

## ENSAYO DE MATERIALES

*Con el ensayo de los materiales deben determinarse los valores de resistencia, verificarse las propiedades y establecerse el comportamiento de aquellos bajo la acción de las influencias externas. El factor económico juega un rol de importancia en el campo de la fabricación en general, imponiendo un perfecto conocimiento de los materiales a utilizar, de manera de seleccionarlos para cada fin y poder hacerlos trabajar en el límite de sus posibilidades, cumpliendo con las exigencias de menor peso, mejor calidad y mayor rendimiento.*

*En los ensayos físicos se determinan generalmente la forma y dimensiones de los cuerpos, su peso específico y densidad, contenido de humedad, etc., y en los mecánicos la resistencia, elasticidad y plasticidad, ductilidad, tenacidad y fragilidad, etc.*

### ENSAYOS DE DUREZA

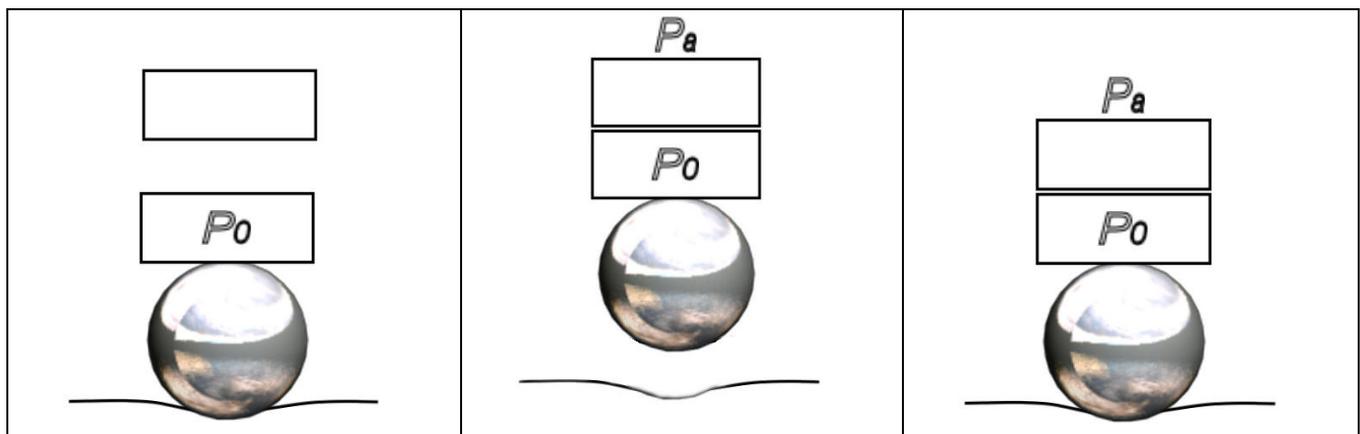
La dureza de un material es la resistencia que opone a la penetración de un cuerpo más duro.

La resistencia se determina introduciendo un cuerpo de forma esférica, cónica o piramidal, por el efecto que produce una fuerza determinada durante cierto tiempo en el cuerpo a ensayar. Como indicador de dureza se emplea la deformación permanente (plástica)

En algunos casos, es necesario determinar las características mecánicas de los materiales sin llegar a su destrucción. También podemos determinar la dureza conseguida mediante un tratamiento de dureza. Podemos mencionar los tres tipos de ensayos de dureza más importantes:

#### DUREZA ROCKWELL

Para los materiales duros se emplea como elemento de penetración un cono de diamante de ángulo  $120^\circ$ , y para los semiduros y blandos una bolita de acero de  $1/16''$ , deduciéndose la fuerza Rockwell de la profundidad conseguida en la penetración. El cuerpo empleado para la penetración se hace incidir sobre la superficie de la pieza a ensayar con carga previa de 10Kg. La profundidad de penetración alcanzada constituye el valor de partida para la medición de la profundidad de la huella. Después se aumenta en 140Kg la carga aplicada al cono (150Kg), y en 90Kg la aplicada a la bolita (100Kg), bajándose nuevamente el valor previo. Se mide la profundidad de penetración que queda y en la escala del aparato se lee directamente la correspondiente dureza Rockwell C ( $H_{RC}$ ) cono o la Rockwell B ( $H_{RB}$ ) bolita.



