

## EL ENSAYO DE MICRODUREZA

*Por: Carlos E. Arroyave P.*

*Departamento de Ingeniería Metalúrgica*

*Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia*

---

---

### RESUMEN

Una gran herramienta no suficientemente explotada todavía, para el estudio y control de los materiales de ingeniería, es el ensayo de Microdureza, o medición de la dureza en áreas de tamaño microscópico. Con el fin de mostrar algunas ventajas de esta prueba y contribuir a su difusión en nuestro medio, se ha elaborado el presente trabajo, el cual pretende mostrar su utilidad, tipos más comunes de ensayos y anotaciones respecto del procedimiento, sobre puntos indispensables y que no siempre están a la mano de quien realiza y/o interpreta una prueba.

### 1. INTRODUCCION

Esta prueba tecnológica está basada en la relación carga/área, tal como sus similares del tipo macroscópico. Su principal característica, radica en que el escaso tamaño de la herramienta que produce la huella, o penetrador, permite la determinación de dureza en trozos y áreas de material hasta de tamaños microscópicos, como es el caso de la determinación de dureza en laminillas, recubrimientos, filos de herramientas, superficies endurecidas, puntos de pivote, alambres,

tornillos, piezas de relojería, y otros aparatos de precisión, constituyentes de una microestructura y similares, tanto en materiales metálicos como no metálicos; se usa, además, cuando la superficie a examinar no permite la producción de huellas visibles a simple vista, o cuando el material es muy frágil v.gr. silicio, germanio, vidrio, esmalte dental, etc.

Existen aplicaciones especiales, como la determinación del tipo de fractura sufrida por ciertos metales, mediante mediciones de microdureza; es tam-

bién una forma de evaluar el efecto de segregaciones e inclusiones en el comportamiento de los materiales y permite establecer gradientes de endurecimiento, producto de los diferentes procesos y tratamientos que los pueden provocar.

Como puede verse, la prueba no implica obtención de valores de dureza muy pequeños, sino valores normales en áreas muy reducidas.

Se dispone de dos tipos de penetradores, ambos de diamante, según los cuales podemos obtener los denominados valores de microdureza Vickers y Knoop.

Las características de la prueba, hacen que el sistema de marcación de la huella deba ser complementado por un microscopio de tipo metalográfico, a través del cual se haga la medición y se puedan captar imágenes fotográficas.

Al ser en este caso tan importante la precisión con que se mide, es necesario tener en cuenta hechos que la favorezcan, tales como el uso de un microscopio monocular, preferiblemente con ocular tipo FILAR, el cual permite medir longitudes tan pequeñas como 0.04 micrómetros. Además, la superficie a analizar debe estar extremadamente limpia, y es muy frecuente que haya que realizar trabajo y ataque me-

talográfico previos, hechos con el mayor cuidado posible para evitar al máximo el endurecimiento superficial. El ataque debe ser leve para no dificultar la identificación de los bordes de la huella. En algunos casos, en ciertos materiales, es necesario recurrir al pulido y ataque electrolíticos.

Estos ensayos han sido normalizados por normas como la ASTM E-384-73 y la GOST 9450-60.

## 2. MICRODUREZA VICKERS

En este caso, el penetrador es una punta en forma de pirámide regular de cuatro caras-base cuadrada, con un ángulo en el vértice de  $136^\circ$  (Figura 1). Se supone que la huella es fiel copia del penetrador, se miden sus diagonales y se procede a calcular el número de microdureza Vickers así:

$$HV = P/A = 2P \operatorname{Sen}(\alpha/2)/d^2$$

$$HV = 1.8544P/d^2 = 1854.4P_1/d_1^{2*}$$

P: carga aplicada, Kgf.

d: diagonal media, mm.

donde:

$P_1$  = carga aplicada, gf.

$d_1$  = diagonal media,  $\mu\text{m}$

\*  $d^2/1854.4$  es el área de la superficie lateral de la huella.

Posición de trabajo

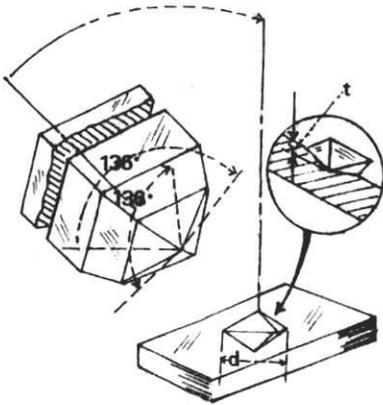


FIGURA 1. Penetrador Vickers.

