

NOTAS CIENTÍFICAS

ACERCA DEL ENSAYO DE DUREZA

Eulogio Santos*, Julio Yenque D.*, Oswaldo Rojas L.*, Victor Rosales U.**

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 materiales. Intrínsecamente la dureza es una condición de la superficie del material y no representa ninguna propiedad fundamental de la materia. Se evalúa convencionalmente por dos procedimientos. El más usado en metales es la resistencia a la penetración de una herramienta de determinada geometría.

El ensayo de dureza es simple, de alto rendimiento ya que no destruye la muestra y particularmente útil para evaluar propiedades de los diferentes componentes micro estructural del material.

CLASIFICACIÓN

En la actualidad existen muchos métodos para medir la dureza, que pueden clasificarse según el procedimiento que se emplea en tres grupos.

- a. Los que miden la dureza mineralógica, o la dureza que oponen los cuerpos a ser rayados.
- b. Los que miden la resistencia que oponen los cuerpos a la penetración. Esta clase de dureza es la que más frecuentemente se mide, y puede ser determinada estática o dinámica, es decir, se puede ejercer la progresión progresivamente o por medio de un golpe.
- c. Los que miden la dureza elástica o al rebote.

Actualmente los métodos más usados son los siguientes: Brinell, Rockwell, Vickers y Shore.

Dureza Mineralógica

La escala de dureza mineralógica, o resistencia que oponen los cuerpos a ser rayados, fue la primera clasificación de materiales que se hizo en función de la dureza. Fue establecida en 1820 por F. Mohs, que fijó la siguiente escala arbitraria de minerales:

1 Talco	4 Espato fluor	7 Cuarzo
2 Yeso	5 Apatito	8 Topacio
3 Caliza	6 Fedelpasto	9 Corindón
		10 Diamante

Escogidos de manera que cada uno de ellos es rayado por todos los minerales de orden superior y raya a todos los que le anteceden; por tanto es rayado por los cuerpos que le siguen en la lista y el diamante raya a todos los cuerpos que la componen.

Ensayo de Dureza Martens

El esclerómetro Martens es el primer aparato que se utilizó para ensayar la dureza de los cuerpos, y se determina en función de la resistencia que oponen a ser rayados por un diamante de forma piramidal con un ángulo en el vértice de 90°.

El aparato esta formado por una palanca apoyada por su centro, que lleva a un lado la carga y en su extremo el diamante; al otro lado va una pequeña corredera desplazable a voluntad que permite regular exactamente el peso que actúa y que suele ser generalmente de 150 gramos.

La cifra de dureza de Martens expresa la carga en gramos que al aplicar sobre el diamante produce en la probeta una raya de 10 micras de ancho, 0,01 mm. El plomo tiene una dureza Martens de 16,8; el cobre, 37; el acero dulce, 73, y el acero duro, 145.

A pesar del progreso que representa el método de Martens, su uso no se extendió a la industria porque con el no se llegan a obtener medidas suficientemente precisas. En la actualidad no se utiliza.

Ensayo de Dureza de la Lima

Es el procedimiento más simple y más extendido para apreciar la dureza de los metales. Es útil para tener idea de la dureza conseguida después del temple de las herramientas y en las piezas cementadas. En el taller un auxiliar magnífico y rápido, pero está sujeto a errores subjetivos y los resultados obtenidos no se pueden expresar en datos numéricos. Con aproximación se puede admitir que las piezas a las que no "entra" la lima, tienen dureza superior a 60 Rockwell-C y las que son rayadas tienen una dureza inferior a esa cifra.

* Ingeniero Industrial. Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Industrial. UNMSM.
E-mail : iifi@unmsm.edu.pe

** Licenciado en Educación
Facultad de Ingeniería Industrial. UNMSM.
E-mail : iifi@unmsm.edu.pe

Comparando el esfuerzo necesario para el rayado o la profundidad o anchura de las huellas, se puede calificar con cierta aproximación la dureza de diferentes materiales.

Dureza Brinell

En el Congreso de la "Asociación Internacional para el ensayo de Materiales", realizado en París en 1900, el profesor sueco J. A. Brinell propuso su método para determinar la dureza de los metales. Este consiste en aplicar y comprimir progresivamente sobre una superficie plana y lisa del material a ensayar, una bola de acero muy duro, manteniendo la presión durante un cierto tiempo para que se produzca una impresión o hueco en forma de casquete esférico. Después se mide el diámetro de la huella con un pequeño microscopio de mano y se halla la dureza Brinell dividiendo la carga que ha actuado sobre la bola por la superficie de la huella. Esta superficie se calcula en función del diámetro de la huella producida. Para mayor comodidad existen tablas que señalan la dureza que corresponde a cada uno de los diferentes diámetros de las huellas desde 2 mm hasta 6 mm.

