

Caracterización de Materiales

Tema 3. Caracterización en dureza



Isidro Carrascal Vaquero
Soraya Diego Cavia
José Antonio Casado del Prado
Diego Ferreño Blanco
Jesús Setién Marquínez

DPTO. DE CIENCIA E INGENIERÍA
DEL TERRENO Y DE LOS MATERIALES

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Comportamiento Mecánico.

Índice:

- Introducción
- Dureza al rayado
- Dureza a la penetración
- Dureza elástica
- Relación dureza - resistencia

1. INTRODUCCIÓN

- ❑ El ensayo de dureza es, juntamente con el de tracción, uno de los más empleados en la selección y control de calidad de los metales.
- ❑ Presenta diferentes significados para diferentes campos:
 - Resistencia a la penetración → METALURGIA
 - Reacción elástica del material → POLIMEROS
 - Resistencia al rayado → MINERALOGÍA
 - Resistencia al corte → MECANIZADO
 - Resistencia a la abrasión → LUBRICACIÓN
 - Medida de la capacidad resistente → ING. DISEÑO Y CÁLCULO
- ❑ A pesar de las diferencias, todos estos significados están relacionados:
 - **DUREZA: resistencia que un material ofrece a adquirir DEFORMACIONES, en particular, PLASTICAS Y PERMANENTES**
- ❑ Intrínsecamente la dureza es una condición de la superficie del material y no representa ninguna propiedad fundamental de la materia.

1.1. Ventajas

- Ensayo sencillo.
- Ensayo rápido
- Ensayo no destructivo
- A partir de la dureza de un material, se puede extraer información:
 - Sobre sus características mecánicas. (resistencia, σ_y ...)
 - su composición
 - la resistencia al desgaste
 - La dificultad de mecanizado
 - La influencia de los tratamientos térmicos o mecánicos sufridos

1.2. Limitaciones

- El resultado numérico de un ensayo de dureza NO puede usarse en cálculos de diseño o proyecto como otras características mecánicas

1.3. Utilidad

- Orientación correcta de los valores resistentes de un material
- Especificación en ciertas aplicaciones (componentes de máquinas...)

2. DUREZA AL RAYADO

- ❑ Se define como la resistencia que un material ofrece a ser rayado

2.1. Escala de dureza Mohs (mineralógica)

- ❑ Se emplea para la determinación de la dureza de los minerales
- ❑ Se basa en que un cuerpo es rayado por otro mas duro
- ❑ La escala de Mohs está formada por 10 minerales ordenados de forma que cada uno de ellos es rayado por el que le sigue

➤ 1: Talco

➤ 2: Yeso

➤ 3: Calcita

➤ 4: Fluorita

➤ 5: Apatito

➤ 6: Feldespato

➤ 7: Cuarzo

➤ 8: Topacio

➤ 9: Corindón

➤ 10: Diamante

Método:

- ❑ Se intenta rayar el material con el mas duro

- ❑ Se continúa con el resto de patrones hasta llegar a uno que no raya, ni es rallado por el material

- ❑ Entonces el material tiene la dureza del patrón

- ❑ Si el patrón no raya al material, pero éste raya al patrón, la dureza sería la del patrón +0.5

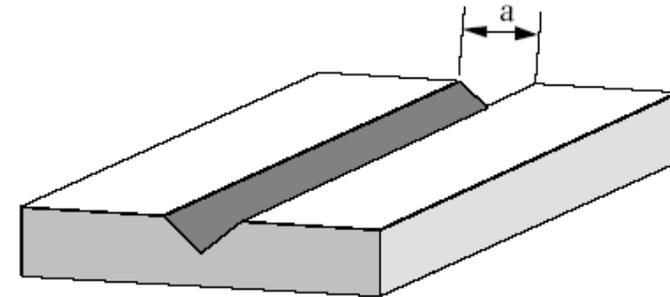
- ❖ Fundicion gris: 8-9; Aceros: 6-8; Hierro dulce: 5

2.2. Dureza MARTENS

- ❑ Se basa en la medida de la anchura de la raya que produce en el material una punta de diamante de forma piramidal y de ángulo en el vértice de 90°, con una carga constante y determinada
- ❑ Se mide “a” en micras y la dureza viene dada por:

$$\Delta m = \frac{10000}{a^2}$$

- ❖ Plomo: 16.8; cobre: 37;
- ❖ Acero dulce: 73; acero duro: 145



2.3. Dureza TURNER

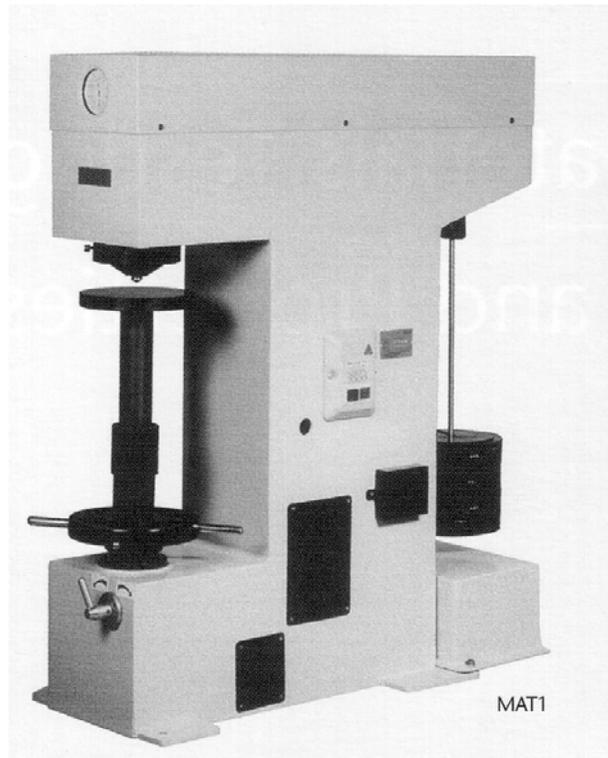
- ❑ Variante de la dureza MARTENS.
- ❑ Carga necesaria (g) para conseguir una deformación tal que **a = 10 μm**

2.4. Dureza a la lima

- ❑ Determinar la dureza por medio de una lima nueva o en buen estado.
- ❑ Si no “entra” (se raya la lima) → H > 60 HRC; si “entra” → H < 58 HRC

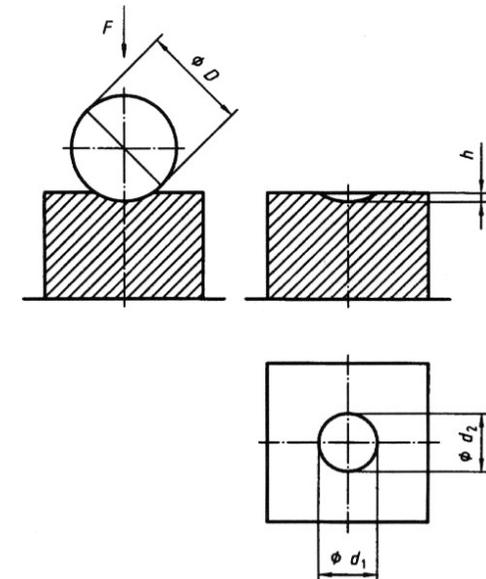
3. DUREZA A LA PENETRACIÓN

- ❑ Consisten en producir una huella en el material que se ensaya aplicando sobre él un penetrador, hallando el índice de dureza en función de la presión ejercida y la deformación provocada (profundidad del indentador, superficie de la huella...)
- ❑ Equipo:



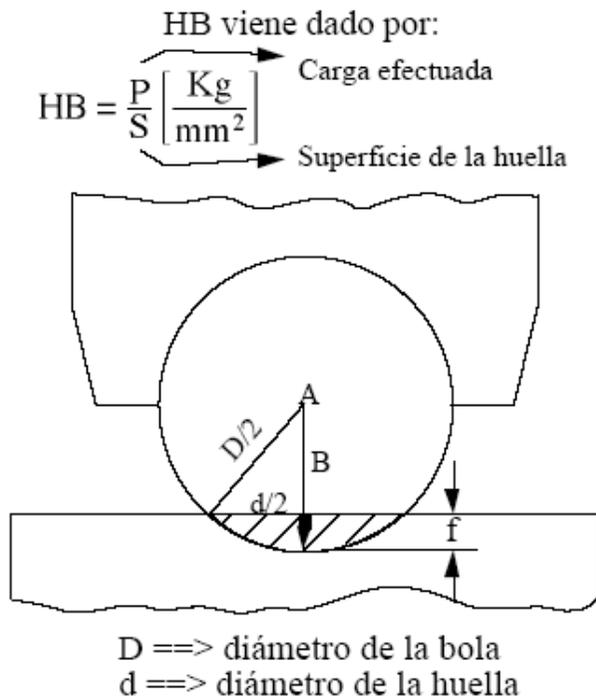
3.1. Dureza BRINELL (I)

- ❑ UNE-EN ISO 6506-1 (Ensayo de dureza Brinell)
- ❑ Se presiona un indentador (esfera de diámetro D) contra la superficie de una probeta de ensayo y se mide el diámetro de la huella dejada en la superficie al retirar la carga F tras un tiempo t
- ❑ Designación Norma: HBW (Esfera de carburo)
- ❑ Designación anterior: HBS (Esf. acero templado)
- ❑ Nomenclatura: XXX HBW ($D/P/t$)
Ej. 250 HBW (10/3000/15)
bola de 10 mm, carga de 3000 kg
y tiempo de 15 s



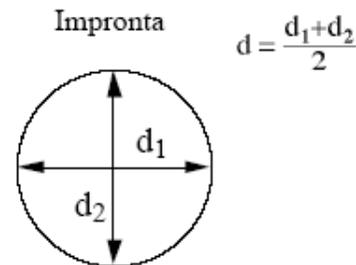
3.1. Dureza BRINELL (II)

- ❑ La dureza Brinell es proporcional a la relación de la carga aplicada y la superficie curva de la huella (área del casquete de la huella).
- ❑ El material será tanto más duro cuanto más pequeña sea la huella
- ❑ $HBW = P \text{ (kg)}/S \text{ (mm}^2\text{)}$, siendo $S = \pi D f$
- ❑ El método de medir la profundidad de la huella no es recomendable debido a las deformaciones sufridas, que falsean el resultado
- ❑ El método habitual consiste en la medida del \emptyset de la proyección (d)



- ponemos todo en función del dato mayor para tener menor error

$$\left. \begin{aligned} S &= \pi D f \\ f &= \frac{D}{2} - \overline{AB} \\ \overline{AB} &= \sqrt{\frac{D^2}{2} - \frac{d^2}{2}} \end{aligned} \right\} f = \frac{1}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2}) \left. \vphantom{\begin{aligned} S &= \pi D f \\ f &= \frac{D}{2} - \overline{AB} \\ \overline{AB} &= \sqrt{\frac{D^2}{2} - \frac{d^2}{2}} \end{aligned}} \right\} S = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$



$$HBS = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

3.1. Dureza BRINELL (III)

❑ Probeta de ensayo

- Superficie lisa, libre de óxidación, materias extrañas y lubricantes
- Acabado superficial que permita una medida precisa de “d”
- Espesor > 8f. Deformación visible en la parte posterior → muy fina

❑ Parámetros de ensayo

- Recomendado: $D = 10 \text{ mm}$ y $F = 3000 \text{ kg}$
- Problema en los ensayos sobre chapas de poco espesor (6 mm)
- Solución: disminuir F y D → huellas menos profundas
- Teniendo en cuenta que para que los resultados sean comparables las huellas tienen que ser **geoméricamente semejantes**
- Esto se cumple siempre que la P sea proporcional a D^2 → **$P = K \cdot D^2$**
- Donde K depende del material (siendo mayor para materiales duros)
- Limitación: **$0.24D < d < 0.6D$** → aprox: $D/2 < d < d/2$
- D tan grande como sea posible → mayor resolución en la huella
- Si el espesor de la probeta lo permite, se prefiere $D = 10 \text{ mm}$

3.1. Dureza BRINELL (IV)

❑ Valores del coeficiente K para diferentes materiales metálicos

- Aleación acero-níquel/ Ale. Titanio → K = 30
- Hierro Fundido (HBW < y > 140) → K = 10/30
- Cobre y ale. de cobre (HBW < 35/35 a 200/>200) → K = 5/10/30
- Met. Ligeros y al. (HBW < 35/35 a 80/>80) → K = 2.5/5/10/15
- Plomo, estaño → K = 1

❑ Cargas aplicadas [kg] → $P = K \cdot D^2$ [mm]

Espesor mín. probeta (> 8f) mm	D mm	K				
		30	10	5	2.5	1
8 (d = 6) a 1.17 (d = 2.4)	10	3000	1000	500	250	100
4 (d=3) a 0.58 (d = 1.2)	5	750	250	125	62.5	25
2 (d = 1.5) a 0.29 (d = 0.6)	2.5	187.5	62.5	31.2	15.6	6.25
0.8 (d = 0.6) a 0.08 (d = 0.2)	1	30	10	5	2.5	1

❑ Limitación: se utiliza el ensayo para HBW < 650

$$0.24D < d < 0.6D \rightarrow \text{aprox: } D/2 < d < d/2$$

3.1. Dureza BRINELL (V)

❑ Procedimiento

- Se selecciona la carga de ensayo en función de K y D (tabla)
- La probeta se coloca sobre soporte rígido (sin desplazamiento)
- Se coloca el indentador en contacto con la superficie (Precarga)
- Se aplica la carga perpendicular (sin sacudidas, vibraciones, desliz.)
- El tiempo de aplicación no será inferior a 2 s ni superior a 15 s
- Se mantiene la carga de ensayo entre 10 y 15 s
- Este tiempo puede ser mayor para materiales especiales
- Distancia entre el extremo de la probeta y centro de huella > 2.5d
- Distancia entre centros de dos huellas adyacentes > 3d

