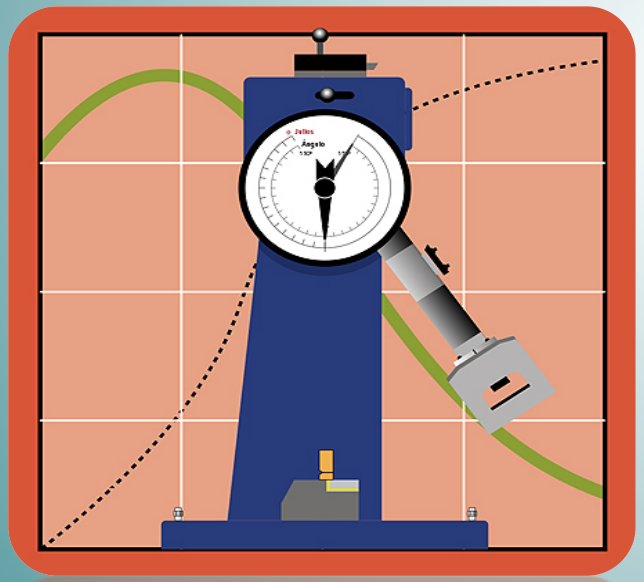
# Materiales-G704/G742

## Lección 5. Otros ensayos mecánicos



**Jesús Setién Marquínez**
**Jose Antonio Casado del Prado**
**Soraya Diego Cavia**
**Carlos Thomas García**

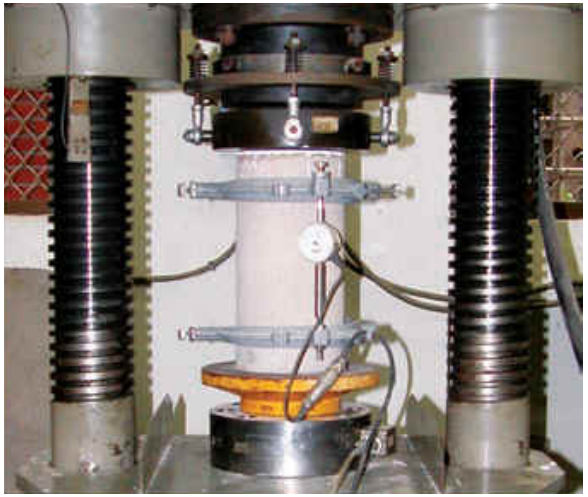
Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales

Este tema se publica bajo Licencia:
Creative Commons BY-NC-SA 4.0

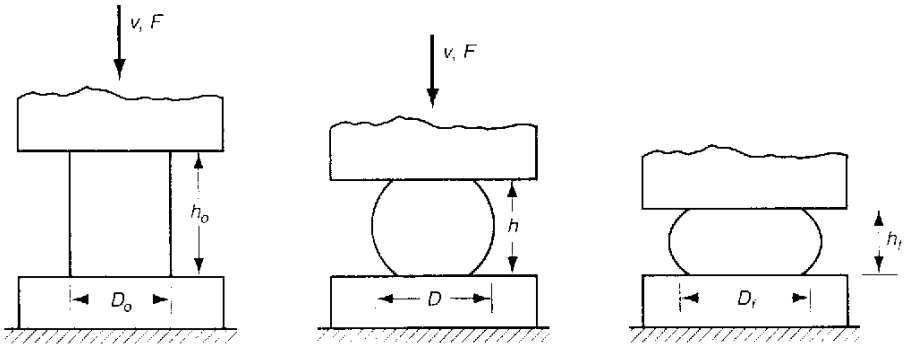
## 5.1 ENSAYO DE COMPRESIÓN

En los ensayos de compresión, la forma de la probeta tiene gran influencia, por lo que todas ellas son de geometrías y dimensiones normalizadas.

El ensayo por lo general se lleva a cabo comprimiendo una probeta cilíndrica o prismática entre los dos platos de una prensa hidráulica.



Debido a la fricción entre la probeta y los platos de la prensa, la superficie lateral de la probeta se abomba (efecto de abarrilamiento), ya que la fricción impide que las superficies superior e inferior de la probeta se expandan con libertad.




**Resistencia a compresión**

$$\sigma_C = \frac{F_{máx}}{S_0}$$

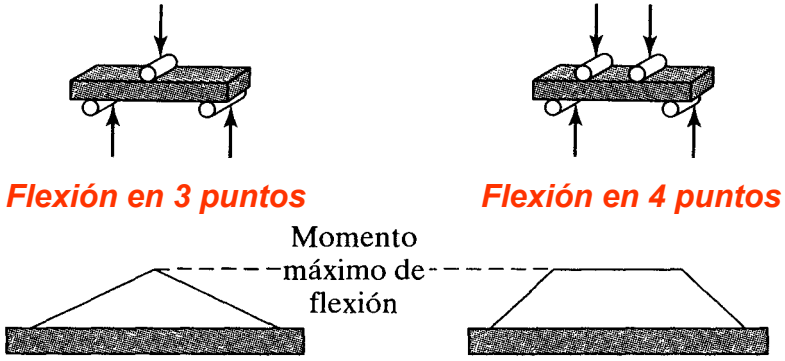
$F_{máx}$: carga máxima de compresión.

$S_0$: sección inicial de la probeta.

## 5.2 ENSAYO DE FLEXIÓN

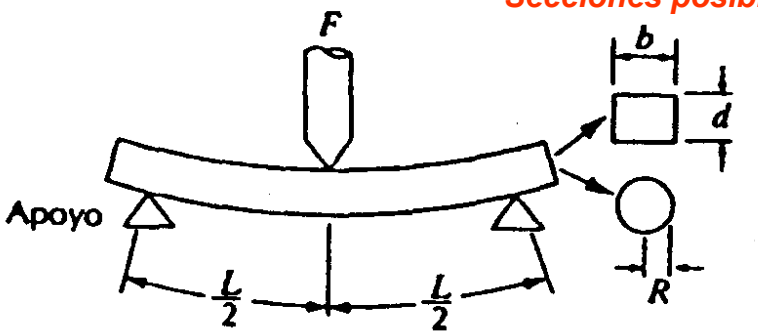
Es un ensayo habitualmente empleado en materiales frágiles (cerámicos y vidrios), aunque aplicable a materiales metálicos. La carga se aplica verticalmente, en un punto o dos, dando lugar a los ensayos de flexión en 3 o en 4 puntos.