Ensayos de dureza Brinell

En el ensayo de dureza Brinell el penetrador es una bola de acero extraduro de diámetro D , que se apoya sobre la probeta a estudiar; ejerciendo sobre la misma una fuerza P durante un tiempo t dado, aparece una huella de diámetro d sobre el metal, figura 1. La dureza Brinell viene definida por:

$$HBN = P/S$$

siendo S la superficie de la huella, casquete esférico. P se expresa en Kg fuerza y S en mm^2 . También puede expresarse de la siguiente manera:

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

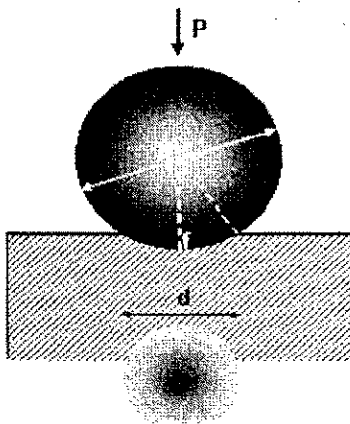


Figura 1. Esquema del ensayo de dureza Brinell.

La máquina de ensayos de dureza Brinell debe disponer de los siguientes elementos:

- . Cabezal capaz de ejercer cargas, P , controladas hasta de 3000 Kg
- . Penetradores de bola de diámetros 0.625 a 10 mm.

La selección de las cargas, P , y diámetros, D , es una función del espesor de la pieza a ensayar, pues los resultados de dureza quedan falseados cuando pequeños espesores son ensayados con grandes cargas.

La norma DIN 50351, indica la forma de selección de las cargas, materiales y diámetro de bolas, estableciendo para cada material una relación entre la carga y el cuadrado del diámetro, la cual constituye la constante del ensayo, C_e :

$$C_e = P/D^2$$

Se consigue obtener unidades Brinell de dureza equiparables para una misma aleación, si se mantiene constante, para distintas cargas de ensayo, el parámetro C_e . En consecuencia, el tipo de ensayo Brinell queda definido por: el diámetro de la bola, d , la carga, P , y el tiempo de permanencia de la carga, t . Cada tipo de ensayo Brinell, se expresa en la forma:

$$[n \text{ HB}_{D/P/t}]$$

Ensayo de Penetración por Choque

Este procedimiento tiene interés cuando se desea conocer la dureza o resistencia de grandes piezas, difíciles de mover y de colocar sobre las máquinas de ensayo. Su fundamento es parecido al de Brinell, pues se mide el diámetro de la huella marcado por una bola. Se diferencia de aquel en que la presión no se efectúa progresivamente, sino instantáneamente por choque y que la carga que actúa es variable.

La bola que tiene el aparato se apoya por un lado sobre la pieza a ensayar y por el otro sobre la barra de patrón. Al dar un golpe se marca una huella en cada una de las superficies; si ambos materiales tienen la misma dureza las huellas serán del mismo diámetro, si la pieza a ensayar es mas dura, su huella será menor. Midiendo ambos diámetros podemos por medio de una tabla conocer fácilmente la dureza del material que se ensaya.

Este procedimiento es menos exacto que el Brinell, pero rinde buenos servicios cuando se ensayan piezas de gran tamaño.

Ensayo de Dureza Rockwell

La medición de dureza por el método Rockwell ganó amplia aceptación en razón de la facilidad de realización y el pequeño tamaño de la impresión producida durante el ensayo.

El método se basa en la medición de la profundidad de penetración de una determinada herramienta bajo la acción de una carga prefijada.

El número de dureza Rockwell (*HR*) se mide en unidades convencionales y es igual al tamaño de la penetración sobre cargas determinadas. El método puede utilizar diferentes penetradores siendo éstos esferas de acero templado de diferentes diámetros o conos de diamante. Una determinada combinación constituye una "escala de medición", caracterizada como *A*, *B*, *C*, etc. y siendo la dureza un número arbitrario será necesario indicar en que escala fue obtenida (*HRA*, *HRB*, *HRC*, etc.).

