

Capítulo 2

Bases teóricas

Contenido

2.1. GENERALIDADES SOBRE LA DUREZA DE UN MATERIAL.....	5
2.2. DISTINTOS ENSAYOS DE DUREZA.	6
2.2.1. INTRODUCCIÓN.....	6
2.2.2. ENSAYO BRINELL.	7
2.2.3. ENSAYO ROCKWELL.	9
2.2.3. ENSAYO VICKERS.	10
2.2.4. ENSAYO KNOOP.....	12
2.3. PROCESO DE FORMACIÓN DE LA HUELLA DURANTE EL ENSAYO DE DUREZA.....	13
2.3.1. MICROPLASTICIDAD.....	13
2.3.2. MACROPLASTICIDAD	13
2.4. DEPENDENCIA DUREZA-CARGA-DIAGONAL.....	16
2.5. PROBLEMAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA MICRODUREZA DE UN MATERIAL.	18
2.6. UTILIDADES DE LA DUREZA Y LA MICRODUREZA.....	19
2.6.1. RELACIÓN DUREZA-LÍMITE ELÁSTICO.....	19
2.6.2. DETERMINACIÓN DE LA REGIÓN PLÁSTICA DE LA CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN.....	20
2.6.3. DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE DISTINTOS MICROCONSTITUYENTES.	20
2.6.4. DENSIDAD DE COMPACTOS.....	21
2.7. LA ECUACIÓN DE LA DUREZA VICKERS Y SU REPRESENTACIÓN.....	21

Bases Teóricas

2.1. GENERALIDADES SOBRE LA DUREZA DE UN MATERIAL.

En el sentido más amplio, se entiende por dureza de un material la resistencia superficial que opone éste a la deformación. Según el método que se emplee para medirla se distingue entre^[4]:

- Resistencia que oponen los materiales a ser *rayados* por otros más duros (Dureza mineralógica).
- Resistencia que oponen los materiales a ser *penetrados* por otros más duros (Durezas Brinell, Vickers, Rockwell, etc.).
- Reacción elástica del material al chocar sobre él un cuerpo duro (Dureza Rolti, etc.).
- Resistencia que encuentra a la oscilación, un péndulo que roza sobre el material considerado (Dureza pendular).

Los ensayos de dureza han experimentado un gran desarrollo debido a que presentan la ventaja de ser sencillos, rápidos y, en general, no destructivos. Además, a partir de la cifra de dureza del material, se puede obtener cierta información sobre sus características mecánicas, composición, resistencia al desgaste, dificultad de mecanizado, influencia de los tratamientos térmicos que ha recibido y que pueda recibir, etc.

Centrándose en los ensayos de mayor interés ingenieril, consistentes en determinar la dureza del material medida como la resistencia de éste a ser penetrado por un material muy

duro, los mismos consisten en aplicar una carga estática mediante un penetrador de determinada geometría. Durante la realización del ensayo se produce una deformación plástica sobre la superficie, que tras retirar la carga, muestra una huella permanente semejante en su geometría a la forma del penetrador. La razón entre la carga aplicada y la superficie de la huella producida, proporciona el valor de la dureza del material.

Diferentes penetradores han dado lugar a los distintos ensayos de dureza que desde principios del siglo XX han venido utilizándose con profusión. La geometría del penetrador es un factor importante en el ensayo, puesto que condiciona la transmisión de la carga al material ensayado y, por consiguiente, es determinante en aspectos tales como la fricción entre superficies durante el ensayo y la obtención de huellas semejantes bajo diferentes cargas. Asimismo, la anisotropía del material ensayado puede ser puesta de relieve utilizando un penetrador adecuado.

Según el valor de la carga P empleada, se puede establecer una clasificación:

- $P > 3$ kg: Ensayo de dureza.
- $200 \text{ g} < P < 3$ kg: Ensayo de dureza a baja carga.
- $10 \text{ g} < P < 200$ g: Ensayo de microdureza.
- $P < 10$ g: Ensayo de nanodureza o ultramicrodureza.

En el caso particular de la medida de dureza de polvos metálicos, las cargas necesarias se encuadran en el campo de la microdureza. Este ensayo aparece en la década de los años treinta, comercializándose los microdurómetros en los años cuarenta. Tras una euforia inicial, producida por las grandes posibilidades que presenta esta técnica, surgieron serias dudas sobre la reproducibilidad de sus resultados. Si bien la magnitud de la huella era suficientemente pequeña para permitir medir durezas de microconstituyentes estructurales, el ensayo podía presentar gran dispersión de resultados debido a la existencia de numerosas fuentes de error. Bucle^[3], en 1959, recoge una serie de estas causas que van desde defectos en el penetrador y el sistema de carga, hasta las vibraciones. Los efectos de velocidad de carga, el tiempo de duración del ensayo, la deficiente medida de la huella y sobre todo las vibraciones pueden hacer fracasar el ensayo.