Los esfuerzos longitudinales en las probetas de flexión son a tracción en las caras inferiores de apoyo, y a compresión en las caras superiores de aplicación de la carga.




*Flexión en 3 puntos* *Flexión en 4 puntos*

*Secciones posibles*



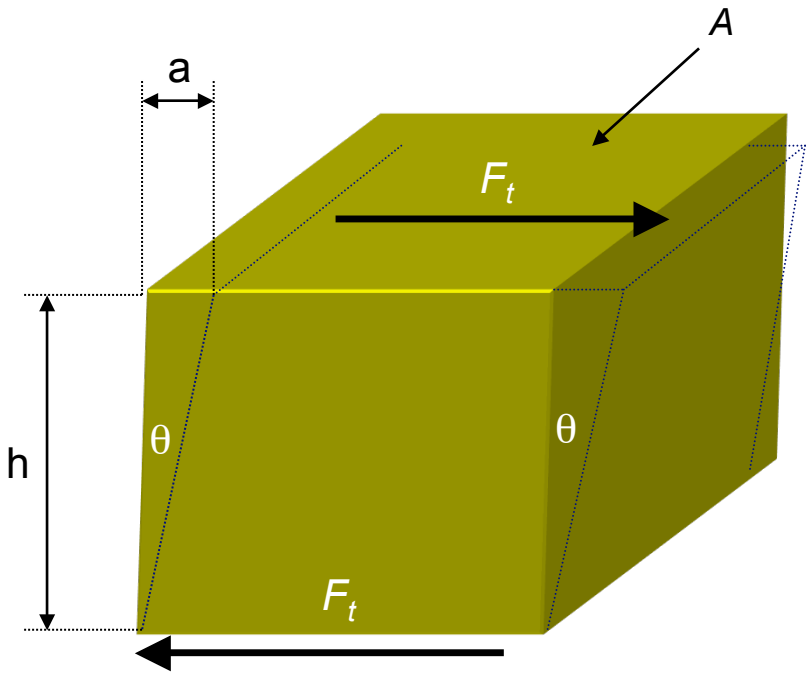

$$MOR = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2}$$

$$MOR = \frac{F \cdot L}{\pi \cdot R^3}$$

## 5.3 CIZALLADURA. ENSAYO DE TORSIÓN

### *Cizalladura*

Un material puede estar sometido a esfuerzos tangenciales, también llamados cortantes o de cizalladura, donde las fuerzas actúan paralelamente a un plano.




$$\tau = \frac{F_t}{A}$$

$\tau$: tensión de cizalla.

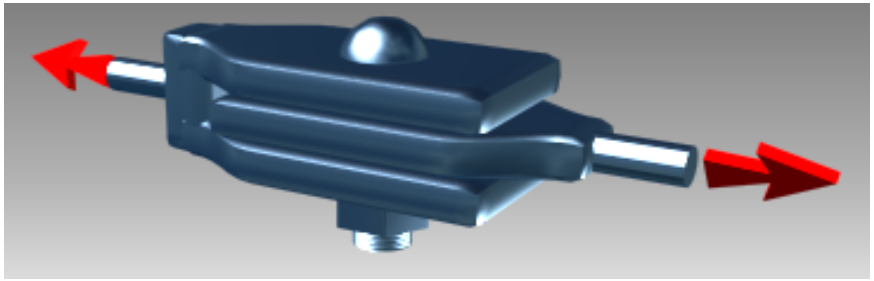
$F_t$: fuerza de cizalla.

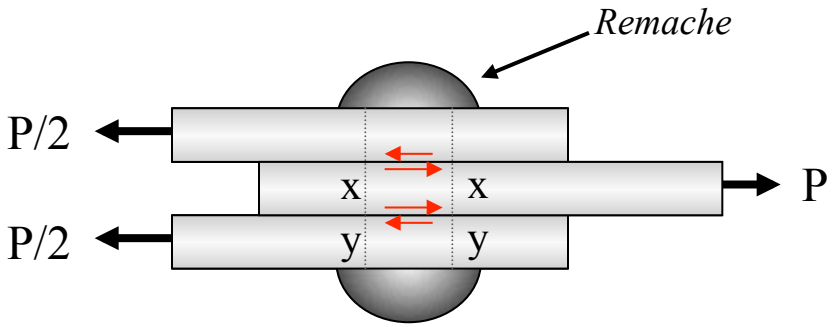
$A$: área sobre la que actúa la fuerza de cizalla.