La carga total *P* es aplicada sobre el penetrador en dos etapas: una previa *P₀* y una posterior *P_i*, tal que:

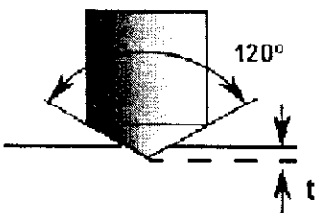
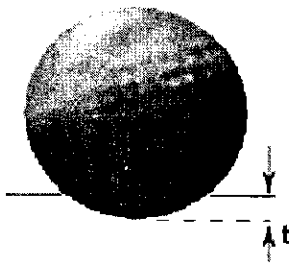
$P = P_0 + P_i$

Inicialmente el cono penetra en la superficie una cantidad *h₀* sobre la acción de la carga *P₀* que se mantendrá hasta el fin del ensayo. Esta penetración inicial permite eliminar la influencia de las condiciones superficiales (cuadro 1).

A continuación se aplica la carga *P_i* y la penetración se acentúa. Finalmente la carga *P_i* es retirada y la profundidad *h* restante (solamente actúa *P₀*) determina el número de dureza *HR*. La escala de los instrumentos de lectura empleados en las máquinas está invertida para permitir una lectura directa.

En los certificados de calidad es común utilizar la escala *HRB* donde el cono de diamante es reemplazado por una esfera de 1/16" y la carga *P_i* vale 100 Kg. En casos de materiales muy finos donde la carga de 100 Kg es muy elevada, pudiendo inclusive perforar la muestra, es utilizada la escala Vickers con una carga de 10 Kg y luego efectuada la transformación a la escala *HRB* utilizando tablas de conversión adecuadas.

Cuadro 1. Ensayo de Dureza Rockwell

<p>Ensayo ROCKWELL A, C, D</p> <p>Indentador: Cono de diamante (<i>HRA</i>, <i>HRC</i>, <i>HRD</i>)</p> <p>Carga:</p> <p><i>P_A</i> = 60 Kg <i>P_C</i> = 150 Kg. <i>P_D</i> = 100 Kg.</p> <p>Formula: <i>HRA</i>, <i>HRC</i>, <i>HRD</i> = 100 - 500t</p>	
<p>Ensayo ROCKWELL B, F, G, E</p> <p>Indentador:</p> <p>Esfera de acero f = 1/16 " (<i>HRB</i>, <i>HRF</i>, <i>HRG</i>)</p> <p>Esfera de acero f = 1/8 " (<i>HRE</i>)</p> <p>Carga:</p> <p><i>P_B</i> = 100 Kg. <i>P_F</i> = 60 Kg. <i>P_G</i> = 150 Kg. <i>P_E</i> = 100 Kg.</p> <p>Formula: <i>HRB</i>, <i>HRF</i>, <i>HRG</i>, <i>HRE</i> = 130 - 500t</p>	

Ensayo de Dureza Vickers

Este método es muy difundido ya que permite medir dureza prácticamente de todos los materiales metálicos independientemente del estado en que se encuentren y de su espesor.

El procedimiento emplea un penetrador de diamante en forma de pirámide de base cuadrada. Tal penetrador es aplicado perpendicularmente a la superficie cuya dureza se desea medir, bajo la acción de una carga P . Esta carga es mantenida durante un cierto tiempo, después del cual es retirada y medida el diagonal d de la impresión que quedó sobre la superficie de la muestra. Con este valor y utilizando tablas apropiadas se puede obtener la dureza Vickers, que es caracterizada por HV y definida como la relación entre la carga aplicada (expresada en Kgf) y el área de la superficie lateral de la impresión.

El ensayo de dureza Vickers es, como el Brinell, un ensayo cuyo objetivo es la determinación de la superficie lateral, S , de la huella. El penetrador es una pirámide de diamante de base cuadrada, cuyo ángulo en el vértice es de 136° . La dureza Vickers viene definida por la relación ilustrada en el cuadro 1.

Las equivalencias entre algunos de los números de dureza superficial presentan una estimación de la resistencia a la tracción (cuadro 1).

Ensayo de Dureza Shore

Este aparato se basa en el rebote de un cuerpo duro al caer desde una altura determinada sobre la superficie que se va a ensayar. Fue inventada por el americano Guillermo Francis Shore. En Estados Unidos se emplea desde el año 1907, pero en Europa no se comenzó a utilizar hasta después de la primera guerra europea, hacia el año 1920.

Se compone este aparato de un tubo de cristal de unos 30 cm de longitud, exactamente calibrado, montado en una armadura metálica. A lo largo del tubo se encuentra fija una escala dividida en partes iguales que corresponda a grados de dureza Shore. La graduación abarca desde 0 hasta 150° . El 0 corresponde a la posición inferior del martinete del tubo es decir cuando su punta que se ve saliente en la figura apoya sobre la superficie de la pieza a ensayar; la graduación 100 corresponde al rebote sobre una muestra tipo, cuya dureza es la de los aceros al carbono de herramientas templadas; el espacio comprendida entre las dos divisiones así determinadas se divide en partes iguales y se prolonga hacia arriba en todo la longitud del tubo.