2.2. DISTINTOS ENSAYOS DE DUREZA.

2.2.1. INTRODUCCIÓN.

Como se ha referido anteriormente, nos vamos a centrar en los ensayos por penetración estática. En estos ensayos se utilizan diversos métodos, cuya diferencia estriba en la forma del penetrador (fig. 2.1), en la carga que se aplica y en la forma de expresar el valor de la dureza. Nos referimos a los métodos Brinell, Rockwell, Vickers y Knoop^[5].

Es importante reflejar que no están muy aceptadas las conversiones de dureza obtenidas entre un ensayo y otro. Esto es debido fundamentalmente a que el valor de la dureza está influenciado por una combinación de varias propiedades del material, que se reflejan de forma distinta en cada uno de los tipos de ensayo.

Prueba	Penetrador	Vista lateral	Vista superior	Carga	Fórmula del número de dureza
Pruebas de macrodureza					
Brinell	Esfera de acero o tungsteno carburado de 10 mm			P	$NDB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Rockwell	Cono de punta de diamante			60 kg	$R_A =$
A				150 kg	$R_C =$
C				100 kg	$R_D =$
B		100 kg	$R_B =$		
F		60 kg	$R_F =$		
G	150 kg	$R_G =$			
E	100 kg	$R_E =$			
Pruebas de microdureza					
Vickers	Prásmide de diamante			P	$NDV = 1.72P/d^2$
Knoop	Prásmide de diamante			P	$NDK = 14.2P/a^2$

Figura 2.1. Características de distintos tipos de ensayos de dureza por penetración.

2.2.2. ENSAYO BRINELL.

Las condiciones del ensayo Brinell para metales vienen reflejadas en la norma UNE-EN 10003: “Materiales metálicos. Ensayo de dureza Brinell”^[6].

Este ensayo es el más antiguo (data de 1900) y consiste en comprimir sobre la superficie a ensayar un penetrador de forma esférica (fig. 2.2). Los resultados obtenidos sólo guardan semejanza para diferentes condiciones de ensayo bajo la condición de igualdad en la constante de ensayo (relación carga / diámetro del penetrador). Este método falla para materiales muy duros⁴¹ (dureza > 450 kg/mm²).

El valor de la dureza (carga aplicada / área huella) viene determinado por la expresión:

$$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad [\text{ec. 2.1}]$$

donde:

- BHN: Dureza Brinell en kg/mm².
- P: Carga aplicada en kg.
- D: Diámetro de la bola del penetrador en mm.
- d: Diámetro de la huella en mm.

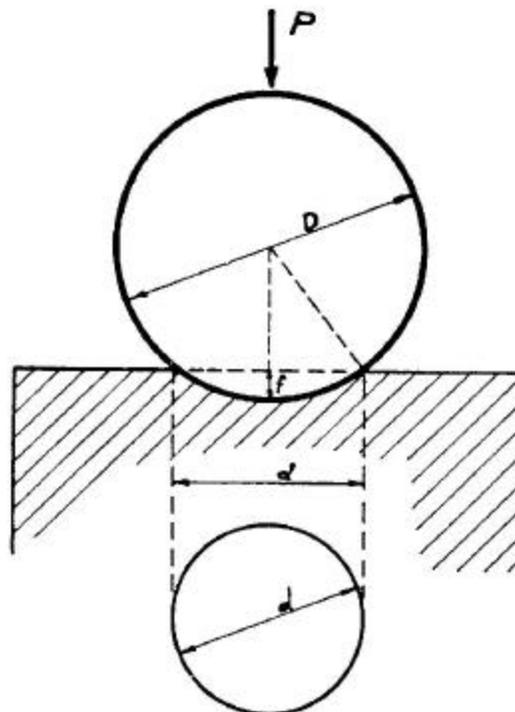


Figura 2.2. Esquema del penetrador actuando sobre una superficie y dejando una huella en forma de casquete esférico en un ensayo Brinell.

