

ENSAYOS DE DUREZA

Brinell · Rockwell · Vickers · Knoop

Ciencia y tecnología de Materiales

Dr. Ing. Mauro Grioni

"La dureza es la resistencia de un material a la deformación plástica localizada"

¿Qué es la Dureza?

Definición

Medida de la resistencia de un material a la deformación plástica localizada (p. ej., una pequeña abolladura o un rasguño).

Importancia práctica

- Propiedad fácil y económica de medir.
- Ensayo no destructivo (la única huella es una pequeña hendidura).
- Correlaciona con resistencia a tracción.
- Control de calidad en fabricación.
- Verificación de tratamientos térmicos.

Brinell

HB

Esfera metálica
Metales blandos y duros

Rockwell

HR

Cono o esfera
Más rápido y directo

Vickers

HV

Pirámide diamante
Amplio rango de materiales

Knoop

HK

Pirámide alargada
Microdureza – capas finas

Correlación Dureza – Resistencia a Tracción

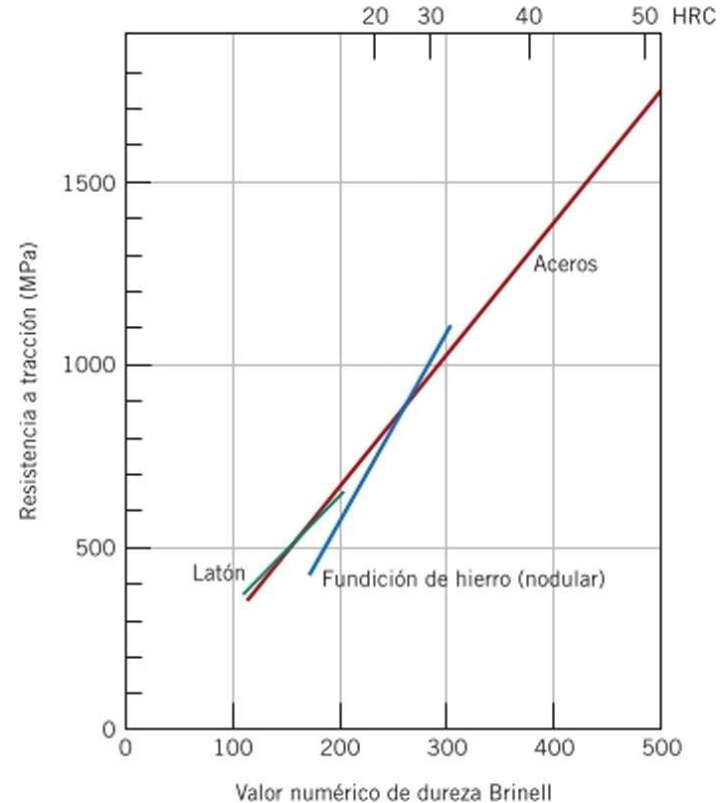
Relación práctica

Condiciones de validez:

- Solo aceros de bajo y medio carbono
- HB < 400 (zona lineal)
- No válida para aleaciones de Al o Cu

Uso en ingeniería:

Estimar Resistencia a la tracción sin ensayo de tracción → ahorro de tiempo y costo en control de calidad.



Escala de Mohs – Método Cualitativo (1820)

¿Qué es?

Friedrich Mohs (1820) propuso una escala cualitativa basada en la capacidad de un mineral de rayar a otro.

Principio:

Un mineral con número mayor RAYA a uno con número menor.

Limitaciones:

- Escala no lineal
- Solo comparativa, no cuantitativa
- No aplicable directamente a metales

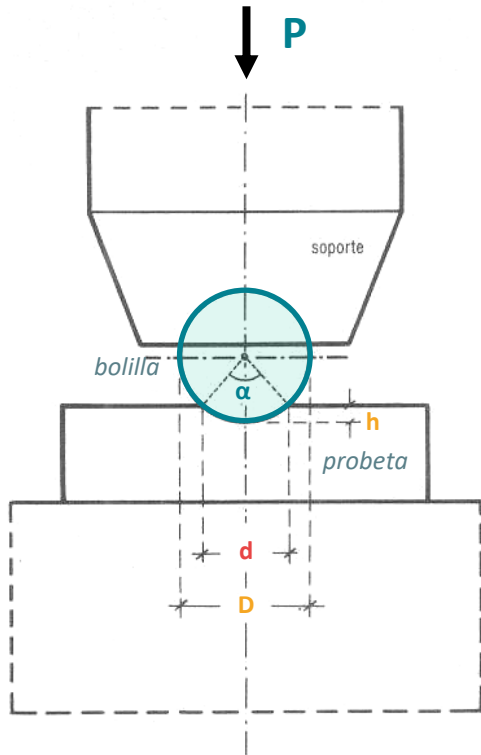
Nº Mohs	Material
1	Talco
2	Sal gema / Yeso
3	Calcita
4	Fluorita
5	Apatita
6	Feldespato
7	Cuarzo
8	Topacio
9	Corindón
10	Diamante