La siguiente es una tabla simplificada de los materiales más comunes que se miden con Rockwell.

$H_B$	Penetrador	Cargas (kgf)		Material
		Adicional	Total	
<b>B</b>	Bolilla 1/16"	90	100	Acero blando. Aleaciones de Cu y Al. Fundición maleable
<b>C</b>	cono	140	150	Acero de alta dureza. Fundición perlítica.

### DEFINICIONES

**NUMERO DE DUREZA ROCKWELL:** es un número obtenido por la profundidad de la huella; el cual proviene cuando se aumenta la carga sobre un penetrador desde una carga fija menor hasta una mayor, retornando después a la carga menor.

Los números de dureza Rockwell se expresan siempre con un símbolo de escala, que indica el penetrador y la carga utilizada.

EJEMPLO: 60 HRC indica un valor de dureza Rockwell 60 medido en la escala C.

### MAQUINA Y EQUIPO

La máquina de prueba consiste en un soporte rígido o yunque, sobre el que se coloca la probeta y un dispositivo que aplica las cargas prefijadas a un penetrador en contacto con la misma.

### PENETRADORES

#### a) PENETRADOR DE DIAMANTE.

Este tipo de penetrador debe emplearse en pruebas de dureza para las escalas A, C y D. Consiste en un cono de diamante cuyo ángulo es de  $120^\circ \pm 0.5^\circ$  y su eje debe coincidir con la dirección de penetración con una tolerancia de  $\pm 0.5^\circ$ . La punta es un casquete esférico con un radio de 0.200 mm.

La forma del casquete y el valor del radio del penetrador tienen una influencia importante en el valor de la dureza obtenida. La anisotropía del diamante hace difícil el maquinado del mismo en forma totalmente simétrica. Por lo cual es necesario comparar los resultados obtenidos con un penetrador patrón sobre piezas patrón de diferentes durezas.

#### b) PENETRADOR ESFERICO DE ACERO

Este tipo de penetrador debe emplearse en los ensayos de dureza para las escalas B, E Y F. Consiste en un balín de acero templado y pulido, con un diámetro de  $1.588 \text{ mm} \pm 0.003 \text{ mm}$ ; Excepto para la escala E, que tiene un diámetro de  $3.175 \text{ mm} \pm 0.004 \text{ mm}$ . Dicho balín debe estar pulido y no debe presentar defectos superficiales.

Debe eliminarse y anularse la prueba si presenta una deformación mayor a la tolerancia indicada anteriormente o cualquier otro defecto superficial.

En los dos tipos de penetrador debe evitarse la acumulación en el penetrador de: polvo, tierra, grasa o capas de óxidos, dado que esto afecta los resultados de la prueba.

### PROCEDIMIENTO.

**APLICACIÓN DE LA CARGA MENOR:** debe colocarse la probeta sobre el soporte y aplicar la carga menor gradualmente hasta que se obtenga la indicación apropiada en la carátula. Esto se obtiene cuando el indicador haya dado el número apropiado de revoluciones completas y quede dentro de 5 divisiones de la posición de ajuste en la parte superior de la carátula.

**APLICACIÓN DE LA CARGA MAYOR:** Debe aplicarse la carga mayor accionando la palanca de operación sin impacto y dejando que gire libremente. Se retira la carga mayor llevando la palanca

de operación de regreso a la posición original dentro de los 2 segundos siguientes después de que su movimiento ha cesado sin interrumpirla maniobra de regreso.

**LECTURA DE LA ESCALA PARA DUREZA ROCKWELL:** Debe considerarse la dureza rockwell como la lectura del indicador en la escala apropiada de la carátula, después de que se ha quitado la carga mayor y mientras la carga menor aun esta actuando. Estas lecturas se estiman a veces a la mitad de una división, dependiendo del material que se pruebe.