Para obtener valores reales de dureza, en este ensayo hay tres parámetros susceptibles de combinación según norma^[6], que son:

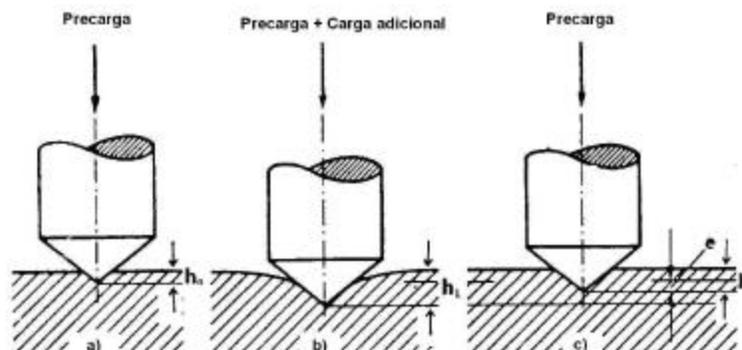
- Material con el que está fabricado el penetrador: Para materiales blandos se emplea un penetrador de acero mientras que para materiales duros se emplea un penetrador de carburo de wolframio.
- Diámetro del penetrador.
- Carga del ensayo: La carga de ensayo ha de elegirse en función del diámetro del penetrador (D) para que el tamaño de la huella quede comprendido entre $0.24D$ y $0.60D$.

2.2.3. ENSAYO ROCKWELL.

Las condiciones del ensayo Rockwell para metales vienen reflejadas en la norma UNE-EN 10109: “Materiales metálicos. Ensayo de dureza Rockwell”^[7]. El ensayo data de 1925 y es el ensayo industrial por excelencia debido a su rapidez y fácil lectura.

En este ensayo se mide la profundidad de la huella permanentemente producida en la superficie de ensayo, al actuar una determinada carga sobre un penetrador de diamante de forma cónica con una punta esférica (para materiales duros), o sobre un penetrador de forma esférica (para materiales blandos). La combinación de estos penetradores con diferentes cargas de ensayo darán las distintas escalas Rockwell (A, B, C, D, E, F, H, K, N, T).

En el ensayo (véase la figura 2.3) se comienza por aplicar una precarga que provocará una huella h_0 . A continuación se hace actuar una carga adicional con lo que la profundidad de la huella alcanza el valor h_1 . Posteriormente se retira la carga adicional con lo que el penetrador retrocede, debido a la recuperación elástica del material, quedando una profundidad permanente h que se mide en una regla graduada (según la escala que se ha elegido).



El valor de la dureza obtenido con este tipo de ensayo vendrá determinado por:

$$HR = N - \frac{h}{S} \quad [\text{ec. 2.2}]$$

donde:

- HR: Dureza Rockwell.
- N: Constante dependiente de la escala.
- h: Profundidad permanente de la penetración.
- S: Unidad específica de la escala.

2.2.3. ENSAYO VICKERS.

Las condiciones del ensayo Vickers para metales vienen reflejadas en la norma UNE-EN ISO 6507: “Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers”^[8].

Es un ensayo científico muy preciso que data de 1935, y surge porque el método Brinell es inaplicable para materiales muy duros^[4] (BHN > 450). Se sustituye el penetrador en forma de bola por una pirámide de diamante de base cuadrada con un ángulo de 136° entre sus caras (ver fig. 2.4). Puesto que este ángulo es bastante obtuso, la profundidad de la huella es pequeña. Por otra parte, a causa de la forma piramidal (fundamentalmente por las diagonales), la medida de la superficie resulta muy cómoda de realizar.

El ensayo Vickers permite un amplio rango de cargas y lo que es más importante, permite ensayos a muy baja carga, dando lugar a los ensayos de microdureza.

Como las huellas se hacen con una pirámide y son siempre geoméricamente semejantes, sea cual sea su tamaño, la dureza Vickers es independiente de la carga. Esto sólo deja de cumplirse para cargas bajas (secc. 2.4).

El ensayo consiste en la aplicación de una determinada carga y la posterior lectura de las dos diagonales de la huella que queda grabada en la muestra. Se toma la media aritmética de ambas y el valor de la dureza (carga aplicada / área huella) se obtiene mediante la expresión:

$$HV = 1.854 \frac{P}{d^2} \quad [\text{ec. 2.3}]$$

donde:

- HV: Dureza Vickers en kg/mm^2 .
- P: Carga aplicada en kg.
- d: Media de las diagonales en mm.
- El número 1.854 es un factor que surge de la relación entre el área de la huella y la diagonal de la misma.