La graduación de dureza Shore así establecida, al igual que la Rockwell, no guarda relación con ninguna de las correspondientes a los demás procedimientos.

El tubo con su armadura se monta en un robusto soporte, en la cual puede subir y bajar merced a una cremallera y piñón al que se da movimiento con un volante de mano. El eje de tubo coincide con el de apoyo que forma cuerpo con el pie del aparato sobre el cual se coloca la pieza o muestra que se trata de ensayar. Unido a la montura metálica superior del tubo de vidrio hay un aparato neumático destinado a maniobrar el martinete de hoque mediante una pera de caucho y un tubo flexible; aquel que consiste en un cilindro metálico de unos 7 gramos de peso que resbala libremente en el tubo y termina en su parte inferior en una punta redondeada perfectamente calibrada. Acompañan a cada aparato varios martinetes intercambiables, pero los dos modelos normales tienen el uno punta de diamante y el otro de acero.

Cuadro 2. Ensayo de Dureza Vickers

$$HV = P/S$$

expresándose P en Kg fuerza. La superficie lateral S de la huella puede expresarse en función del diagonal d del cuadrado de la base de la huella piramidal cuando se ha suprimido la carga.

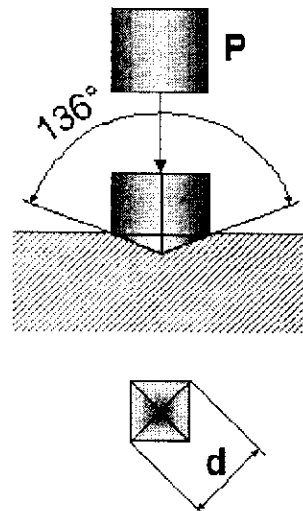
$$S = d^2/2 \operatorname{sen} 68^\circ$$

$$\text{con lo que: } HV = 2P \operatorname{sen} 68^\circ / d^2 = 1.8544 P/d^2$$

El campo de aplicación es de muestras medianas de materiales templados o muy endurecidos. La máquina de ensayos Vickers dispone de:

. Cabezal para ejercer cargas controladas desde 5 a 120 kilogramos.

. Penetrador Vickers de 136° de vértice.



Cuadro 1. Equivalencia de Durezas

Durezas COMPARATIVAS *				Ad-PRODUCTOS	
VICKERS HV	BRINELL HB	ROCKWELL HRC	Resistencia Tracción N/mm ²	VICKERS HV	
80	76	—	255		
85	81	—	270		
90	86	—	285		
95	90	—	305		
100	95	—	320		
105	100	—	335		
110	105	—	350		
115	109	—	370		
120	114	—	385		
125	119	—	400		
130	124	—	415		
135	128	—	430		
140	133	—	450		
145	138	—	465		
150	143	—	480		
155	147	—	495		
160	152	—	510		
165	156	—	530		
170	162	—	545		
175	168	—	560		
180	171	—	575	180	ACERO INOXIDABLE »Deslinox-212"
185	176	—	595		
190	181	—	610		
195	185	—	625		
200	190	—	640	200 ***	ELECTRODOS »Resimpact-12Mn»
205	195	—	660		
210	199	—	675		
215	204	—	690		
220	209	—	705		
225	214	—	720		
230	219	—	740		
235	223	—	755		
240	228	20	770		
245	233	21	785		
250	238	22	800		
255	242	23	820		
260	247	24	835		
265	252	25	850		
270	257	—	865		
275	261	26	880		

280	266	27	900	
285	271	28	915	
290	276	—	930	
295	280	29	950	
300	285	30	965	
310	295	31	995	
320	304	32	1030	323 ACERO ALEADO "Alresist-323"
330	314	33	1060	
340	323	34	1095	340-410 ACERO ALEADO "Alresist-402"
350	333	36	1125	
360	342	37	1155	
370	352	38	1190	
380	361	39	1220	
390	371	40	1255	
400	380	41	1290	
410	390	42	1320	
420	399	43	1350	420 ACERO INOXIDABLE "Deslinox-424"
430	409	44	1385	
440	418	—	1420	440-520 ACERO ALEADO "Alresist-512"
450	428	45	1455	
460	**	46	1485	
470	**	47	1520	
480	**	—	1555	
490	**	48	1595	
500	**	49	1630	
510	**	50	1665	
520	**	—	1700	
530	**	51	1740	
540	**	—	1775	
550	**	52	1810	
560	**	53	1845	
570	**	—	1880	
580	**	54	1920	
590	**	—	1955	
600	**	55	1995	
610	**	—	2030	
620	**	56	2070	
630	**	—	2105	
640	**	57	2145	
650	**	—	2180	
660	**	58	—	
670	**	—	—	
680	**	59	—	680-700 ACERO BIMETÁLICO "Producto ALTCROM" "Tubería ALTCROM"
690	**	—	—	
700	**	60	—	