### CONDICIONES DEL ENSAYO

1. La superficie del material debe estar lisa, seca y libre de grasa, polvo etc.
2. El espesor de la probeta debe ser por lo menos diez veces la profundidad de la huella, y el ensayo no es válido si en la cara posterior a la del ensayo aparece una protuberancia.
3. Si se ensaya una pieza cilíndrica, el radio debe ser mayor en seis milímetros al del penetrador. Los valores de dureza resultan ligeramente inferiores a los valores reales.
4. La aplicación de la carga debe hacerse de manera perpendicular a la superficie de la probeta.

### DUREZA BRINELL.

Se comprime una bola de acero templada, de diámetro (D) 2,5; 5 ó 10mm, contra el material a ensayar con una fuerza **P**. Después de liberar la carga se mide el diámetro (d) de la huella con un dispositivo amplificador óptico. La dureza Brinell es un valor adimensional resultante de:

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

DONDE :

**P:** carga aplicada en N (kgf)

**D:** diámetro del balón en mm.

**d:** diámetro medio de la huella en mm.

- 1 kgf es igual a 9.80665 N.

La fuerza del ensayo debe tomarse de magnitud tal que se forme una huella con diámetro  $d = 0,2 \cdot D$  a  $d = 0,7 \cdot D$ . Para materiales blandos y bolas de ensayo pequeñas, la fuerza del ensayo debe ser menor. Se calcula partiendo del grado de carga y del diámetro de la bola.

$$F = \frac{a \cdot D^2}{0,102} \quad \text{a: grado de la carga}$$

El grado de la carga para el acero no templado y el hierro fundido es  $a = 30$ ; para metales no férreos y sus aleaciones  $a = 10$ ; para el aluminio y el cinc  $a = 5$ ; para los metales de cojinetes  $a = 2,5$ ; para el plomo y el estaño  $a = 1,25$ .

#### Cargas y diámetro de esfera usadas para el ensayo de dureza Brinell

Diámetro de la esfera D en mm	Carga en Kg			
	$30 D^2$	$10 D^2$	$5 D^2$	$2,5 D^2$
10	3000	1000	500	250
5	750	250	125	62,5
2,5	187,5	62,5	31,2	15,6
Signo abreviado	HB 30	HB 10	HB 5	HB 2,5

En algunos materiales, la penetración provoca una deformación en la huella, la cual puede llegar a dar una información falsa a la hora de medir el diámetro.



Se sabe experimentalmente que el número de dureza Brinell de casi todos los materiales está influenciado por la carga de penetración, el diámetro del balín y las características elásticas del mismo. En general debe usarse un balín de 10 mm de diámetro y de una composición química adecuada con cargas de 3000 kgf, 1500 kgf o 500 kgf, dependiendo de la dureza del material que va a probarse. Aunque los números de dureza Brinell pueden variar conforme la carga de prueba usada con el balín de 10 mm, cuando se usen balines más pequeños en probetas delgadas, los resultados de las pruebas generalmente corresponden a los obtenidos con el balín de 10 mm de diámetro.

El número de dureza Brinell seguido del símbolo HB sin sufijos indica las siguientes condiciones de prueba.

Diámetro del balín = 10 mm

Carga = 3000 kgf

Duración de la carga = 10 a 15 segundos.

### **APARATOS Y EQUIPO**

**MAQUINA DE PRUEBA:** El equipo para la prueba de dureza Brinell generalmente consiste de una máquina que soporta la probeta y aplica una carga predeterminada sobre un balín que está en contacto con la probeta. La magnitud de la carga está limitada dentro de ciertos valores. El diseño de la máquina de prueba debe ser tal que no permita un movimiento lateral del balín o de la probeta mientras se está aplicando la carga.