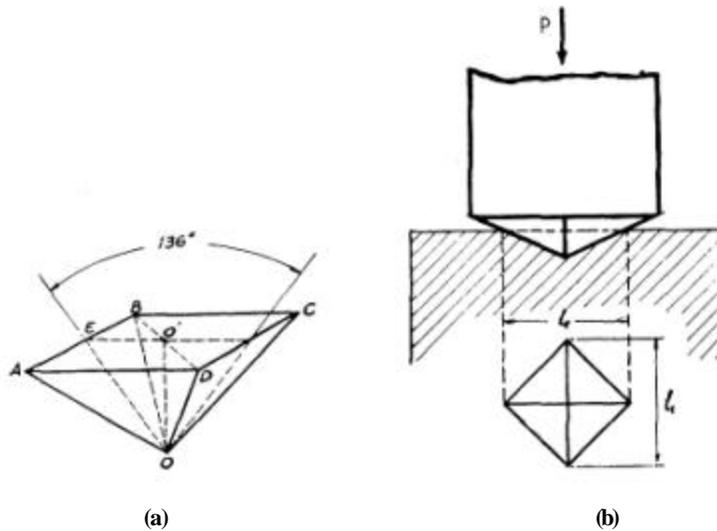


Figura 2.4. Ensayo Vickers. (a) Geometría del penetrador Vickers. (b) Penetrador actuando sobre una superficie.

La forma de la huella obtenida ha de ser cuadrada para aceptarla como buena. Se permite una diferencia entre las dos diagonales del 5%^[8]. A grandes rasgos se pueden

producir los tres tipos de huellas que se reflejan en la figura 2.5^[9]. Las formas erróneas de las huellas (casos b y c) dan lugar a valores más bajos de la dureza por lo que han de ser descartadas.

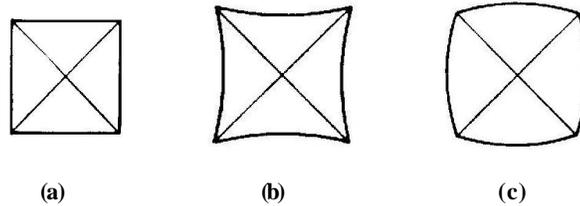


Figura 2.5. Tipos de huellas producidas en el ensayo Vickers.

(a) Forma deseada; (b) y (c) Formas erróneas.

2.2.4. ENSAYO KNOOP.

Las condiciones del ensayo para metales vienen reflejadas en la norma ASTM E 384-84: “Standard Test Method for Microhardness of Materials”^[10]. Es ideal para materiales anisótropos. Al igual que el método Vickers, es apropiado para ensayos de microdureza.

El penetrador es de diamante y tiene forma de pirámide con sección transversal rómbica en la que la relación de diagonales es 7.11:1 (fig. 2.6).

El valor de la dureza viene dada por la expresión:

$$KH = \frac{P}{l^2 C} \quad [\text{ec. 2.4}]$$

donde:

- KH: Dureza Knoop expresada en kg/mm^2 .
- P: Carga aplicada en kg.
- l: Longitud de la diagonal larga en mm.
- C: Una constante propia del penetrador y que es suministrada por el fabricante.

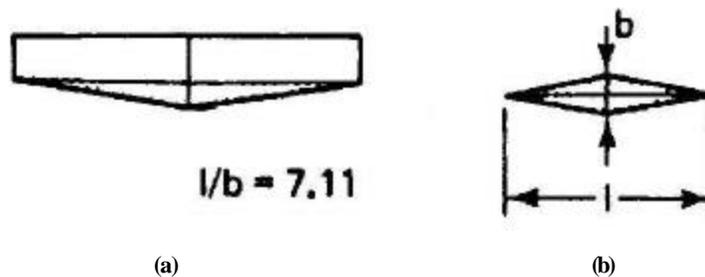


Figura 2.6. Geometría del penetrador en el ensayo Knoop. (a) Vista de perfil. (b) Sección transversal.

2.3. PROCESO DE FORMACIÓN DE LA HUELLA DURANTE EL ENSAYO DE DUREZA.

2.3.1. MICROPLASTICIDAD.

Haciendo referencia a aspectos microscópicos relacionados con el proceso que se genera durante el ensayo para la medida de la dureza de un material, cuando actúa el penetrador, la deformación plástica infringida es absorbida por el material, generándose gran cantidad de semibucles de dislocación alrededor de la huella^[11].