3.2. Dureza MEYER

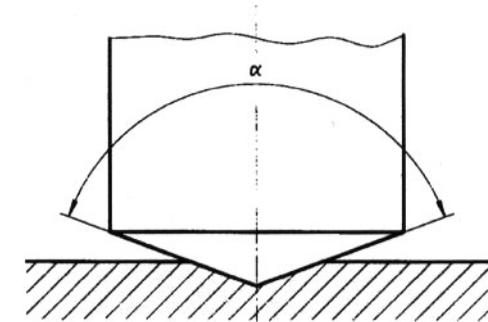
- ❑ El procedimiento de ensayo es el mismo que el BRINELL
- ❑ La dureza se obtiene dividiendo P por el área de la huella proyectada

$$\text{Dureza Meyer} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d^2}$$

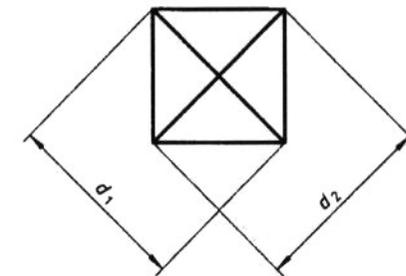
- ❑ Se emplea poco para fines prácticos

3.3. Dureza VICKERS (I)

- ❑ UNE-EN ISO 6507-1
- ❑ Se presiona un indentador contra la superficie de una probeta de ensayo y se mide la longitud de la diagonal de la huella dejada en la superficie al retirar la carga F tras un tiempo t
- ❑ Indentador: pirámide recta de base cuadrada y $\alpha = 136^\circ$ entre caras opuestas de diamante
- ❑ Nomenclatura: XXX HV (P/t);
- ❑ Ej. 640 HV (30/20), 30 kg y 20 s
- ❑ Rangos de carga (Clasificación)
 - Ensayo de dureza Vickers: $F \geq 5$ kg
 - Ensayo de dureza Vickers a baja carga: $0.2 \text{ kg} \leq F < 5$
 - Ensayo de micro dureza Vickers: $0.01 \text{ kg} \leq F < 0.2 \text{ kg}$
- ❑ El ensayo se especifica para diagonales de huella entre 0.02 y 1.4 mm

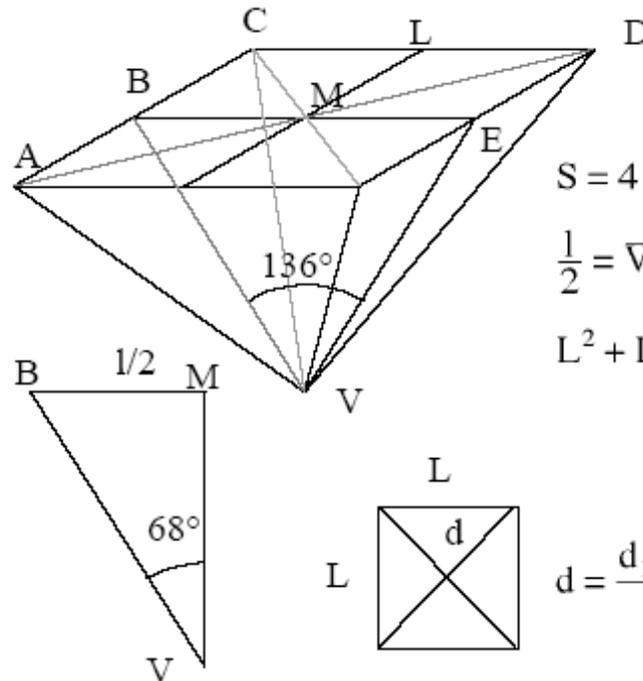


a) Durómetro (pirámide de diamante)



3.3. Dureza VICKERS (II)

- ❑ La dureza Vickers es proporcional a la relación de la carga aplicada y la superficie generada (área de las caras de la pirámide).
- ❑ $HV = P \text{ (kg)}/S\text{(mm}^2\text{)}$, y en función de la diagonal de la proyección (d):



$$S = 4 \frac{\overline{AC} \overline{VB}}{2} = \frac{4L \overline{VB}}{2}$$

$$\frac{1}{2} = \overline{VB} \text{ sen } 68^\circ \Rightarrow \overline{VB} = \frac{L}{2 \text{ sen } 68^\circ}$$

$$L^2 + L^2 = d^2 \Rightarrow 2L^2 = d^2 \Rightarrow L = \frac{\sqrt{2}}{2} d$$

$$\overline{VB} = \frac{\sqrt{2} d}{4 \text{ sen } 68^\circ}$$

Luego nos queda una superficie de

$$S = \frac{4 \frac{\sqrt{2}}{2} d \frac{\sqrt{2}}{2} d}{4 \text{ sen } 68^\circ} = \frac{d^2}{2 \text{ sen } 68^\circ}$$

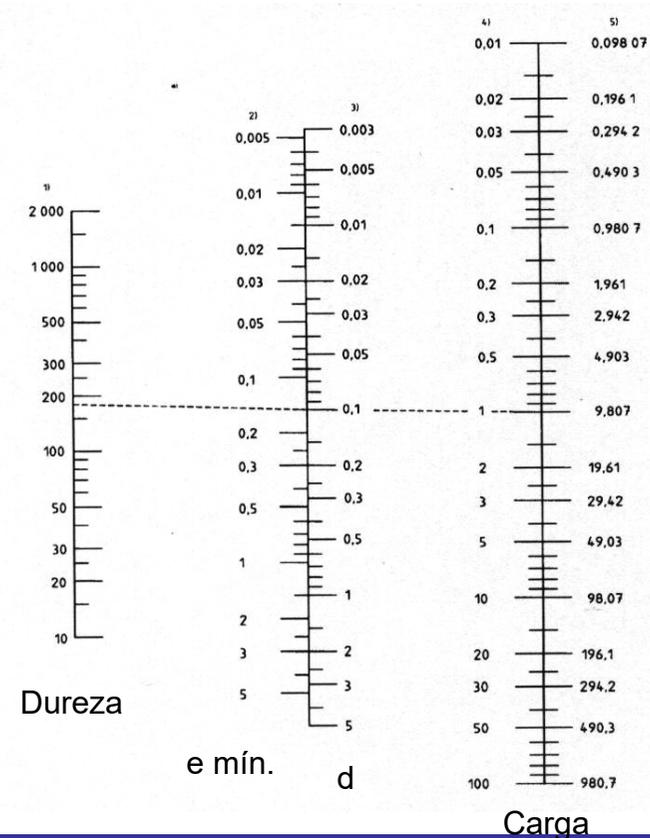
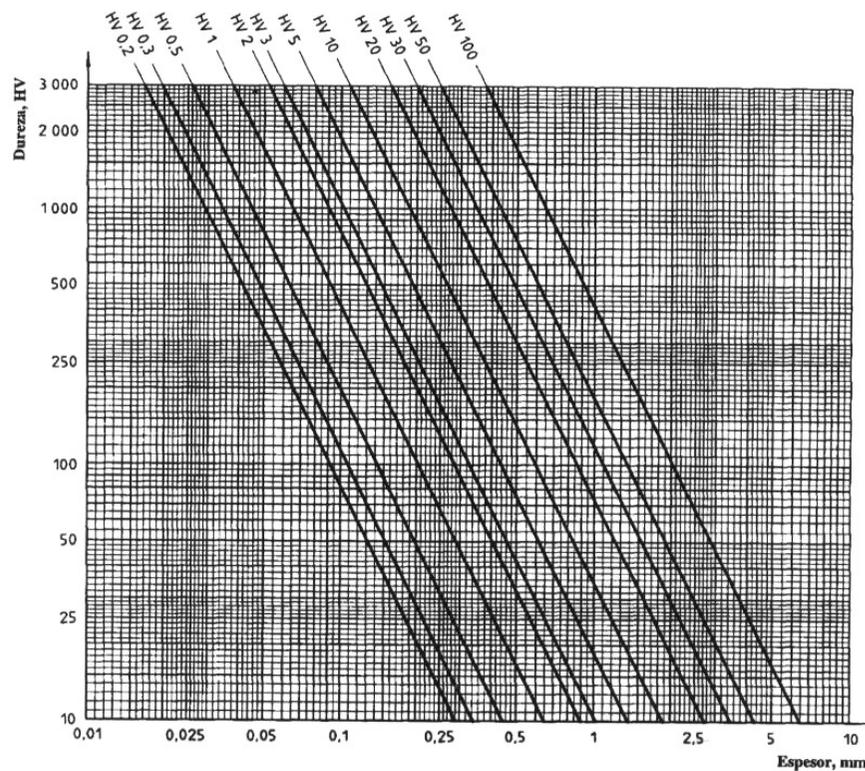
Así queda pues la expresión para la dureza Vickers:

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \right]$$

3.3. Dureza VICKERS (III)

□ Probeta de ensayo

- Superficie lisa, libre de óxidación, materias extrañas y lubricantes
- Acabado superficial que permita una medida precisa de “d” → pulido
- Espesor > 1.5 d. No debe aparecer deformación en la cara opuesta



3.3. Dureza VICKERS (III)

❑ Parámetros

- Cargas ensayos de dureza: 100, 50, 30, 20, 10, 5 kg
- Cargas ensayos de dureza de baja carga: 3, 2, 1, 0.5, 0.3, y 0.2 kg
- Cargas ensayos de microdureza: 100, 50, 25, 20, 15 y 10 g
- Se miden las dos diagonales, siendo d la media de las mismas
- Para superficies planas la diferencia entre las 2 diagonales $\leq 5\%$

❑ Procedimiento

- La probeta se coloca sobre soporte rígido (sin desplazamiento)
- Se coloca el indentador en contacto con la superficie (Precarga)
- Carga perpendicular (sin sacudidas, vibraciones, desliz.)
- El tiempo de aplicación no será inferior a 2 s ni superior a 8 s
- Se mantiene la carga de ensayo entre 10 y 15 s
- Este tiempo puede ser mayor para materiales especiales
- Distancia entre el extremo de la probeta y centro de huella $> 2.5d$ para acero, Cu y aleac. ($3d$ para metales ligeros, Pb, Sn y aleac.)
- Distancia entre centros de dos huellas adyacentes $> 3d$ (ó $6d$)

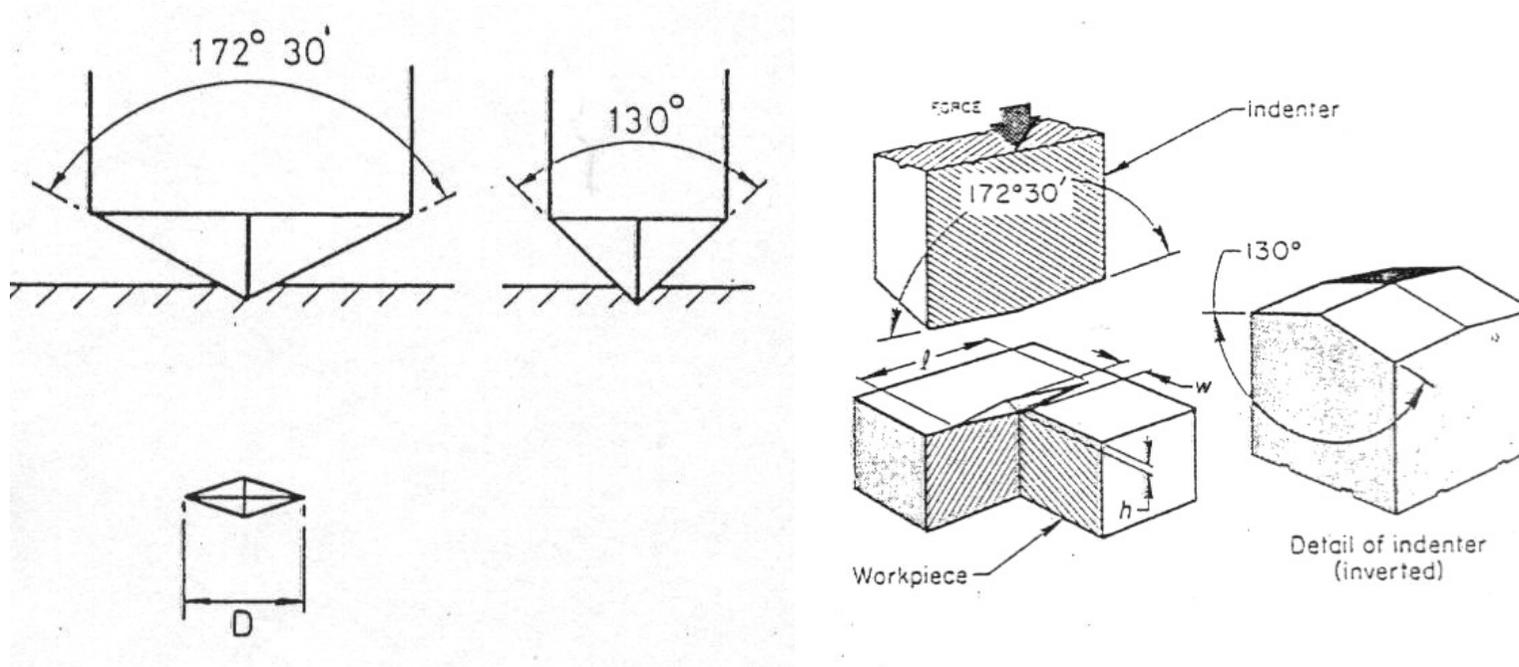
3.3. Dureza VICKERS (III)

□ Ventajas

- Las huellas Vickers son comparables entre sí; independientes de las cargas
- Un mismo indentador puede medir una amplia gama de materiales, desde muy blandos hasta muy duros, llegándose hasta 1150 HV
- Se pueden medir piezas muy delgadas con cargas pequeñas, hasta espesores del orden de 0.05 mm
- Puede medirse dureza superficial (para determinar recubrimientos de materiales)
- La escala Vickers es más detallada que la Rockwell; 32 unidades Vickers = 1 unidad Rockwell
- Como es preciso examinar la huella puede comprobarse el estado del penetrador