**PENETRADOR :** El balín estándar para la prueba de dureza Brinell debe ser de 10 mm de diámetro con una desviación de este valor no mayor de 0.005 mm en el diámetro. Puede usarse el balín que tenga una dureza Vickers de por lo menos 850 usando una carga de 98 N (10 kgf) en materiales que tengan una dureza no mayor de 450 HB o un balín de carburo de tungsteno en materiales con una dureza no mayor de 630 HB. La prueba de dureza Brinell no se recomienda en materiales que tengan una dureza mayor de 630 HB.

El balín debe ser pulido y estar libre de defectos; en las pruebas de investigación o de arbitraje debe informarse específicamente el tipo de balín empleado cuando se determinen durezas Brinell que sean mayores de 200.

### **MICROSCOPIO DE MEDICION**

Las divisiones de la escala micrométrica del microscopio o de otros dispositivos de medición que se usen para medir el diámetro de la huella, deben permitir una medición directa en décimas de milímetro con una aproximación hasta 0.02 mm. Este requisito se aplica únicamente al diseño del microscopio y no es un requisito para la medición de la huella.

### **ESPESOR**

El espesor de la probeta debe ser tal, que en la cara opuesta a la de la prueba no quede huellas u otras marcas de esta. En cualquier caso el espesor de la probeta debe ser cuando menos 10 veces la profundidad de la huella.

**ACABADO**

Cuando menos la superficie sobre la cual se va a aplicar la carga debe estar limada, esmerilada o pulida con un material abrasivo, de tal manera que las orillas de la huella estén claramente definidas para permitir la medición del diámetro con la exactitud especificada.

**PROCEDIMIENTO**

**MAGNITUD DE LA CARGA DE PRUEBA:** La carga para la prueba de dureza Brinell estándar es de 3000kgf, 1500kgf o 500kgf. Es deseable que la carga de la prueba sea de tal magnitud que el diámetro de la huella este entre 2.5 a 6.00 mm.

No es obligatorio el que la prueba cumpla estos intervalos de carga pero debe tomarse en cuenta que pueden obtenerse diversos valores de Dureza Brinell si se varía la carga a la especificada usando un balín de 10 mm.

Para materiales más blandos en ocasiones se ocupan cargas de 250kgf, 125kgf o 100kgf. la carga usada debe anotarse en los informes.

**ESPACIAMIENTO DE LAS HUELLAS:** La distancia del centro de la huella a la orilla de la probeta o a la orilla de otra huella debe ser cuando menos tres veces el diámetro de la misma.

**APLICACIÓN DE LA CARGA DE PRUEBA:** La carga de prueba debe aplicarse a la probeta lenta y uniformemente. Aplicar toda la carga de prueba por 10 s a 15 s excepto para ciertos metales blandos (suaves.)

**MEDICION DE LA HUELLA**

**DIÁMETRO:** En la prueba deben medirse dos diámetros de la huella perpendiculares entre sí. Y su valor promedio se usa como base para calcular el número de dureza Brinell, estas mediciones comúnmente son tomadas con un microscopio portátil a bajos aumentos que tiene una escala fija en el ocular.

**Tabla de algunos valores de dureza de los metales.**

<b>MATERIAL</b>	<b>HB</b>
Acero SAE 1010	90 a 105
Acero SAE 1020	110 a 130
Acero SAE 1030	130 a 155
Acero SAE 1050	165 a 185
Acero SAE 1080	210
Acero para herramientas templado	500
Fundición gris	180 a 190
Fundición sin tratar	210 a 220
Fundición recocida	150 a 160
Fundición templada y revenida	225 a 230
Níquel	61 a 70
Aluminio	23
Latón	52

**DUREZA VICKERS****DEFINICIONES**

En este caso se emplea como cuerpo de penetración una pirámide cuadrangular de diamante. La huella vista desde arriba es un cuadrado. Este procedimiento es apropiado para aceros nitruados y cementados en su capa externa, así como para piezas de paredes delgadas de acero o metales no féreos.