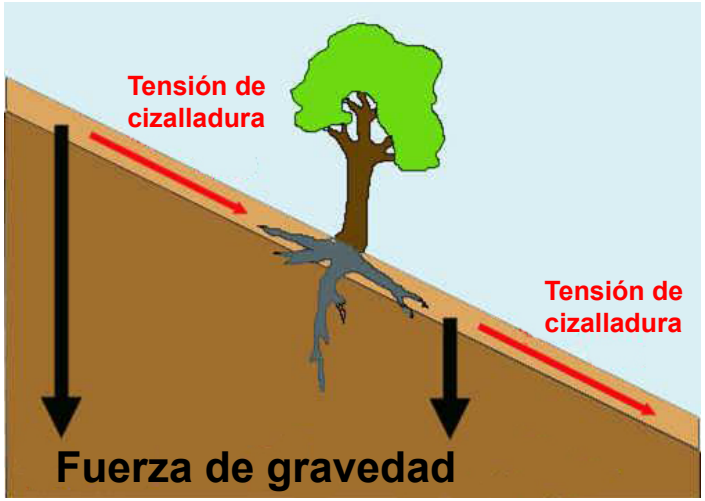
$$\gamma = \frac{a}{h} = \tan\theta$$

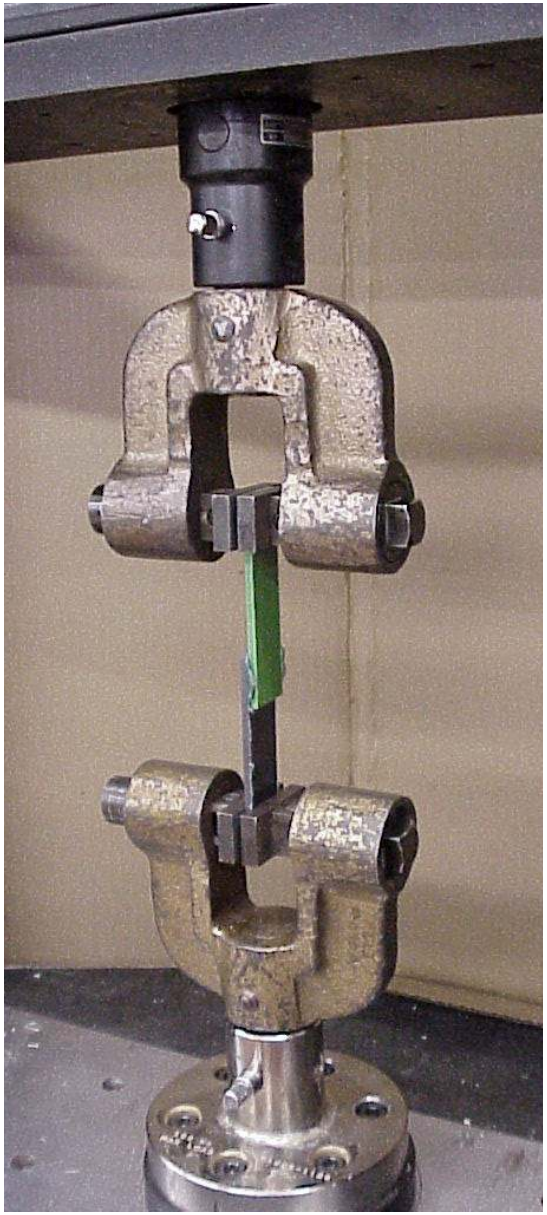
$\gamma$: distorsión angular por cizalla.

Para pequeñas deformaciones: $\gamma \approx \theta$




Remache
P/2
P/2
x
x
y
y
P


Tensión de cizalladura
Tensión de cizalladura
Fuerza de gravedad



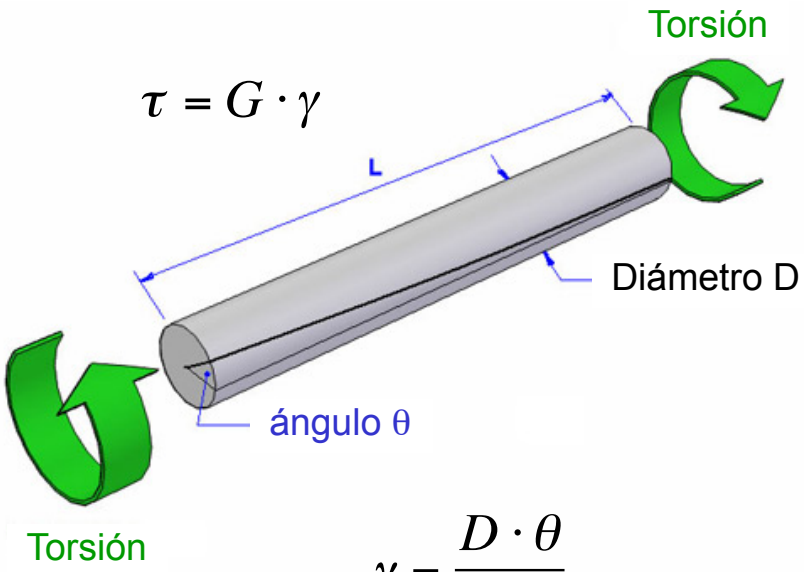
## *Ensayo de Torsión*

El método de ensayo utilizado para determinar las propiedades de los materiales frente a esfuerzos de cortante es el ensayo de torsión.

La relación del esfuerzo cortante ($\tau$) a la deformación cortante ($\gamma$) en el rango elástico se conoce como módulo de rigidez o módulo de corte (G).

**Ley de Hooke para cortante**

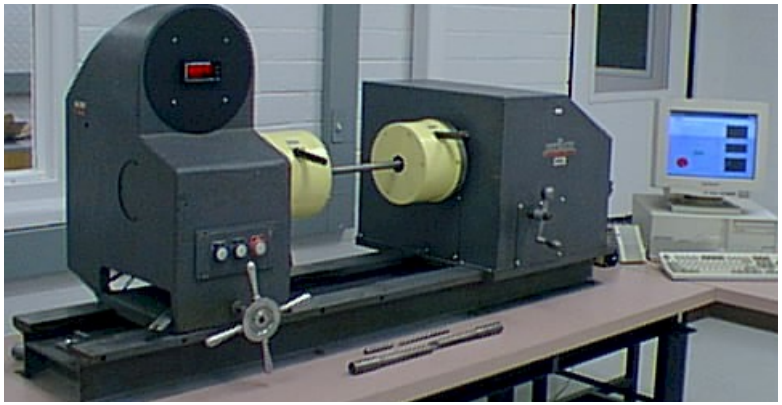
$$\tau = G \cdot \gamma$$




$$\tau = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot D^3}$$

T: momento torsor aplicado.