La estructura cristalina del material influye en la configuración que adquieren las dislocaciones, mientras que la energía necesaria para la formación de una dislocación (característica del material) hace lo propio sobre el número de dislocaciones formadas.

La resistencia al movimiento de las dislocaciones determina la dureza del material. Este movimiento puede ser impedido por el bloqueo de las dislocaciones por la presencia de defectos reticulares tales como límites de grano, otras dislocaciones, vacantes, átomos de soluto, precipitados e imperfecciones similares.

2.3.2. MACROPLASTICIDAD

Para entender el proceso macroscópico que acompaña al ensayo de dureza de un material^[12], y con vistas a tener una idea general de cómo se comporta ese material cuando es sometido a un esfuerzo de compresión, será preciso tener presente un diagrama σ - ϵ como se muestra en la figura 2.7, que representa las deformaciones que experimenta un

material al someterlo a un ensayo uniaxial de compresión con tensiones crecientes. En esta figura se muestran dos casos: (I) material con endurecimiento por deformación y (II) material plástico ideal.

Tomando la curva (I), el material experimenta deformación elástica a lo largo del tramo OE. Este tramo es generalmente recto. Una vez superado el límite elástico (R_e), se produce deformación plástica. Se observa que la curva sigue siendo creciente, esto es, tenemos que aumentar la carga para seguir deformando el material plásticamente. A esto se le llama endurecimiento por deformación. Si se llega al punto Y y se retira la carga, el material vuelve al punto O' dejando una deformación permanente OO' (YO' es paralela a OE). Ahora se tiene el nuevo origen en O', y si se vuelve a cargar al material, este seguirá el camino O'YZ.

En otro caso se tendrá el material que experimenta la curva (II) y que será un material con deformación plástica ideal. En este caso, un pequeño aumento de la carga una vez llegados al límite elástico (R_e) supondría una rotura del material.

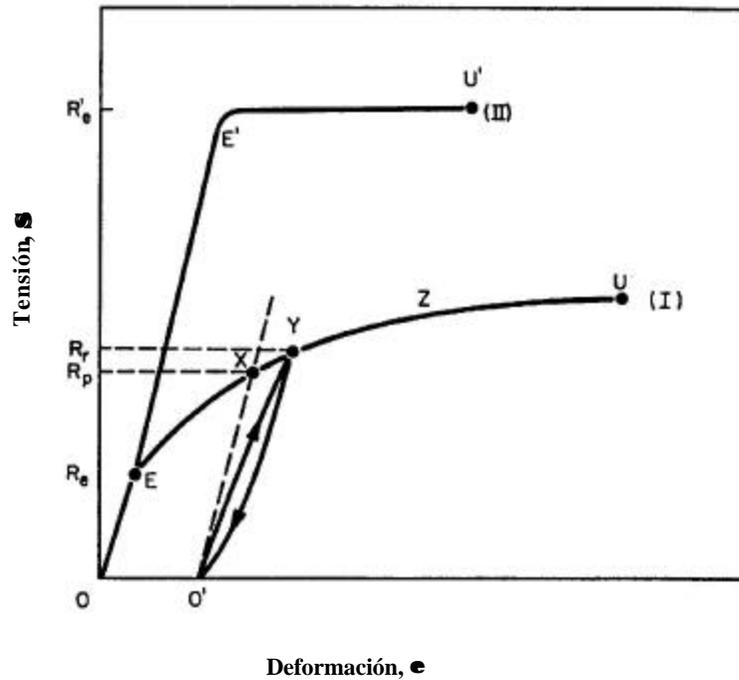


Figura 2.7. Diagrama Tensión-Deformación de un ensayo de compresión. : (I) Curva para material con endurecimiento por deformación y (II) Curva para material plástico ideal.

Una vez se tiene una visión general del comportamiento que puede tener un material cuando se le somete a compresión, y volviendo al ensayo de dureza, cuando el penetrador contacta el material, la superficie de transferencia de tensión entre ambos es pequeña por lo que se alcanzan valores altos de tensiones que conllevan al comienzo de la plastificación. Conforme el penetrador va avanzando, la huella va siendo cada vez más grande y por tanto, la sección de transmisión de la carga va aumentando por lo que el valor de la tensión va disminuyendo, aunque sigue siendo lo suficientemente alto como para que el material siga plastificando. Durante la generación de la huella, en el material se crea una distribución de tensiones con valores decrecientes conforme aumenta la distancia al penetrador. Cuando se llega a un determinado tamaño de huella, la carga está repartida en una sección tal, que el material deja de plastificar. La zona más próxima al vértice de la huella experimenta durante el ensayo, los mayores valores de tensión. Debido al endurecimiento por deformación, una vez retirado el penetrador, queda generada una distribución de tensiones permanentes, tal y como se representa en la figura 2.8.