La dureza Vickers ( $H_V$ ) se calcula partiendo de la fuerza en Newton y de la diagonal en  $\text{mm}^2$  de la huella de la pirámide según la fórmula:

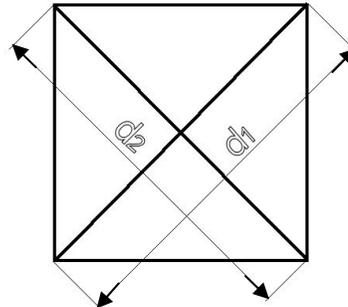
$$HV = 1,8544 \cdot \frac{P}{d^2}$$

*P*: carga aplicada en N

*d*: Diagonal media de la huella en mm.

La diagonal (*d*) es el valor medio de las diagonales de la huella (*d*<sub>1</sub>) y (*d*<sub>2</sub>).

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$



Este ensayo, al igual que el Brinell, se basa en el principio de calcular el valor de dureza relacionando la fuerza de aplicación sobre la superficie de la impresión en el material. Lo hemos simplificado utilizando en este caso el valor de la longitud de la diagonal.

Los valores de las cargas más usados van desde 1 a 120 kgs.

### **NUMERO DE DUREZA VICKERS**

Existen tres tipos de ensayo de dureza Vickers caracterizados por diferentes intervalos de fuerzas de ensayo.

Designación	Símbolo de Dureza	Carga nominal de ensayo F en N.
Ensayo de dureza Vickers	HV5 a HV100	49.03 a 980.7
Ensayo de dureza Vickers de baja carga	HV0.2 a < HV 5	1.961 a 49.03
Ensayo de micro dureza Vickers	< HV0.2	< 1.961

### **DESIGNACIÓN**

El número de dureza Vickers es seguido por las siglas HV con un primer sufijo convencional y un segundo sufijo que indica el tiempo de aplicación de la carga, cuando este último difiere del tiempo normal, el cual es de 10 a 15 segundos.

**LAS PRUEBAS DE DUREZA Vickers** se efectúan con cargas desde 1.96 N hasta 980.7 N

En la práctica, el número de dureza Vickers se mantiene constante para cargas usadas de 49 N o mayores. Para cargas menores el número de dureza varía dependiendo de la carga aplicada. A continuación indicamos los números de dureza Vickers para cargas de prueba de 9.8 N.

### **APARATOS Y EQUIPO**

**MÁQUINA DE PRUEBA:** El equipo para la prueba de dureza Vickers consiste generalmente de una máquina que soporta la probeta y permite un contacto gradual y suave entre esta y el penetrador, bajo una carga predeterminada que se aplica durante un periodo de tiempo dado. El diseño de la máquina debe ser tal que no tenga balanceos o movimientos laterales de la probeta y del

penetrador, mientras se aplica o retira la carga, se utiliza un microscopio de medición que generalmente va montado en la máquina.

#### ***PENETRADOR DE DIAMANTE***

El penetrador debe estar finamente pulido con aristas bien definidas. La base de la pirámide debe ser cuadrada y sus caras opuestas deben formar un ángulo de  $136^\circ$ .

Las cuatro caras del penetrador deben estar inclinadas simétricamente con respecto al eje del mismo y terminar en un vértice afilado, o sea que la línea de unión entre las caras opuestas no deben ser mayor de 0.001 mm de longitud.

El buen estado de la punta del penetrador es de considerable importancia cuando la carga de prueba es pequeña y la huella también, por esta razón se recomienda verificar periódicamente la punta del penetrador para evitar fallas.

#### ***MICROSCOPIO DE MEDICION***

Las divisiones de la escala micrométrica del microscopio, o de cualquier otro dispositivo de medición, deberán ser tal que pueda medirse la longitud de las diagonales de una huella con una aproximación de 5%, lo que sea mayor efectuada en una probeta, con la superficie pulida.

#### ***PREPARACIÓN DE LA PROBETA***

La prueba de dureza Vickers es aplicada a un gran número probetas desde barras grandes y secciones laminadas hasta piezas diminutas en montajes metalográficos. Las probetas deben acondicionarse para que estas proporcionen un buen soporte de tal forma que no se muevan durante la prueba.