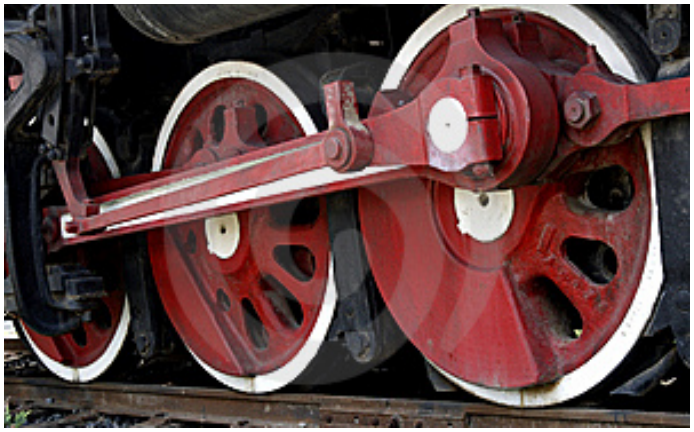
$$\gamma = \frac{D \cdot \theta}{2 \cdot L}$$



## 5.4 ENSAYO DE DUREZA

La dureza es la resistencia que presenta un material para ser deformado en su superficie ante la acción dinámica de otro cuerpo.

Es una propiedad que da idea de la capacidad resistente del material, proporcionando además, una indicación sobre su resistencia al rayado y al desgaste o abrasión.



Ensayo simple, rápido, de bajo coste y carácter no destructivo
(ideal en control de calidad de procesos).

Presenta diferentes significados según los campos:

Resistencia a la indentación → METALURGIA

Reacción elástica del material → POLIMEROS

Resistencia al rayado → MINERALOGÍA

Resistencia al corte → MECANIZADO

Resistencia a la abrasión → LUBRICACIÓN

Resistencia mecánica → ING. DISEÑO - CÁLCULO

Se han desarrollado diversos métodos para determinar esta propiedad.

## 5.4.1 ENSAYOS DE DUREZA POR RAYADO

Relacionan la dureza de un material y su resistencia a ser rayado.

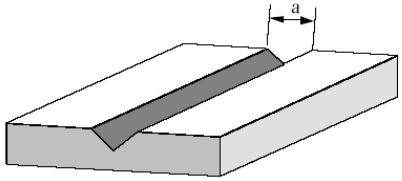
### ESCALA DE MOHS

Se basa en que un cuerpo puede ser rayado por otro que sea más duro. Está formada por 10 minerales ordenados de forma que cada uno de ellos es rayado por el que le sigue.

**Fundición gris: 8 – 9 ; Aceros: 6 – 8 ; Fe: 5**

### ENSAYO MARTENS

Se mide la anchura (a) de la rayadura (μm) que produce en el material una punta de diamante piramidal (ángulo en el vértice de 90º) bajo carga constante.

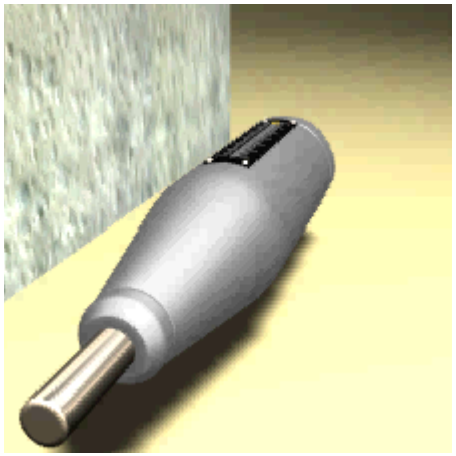



$$HM = \frac{10.000}{a^2}$$

**Pb: 16.8 ; Cu: 37 ; Acero: 73 - 145**

## 5.4.2 ENSAYOS DE DUREZA POR REBOTE

Se mide con esclerómetros que constan de un tubo graduado de 0 a 100 (100 para dureza máxima). Por su interior se impulsa un proyectil, cuya forma depende del esclerómetro y del material a ensayar, que impacta sobre la muestra desde una posición fija. La altura del rebote determina su dureza.

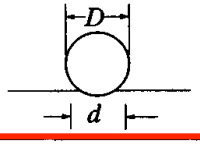
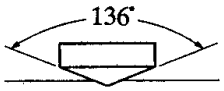
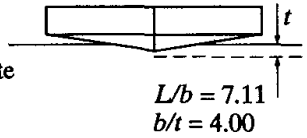
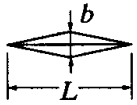
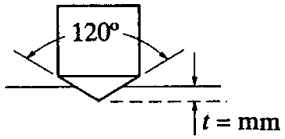
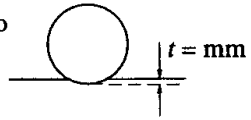


Una variante es el método dinámico que se basa en la medida de las velocidades de impulsión ($V_B$) y rebote ($V_A$) del cuerpo móvil impulsado por un resorte contra la superficie del material a ensayar.

$$HL = 1.000 \frac{V_B}{V_A}$$

## 5.4.3 ENSAYOS DE DUREZA POR INDENTACIÓN

Evalúan la oposición que ofrece un material a que otro más duro pueda hacer mella en su superficie por efecto de una presión. Existen diferentes procedimientos de medida que dan lugar a las diferentes escalas.

| Ensayo | Indentador | Forma de la indentación: Vista lateral | Forma de la indentación: Vista superior | Carga, $P$ | Número de dureza |
|---|---|---|---|---|---|
| Brinell | Bola de acero de 10 milímetros o de carburo de tungsteno |   | | 500 kg<br>1500 kg<br>3000 kg | $HB = \frac{2P}{(\pi D)\,(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ |
| Vickers | Pirámide de diamante |   | | 1-120 kg | $HV = \frac{1.854P}{L^2}$ |
| Knoop | Pirámide de diamante |   |   | 25g-5kg | $HK = \frac{14.2P}{L^2}$ |
| Rockwell<br>A<br>C<br>D | Cono de diamante |   | | kg<br>60<br>150<br>100 | HRA<br>HRC<br>HRD<br>$= 100 - 500t$ |
| B<br>F<br>G | Bola de acero de 1/16" de diámetro |   | | 100<br>60<br>150 | HRB<br>HRF<br>HRG<br>$= 130 - 500t$ |
| E | Bola de acero de 1/8" de diámetro | | | 100 | HRE |