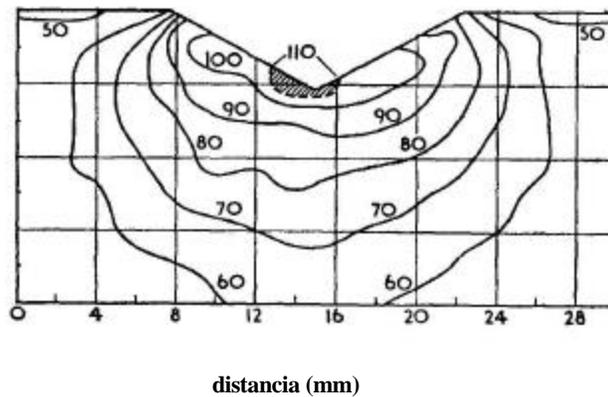


Figura 2.8. Distribución de tensiones permanentes generada por el penetrador en el material a caracterizar en un ensayo Vickers.

El proceso anteriormente descrito tiene una velocidad de deformación que dependerá del valor de la carga, dureza del material, etc. Para garantizar un equilibrio de fuerzas entre penetrador y material ensayado, se especifica un tiempo de aplicación de la carga, que viene determinado por la norma^{[6][7][8][10]}. Una vez pasado este tiempo, se procede a la retirada del penetrador por lo que el material experimenta un proceso rápido de recuperación elástica que determina el tamaño final de la huella.

2.4. DEPENDENCIA DUREZA-CARGA-DIAGONAL.

La dureza es una propiedad física del material y como tal, no debería variar con la carga del ensayo. Esto es así para valores altos de la carga aplicada, mientras que varía para valores bajos de la misma^{[3][13][14][15][16]}. Este apartado se centra en los métodos Vickers y Knoop, que contemplan todo el rango de cargas, y son por tanto válidos para estudiar esta variación del valor de la dureza.

La figura 2.9 representa la dureza obtenida con la carga aplicada. En ella se detectan dos partes bien diferenciadas:

- Carga > 1 kg.: El valor de la dureza es constante.
- Carga < 1 kg.: El valor de la dureza aumenta con la disminución de la carga.

NOTA: No se debe tomar el valor 1 kg. como algo exacto. Es un orden de magnitud.

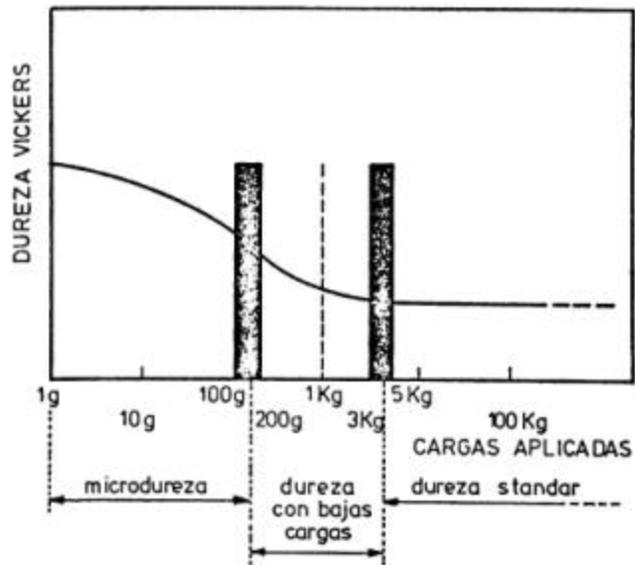


Figura 2.9. Variación de la dureza de un material cuando se emplean distintas cargas de ensayo.

La expresión de la dureza es:

$$H = k \frac{P}{d^2} \quad [\text{ec. 2.5}]$$

donde:

- H: Valor de la dureza.
- k: Constante que depende del penetrador. Relaciona el área de la huella con la diagonal de la misma.
- P: Carga.
- d: Longitud de la huella.

Hanemann encontró en 1941 una relación empírica entre la carga aplicada en el ensayo Vickers y la diagonal de la huella obtenida, que tenía una validez general^[13]:

$$P = ad^{\gamma} \quad [\text{ec. 2.6}]$$

donde:

- P: Carga.
- d: Longitud de la huella.
- a: Dureza estándar (característica del material).
- γ : Índice logarítmico (característica del material).

Inapropiadamente, a esta expresión se le ha llamado fórmula de Meyer, mientras que a γ , índice de Meyer. En realidad, Meyer propuso esta fórmula pero para ensayos de dureza con penetrador esférico.

La ecuación 2.6 solamente es válida en un intervalo de cargas. Incluso, en un sentido estricto, puede afirmarse que nunca es válida puesto que γ depende de la carga y desde luego no puede servir de base a ninguna estandarización.

Sustituyendo la ec. 2.6 en la ec. 2.5, se tiene:

$$H = kad^{\gamma-2} \quad [\text{ec. 2.7}]$$

Si $\gamma=2$ (valor que se alcanza para cargas de ensayo mayores de 3 kg aproximadamente), la dureza no depende de la magnitud de la huella, es decir, diferentes

cargas producen huellas de distinto tamaño pero la dureza permanece constante. Cuando las cargas aplicadas son inferiores, en general, se encuentran valores de γ menores que 2, lo que conlleva un aumento de la dureza con la disminución de la carga aplicada.

El hecho de que los valores de la microdureza aumentan para cargas aplicadas decrecientes es, generalmente, aceptado como un fenómeno físico, y no como resultado de errores instrumentales, ni del tratamiento de preparación de la superficie. Este fenómeno ha sido objeto de discusiones controvertidas. Bucle^[3], en 1959, atribuye este fenómeno a la presencia de “regiones coherentes” en el material, sugiriendo que cuando el tamaño de las huellas es superior al de estas regiones coherentes no se aprecia aumento de la dureza. Más adelante, Gane et al.^[14] en 1970 propuso una explicación alternativa y que achaca este comportamiento a un incremento en la tensión necesaria para que operen las fuentes de dislocaciones. Tal explicación supone que la tensión requerida para operar una fuente de dislocaciones depende del endurecimiento por deformación.

Se han propuesto varios modelos matemáticos para determinar el valor fijo de la dureza a partir de cargas bajas^{[15][16]}.

2.5. PROBLEMAS EN LA DETERMINACIÓN DE LA MICRODUREZA DE UN MATERIAL.

Como ya se ha comentado, la microdureza es una forma de nombrar el ensayo de dureza empleando muy bajas cargas (entre 10 y 200 g), con lo que se obtienen huellas de muy pequeño tamaño que pueden verse afectadas por infinidad de factores, tales como^{[2][3]}:

- Variación incontrolada de la carga de ensayo.
- Efectos de inercia por el movimiento del penetrador.
- Variación del ángulo entre penetrador y superficie del material.
- Tiempo de aplicación de la carga.
- Velocidad de aplicación de la carga.
- Vibraciones en la zona del ensayo.
- Superficie del penetrador dañada.
- Deficiente calidad de imagen a través del objetivo.
- Iluminación no uniforme.
- Heterogeneidad en la microestructura del material a ensayar.
- Calidad de la preparación metalográfica de la superficie de ensayo.

Por todo esto, el valor de microdureza obtenido puede variar de un equipo de medida a otro, por lo que debería ser tomado como un dato relativo, no absoluto.

2.6. UTILIDADES DE LA DUREZA Y LA MICRODUREZA.

La determinación de la dureza y microdureza puede ser muy útil debido a su relación con otras propiedades^[12] tales como módulo de elasticidad, límite elástico, la fortaleza del enlace químico, punto de fusión, resistividad eléctrica, presencia de constituyentes, densidad de compactos, etc. A continuación se desarrollan escuetamente las siguientes propiedades y su relación con la dureza del material:

- Relación dureza-límite elástico.
- Determinación de la región plástica de la curva tensión-deformación.
- Presencia de microconstituyentes.
- Densidad de compactos.

2.6.1. RELACIÓN DUREZA-LÍMITE ELÁSTICO.

Debido a que en el ensayo de dureza se produce una plastificación del material, cabe pensar que su límite elástico esté ligado con su dureza. Diversos autores^[9] han determinado empíricamente que:

$$H = \lambda * \sigma_e \quad [\text{ec. 2.8}]$$

donde:

- H: Dureza.
- λ : Factor de correlación.
- σ_e : Límite elástico.

Este factor de correlación ha sido ampliamente estudiado y en la mayoría de los casos se ha concluido que toma un valor comprendido entre 2.8 y 3.2. En general, no es exactamente constante ya que depende de la naturaleza del material y de su historia. Sin

embargo, y con buena aproximación, si se considera su valor como 3, ofrece una información suficientemente válida.

