PRÁCTICA DE DUREZA

PAPIME-PE102421
Generación de recursos didácticos que contribuyan a la mejora en la realización de prácticas en formato no presencial y mixto del área de Ciencia e Ingeniería de Materiales

1. Introducción

La dureza se define como la propiedad de los materiales que indica que tanto se opone a ser deformado, rayado, erosionado o penetrado. Dichas pruebas se basan en una huella de indotación, la cual se hace con un penetrador duro, que puede ser esférico, cónico o piramidal y cada prueba tiene su propio indentador y cada huella sus características.

Estas pruebas son relativamente económicas y de gran importancia en el control de calidad de la fabricación, por lo tanto, es una herramienta indispensable para evaluar materiales y estimar que tan duro es dicho material [1]

Los tipos comunes de pruebas de dureza incluyen Rockwell, Knoop, Vickers y Brinell. en la tabla 1 se muestran algunas de sus características

Tabla 1 en esta tabla se muestran los tipos de ensayos con algunas de sus características [1]

Ensayo	Rockwell	Vickers	Brinell	Knoop
Tipo de indentador	Cónico y esferoidal	Pirámide de diamante	Esferoidal (acero o carburo de tungsteno 10mm)	Pirámide de diamante
Materiales donde se usa	Materiales templados (metales)	Piezas delgadas (metales, cerámicas, materiales compuestos, etc)	Materiales blandos (metales) y madera Como: aluminio, bronce y latón	Mricrooensayos en laminas

1.1. Condiciones para realizar un ensayo de dureza adecuado

Para la adecuada realización de ensayos de dureza se deben tener en cuenta las siguientes directrices:

- La huella de indentación debe ser mayor que las características microestructurales. Se debe utilizar un número adecuado de hendiduras, preferiblemente diez o más de buena geometría.
- Las hendiduras muy dañadas deben ignorarse. Se debe aceptar el agrietamiento de las esquinas, pero la impresión de las esquinas debe estar intacta.
- La combinación máquina-observador debe tener un medio de calibración, preferiblemente un bloque de prueba de alta dureza.
- ·La geometría del penetrador de diamante debe comprobarse a intervalos, especialmente en pruebas de alta carga.
- La dureza puede variar con la carga de indentación para cargas pequeñas. Cargas de indentación mayores o iguales a 9,8 N (2,2 lbf) se recomiendan para las muescas de Knoop y Vickers. [1]

1.2. Dureza Rockwell

El ensayo dureza Rockwell suele usarse como un ensayo rápido. El estándar ASTM E 18-03 Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials[1] el cual define las características geométricas de los indentadores y define el número de dureza Rockwell como un número derivado del incremento neto en la profundidad del indentador cuando la fuerza en el indentador es incrementada desde una fuerza previa (preliminar específica) hasta una fuerza total (específica) y luego retornada al valor de fuerza previa. por el cual, con el uso de una máquina calibrada, se fuerza un indentador cónico-esferoidal de diamante como se muestra en la figura 1 , o una bola de carburo de tungsteno o acero endurecido, bajo condiciones específicas contra la superficie del material a ser ensayado, esto en dos operaciones, y se mide la profundidad permanente de la impresión bajo condiciones específicas de carga.

Las pruebas Rockwell tienen dos ventajas:

· La aplicación y retención de la carga menor durante la prueba prepara la superficie sobre la cual se mide la profundidad de penetración incremental producida por la carga mayor.
· Usualmente el valor de dureza se lee directamente en el reloj comparador sin necesidad de medir las dimensiones de la huella de penetración, como en otros métodos de prueba de dureza. Esto acelera el proceso de prueba, lo cual es importante en procesos de fabricación y en control de calidad.