Aunque el cálculo del valor de dureza, lleva a un resultado de fuerza ejercida por área unitaria, la naturaleza de la propiedad que se está midiendo —respuesta a la deformación elasto-plástica, hace que no sea conveniente tener en cuenta dichas unidades, expresándose, entonces, el valor adimensionalmente.

A veces se dispone de tablas que permiten la conversión inmediata del dato obtenido para  $d_1$ , al valor de dureza buscado según la carga usada; comúnmente se tienen valores para 1 gf., y se puede convertir por simple multiplicación para otras cargas.

Los aparatos más modernos tienen incorporados analizadores de imagen, que permiten leer directamente en pantalla digital el valor de la dureza.

### 3. MICRODUREZA KNOOP

La National Bureau of Standards, de los Estados Unidos desarrolló a finales de la década del 30, el penetrador utilizado (Figura 2), el cual consiste en una punta piramidal de cuatro caras, iguales de dos en dos —base rómbica, con ángulo mayor de  $172^{\circ} 30'$  y menor de  $130^{\circ}$ . Así, la imagen de la huella proyectada sobre el plano es un rombo.

Posición de trabajo

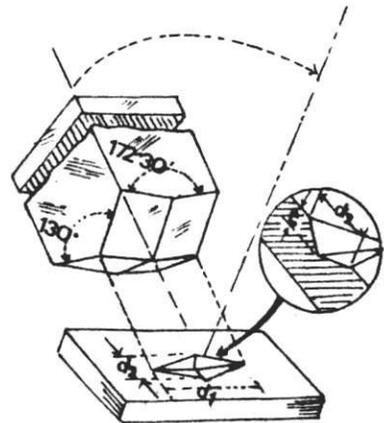


FIGURA 2. Penetrador Knoop.

Todas las consideraciones generales hechas para el método Vickers siguen siendo válidas y el número de dureza se calcula de la siguiente forma:

$$HK = P/A_p = P/d^2 C = P/0.07028d^2 =$$

$$14.229 P/d^2$$

$$HK = 14.229 P_1/d_1^2$$

donde:

P: carga aplicada, Kgf.

$A_p$ : área proyectada de la huella,  $\text{mm}^2$

C: constante del penetrador que relaciona el área proyectada de la huella al cuadrado de la longitud de la diagonal mayor.

d: longitud de la diagonal mayor, mm

$P_1$ : carga aplicada, gf.

$d_1$ : longitud de la diagonal mayor,  $\mu\text{m}$  (sólo se considera esta diagonal ya que es la de menor recuperación al retirar la carga).

La Figura 3 muestra las relaciones aproximadas que se establecen entre

las dimensiones importantes de la huella producida.

La forma del penetrador hace posible tomar huellas más cercanas entre sí, que con el Vickers, por lo cual es más útil, por ejemplo: en la determinación de gradientes. Otra ventaja del penetrador Knoop, es que para una longitud de diagonal mayor dada, la profundidad de la huella y el área son solamente cerca del 15o/o, de las que deja el penetrador Vickers; esto es particularmente útil cuando se mide dureza de capas muy delgadas, o cuando se ensayan materiales frágiles, cuya tendencia a fracturarse es proporcional al volumen de material esforzado. Además, para altos números de ensayos, la medición de una sola diagonal en el método Knoop, ahorra considerable tiempo.

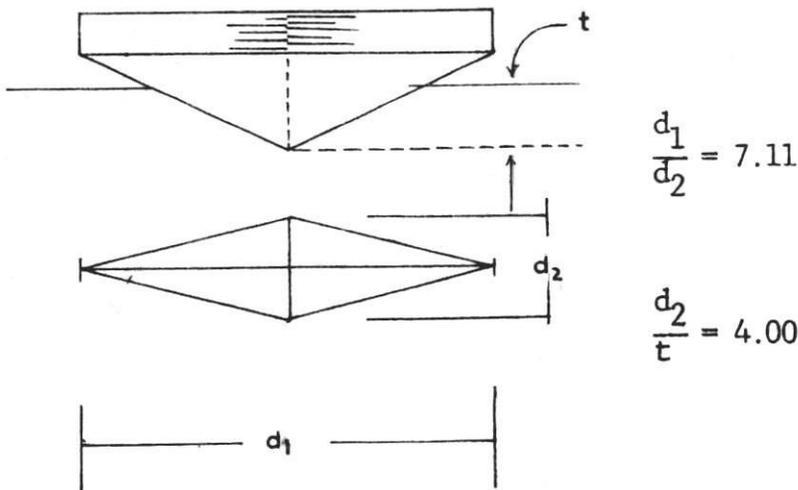


FIGURA 3. Dimensiones de la huella Knoop.

#### 4. DETERMINACION

Se presentan aquí algunas consideraciones que deben ser tenidas en cuenta durante la medición de dureza, independientemente del tipo de máquina a usar, que, además, ilustran mejor lo que es la prueba.

##### 4.1 Selección de la carga.

Dado que no existe un valor estandar, en cada caso debe seleccionarse la carga, con base en ensayos o conocimiento previo del material en estudio. Deberán tenerse en cuenta las dimensiones de la probeta o fase y la dureza a medir, para buscar producir siempre, una huella de tamaño adecuado. En el caso de la huella Vickers, un tamaño de diagonal óptimo es el que esté entre 9 y 15  $\mu\text{m}$  aproximadamente; sin embargo, en este caso fluctúa comúnmente entre 7 y 50  $\mu\text{m}$ . En la huella Knoop, el tamaño de la diagonal mayor, puede tener el triple de los valores mencionados.

Deberá tenerse en cuenta que el resultado a obtener, es una función compleja de los siguientes parámetros:

- a. Energía de la red. Tipo de enlace, radio atómico, estructura cristalina.
- b. Orientación cristalográfica de la fase o constituyente, sobre el que cae al penetrador, respecto del plano de medición.
- c. Sistemas de deslizamiento activos en la red.

d. Causantes de endurecimiento por deformación. Clase y número de imperfecciones de la red.

e. Variables del procedimiento seguido en la medición. Carga, rapidez de carga, rapidez de deformación, errores de medición, perpendicularidad plano de medición/penetrador.

En consecuencia, al final se tiene una conjunción estadística de efectos que debe ser interpretada con cuidado, lo cual hace importante el hecho de tener experiencia en este tipo de análisis.

Dentro de esta suma de efectos, la carga tiene un papel sobresaliente, pues cuando es muy baja, la aleatoriedad de los efectos es muy grande, al punto de llegar a imposibilitar la obtención de un verdadero valor de microdureza; además, con cargas bajas, el error en la localización de los extremos de la huella es importante. Por lo anterior, se prefiere no usar cargas inferiores a 100 gf; cuando se haga, deberá tenerse presente que mientras menor sea la carga, menos confiable será la medición. En estas circunstancias, la gama de cargas comúnmente utilizadas, está entre 100 y 500 gf.

##### 4.2 Colocación de la muestra.

La probeta se debe colocar de tal manera que la superficie sobre la cual se va a hacer la determinación, quede perpendicular al eje del penetrador.

### 4.3 Determinación del punto de interés.

Con el microscopio a bajos aumentos, se selecciona el sitio donde se hará la medición, y debe tenerse en cuenta que la distancia entre dos huellas sea siempre mayor que el doble de la extensión de cualquier deformación producida por la penetración; de esta forma, se tratará de evitar la superposición de deformaciones producidas por huellas diferentes.

Lo anterior puede ser tenido en cuenta, si se procura que la distancia entre centros de huellas supere al doble de la diagonal mayor de la huella más grande, en la dirección de la línea de unión de los centros. De igual manera, debe ser la distancia entre el centro de la huella y los bordes de la muestra; cuando la microestructura presenta constituyentes de dureza extremadamente baja en relación con la matriz, v.gr. el grafito en las fundiciones ferrosas, los límites correspondientes deberán considerarse como bordes de la muestra.

### 4.4 Aplicación de la carga.

Con el eje del penetrador exactamente perpendicular a la superficie a analizar, se procede a aproximar hasta poner en contacto, en forma suave y lenta, penetrador y muestra. Luego, se aplica la carga durante un tiempo de 10 a 15 segundos, a menos que se especifique otra cosa. En materiales extremadamente duros, se puede

cargar durante 5 segundos; en materiales muy blandos, es necesario cargar durante 30 segundos o más.

### 4.5 Análisis de la huella.

A los aumentos apropiados, se realiza la medición de las diagonales, y debe cuidarse que la escala graduada sea utilizada en forma correcta (Figura 4). También se debe revisar la simetría de la huella, con base en los siguientes criterios:

a. Huella Vickers: si un lado de una diagonal es notoriamente mayor que el otro, probablemente hay problemas de desalineación, que deben corregirse.

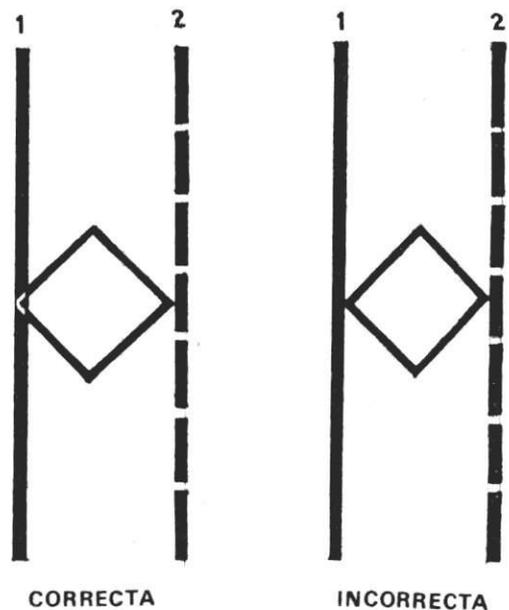


FIGURA 4. Comparación de técnicas correcta e incorrecta de medición.

b. Huella Knoop: si un lado de la diagonal mayor es superior al otro en más del 20o/o, o si los extremos de esta diagonal no están en el mismo campo de enfoque, probablemente se corregirá alineando.

Para determinar las causas de desalineación, se gira la probeta  $90^{\circ}$  ó  $180^{\circ}$ , si la deformación también gira, no hay perpendicularidad superficie de medición/penetrador; si la deformación no gira, el penetrador está mal colocado.

#### *4.6 Confiabilidad de la medición.*

Con el fin de tener mayor confiabilidad y seguridad en los resultados obtenidos, es conveniente producir varias huellas sobre la misma muestra, mínimo tres, y promediar el valor de las diagonales.

#### *4.7 Registro fotográfico.*

La mayoría de los equipos de microdureza permiten tomar fotografías. Esta es una buena herramienta

en la comparación cualitativa de durezas de constituyentes de una microestructura, o entre dos microestructuras observadas con iguales aumentos.

#### *4.8 Advertencias y cuidados.*

Para que la medición sea confiable, el espesor de la muestra nunca deberá ser menor que una y media veces una diagonal Vickers, ni menor que una tercera parte de la diagonal mayor Knoop.

El aparato debe mantenerse aislado de toda vibración, lo cual a veces, hace muy conveniente el trabajar en horas de la noche.

#### *4.9 Reporte.*

El valor de la dureza obtenida, se debe informar con el tipo de escala utilizada, la carga aplicada y el tiempo de aplicación, si éste es diferente a 10 ó 15 segundos. Ejemplos: 400HK<sub>100</sub>; 105.3 HK<sub>50,30</sub>; 205 HV<sub>200</sub>.

## BIBLIOGRAFIA

1. J.A., Nelson. "Linear Measurement by Ligth Optical Microscopy". Trans. 32th. Annual Technical Conference, American Society for Quality Control, may 8-10, 1978, Palmer House, U.S.A.
2. ——— y D., Albretch. Heat Treating, ap-jn'76.
3. V., Zolotoresvski. Pruebas Mecánicas y Propiedades de los Metales. MIR. Moscú, 1976.
4. Shimadzu. "Microdurómetro Shimadzu de Carga Automática Tipo M". Catálogo CA 227-907, Japón.
5. A.S.M. Metals Handbooks. "Atlas of Microstructures of Industrial Alloys". 8th. ed., Vol. 7. American Society for Metals, Metals Park, U.S.A., 1973.
6. F.G., Yost. Met, Trans., Vol. 144, No. 5, my'83. 947-952.
7. ASTM Standard E 384-73.
8. Page-Wilson Co. "Tukon Microhardness Testers". J 18-11-0013 2.3 M 882RS Catalog, U.S.A., 1982.
9. R.M., Fulrath and J.A., Pask (Ed.) Ceramic Microstructure, Their Analysis, Significance and Production. Robert F. Krieger Publishing Co., New York, 1966.
10. A., Vélez y E., Posada. Ing. Mecánica, No. 1, 1977, 8-16.
11. W., Hayden, W.G., Moffatt y J., Wolff. Ciencia de los Materiales. Vol. III. "Propiedades Mecánicas". Limusa-Wiley S.A., México, 1968.
12. S.H. Avner. Introducción a la Metalurgia Física. 2a. ed. McGraw-Hill, México, 1979.
13. G.E., Dieter. Mechanical Metallurgy. 2nd. ed. McGraw-Hill, Kogakusha, Tokyo, 1976.
14. A.M., Afanasiev y V.A., Marien. Prácticas de Laboratorio sobre Resistencia de Materiales. MIR, Moscú, 1978.
15. H.E., Daries, G.E., Troxell and C.T., Wiskocil. The Testing and Inspeccion of Engineering Materials. 3d. ed., McGraw-Hill Book Co., Tokyo, 1964.
16. G.L., Kehl. Fundamentos de la Práctica Metalográfica. 3a. ed., Aguilar, Madrid, 1963.