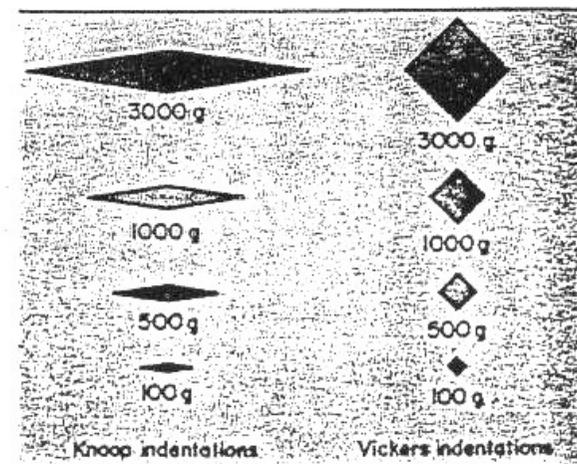
3.4. Dureza KNOOP

- ❑ Se presiona un indentador contra la superficie de una probeta de ensayo y se mide la longitud de la diagonal **mayor** de la huella dejada en la superficie al retirar la carga F tras un tiempo t
- ❑ Indentador: Pirámide de diamante rómbica con relación entre diagonales de 1:7. Ángulos entre aristas: $\alpha = 130^\circ$ y $\beta = 172^\circ 30'$



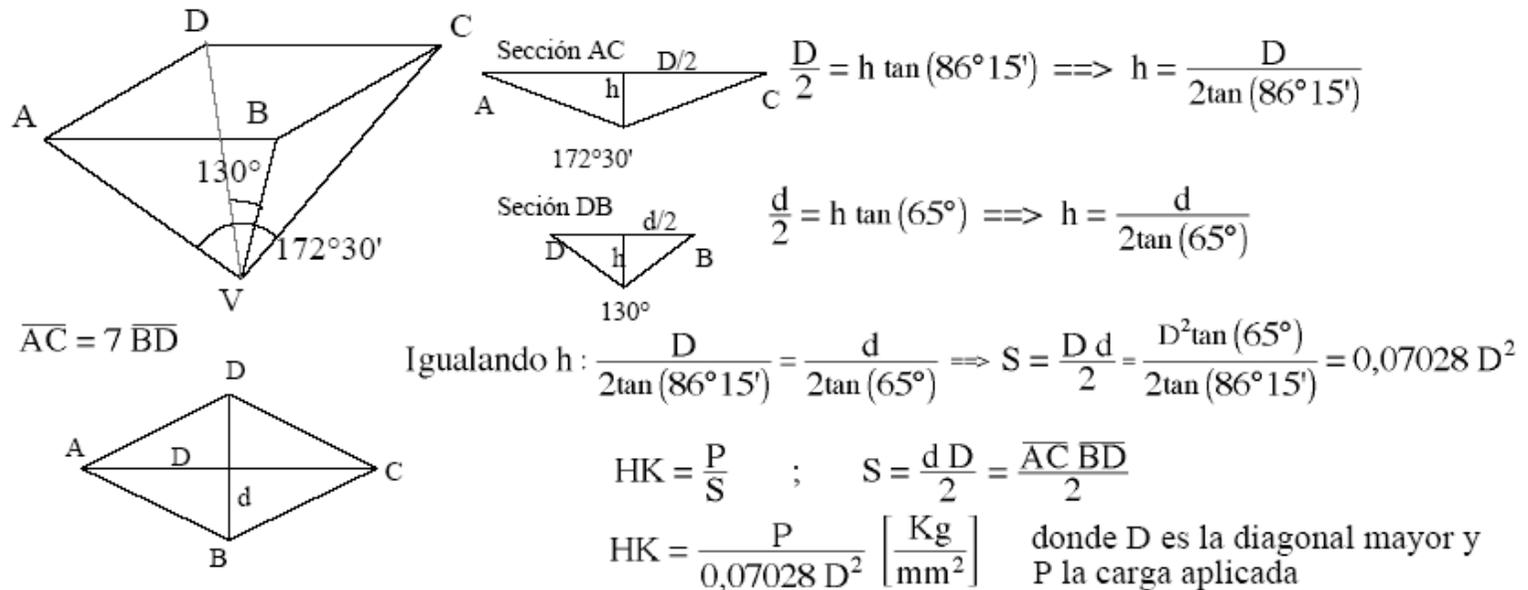
3.4. Dureza KNOOP (II)

- ❑ Rangos de carga (Clasificación)
 - Ensayo de dureza normal: $F = 1-5 \text{ kg}$
 - Ensayo de dureza superficial: $F = 0.5-1 \text{ kg}$
 - Ensayo de microdureza : $F = 10-500 \text{ g}$
- ❑ Nomenclatura: XXX HK (P/t);
- ❑ Ej. 100 HK (5/20), 5 kg y 20 s
- ❑ Condiciones de ensayo: $D \leq 3$ espesor de la probeta
- ❑ Aplicación: solo en laboratorio para medir dureza de láminas delgadas, incluso depósitos electrolíticos
- ❑ Ventaja: Mayor resolución en la medida de D que Vickers



3.4. Dureza KNOOP (III)

- ❑ La dureza Knoop es proporcional a la relación de la carga aplicada y la mitad de la superficie proyectada
- ❑ $HK = P \text{ (kg)}/S \text{ (mm}^2\text{)}$, y en función de la D de la proyección de la huella:

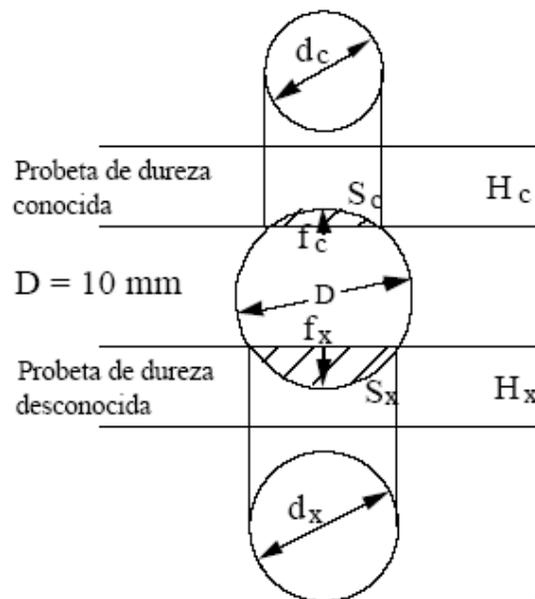


$$HK = 14.229 \frac{P}{D^2}$$

- ❑ El procedimiento de ensayo es similar al Vickers

3.5. Dureza POLDI

- ❑ Es una variable del método Brinell (Portatil)
- ❑ Independiente del tiempo de carga
- ❑ Se basa en ejercer una carga P sobre el durómetro que nos producirá 2 huellas en 2 probetas, una de dureza conocida (H_c) y otra de dureza desconocida (H_x)
- ❑ La dureza está en razón inversa del tipo de material (duro, blando)
- ❑ Nomenclatura: XXX HBS D POLDI



$$\frac{H_c}{H_x} = \frac{S_x}{S_c} \Rightarrow H_x = H_c \frac{S_c}{S_x}$$

$$S_c = \pi D f_c = \pi D \left(\frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{d_c^2}{4}} \right) = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d_c^2})$$