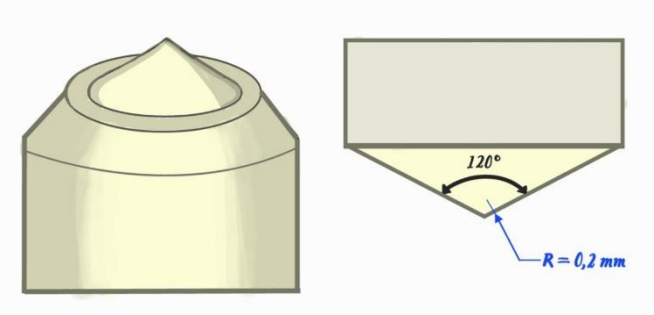

Figura 1Indentador cónico esferoidal de Rockwell [1]

Los indentadores tienen los siguientes diámetros: ø 1/16"; ø 1/8"; ø 1/4"; ø ½ y las escalas de dureza Rockwell se obtienen combinando penetradores y cargas totales, en total son 15 como se muestra en la tabla 2. La dureza será medida en el reloj y la aguja avanza en los números con su color correspondiente y desde una posición de escala a otra.

Tabla 1 Escalas de dureza Rockwell (Tomado de ASTM E 18 - 03)

Escala	Indentador	Carga total	Color de escala	aplicaciones
A	Cono diamante	60	Negro	Metales duros, superficies templadas, chapa fina (<0.4mm)
D	Cono diamante	100	Negro	Piezas con superficies templada de dureza media, chapas
C	Cono diamante	150	Negro	Aceros templados
F	Bola de ø 1/16"	60	Rojo	Aleaciones cobre recocido. Chapa fina metálica (>0,6 mm)
B	Bola de ø 1/16"	100	Rojo	Aceros blandos, de construcción, metales no ferrosos
G	Bola de ø 1/16"	150	Rojo	Bronce, cobre-berilio, cobre-níquel, fundición maleable
H	Bola de ø 1/8"	60	Rojo	Aluminio, zinc, plomo
E	Bola de ø 1/8"	100	Rojo	Fundición, aleaciones Al-Mg, metales antifricción o sintéticos
K	Bola de ø 1/8"	150	Rojo	Metales antifricción o de dureza muy baja, Ebonita (ASTM D530-59T), Madera laminada (ASTM D 805-52), Materiales sintéticos (ASTM D-785-60T), Otros materiales muy blandos o muy finos.
L	Bola de ø 1/4"	60	Rojo	
M	Bola de ø 1/4"	100	Rojo	
P	Bola de ø 1/4"	150	Rojo	
R	Bola de ø 1/2"	60	Rojo	
S	Bola de ø 1/2"	100	Rojo	
V	Bola de ø 1/2"	150	rojo	

1.3. Dureza Vickers

El ensayo Vickers se define a partir de la norma ASTM E92-82 “Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials”[1]
En número de dureza Vickers HV es un número relacionado con la carga aplicada y el área de la superficie de la impresión permanente hecha por un penetrador piramidal de diamante de base cuadrada que tiene ángulos de cara incluidos de 136 ° (ver figura 2), calculado a partir de la ecuación:

$$HV = \frac{2P\ sen\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2} \quad ; \quad HV = \frac{1.8544P}{d^2}$$

$$D = \frac{D1 + D2}{2}\ (mm)$$

dónde:
P = carga, kgf,
d = diagonal media de impresión, mm y
α= ángulo de la cara del diamante = 136º.
una prueba de dureza de Vickers es una prueba de dureza por indentación

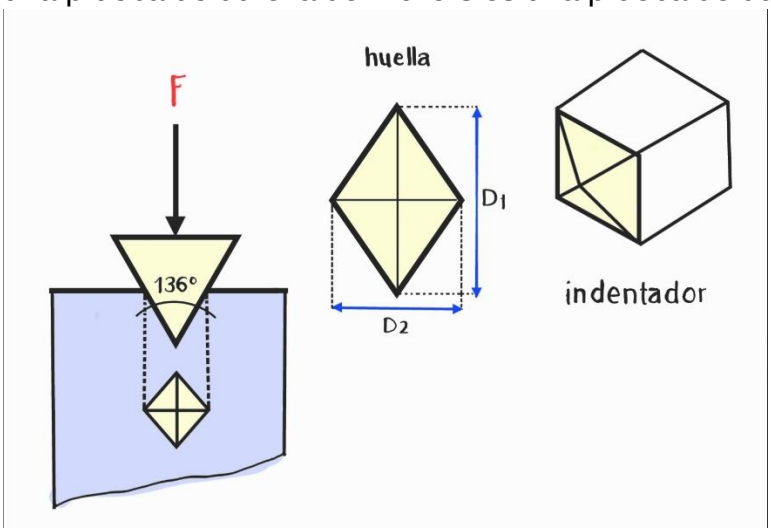

Figura 2 ensayo dureza Vickers[1]