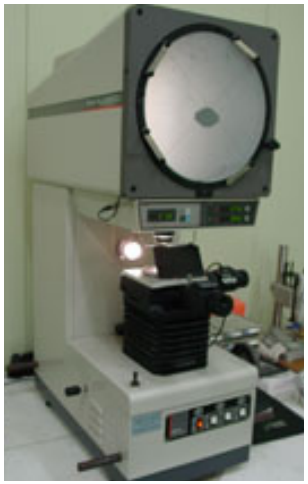
## Durómetro

## Indentadores

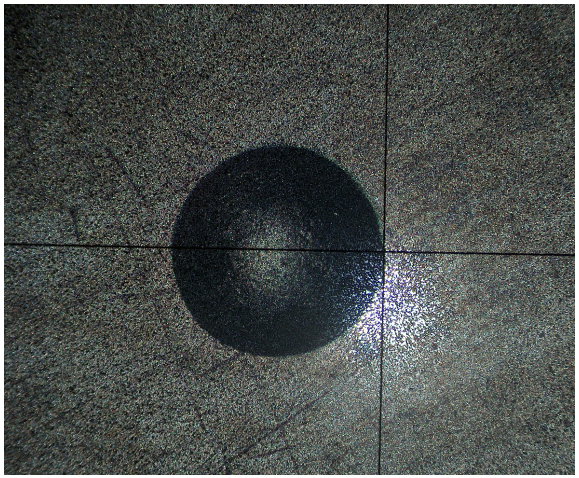
## Indentación

## Huellas impresas

## Proyector de perfiles

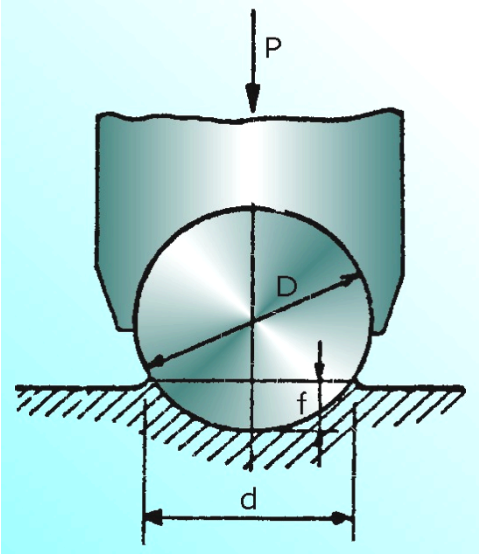


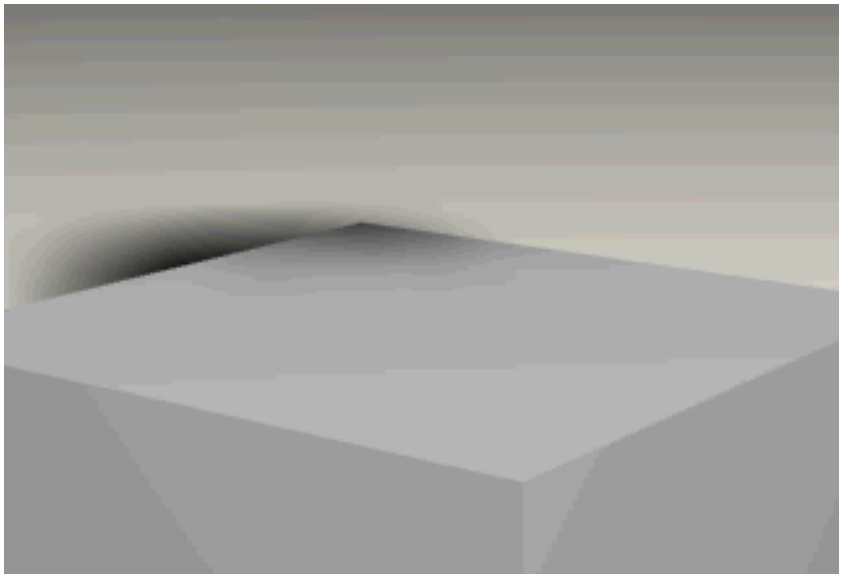
## Medida de huella



## Método BRINELL

Mide la huella del casquete esférico que deja una bola de acero endurecido al ser comprimida sobre una superficie plana y lisa del cuerpo a ensayar hasta alcanzar la carga prevista y mantenida cierto tiempo. La dureza se expresa como el cociente entre la carga aplicada en kg y la superficie del casquete medida en $mm^2$.

