se reduciría y el fenómeno de difracción podría conllevar errores de medida.

Si la luz es demasiado fuerte para el confort visual, se debe reducir la intensidad utilizando un filtro adecuado de densidad neutral o un control reostático.

Bibliografía

- [1] ISO 6507-4, *Metallic materials. Vickers hardness test. Part 4: Tables of hardness values.*
- [2] ISO 18265, *Metallic materials. Conversion of hardness values.*
- [3] ISO 23718, *Metallic materials. Mechanical testing. Vocabulary.*
- [4] JCGM 100:2008 (*GUM 1995 with minor corrections*), *Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. BIPM/IEC/IFCC/ILAC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML, 2008.*
- [5] SANPONPUTE. T, MEESAPLAK, A, *Vibration Effect on Vickers Hardness Measurement*, Proceedings of IMEKO 2010 TC3, TC5 and TC22 Conferences, pp. 145-149.
- [6] DENGEL, D. *Wichtige Gesichtspunkte für die Härtemessung nach Vickers und nach Knoop im Bereich der Kleinlast- und Mikrohärtetechnik*, Z. f. Werkstofftechnik **4** (1973), pp. 292-298. (Note: short extract).
- [7] BÜCKLE, H. *Mikrohärteprüfung und ihre Anwendung*. Verlag Berliner Union Stuttgart, 1965, pp. 296. (Note: very extensive).
- [8] BÜCKLE, H. *Echte und scheinbare Fehlerquellen bei der Mikrohärtetechnik: Ihre Klassifizierung und Auswirkung auf die Messwerte*. VDI-Berichte **11** (1957), pp. 29-43. (Note: extensive).
- [9] MATTHAEI, E. *Härteprüfung mit kleinen Prüfkräften und ihre Anwendung bei Randschichten (kritische Literaturbewertung)*, pp. 47, 192 Schrifttumshinweise. Verlag DGM-Informationsgesellschaft Oberursel, 1987. (Note: overall view of sources).
- [10] EURAMET cg-16 Ver. 2.0, *Guidelines on the Estimation of Uncertainty in Hardness Measurements, 2011.*
- [11] GABAUER, W. *Manual of 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.
- [12] GABAUER, W., BINDER O. *Abschätzung der Messunsicherheit in der Härteprüfung unter Verwendung der indirekten Kalibriermethode*, DVM Werkstoffprüfung, Tagungsband 2000, S. pp. 255-261.
- [13] POLZIN, T., SCHWENK, D. *Estimation of Uncertainty of Hardness Testing; PC file for the determination*, Materialprüfung, **3**, 2002 (44), pp. 64-71.
- [14] VIM. *International vocabulary of metrology. Basic and general concepts and associated terms*, VIM, 3rd edition (2008 version with minor corrections), JCGM 200:2012 available via <http://www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html>.
- [15] IZUKA K. *Worldwide Activities Around Hardness Measurement – Activities in CCM/CIPM, IMEKO/TC5, OIML/TC10 and ISO/TC164 in Proceedings HARDMEKO 2007*, Tsukuba, Japan, 2007, 1-4.

Para información relacionada con el desarrollo de las normas contacte con:

Asociación Española de Normalización
Génova, 6
28004 MADRID-España
Tel.: 915 294 900
info@une.org
www.une.org

Para información relacionada con la venta y distribución de las normas contacte con:

AENOR INTERNACIONAL S.A.U.
Tel.: 914 326 000
normas@aenor.com
www.aenor.com



organismo de normalización español en:

