

Trazabilidad y Unificación de las escalas de Dureza en México

Alfredo Esparza Ramírez
División de Metrología de Fuerza y Presión
aesparza@cenam.mx

Resumen. Las mediciones de dureza desempeñan un papel importante en la determinación de las características mecánicas de un material y, es frecuente que estos resultados se tomen como base para la aceptación o rechazo de piezas terminadas. Ante la diversidad de métodos, escalas, penetradores, fuerzas aplicadas y tiempos de prueba no se tiene una definición completa en la magnitud de dureza en las normas mexicanas e internacionales, por lo que su trazabilidad y diseminación de esta magnitud debe ser adecuadamente realizada. Tanto la trazabilidad como su diseminación las mediciones de dureza constituyen dos puntos importantes en la definición de esta magnitud. En este trabajo, se presentan los problemas y alternativas de solución para la adecuada medición y diseminación de la magnitud de dureza, así como una visión global de los trabajos que se han realizado a nivel mundial sobre este tema además se presentan los métodos de mayor utilización en la industria, sus magnitudes de influencia y las alternativas que se tienen para la unificación de las escalas de dureza en México.

1. Principio de medición de las escalas de dureza convencionales (Rockwell, Brinell y Vickers)

Método Rockwell

El método consiste en introducir un penetrador (cono de diamante o bola de acero endurecido), sobre la pieza de trabajo, mediante la aplicación sucesiva de dos cargas según las condiciones específicas de la prueba que se esté realizando y medir la deformación o profundidad de la huella dejada por el penetrador.

La unidad de medida de la profundidad S es 0,002 mm y a partir de esta medida se deduce el número de dureza Rockwell.

$$HR = N - \frac{h}{S} \quad (1).$$

donde:

h: es la profundidad de la huella

N = 100 para penetrador de diamante y 130 para penetrador esférico

S: es la unidad de medida de la profundidad (0,002 mm para Rockwell y 0,001 mm para Rockwell superficial)

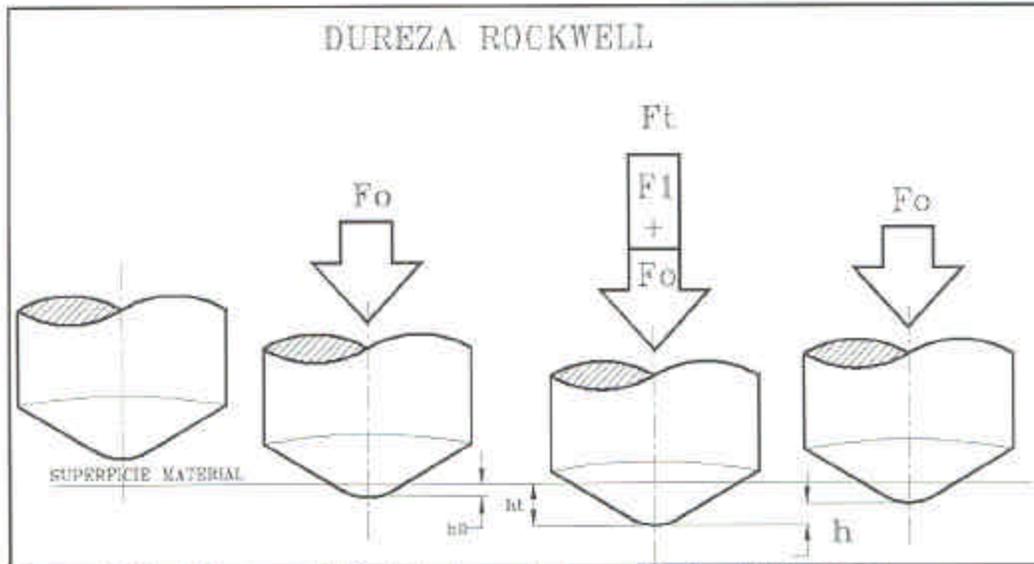


Figura 1. Principio de medición del número de dureza Rockwell (diamante)

Método Brinell

En el método de prueba de dureza Brinell utiliza un penetrador de bola de acero endurecido que es aplicado sobre una superficie del material bajo prueba. Posteriormente, al retirar la fuerza aplicada a la pieza, se observa una huella producida por el penetrador, de la cual se mide el diámetro de la impresión mediante un dispositivo óptico (proyector de imagen en la máquina de ensayo, o por medio de un microscopio).

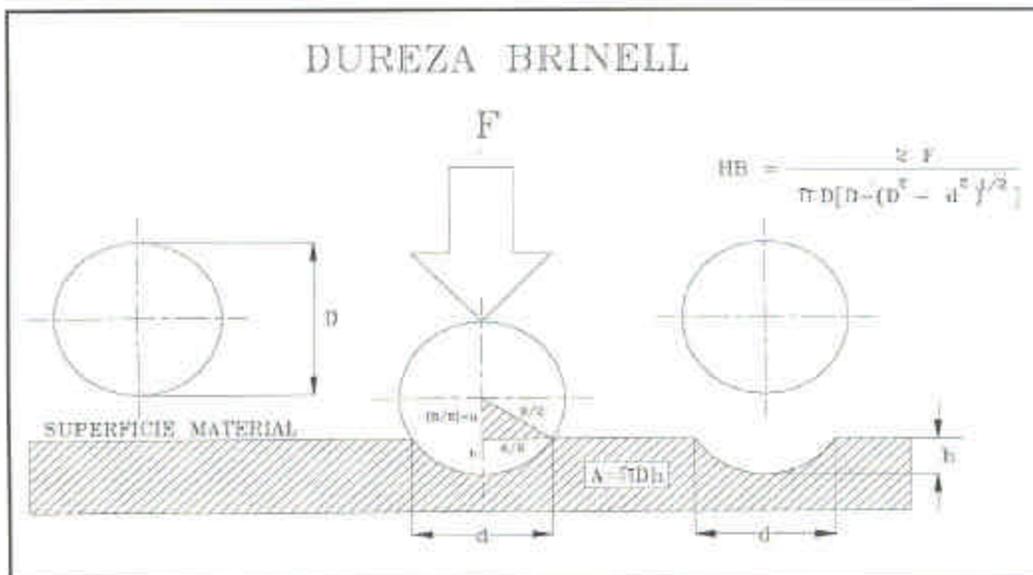


Figura 2. Principio de medición del número de dureza Brinell.

Físicamente la dureza Brinell se define como:

$$HB = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Area}}$$
$$HB = \left(\frac{1}{g_n} \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \right)$$

F : fuerza aplicada en N
D,d : diámetro del balín y de la huella en mm
g_n : aceleración local de la gravedad en m/s²

Método Vickers

Este método consiste en hacer, sobre la superficie de una probeta, una huella con un penetrador en forma de pirámide recta de base cuadrada, con determinado ángulo en el vértice, y medir la diagonal de dicha huella después de quitar la carga F (ver figura)

La dureza Vickers se define como el cociente de la carga de ensayo por el área de la huella, que se considera como una pirámide recta de base cuadrada y con el mismo ángulo en el vértice que el penetrador.

El tipo de prueba de dureza Vickers es muy similar a tipo Brinell, aunque la prueba Vickers utiliza un penetrador piramidal de diamante con ángulo de 130° entre sus caras y con base cuadrada.

El número de dureza Vickers HV está dado por la relación entre la fuerza aplicada y la superficie de la huella de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$HV = \frac{F}{A}$$

donde:

F : fuerza aplicada en N
D : promedio de las diagonales en mm

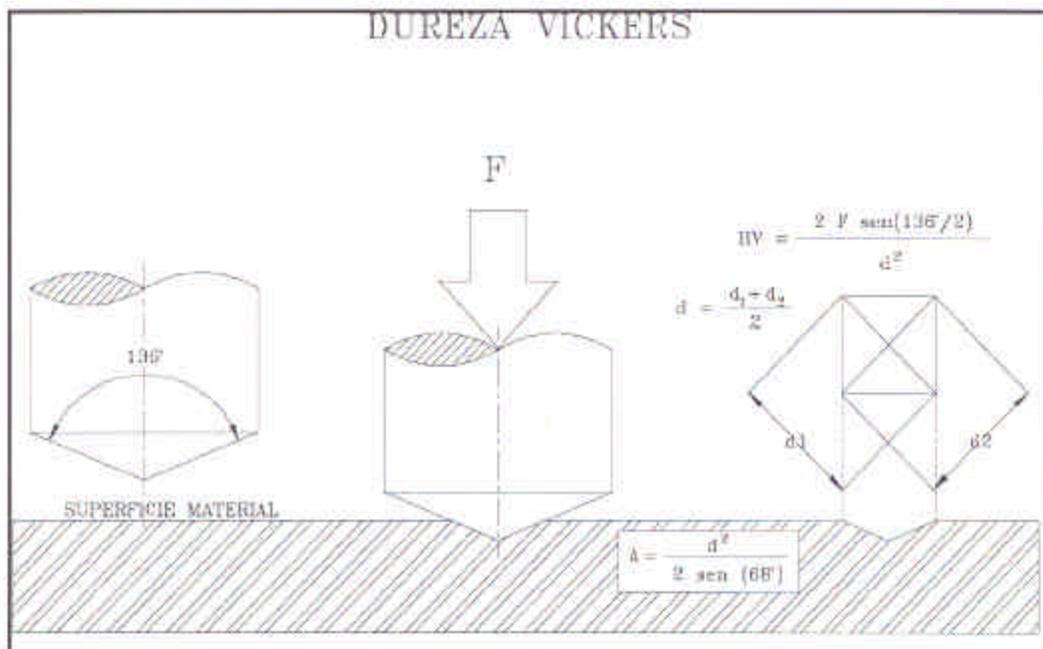


Figura 3. Principio de medición del número de dureza Rockwell (diamante)

2. Magnitudes de influencia

Las magnitudes de influencia significativas son:

ROCKWELL	MÉTODO BRINELL	VICKERS
La fuerza inicial (F_0)		
La fuerza total aplicada (F)	La fuerza total aplicada (F)	La fuerza total aplicada (F)
El ángulo del penetrador (α)		El ángulo del penetrador (α)
El radio del penetrador (r)	El radio del penetrador (r)	El radio del penetrador (r)
La profundidad de la huella (h)		
El tiempo de aplicación de la fuerza inicial (t_0)		
La velocidad del penetrador (v)	La velocidad del penetrador (v)	La velocidad del penetrador (v)
El tiempo de aplicación de la fuerza total (t)	El tiempo de aplicación de la fuerza total (t)	El tiempo de aplicación de la fuerza total (t)
La incertidumbre del bloque de referencia	La incertidumbre del bloque de referencia	La incertidumbre del bloque de referencia
	Medición del diámetro de huella	Medición de las diagonales de la huella

3. Procedimiento de calibración de las máquinas de medición de dureza Rockwell.

Método directo

- a. Calibración de la fuerza inicial ($\pm 2,0\%$)
- b. Calibración de la fuerza total aplicada ($\pm 1,0\%$)

- c. Verificación del ángulo del penetrador ($120 \pm 0,35\%$)
- d. Verificación del radio del penetrador ($0,200 \text{ mm} \pm 0,010 \text{ mm}$)
- e. Calibración del dispositivo de medición de la profundidad ($\pm 0,001 \text{ mm}$)
- f. Verificación del ciclo de prueba ($\pm 1 \text{ s}$)

Método indirecto

- a. juego de tres bloques de referencia (alto, medio y bajo), con trazabilidad a patrones de dureza.
- b. B. Verificación del ángulo del penetrador ($120 \pm 0,35^\circ$)
- c. Verificación del radio del penetrador ($0,200 \text{ mm} \pm 0,010 \text{ mm}$)
- d. Calibración del ciclo de prueba ($\pm 1 \text{ s}$)

4. Trazabilidad en la magnitud de dureza

El siguiente esquema muestra la carta de trazabilidad del patrón primario de dureza.



Figura 4. Trazabilidad del patrón primario de dureza

5. Diseminación de las escalas de dureza

La diseminación de las escalas de dureza debe estar basada en tres partes fundamentales que son:

- a) **Definición de la escala de dureza:** es la descripción del método de medición, las tolerancias relevantes de las magnitudes involucradas y sus límites de las condiciones ambientales. Para cada escala la definición está dada en normas internacionales (incluyendo medición, verificación de máquinas de medición de dureza y calibración de bloques de referencia).
- b) **Máquina de medición de dureza:** aparato con alta reproducibilidad para realizar el procedimiento de medición de dureza requerido para la calibración de bloques de referencia y/o mediciones de dureza de alta exactitud.
- c) **Bloques de referencia de dureza:** material con características geométricas y de acabado bien definidas y con una dureza homogénea en su superficie.

La diseminación de las escalas de dureza se puede observar en la figura (5)

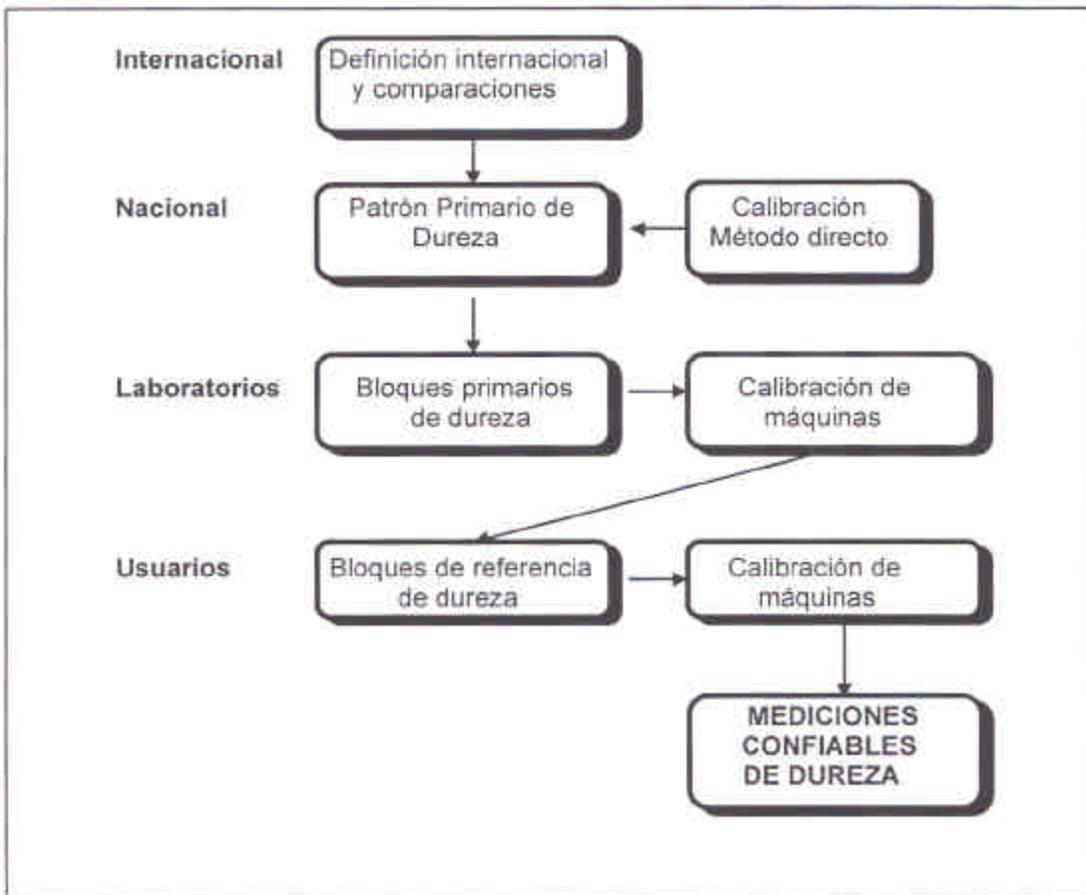


Figura 5. Diseminación de la escala de dureza

6. Unificación de las escalas de dureza en México

Idealmente, una unificación mundial de la escala de dureza deberá de estar caracterizada por:

- a) **Una trazabilidad metrológica:** los patrones de referencia son establecidos a través de mediciones fundamentales bajo tolerancias específicas e incertidumbre aceptables.
- b) **Estabilidad y reproducibilidad:** es necesario una estabilidad y reproducibilidad de los patrones de referencia (máquina o penetrador), y poder ser remplazados por otros patrones.
- c) **Transparencia e independencia:** los procedimientos, técnicos y normas de referencia utilizados para establecer una escala com ún deberá ser bien conocida y poder ser reproducida independientemente en otro laboratorio.

Se ha comprobado que diferentes ciclos de prueba generan diferencias significantes en los resultados de dureza, por lo que para lograr una unificación en las escalas de dureza es necesario que los laboratorios utilicen un ciclo estándar de prueba incluyendo una velocidad estándar de aplicación de la fuerza y de los tiempos de la prueba con sus respectivas tolerancias.

7. Normas Internacionales para medición, calibración de máquinas y bloques de referencia en la magnitud de dureza

ISO (Internacional Organization for Standardization) ha elaborado una serie de Normas Internacionales sobre escalas de dureza (medición, verificación y calibración de bloques de referencia). Las normas ISO especifican cualitativamente los requerimientos a cumplir por las máquinas de medición, penetradores, fuerzas de aplicación, velocidades y tiempos de aplicación de fuerza.

La definición de los métodos de dureza mediante normas, establecen un ciclo de prueba con valores definidos de fuerzas, geometría de los penetradores, aplicación de fuerzas de función del tiempo y velocidades del penetrador; los dos primeros factores dependen exclusivamente de la máquina de medición. Los efectos de tiempo y velocidad dependerán de las características elastoplásticas del material a probar.

8. Fuentes de error en las mediciones de dureza

La prueba de dureza puede considerarse en la mayoría de los casos una prueba no destructiva puesto que la pieza puede utilizarse nuevamente después de la medición. La parte destructiva de ésta, hace imposible repetir la medición en el mismo punto para verificar la incertidumbre del proceso. De aquí la importancia de que cada medición (única) se realice con el mayor grado de exactitud posible.

Dentro de las fuentes de error que se pueden enumerar en las mediciones de dureza se pueden agrupar los debidos a:

- a) material de prueba
- b) máquina de medición de dureza
- c) condiciones ambientales
- d) persona que realiza la prueba

9. Conclusiones

De lo anterior podemos concluir lo siguiente:

- En las mediciones de dureza es necesario la utilización de bloques de referencia con trazabilidad a patrones primarios en la magnitud de dureza y en cada una de las escalas en las que se esté midiendo.
- En la medición de dureza es necesario que el penetrador o juego de penetradores cuenten con certificado de calibración de acuerdo con normas internacionales, es importante citar que no son transferibles los penetradores.
- Es importante para la medición y calibración de las escalas de dureza utilizar los parámetros relacionados con el ciclo de prueba establecidos en normas internacionales.
- Finalmente es importante mencionar que una completa definición de las escalas de dureza no solo requiere la utilización de una máquina, bloque de referencia, penetradores y fuerzas aplicadas sino que es importante, además de lo anterior, seguir un ciclo de prueba con un al método y escala que se este utilizando.

10. Referencias

Barbato, G. Petik, F. "Metrological involvement in the definition and dissemination of hardness scales".

Germak, A. Desogus, S. "Hardness scale maintenance in Italy"

Herrmann, K. Pohlens, F. Hannemann J. "Hardness measurements at the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)-Present state and prospects"

ISO 6508 (1999). Metallic material- Rockwell hardness test- Part 2: verification and calibration of testing machines (scales A,B,C,D,E,F,G,H,K,N,T).

Petik, F. (1991). "The unification of hardness measurement". Bureau International de Metrologie Legale (OIML) Paris Francia:pp.86

Song, J.F., Low, A; Germak, T. Polzin, H. Ishida, G..Barbato (1997). "Establishing a world-wide unified Rockwell hardness scale with metrological traceability". Metrología: pp. 331-342