2.6.2. DETERMINACIÓN DE LA REGIÓN PLÁSTICA DE LA CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN.

Atendiendo al apartado anterior, Tabor^[9] realizó un estudio experimental empleando un penetrador esférico y determinó que:

$$\mathbf{e} = 0.2 \frac{d}{D} \qquad \text{[ec. 2.9]}$$

donde:

- ε : Deformación.
- d : Diámetro de la huella.
- D : Diámetro del penetrador.

Se elige un valor de d/D que corresponda a una deformación que esté en la zona de plastificación del diagrama de tracción y se sustituye en la ec. 2.9. Se realiza el ensayo de dureza al material y valor obtenido se sustituye en la ec. 2.8. Los pares de valores (σ_e , ε) obtenidos representarán la región plástica de la curva de tracción del material de forma aproximada.

2.6.3. DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE DISTINTOS MICROCONSTITUYENTES.

Empleando el método Vickers, como ya se ha comentado, se pueden generar huellas de tamaño micrométrico. Esto permite determinar la dureza de regiones muy pequeñas del material, que pueden revelar la presencia de distintos microconstituyentes debido a su distinto valor de dureza.

2.6.4. DENSIDAD DE COMPACTOS.

Los materiales sinterizados se fabrican a partir de partículas de polvo del mismo material, sometidos a un determinado proceso de compresión y sinterización. Pues bien, si se mide la microdureza de la partícula, se puede vaticinar la mayor o menor densidad^[17] del futuro compacto, atendiendo a que si la partícula de un material 1 es más dura que la de un material 2, este último tendrá una densidad mayor por la comparativa facilidad de compactación de sus partículas en relación al primero.

2.7. LA ECUACIÓN DE LA DUREZA VICKERS Y SU REPRESENTACIÓN.

Centrándonos en el ensayo Vickers, la nomenclatura empleada para designar la dureza de un material obtenida mediante este método es^[8]:

[valor de dureza (MPa)] HV [carga aplicada(kg)]

Por ejemplo, si se dice que la dureza de un material es 250 HV 1, se está diciendo que bajo la carga de 1 kg, en un ensayo Vickers, se obtuvo una dureza de 250.

Como ya se ha comentado antes, el valor de la dureza no es más que un factor que multiplica al cociente entre la carga aplicada y el tamaño de la diagonal media de la huella.

$$HV (MPa) = 1855.071 \frac{P(g)}{d^2 (mm^2)} \quad [ec. 2.10]$$

Representando esta ecuación para una carga fija (20 g, que va a ser la carga mayoritariamente usada en este proyecto) se obtiene la figura 2.10.

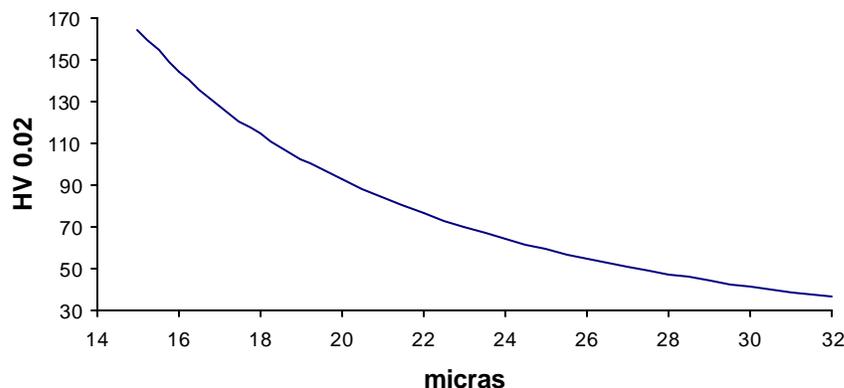


Figura 2.10. Representación de la ecuación 2.10 para distintos tamaños de huella, tomando 20 g como carga de ensayo.



Matemáticamente hablando, debido a la no linealidad con respecto al tamaño de huella, una variación unitaria de ésta en el rango de tamaños pequeños afecta en mayor medida al valor de la dureza que si la variación se produce para tamaños mayores. Esto tendrá que tenerse en cuenta a la hora de la visualización de los resultados. De igual forma, si se aumentase la carga, al ir ésta multiplicando, la curva que se obtendría al representar la ec. 2.10 tendría aún más pendiente, por lo que los errores al variar el tamaño de huella en las medidas amplificarían la dispersión del valor medido de microdureza.