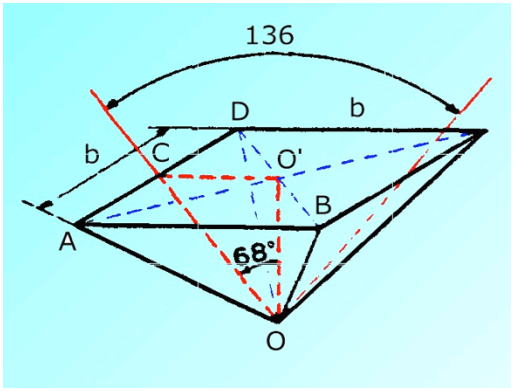


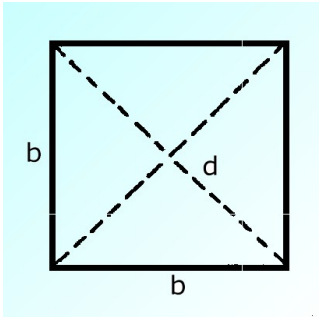



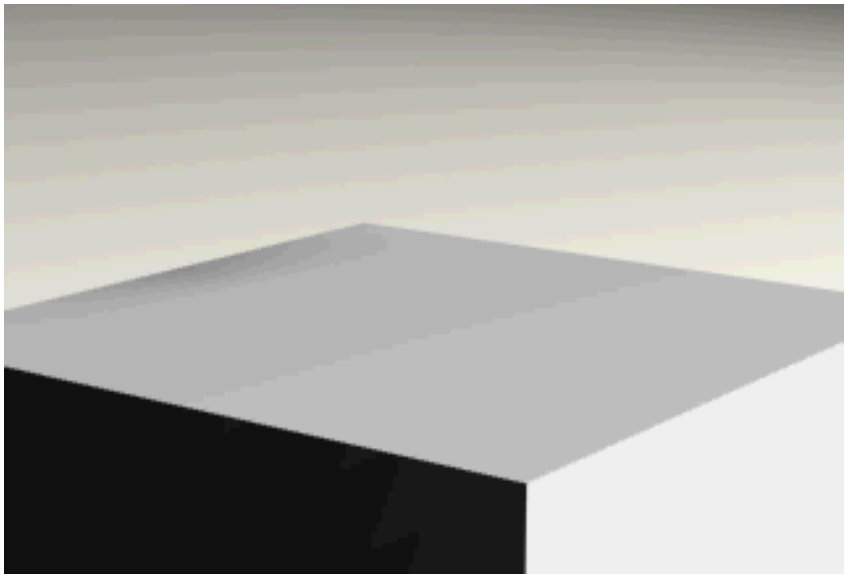
$$HB = \frac{P}{S} = \frac{2P}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

## Método VICKERS

El indentador es una pirámide de diamante con base cuadrada, formando las caras opuestas en el vértice un ángulo de 136º. La dureza se expresa como el cociente entre la carga, en kg y la superficie de la huella proyectada, en $mm^2$.



$$HV = \frac{P}{S} = \frac{1{,}854 \cdot P}{d^2}$$

## Método ROCKWELL

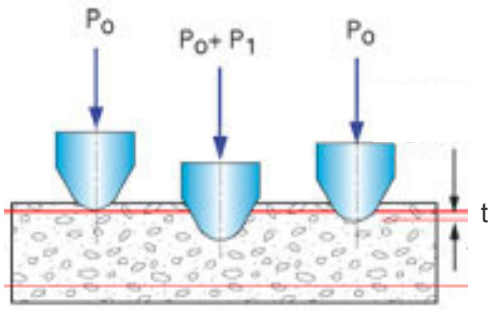
Expresa la dureza en función de la profundidad que alcanza la huella. Existen 7 variantes de ensayo, utilizándose como elementos indentadores conos y bolas.

Se presiona el indentador contra la superficie en tres pasos:

1. Se aplica una precarga ($P_0$) midiéndose la profundidad alcanzada ($e_0$).
2. Se incrementa la carga de ensayo en un valor $P_1$.
3. Se retira la carga $P_1$, manteniéndose $P_0$. Se mide la profundidad permanente ($e_f$).

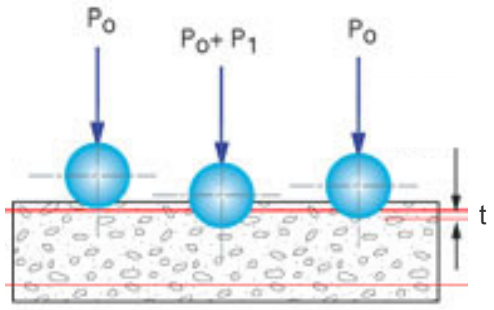
La diferencia en las profundidades ($t = e_f - e_0$) es una medida de la dureza del material.

**Rockwell C**




$$HRC = 100 - 500 \cdot t$$

**Rockwell B**



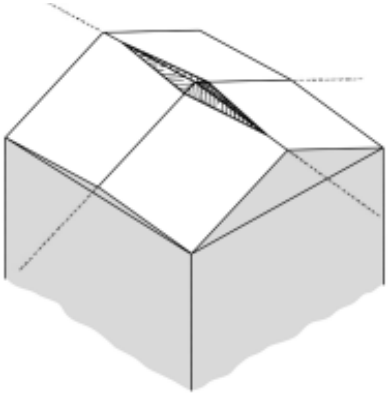

$$HRB = 130 - 500 \cdot t$$

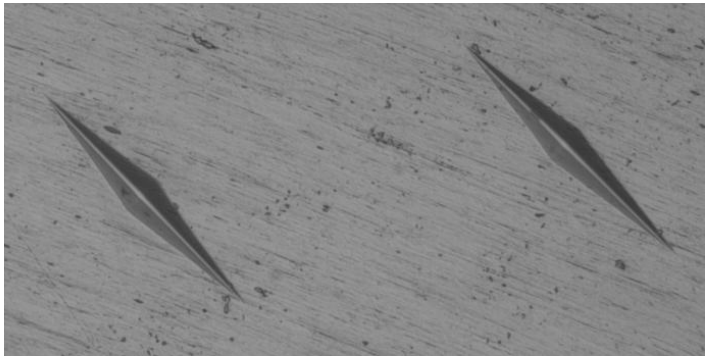
## Método KNOOP

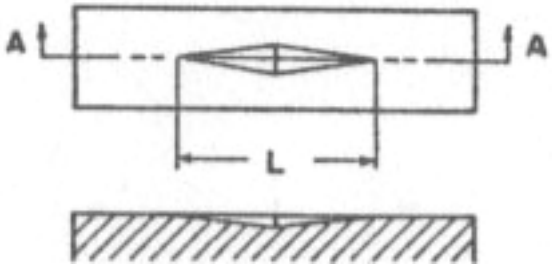
Utiliza un indentador de diamante con forma de pirámide alargada que presiona con una carga P contra la superficie de la probeta y se mide la diagonal mayor (L) de la huella tras retirar la carga.