1.4. Dureza Brinell

En ensayo de dureza Brinell se hace bajo la norma ASTM E10-01 “Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials [1], el indentador deberá ser un balín duro (acero templado) o de carburo de tungsteno (WC) de 10, 5, 2.5, 1.125 ó 0.625 mm como se muestra en la figura 3, se aplican utilizando cargas de 3,000 kg para metales ferrosos y de 500 kg para materiales no ferrosos.

El número de dureza Brinell se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$HB = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D\ (D - \sqrt{D^2 - D_I^2}}$$

donde: constante = 1/g = 1/9.80665 = 0.102
F = carga de prueba [N]
D = diámetro del balín [mm]
Di = diámetro promedio de la huella [mm]

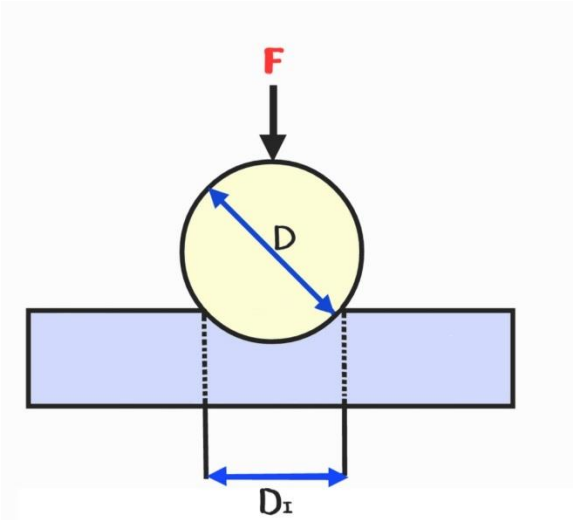

Figura 3 ensayo dureza Brinell *[1]*

2. Antecedentes

2.1. Nanodureza

La nanodureza evalua la dureza en superficies y películas delgadas. de hecho es definida como la relación entre la máxima carga aplicada (Pmax) y el área proyectada de la impresión de indentación (Ap). Para evaluar esta área, varios métodos de detección de profundidad de indentación han sido desarrollados, los cuales permiten, de manera indirecta, medir el Ap y evaluar la dureza sin la imagen de la huella de la indentación. La mayoría de los estudios recientes concernientes a la nanodureza de materiales son basados en el análisis de curvas desplazamiento-carga usando el método de Oliver y Pharr [2]

2.2. Microindentación instrumentada

La microindentacion instrumentada permite determinar las propiedades de un material como lo es la dureza, modulo elástico o deslizamiento. Esta consiste en que un

indentador rígido penetra perpendicularmente la superficie del sólido. Empleando instrumentos de alta resolución, se monitorean continuamente la carga (P) y el desplazamiento (h) del indentador, tanto en la carga como en la descarga. Una vez obtenida la curva (P vs. h), mediante procesos inversos, se pueden inferir propiedades mecánicas de los materiales. En este caso se pone énfasis en la determinación del módulo elástico, el esfuerzo de fluencia y el coeficiente de endurecimiento por deformación correspondientes a aleaciones metálicas, de tal manera de inferir la curva carga-deformación completa de un ensayo de tracción del metal estudiado.

El proceso de indentación es no-lineal, e involucra comportamientos elastoplásticos, grandes deformaciones y rotaciones, además de condiciones de contacto variables, lo que impide la utilización de métodos simples para determinar soluciones analíticas que permitan describir el proceso.