P A R T E 1

Ensayo Brinell

HB · Esfera metálica · Deformación por penetración

Ensayo de Dureza Brinell



Cálculo de HB

$$HB = P / S = P / (\pi \cdot D \cdot h)$$

$S = \text{sup. impronta}$

$$\therefore h = \frac{1}{2} \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

$$HB = 2P / [\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})]$$

- P Carga aplicada (kgf)
- D Diámetro de la esfera (mm)
- d Diámetro de la huella (mm)
- h Profundidad de la huella (mm)

Brinell – Materiales y Constantes de Ensayo

D bolilla (mm)	Aceros y fundiciones C=30	Aleaciones Cu y Al C=15	Cobre y Aluminio C=5	Plomo, estaño y aleaciones C=2,5	Unidades
10	3000 kgf	1500 kgf	500 kgf	250 kgf	kgf
5	750 kgf	375 kgf	125 kgf	62,5 kgf	kgf
2,5	187,5 kgf	93,75 kgf	31,2 kgf	15,6 kgf	kgf

Materiales metálicos	Carga
Aceros y fundiciones	30 D ²
Aleaciones de cobre o de aluminio	10 D ²
Cobre y aluminio	5 D ²
Plomo, estaño y aleaciones	2,5 · 1,25 · 0,5 D ²

Ley de Semejanza de Brinell

¿Qué establece?

Si se mantiene constante el cociente $C = P/D^2$, las huellas producidas con distintos diámetros de esfera son geoméricamente semejantes → mismo valor de HB, independientemente de D.

Condición de semejanza

$$C = P / D^2 = \text{constante}$$

Demostración geométrica:

Si $d/D = \text{cte}$ → el ángulo de indentación $\alpha = \text{cte}$ → la huella es semejante → $HB = \text{cte}$

Rango válido:

$$0,25 \cdot D \leq d \leq 0,50 \cdot D$$

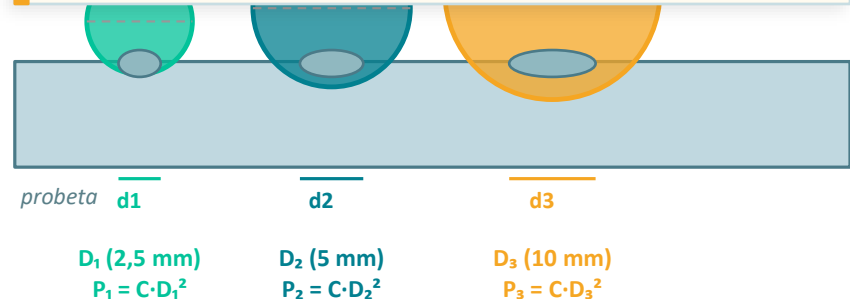
Semejanza geométrica de huellas

→ mismo HB para los tres casos

$$d/D = \text{cte}$$

Implicación práctica:

Piezas ensayadas con $D=10$ mm y Piezas pequeñas → $D=5$ ó $2,5$ mm, ajustando $P = C \cdot D^2$ se obtienen resultados comparables.



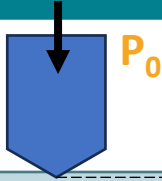
P A R T E 2

Ensayo Rockwell

HR · Cono de diamante o esfera · Medición por profundidad

Ensayo Rockwell – Principio de Medición

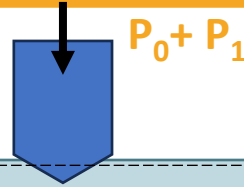
1ª Posición



Precarga

Se aplica carga menor $P_0 = 10$ kgf.
Establece referencia superficial.
Elimina irregularidades.

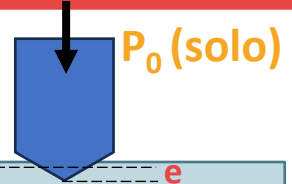
2ª Posición



Carga total

Se aplica carga mayor $P_0 + P_1$.
El penetrador desciende más.
Se mide penetración total.

3ª Posición



Medición HR

Se retira P_1 , queda solo P_0 .
 HR = diferencia entre 1ª y 3ª posición.
 e = deformación permanente.