700	**	60	—	700	ELECTRODOS "Altrom-700"
720	**	61	—	720	BASALTO FUNDIDO "Producto BASALTYC" "Tubería BASALTYC"
740	**	—	—		
760	**	62	—	760-800	CARBURO DE CROMO "Producto CARBUTUNG" "Tubería CARBUTUNG"
780	**	63	—		
800	**	64	—		
820	**	—	—		
840	**	65	—		ELECTRODOS "Carbutung-806"
860	**	—	—		
880	**	66	—		
900	**	67	—		
<p>* DUREZAS COMPARATIVAS Según DIN 50150</p> <p>** El ensayo Brinell es recomendable para Durezas hasta 400</p>				1000	ALÚMINA SINTERIZADA "Producto DESLISINT" "Tubería DESLISINT"
				1500	NITRURO SILICIO MOLDEADO DE CARBURO SILICIO "Producto NITRUSIL" "Tubería NITRUSIL"
				2000	ZIRCONIO FUNDIDO "Producto ZIRTHERM" »Tubería ZIRTHERM«
				2100	CARBURO SILICIO »Producto CARBUSIL« "Tubería CARBUSIL"
<p>Dureza MOHS </p>				Mohs 8 - 9	BASALTO FUNDIDO "Basaltec-720"
10 Diamante (En Comparación)				Mohs 9	ALÚMINA SINTERIZADA "Deslisint-990"
Dureza SHORE				Shore 66	POLIETILENO "Desliplast-66"
				68	"Desliplast-68"
				Shore 82	POLIURETANO "Deslipol-82"
				93	"Deslipol-93"

DUREZA SUPERFICIAL

El último ensayo rutinario es el de Dureza Superficial, que es la resistencia de un material a ser marcado por otro. Se prefiere el uso de materiales duros cuando éstos deben resistir el roce con otros elementos. Es el caso de las herramientas de construcción (palas, carretillas, pisos, tolvas). El ensayo es realizado con indentadores en forma de esferas, pirámides o conos. Estos elementos se cargan contra el material y se procede a medir el tamaño de la huella que dejan. Es un ensayo fácil y no destructivo; puede realizarse en cualquier sitio, ya que existen durímetros fácilmente transportables. Una de las ventajas del ensayo de dureza es que los valores entregados pueden usarse para hacer una estimación de la resistencia a la tracción. La dureza superficial puede aumentarse añadiendo al material una capa de carbono, en un tratamiento térmico denominado cementación.

CONCLUSIONES

De los procedimientos anteriormente descritos para ensayar la dureza, los mas empleados en la industria son los tres siguientes: Brinell, Rockwell y Vickers.

El procedimiento Brinell es el mejor para determinar la dureza de materiales no muy duros, como el hierro y acero recocido, laminado o normalizado. En talleres y almacenes donde generalmente no se hacen las medidas con mucha exactitud ni precisión las mas utilizadas es la máquina clásica de 3.00 Kg y bola de 10 mm.

Cuando se trata de perfiles o barras delgadas se emplean otras máquinas con cargas reducidas y bolas de menor diámetro; en estos casos se hace la lectura automática sobre el vidrio deslustrado.

El ensayo Rockwell es el más rápido y útil para determinar la dureza de herramientas templadas. La lectura es muy fácil y viene dada directamente en un cuadrante. También sirve para piezas cementadas.

El método Vickers es el mas indicado para ensayar piezas, barras o flejes delgados y piezas nitruradas, cementadas o cromadas. Es también el mas utilizado para estudios y trabajos de investigación, ya que mide con precisión la dureza de toda clase de materiales.

Las ventajas e inconvenientes más notables en cada uno de los procedimientos son:

- El procedimiento Brinell no exige una preparación tan cuidadosa de la superficie como el Rockwell y Vickers. Este ultimo necesita, en cambio, que la superficie este casi rectificada.
- Los procedimientos Rockwell y Vickers permiten determinar la dureza de piezas terminadas sin estropearlas, ya que dejan huellas mucho más pequeñas que el procedimiento Brinell.

BIBLIOGRAFÍA

1. Apraiz, José, 1995. Tratamiento Térmico de los Aceros. Madrid, España.
2. Enciclopedia Autodidacta Océano, 1998. México