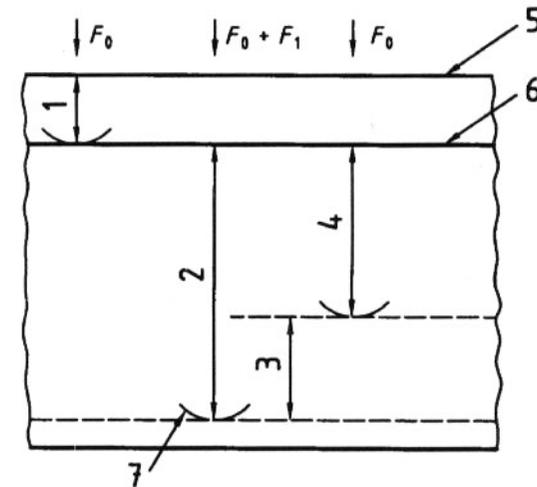
$$S_x = \pi D f_x = \pi D \left(\frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{d_x^2}{4}} \right) = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d_x^2})$$

Sustituyendo estos valores

$$H_x = H_c \frac{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d_c^2})}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d_x^2})} \implies H_x = H_c \frac{D - \sqrt{D^2 - d_c^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_x^2}}$$

3.6. Dureza ROCKWELL

- ❑ UNE-EN ISO 6508-1
- ❑ El método Rockwell se basa también en la resistencia opuesta a la penetración, pero a través de la profundidad de la huella (no superf.)
- ❑ Se presiona un indentador contra la superficie de la probeta en dos pasos (F_0 : precarga o preliminar y F_1 : carga de ensayo adicional) y se mide la profundidad permanente h de la huella bajo la carga preliminar tras retirar la carga de ensayo



- ❑ Indentador: cono de diamante (120° y radio de curvatura en la punta de 0.2 mm) y esfera de acero o carburo (de 1/8 y 1/16").
- ❑ Las medidas realizadas con los dos tipos de esferas proporcionan resultados diferentes
- ❑ El resultado se calcula $\rightarrow HR = N-h/S$, donde N es un n° específico para cada escala y S es la unidad de escala

3.6. Dureza ROCKWELL (II)

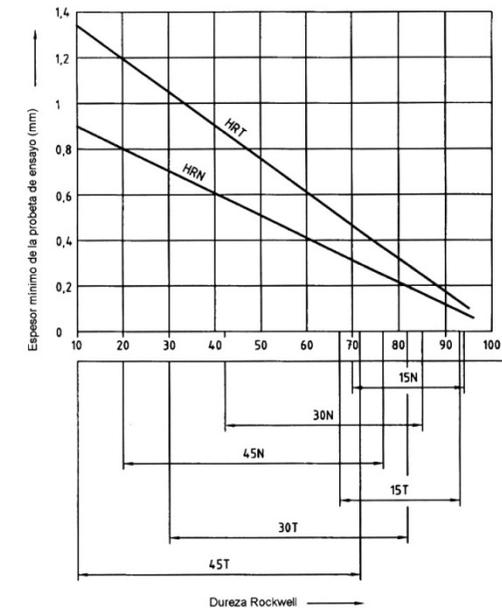
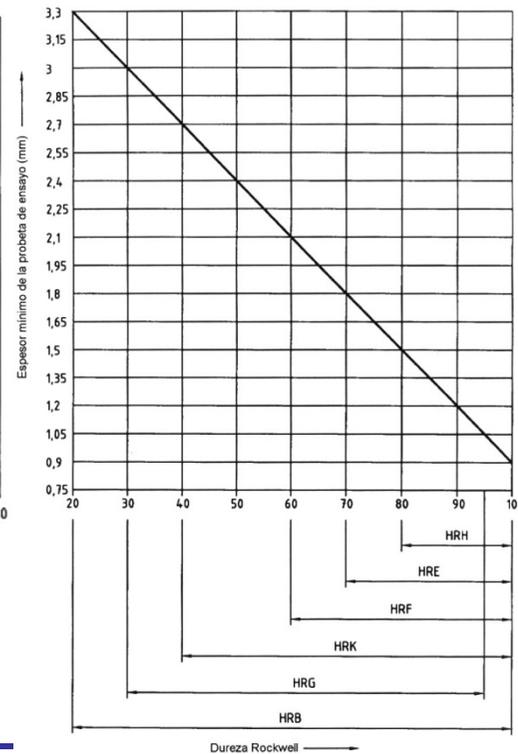
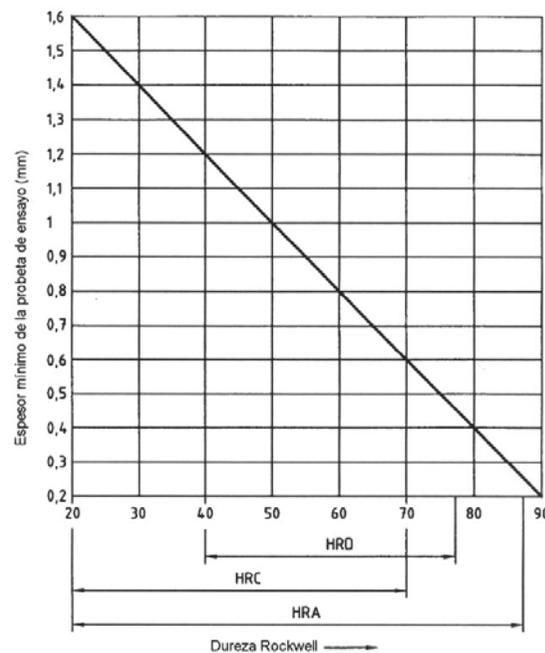
Escala	Símbolo (a)	Indentador	Carga de ensayo preliminar F_0 (kg)	Carga de ensayo adicional F_1 (kg)	Carga ensayo total F (kg)	Campo de aplicación	Aplicación
A	HRA	Cono de diamante	10	50	60	20 – 88	Ac. nitrurado, carburo metálico
B	HRB	Esfera ($\varnothing = 1/16''$)	10	90	100	20 – 100	Ac. Al C de bajo cont. en C
C	HRC	Cono de diamante	10	140	150	20 – 70	Aceros duros
D	HRD	Cono de diamante	10	90	100	40 – 77	Aceros cementados
E	HRE	Esfera ($\varnothing = 1/8''$)	10	90	100	70 – 100	Met. Blandos, piezas fundidas
F	HRF	Esfera ($\varnothing = 1/16''$)	10	50	60	60 – 100	Bronce recocido
G	HRG	Esfera ($\varnothing = 1/16''$)	10	140	150	30 – 94	Bronce fosforoso y otros
H	HRH	Esfera ($\varnothing = 1/8''$)	10	50	60	80 – 100	Met. Blandos, fund. de hierro
K	HRK	Esfera ($\varnothing = 1/8''$)	10	140	150	40 – 100	Met. duross, fund. de hierro
15N	HR15N	Cono de diamante	3	12	15	70 – 94	Aceros nitrurados, cementados y de herramienta de gran dureza
30N	HR30N	Cono de diamante	3	27	30	42 – 86	
45N	HR45N	Cono de diamante	3	42	45	20 – 77	
15T	HR15T	Esfera ($\varnothing = 1/16''$)	3	12	15	67 – 93	Bronce, latón y acero balndo
30T	HR30T	Esfera ($\varnothing = 1/16''$)	3	27	30	29 – 82	
45T	HR45T	Esfera ($\varnothing = 1/16''$)	3	42	45	10 - 72	

(a) Indentador esférico: el símbolo se completa con "S" si la bola es de acero y "W" si es de carburo