La figura 4 muestra una curva típica del ensayo de indentación instrumentado, donde la carga aplicada es graficada en función del desplazamiento experimentado por el indentador donde hr es la descarga, P la carga. De las distintas partes de esta curva se pueden obtener parámetros que permiten inferir algunas propiedades del material. Esto se logra gracias a una serie de ecuaciones y procedimientos de cálculo que tienen en cuenta implícitamente los fenómenos asociados al proceso de indentación (deformaciones elásticas y plásticas, endurecimientos por deformación, procesos viscosos, etc.).[3]

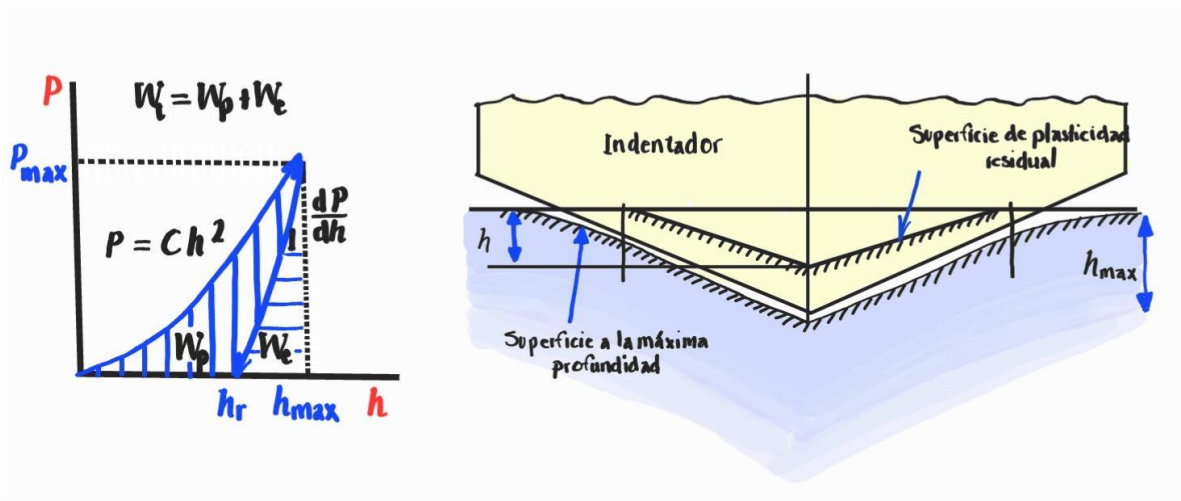

Ilustración 3. Gráfico de P vs. h asociado a un ensayo típico de indentación [3]

3. Secuencia de los ensayos de dureza

3.1. Durómetro Brinell

1. Preparar la muestra para el ensayo.
2. Seleccionar la carga a aplicar y el indentador con el diámetro adecuado para el tipo de material a probar.
3. Colocar la muestra en el yunque o platina y girar el volante hasta que su superficie se enfoque y se observe de manera correcta en la pantalla del equipo.
4. Cambiar el objetivo por el penetrador, de manera cuidadosa y lenta, por medio de la palanca de accionamiento, en ese momento se comenzará a aplicar la carga que se seleccionó.
5. Esperar alrededor de 12 segundos con la carga aplicada.
6. Después retire la carga y cambie el indentador por el objetivo, otra vez de manera cuidadosa y lenta.
7. Mida el diámetro de la huella obtenida por medio de la escala ocular graduada, o regleta, que se tiene sobre la pantalla. Nótese que la escala está en milímetros y está bajo aumentos de 20x.