Es adecuado para probetas pequeñas o delgadas, y para materiales frágiles (cerámicas y vidrios).

Se emplea también en recubrimientos metálicos, e incluso en granos y fases de aleaciones.



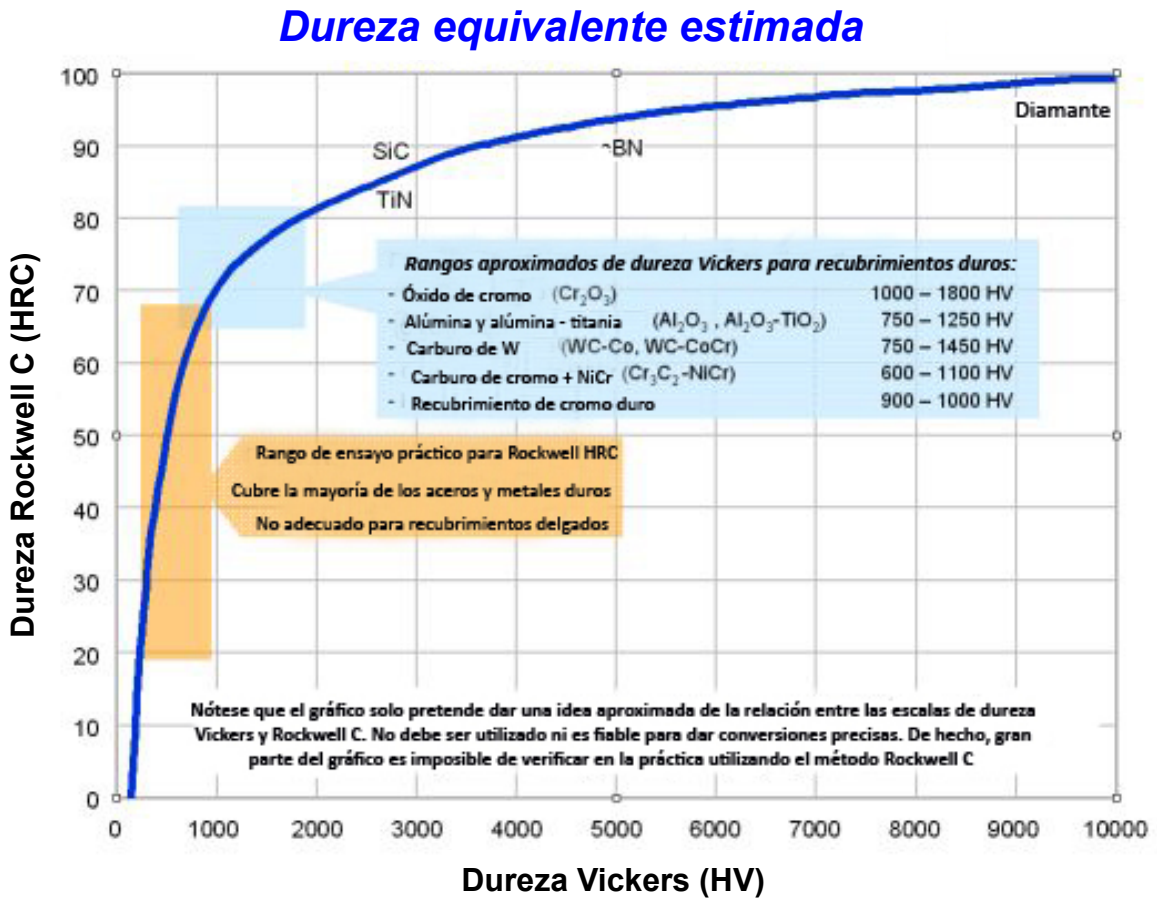


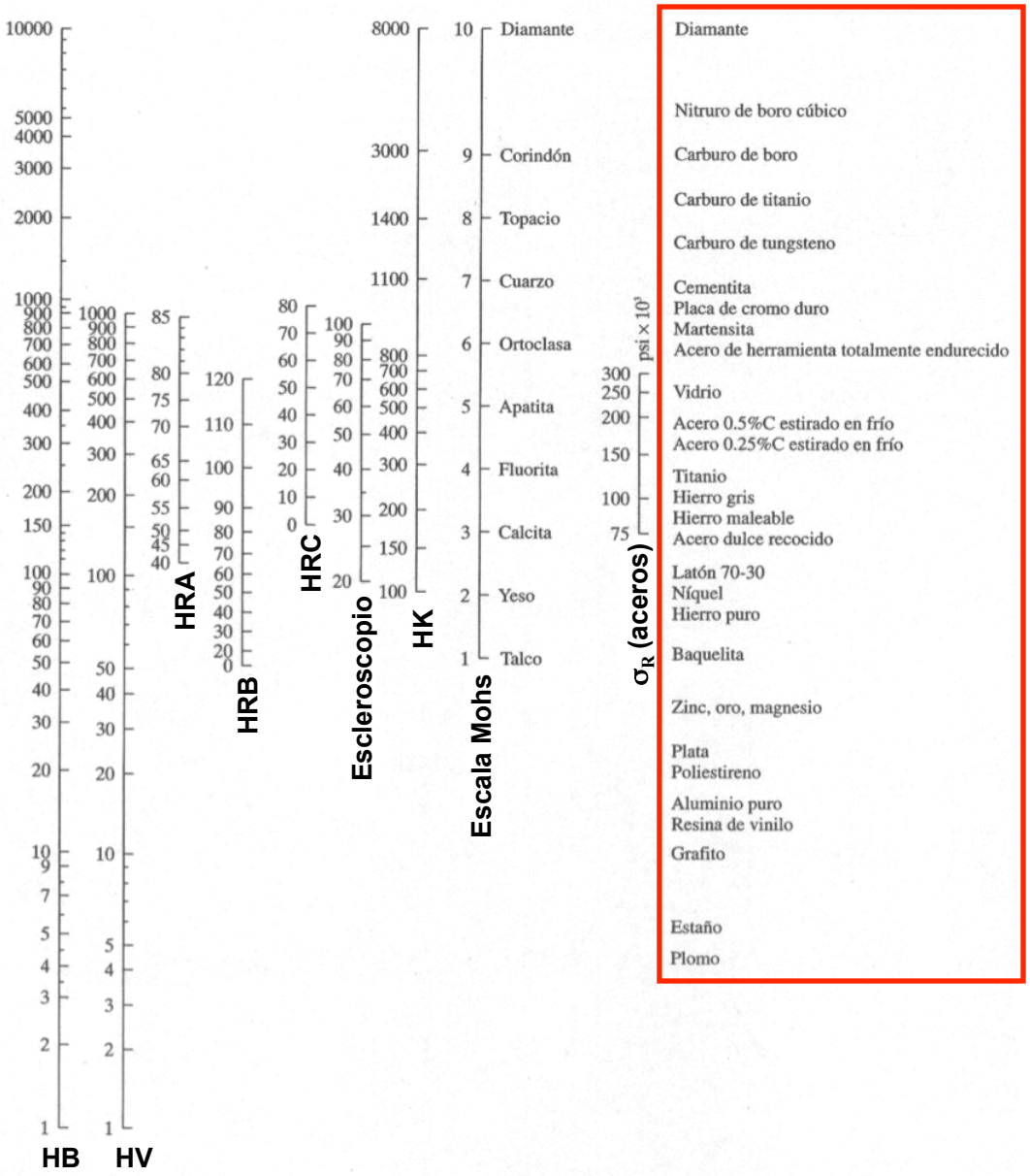



$$HK = 14{,}2 \cdot \frac{P}{L^2}$$

## 5.4.4 CONVERSIÓN DE ESCALAS

Los valores de dureza sobre escalas diferentes se interrelacionan de forma aproximada.



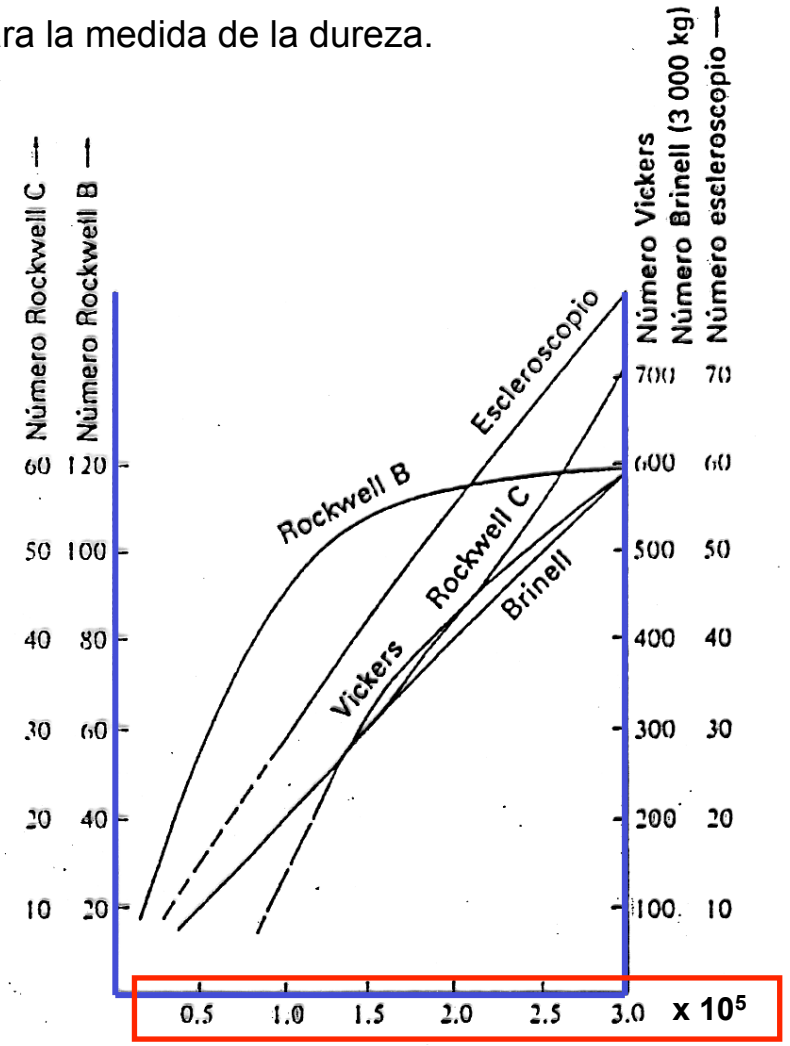

HB
HV
HRA
HRB
HRC
Escleroscopio
HK
Escala Mohs
Diamante
Corindón
Topacio
Cuarzo
Ortoclasa
Apatita
Fluorita
Calcita
Yeso
Talco
$\sigma_R$ (aceros) psi × 10³
Diamante
Nitruro de boro cúbico
Carburo de boro
Carburo de titanio
Carburo de tungsteno
Cementita
Placa de cromo duro
Martensita
Acero de herramienta totalmente endurecido
Vidrio
Acero 0.5%C estirado en frío
Acero 0.25%C estirado en frío
Titanio
Hierro gris
Hierro maleable
Acero dulce recocido
Latón 70-30
Níquel
Hierro puro
Baquelita
Zinc, oro, magnesio
Plata
Poliestireno
Aluminio puro
Resina de vinilo
Grafito
Estaño
Plomo

## 5.4.5 RELACIÓN DUREZA - RESISTENCIA

Relación de la resistencia con los métodos para la medida de la dureza.

Existe una relación empírica entre la resistencia mecánica a tracción (sR) y la dureza Brinell (HB) para los aceros:

$$\sigma_R = 500\ (HB)$$

$\sigma_R$ en psi y HB en kg/mm$^2$

(1 psi = 0.00689 MPa)