$HR = C - e$ donde: $C = 100$ (escalas A,C,D) ó 130 (escala B) | e = profundidad permanente | Unidad de penetración=0.002

Rockwell – Escalas y Aplicaciones

Escala	Penetrador	Carga P (kgf)	Materiales típicos
B	Esfera 1/16"	100	Aceros blandos, aleaciones de Cu y Al, fundición maleable
C	Cono diamante	150	Aceros de alta dureza, fundición maleable perlítica, HRB>100
A	Cono diamante	60	Aceros nitrurados, flejes, carburos de tungsteno
D	Cono diamante	100	Aceros cementados, aceros semiduros, fundición maleable perlítica
E	Esfera 1/8"	100	Metales antifricción o blandos, piezas fundidas, Al y Mg
F	Esfera 1/16"	60	Bronce recocido, metales blandos
N	Cono diamante	15-30-45	Rockwell Superficial – piezas delgadas, capas endurecidas

B y C: escalas estándar · N,T: Rockwell Superficial ($e = 0,001 \text{ mm}$) · Normal ($e = 0,002 \text{ mm}$)

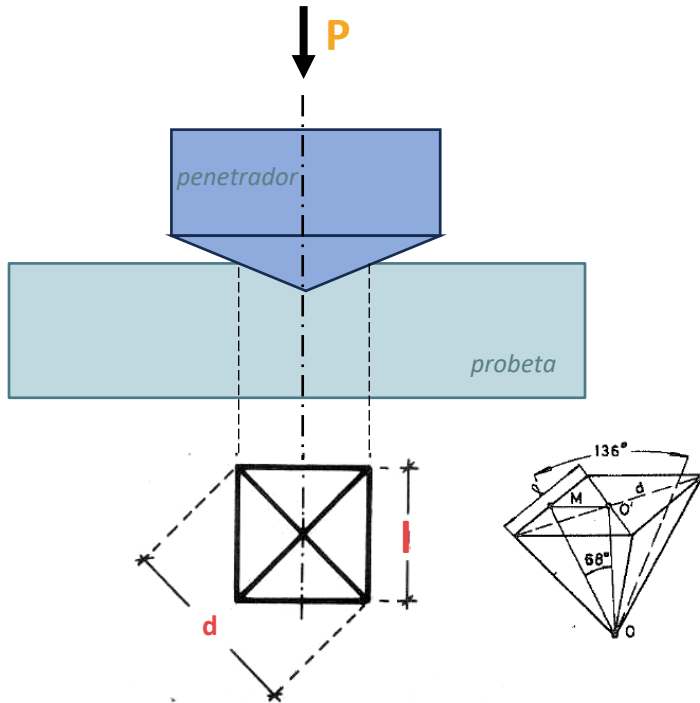
P A R T E 3

Vickers y Knoop

HV · HK · Penetradores de pirámide de diamante

Ensayo de Dureza Vickers

Penetrador: punta de diamante de forma de pirámide cuadrangular



Cálculo de HV

$$HV = P / \text{Sup. impresión}$$

$$\text{Sup} = 4 \cdot l \cdot (ap/2); \quad ap = l / [2 \cdot \sin(68^\circ)]; \quad l^2 = d^2/2$$

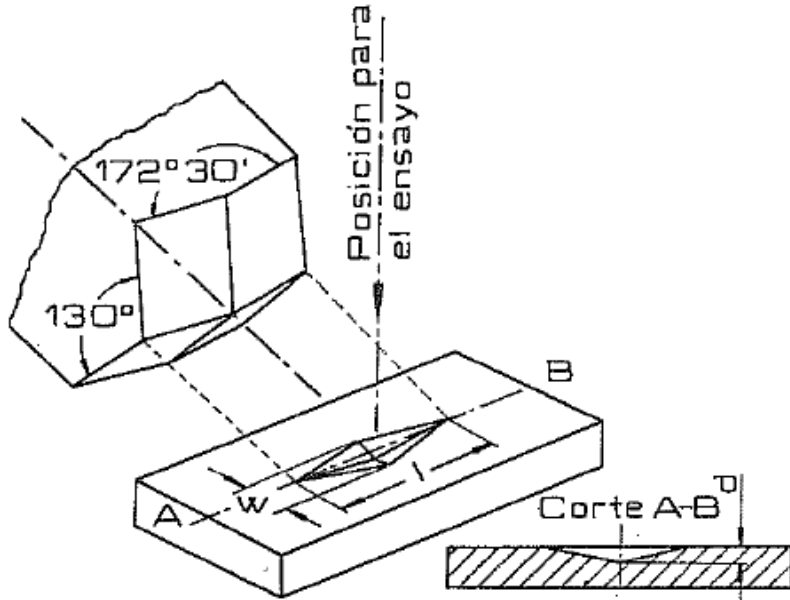
$$HV = 1,854 \cdot P / d^2$$

Ventajas del ensayo Vickers:

- Escala única y continua (5 – 1500 HV)
- No requiere cambiar escala según material
- Preciso en materiales muy duros y muy blandos
- Identación cuadrada → fácil medición óptica

Ensayo de Microdureza Knoop

Penetrador: punta de diamante de forma piramidal en la que dos aristas forman un ángulo de $170^{\circ}30'$ y las otras dos 130° .



Cálculo de HK

$$HK = P / \text{Sup. base impresión}$$

$$\text{Sup} = (w \times l) / 2 \quad w = 0,14056 \cdot l$$

$$HK = 14,2 \cdot P / l^2$$

Knoop vs. Vickers:

- Identación Alargada ($l/w = 7,11$)
- Menor profundidad $\rightarrow$ capas finas.
- Ideal para cerámicos, vidrios, recubrimientos
- Cargas muy bajas (1–1000 gf)

P A R T E 4

Comparativa

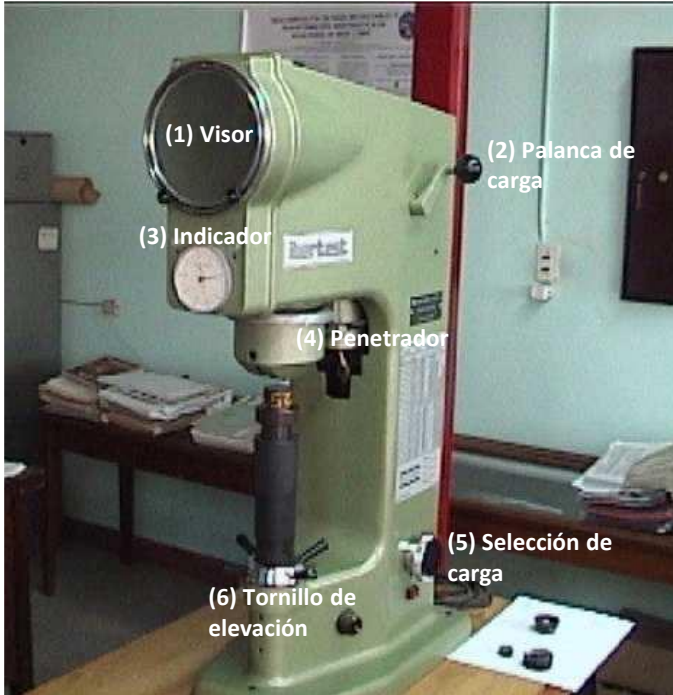
Resumen de los 4 ensayos · Selección del método

Comparativa de Ensayos de Dureza

Ensayo	Penetrador	Forma de la indentación	Carga	Fórmula HR	Aplicación
Brinell	Esfera acero o carburo W 10/5/2,5 mm	Circular (cóncava)	Hasta 3000 kgf	$HB = 2P / [\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})]$	Fundiciones, aceros, metales no férreos
Rockwell	Cono diamante 120° o esfera 1/16" – 1/8"	Cónica o esférica	60/100/150 kgf	$HR = C - e$ (e=prof. perm.)	Uso industrial: más rápido y directo
Vickers	Pirámide cuadrangular diamante 136°	Cuadrado (diagonal d)	1–120 kgf	$HV = 1,854P/d^2$	Amplio rango; recub. y metales duros. Microdureza
Knoop	Pirámide alargada diamante	Rombo alargado (l)	1–1000 gf	$HK = 14,2P/l^2$	Microdureza; cerámicos y capas finas

El Durómetro – Componentes Principales

Durómetro Universal (Brinell / Vickers / Rockwell)



Visor Brinell/Vickers

Microscopio óptico para medir la diagonal de la huella de indentación.

Palanca de Carga

Aplica la carga seleccionada sobre el penetrador con suavidad y precisión.

Indicador de Dureza

Dial comparador que muestra directamente el valor de dureza Rockwell.

Penetrador

Bola de acero (Brinell/Rockwell B) o cono de diamante 120° (Rockwell A/C).

Selección de Carga

Palanca o selector para elegir la carga de ensayo según la escala requerida.

Tornillo de Elevación

Sube la probeta hasta contactar con el penetrador bajo la precarga.