3.2. Durómetro Rockwell analógico

1. Preparar la muestra para el ensayo si es necesario.
2. Seleccionar la carga a aplicar y el indentador, según el material al que se le vaya a realizar el ensayo y colóquelos en su posición.
3. Aplicar una precarga, evitando un impacto entre el indentador y el material, girando el volante en sentido positivo de las manecillas del reloj hasta que la pequeña aguja indicadora, que se encuentra en la carátula, esté apuntando el punto rojo de la carátula.
4. Si se pasa de ese punto, hay que volver a empezar este procedimiento en otro lugar de la probeta.
5. Ajustar la manecilla grande al cero de la escala negra (punto SET) por medio del movimiento de la carátula hacia donde sea necesario.
6. Aplicar la carga mayor mediante un leve impulso, hacia atrás, de la palanca colocada al costado derecho de la carátula.
7. Esperar hasta que la carga mayor termine de aplicarse y esperar 12 segundos aproximadamente antes de regresar la misma palanca hacia su posición original, de manera cuidadosa y lenta.
8. Lea el número de dureza directamente en la carátula, según la escala que haya elegido previamente.

3.3. Durómetro Rockwell digital

1. Preparar la muestra para el ensayo si es necesario y encienda el equipo.

2. Seleccionar la escala, según el material al que se le vaya a realizar el ensayo y colóquelos en su posición y coloque el selector de indentador según la escala elegida.
3. Oprimir botón rojo "RESET" y aplicar una precarga, evitando un impacto entre el indentador y el material, girando el volante en sentido positivo de las manecillas del reloj hasta que en el display se indique el valor de -20 ± 1.
4. Si se pasa de ese punto, hay que volver a empezar este procedimiento en otro lugar de la probeta.
5. Oprimir botón verde "SET".
6. Aplicar la carga mayor mediante un leve impulso, hacia atrás, de la palanca colocada al costado derecho de la carátula.
7. Esperar hasta que la carga mayor termine de aplicarse y esperar 12 segundos aproximadamente antes de regresar la misma palanca hacia su posición original, de manera cuidadosa y lenta.
8. Lea el número de dureza directamente en el display

3.4. Microdurómetro Vickers

1. Preparar la muestra para el ensayo.
2. Asegurar la perpendicularidad del indentador con la superficie a probar mediante el prensado de la muestra sobre plastilina en una placa, con ello se asegura que la superficie de la muestra es paralela a la platina.
3. Colocar la muestra preparada sobre la platina.
4. Colocar el disparador en su dispositivo.
5. Colocar la pesa del valor a utilizar.
6. Encender el microdurómetro (la luz estará en verde).
7. Enfocar la muestra con el objetivo de 10x.
8. Cambiar por medio del revólver del objetivo de 10x al indentador.
9. Aplicar la carga, esto se logra al accionar el disparador (cuando se aplica la carga, la luz pasará de verde a roja).
10. El microdurómetro automáticamente pasará de luz roja a ámbar, esto significa que la carga ha terminado de aplicarse y es necesario quitar la carga mediante un giro de la perilla (que se encuentra abajo al costado derecho del equipo) en sentido de las manecillas del reloj, de manera cuidadosa y lenta
11. Una vez retirada la carga, se gira el revólver al objetivo de 50x, se enfoca la indentación y se mide la diagonal mayor por medio de la escala interna del ocular, como lo indicará el instructor.

4. Esquema de datos experimentales

Ensayo brinell						
N° de ensayo	Tipo de material	Factor Q	Diámetro de balín D(mm)	Carga F(Kg)	Diámetro de la huella Di (mm)	N° de dureza Brinell (Kg/mm²)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

Ensayo rockwell					
N° de ensayo	Tipo de material	Carga F(Kg)	Tipo de indentador y diámetro	N° de dureza Rockwell	escala
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Ensayo Vickers					
N° de ensayo	Tipo de material	Tipo de indentador	Carga (P)	Diagonal generada	N° de dureza Vickers
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

5. Bibliografía

[1]N. E. Mealy and M. Bayés, “Asm-8,” Drugs Future, vol. 30, no. 1, p. 63, 2005.
[2]M. De Fuerza, D. F. Arias, and D. P. J. M. González, “A review of the state of the art when measuring the nanohardness using the Atomic Force Microscope,” Entre Cienc. e Ing., no. 18, pp. 67–74, 2015.
[3]W. C. O. y G. M. Pharr., “Measurement of hardness and elastic modulus by instrument indetation: Advances in understanding and refinements to methodology.,” . J. Mater. Res, vol. 19, 2004.