#### ***ACABADO***

La superficie de la probeta debe prepararse de tal manera que se definan claramente los extremos de las diagonales y puedan medirse. Al preparar la probeta debe tenerse cuidado de no revenir la superficie durante el rectificado de la misma o de no endurecerla por trabajo mecánico durante el pulido.

#### ***PROCEDIMIENTO***

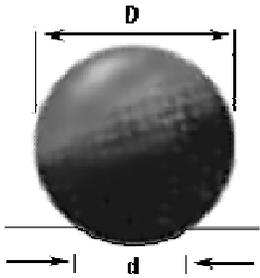
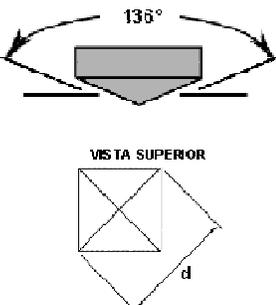
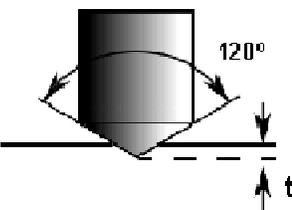
***MAGNITUD DE LA CARGA DE PRUEBA:*** Pueden usarse cargas de prueba desde 1.96 N hasta 980.7 N conforme con los requisitos de la prueba. El número de dureza Vickers es prácticamente independiente de la carga de prueba.

***APLICACIÓN DE LA CARGA DE PRUEBA:*** La carga de prueba debe aplicarse y retirarse suavemente sin golpes o vibraciones. El tiempo de aplicación de la carga de prueba completa debe ser de 10 a 15 segundos a menos que se especifique otra cosa.

***ESPACIO ENTRE HUELLAS:*** El centro de la huella no debe estar cercano a la orilla de la probeta u otra huella en una distancia igual a dos veces y media la longitud de la diagonal de la huella. Cuando se prueba material con recubrimiento, la superficie de unión debe considerarse como una orilla para el cálculo del espacio entre huellas.

***MEDICION DE LA HUELLA:*** Deben medirse ambas diagonales de la huella y su valor promedio usarse como base para el cálculo del número de dureza Vickers. Se recomienda efectuar la medición con la huella centrada, tanto como sea posible, en el campo óptico del microscopio.

A continuación se compara el procedimiento y el cálculo de cada uno de estos números estandarizados.

<p><b>Ensayo BRINELL.</b></p> <p>Indentador: Esfera de 10mm de acero o carburo de tungsteno.</p> <p><b>Carga = P</b></p> $\frac{2P}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$	
<p><b>Ensayo VICKERS</b></p> <p>Indentador: Pirámide de diamante</p> <p><b>Carga = P</b></p> $HV = 1,8544 \cdot \frac{P}{d^2}$	
<p><b>Ensayo ROCKWELL A, C, D</b></p> <p>Indentador: Cono de diamante (<math>H_{RA}</math>, <math>H_{RC}</math>, <math>H_{RD}</math>)</p> <p><b>Carga:</b></p> <p><math>P_A = 60 \text{ Kg}</math>  <math>P_C = 150 \text{ Kg}</math>  <math>P_D = 100 \text{ Kg}</math></p> <p><b>Formula:</b> <math>H_{RA}, H_{RC}, H_{RD} = 100 - 500t</math></p>	
<p><b>Ensayo ROCKWELL B, F, G, E</b></p> <p>Indentador: Esfera de acero <math>f = 1/16 \text{ ''}</math> (<math>H_{RB}</math>, <math>H_{RF}</math>, <math>H_{RG}</math>)</p> <p>Esfera de acero <math>f = 1/8 \text{ ''}</math> (<math>H_{RE}</math>)</p> <p><b>Carga:</b></p> <p><math>P_B = 100 \text{ Kg}</math>  <math>P_F = 60 \text{ Kg}</math>  <math>P_G = 150 \text{ Kg}</math>  <math>P_E = 100 \text{ Kg}</math></p> <p><b>Formula:</b> <math>H_{RB}, H_{RF}, H_{RG}, H_{RE} = 130 - 500t</math></p>	