3.6. Dureza ROCKWELL (III)

□ Probeta de ensayo

- Superficie lisa, libre de óxidación, materias extrañas y lubricantes
- La preparación debe alterar mínimamente la dureza superficial
- Espesor > 10 h (cono) ó 15 h (esfera).
- No debe aparecer deformación en la cara opuesta (salvo HR30Tm)



3.6. Dureza ROCKWELL (IV)

❑ Procedimiento

- La probeta se coloca sobre soporte rígido (sin desplazamiento)
- Se coloca el indentador en contacto con la superficie
- Se aplica la F preliminar. Su duración < 3 s
- Se coloca el equipo en la posición de toma de datos (Posición 0)
- Se incrementa la carga de F_0 a F en no menos de 1 s ni más de 8 s
- La F debe mantenerse durante 4 ± 2 s
- Se elimina F_1 y tras un corto período de estabilización y bajo F_0 se toma la lectura final
- Durante el ensayo se deben evitar sacudidas o vibraciones
- Distancia entre centros de dos huellas adyacentes $> 4\emptyset$ (> 2 mm)
- Entre el extremo de la probeta y centro de huella $> 2.5 \emptyset$ (> 1 mm)

❑ Ventajas:

- Método muy rápido y preciso, (operarios no especializados)
- Las huellas son más pequeñas que el método Brinell

❑ Inconveniente: si el material so asienta perfectamente sobre la base, las medidas resultan falseadas

3.6. Dureza ROCKWELL (V)

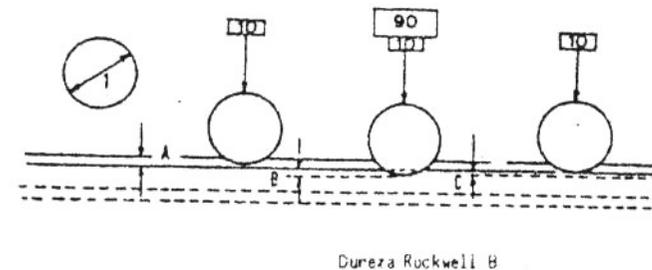
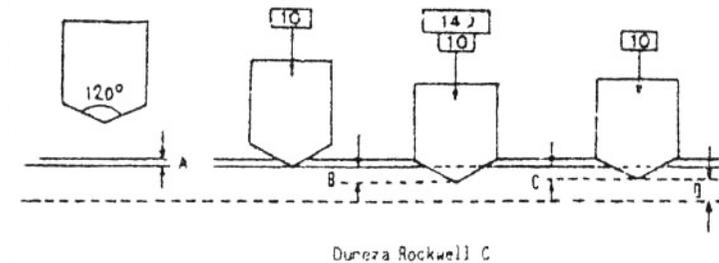
□ Resultado

- HRA, HRC y HRD → $H = 100 - h/0.002$
- HRB, HRE, HRF, HRG, HRH y HRK → $H = 130 - h/0.002$
- HRN y HRT → $H = 100 - h/0.001$

□ Ensayos más empleados

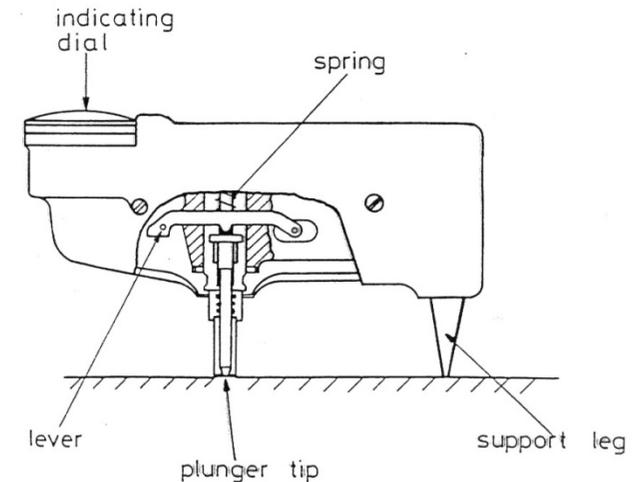
$$HRC = 100 - \frac{h}{0.002}$$

$$HRB = 130 - \frac{h}{0.002}$$



3.7. Dureza BARCOL

- ❑ Indentador: Cono truncado de acero
- ❑ Procedimiento derivado del Rockwell
- ❑ Medida de la profundidad de la huella
- ❑ Lectura directa sobre el dial (0-100)
- ❑ Unidades: adimensional



3.8. Dureza HERTZIANA

- ❑ Se determinada por la menor carga que hay que aplicar a un material (con bolas de 1.5 a 4 mm de acero extraduro) para que deje huella

3.9. Dureza MONOTRON (Es una variante de la dureza Hertziana)

- ❑ Se expresa por la carga que hay que aplicar para producir una penetración de 0.0018”.
- ❑ El penetrador es una semiesfera de diamante de $\varnothing 0.75$ mm. Tiene dos dispositivos, uno que da la carga aplicada y un sensor que para el ensayo cuando la penetración es de 0.0018”

4. DUREZA ELÁSTICA

- ❑ Reacción elástica del material cuando se deja caer sobre él un cuerpo más duro

4.1. Dureza SHORE

- ❑ Se mide la dureza en función de la altura que alcanza en el rebote un cuerpo al caer de una altura fija sobre la superficie del material ensayado
- ❑ Si el material es blando absorbe mucha energía en el choque por lo que rebota poco
- ❑ Si el material es duro absorbe poca energía en el choque → rebota más
- ❑ Nomenclatura: XXX HS
- ❑ Ventajas:
 - No produce prácticamente huella en el material ensayado
 - Permite medir dureza superficial de piezas terminadas
 - Es el único ensayo NO destructivo para medir durezas

4.1. Dureza SHORE (II)

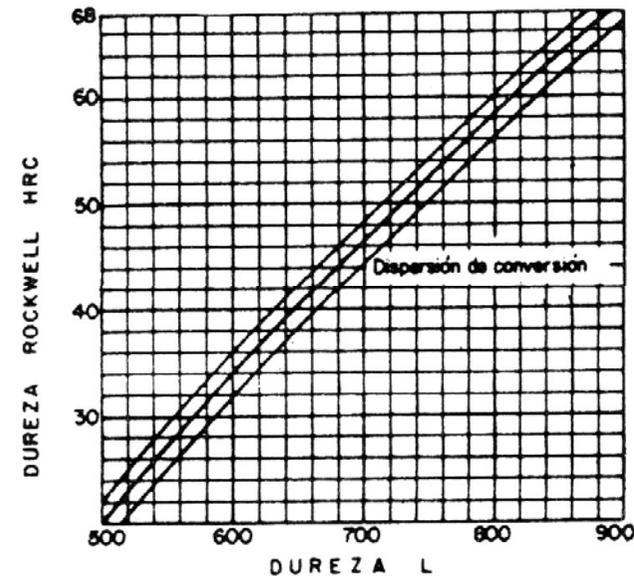
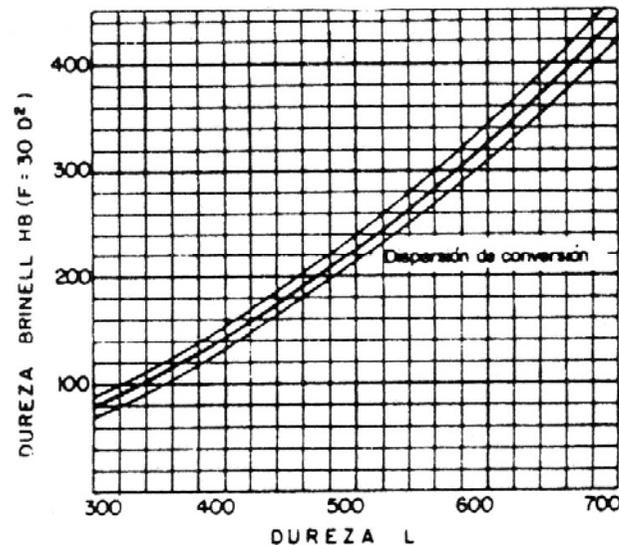
- ❑ El aparato denominado esclerómetro o escleroscopio está formado por un tubo de cristal de unos 300 mm de altura, por cuyo interior cae un martillo que pesa 2.36 g, que es un cilindro de acero con una punta de diamante redondeada.
- ❑ La altura de caída es de 254 mm y está dividida en 140 partes iguales
- ❑ El aparato se fija a la pieza a ensayar por medio de un pedestal.
- ❑ Se aspira el martillo haciendo el vacío con una pera, y una vez en la parte más alta se deja caer.
- ❑ Al rebotar el martillo queda retenido en su posición más alta → **lectura**
- ❑ El aparato se gradúa dividiendo en 100 partes la lectura media del rebote en una pieza de acero duro templado y prolongando la escala en 40 divisiones más, para medir materiales extraduros
- ❑ Condiciones de ensayo:
 - Superficie plana, limpia, pulida y perpendicular al esclerómetro
 - Hacer tres ensayos y cada vez en sitios diferentes (se produce un endurecimiento de la superficie por el choque)

4.2. Método dinámico para el ensayo de la dureza al rebote

- ❑ Este método se basa en la medida de las velocidades de impulsión y rebote de un cuerpo móvil impulsado por un resorte contra la superficie del material metálico a ensayar
- ❑ La dureza se valora por la relación entre las dos velocidades, de impulsión (v_B) y la de rebote (v_A) y viene definida por: $L = 1000 \cdot v_B / v_A$
- ❑ El equipo utilizado para realizar el ensayo se compone de:
 - Cuerpo móvil con una bola en su extremo inferior (indentador)
 - Tubo guía por el que circula el cuerpo móvil
 - Resorte de impulsión que lanza el cuerpo móvil
 - Pinza de retención sujeta el cuerpo móvil con el resorte en tensión
 - Transductores para medida de las velocidades
- ❑ El ensayo consiste en “cargar” el durómetro tensionando el resorte y “dispararlo” contra el material
- ❑ Al pasar el cuerpo móvil por el sensor magnético produce una variación de flujo en su bobina, generándose en ella una corriente eléctrica de tensión sensiblemente proporcional a la v del cuerpo móvil
- ❑ Un transductor electrónico digital da directamente el valor de L

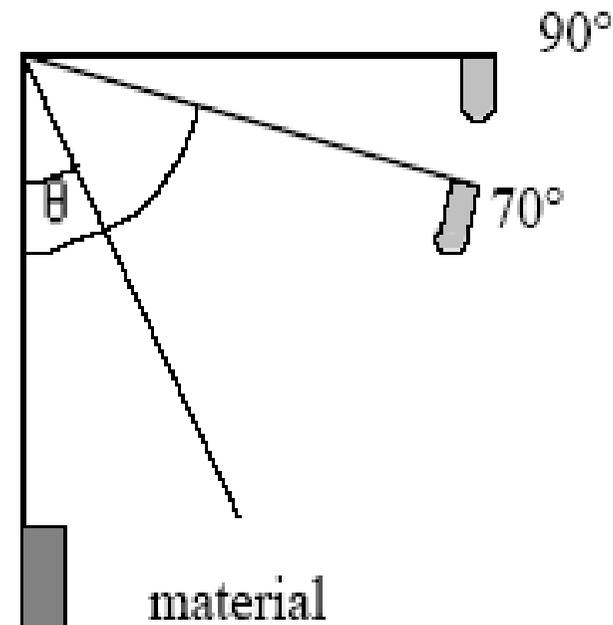
4.2. Método dinámico para el ensayo de la dureza al rebote (II)

- ❑ El equipo debe mantenerse perpendicular a la superficie del material
- ❑ El tiempo necesario para cada ensayo no llega a 2 s
- ❑ Si el durómetro está inclinado, horizontal e incluso hacia arriba, basta restar del valor L obtenido, 10 (horizontal) y 18-26 (invertido)
- ❑ Ventajas:
 - Uso industrial: piezas de gran tamaño, mapas de dureza...
 - Operario no cualificado, resultado independiente del operario
- ❑ Correlación con dureza Brinell, Rockwell, Vickers, Shore,...



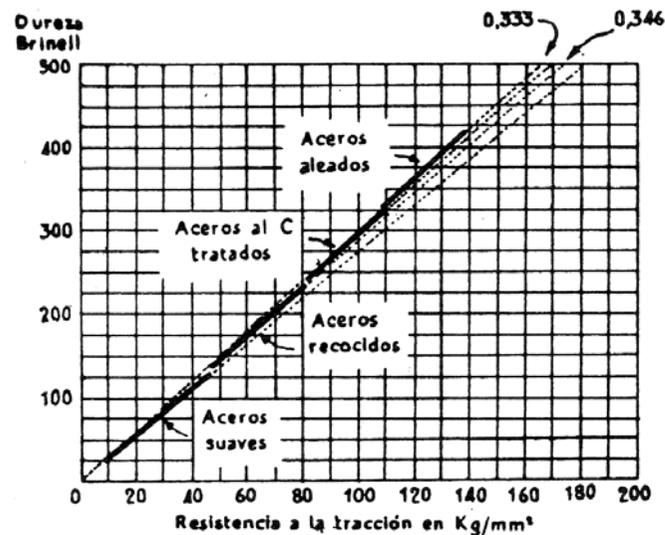
4.3. Dureza por rebote ó Duroscopio

- ❑ Se basa en la reacción elástica que se produce al dejar caer un penetrador con forma de casquete esférico sobre el material a ensayar
- ❑ Según la dureza del material se produce una reacción elástica en forma de ángulo que se traduce luego en unas tablas
- ❑ A mayor dureza mayor ángulo
- ❑ Procedimiento:
 - El ángulo inicial será de 70° ,
 - se deja caer
 - luego se mide el ángulo de rebote



5. RELACIÓN DUREZA-RESISTENCIA

- ❑ La resistencia de un acero se puede obtener de forma aproximada en función de la dureza
- ❑ $\sigma_R = K \cdot HBW$
- ❑ $K = 0.36$ (acero al C), 0.34 (acero aleado, 0.4 Cobre y latón y 0.23 bronce)



- ❑ También se puede obtener aproximadamente el contenido de C en función de la dureza brinell

$$\%C = \frac{HB - 80}{141}$$

5. RELACIÓN DUREZA-RESISTENCIA (II)

- Relación de la resistencia con el resto de métodos para la medida de la dureza
- Relación entre diferentes métodos de medida de dureza

