

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

EMPLEO DE ALGUNOS MÉTODOS MODERNOS DE ENSAYO

EN LA RECEPCIÓN DE HIERROS Y ACEROS

POR

D. DOMINGO MENDIZÁBAL

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (1).

Consideraciones generales.

Los pliegos de condiciones generalmente empleados en la recepción de hierros y aceros, tanto los correspondientes á carriles como á elementos de construcción, máquinas, etc., conservan la misma estructura y disposición general, desde hace buen número de años, habiéndose únicamente modificado en algunos, los coeficientes en ellos exigidos, según variaban las condiciones de trabajo de los materiales metálicos, pero conservándose invariables, como antes se ha indicado, el número y clase de ensayos exigidos, como si respondieran á la forma de trabajo de los mentados materiales.

Hace ya algunos años se han dado á conocer nuevos procedimientos para el ensayo de los materiales metálicos, los cuales hasta ahora no habían pasado en realidad del campo de experiencias y ensayos de laboratorio, pero por el mucho estudio que sobre ellos se ha hecho, pueden pasar al grupo de ensayos prácticos, muy adecuados por lo demás para dar á conocer las propiedades que dichos materiales deben poseer.

Considero, pues, de oportunidad estudiar aquéllos con objeto de deducir si es ó no conveniente su inclusión en los pliegos de condiciones, bien en sustitución de algunos de los ensayos actualmente prescritos ó adicionándoles, para obtener datos más completos referentes á sus propiedades, no olvidando, sin embargo, que los mentados pliegos no deben recargarse de condiciones y ensayos en excesivo número por resultar expuesto á que si las mismas no están perfectamente estudiadas resulten en algún caso hasta contradictorias.

La presente Nota constituye una recopilación de los trabajos que de un modo más completo y adecuado tratan de estos ensayos desde que fueron dados á conocer por sus autores, no habiendo en esta parte de la misma nada original por parte del autor.

Después de esta recopilación, se relacionan y contrastan unos con otros, trabajos y opiniones, tratando de hacer desaparecer las más aparentes que reales contradicciones que resultan, se deducen consecuencias de las afirmaciones sentadas y, finalmente, y en forma de conclusiones se concretan las proposiciones que el autor tiene la honra de someter al Congreso para su discusión y examen.

Resistencia de los materiales.

Sometidos los elementos metálicos de una construcción cualquiera á la acción de las fuerzas exteriores, deben trabajar aquéllos en tales condiciones, que no varíen sensiblemente de forma, es decir, que no haya variaciones apreciables de situación de sus diversas partes, ó sea que deben producirse como si fuesen completamente rígidos.

Se sabe que en la naturaleza no existen cuerpos perfectamente rígidos, puesto que los cuerpos conocidos con aquel nombre tienen todas sus moléculas en movimiento, llamándose cuerpo resistente aquel que no pierde su forma exterior, sino que ofrece resistencia suficiente á los esfuerzos que tienden á modificar aquélla.

Ciertos cuerpos trabajan de modo que su forma primitiva experimenta modificaciones para volver á aquélla tan pronto cesan los esfuerzos exteriores que produjeron aquella deformación.

Esta propiedad (*elasticidad*) es indispensable la posean todos los materiales metálicos al mismo tiempo que la *resistencia* precisa para su existencia.

La *dureza* es otra de las propiedades que los materiales de construcción deben poseer, sobre todo aquellos que por la clase de trabajo á que están sometidos sufren frecuentes é importantes desgastes por rozamientos repetidos.

La *tenacidad* (*fragilidad*) debe, igualmente, ser muy tenida en cuenta, sobre todo en aquellos materiales que están sometidos á esfuerzos que se producen rápidamente, como vibraciones, choques, etc.

Estas propiedades de los materiales es indispensable comprobarlas antes de su empleo en obra, construcción, máquinas, etc., y para ello se establecen los correspondientes pliegos de condiciones, en los que se prescriben los ensayos necesarios para ello.

Para comprobar la *resistencia* y *elasticidad* se verifican los ensayos de *tracción*, *compresión*, *flexión*, *torsión*, *corte*, etc., según el modo que los materiales deben trabajar.

Tanto para determinación de la *tenacidad* y *fragilidad* como

(1) Memoria leída en el Congreso de Valladolid celebrado por la Asociación española para el progreso de las ciencias.

para hacer trabajar los materiales tal y como en la práctica tienen que producirse, se ha establecido el ensayo al *choque*, el que no falta en ninguno de los actuales pliegos de condiciones, sobre todo en los que han de ser usados en ferrocarriles por la serie de esfuerzos dinámicos á que están sometidos.

Respecto á la *dureza*, poco ó nada hay establecido en los actuales pliegos, y éste es precisamente el punto que deseo tratar, con objeto de lograr se salven las deficiencias existentes y no se olvide propiedad tan esencial en las aplicaciones de los materiales.

Los nuevos ensayos á que en el principio de esta Nota se hace alusión, se refieren á ésta tan interesante propiedad, detallándose lo suficiente en las dos partes de que consta la misma.

Los ensayos mecánicos hoy establecidos los considero acertadamente dispuestos, y únicamente al terminar la exposición y estudio de los nuevos ensayos se dirá lo pertinente respecto á la posible sustitución de uno de aquéllos por alguno de los nuevos que se proponen.

Concepto de dureza.

La *dureza* de los materiales es una propiedad que constantemente está entrando en juego al clasificar, dividir, definir, etcétera, aquéllos.

Los constructores, proyectistas, mineralogistas, etc., tienen múltiples ocasiones de apreciar esta propiedad.

Parecía natural que su concepto, su definición, estuviesen completamente determinados y, sin embargo, nada más lejos de ello; existe una verdadera confusión acerca de este punto, apenas existe una definición concreta y precisa de dicha propiedad.

La razón principal de esta indeterminación es la casi natural é intuitiva tendencia, de relacionar y unir íntimamente la dureza á las demás propiedades de los materiales, la mayor parte de las cuales están bien determinadas y precisas.

Generalmente se expresa el grado de dureza por el de estas propiedades.

Esta confusión da lugar á que indistintamente se usen en ocasiones palabras y conceptos que, con significados, completamente distintos, se pretende que expresen lo mismo, dando así ocasión á numerosos errores.

DEFINICIÓN DE DUREZA.—La definición más comúnmente admitida y más generalmente empleada es la siguiente:

La dureza es la resistencia que un cuerpo opone á la penetración de otro más duro.

GRADUACIÓN DE LA DUREZA.—Existen varias escalas de dureza, es decir, orden de colocación de diversos cuerpos, con relación á la posibilidad de ser rayados por otros, cuya dureza se supone conocida.

Los mineralogistas emplean especialmente la muy conocida escala de *Mohs*, que comienza en el *Talco* y termina en el *Diamante*; esta escala ha sido completada por *Lemnis*.

La disposición de esta escala tiene lógica razón de ser, pues, en general, los cuerpos que, con arreglo á la misma, se clasifican y que se comparan con los cuerpos tipos, tienen, en general, para la misma clase de cuerpo, la misma dureza.

Dumas trató de establecer otra escala de dureza para los metales, pero no obtuvo un resultado completamente satisfactorio, pues bien sabido es lo difícil que es obtener metales completamente puros, y dada esta circunstancia, á cada muestra ensayada corresponde en general dureza diferente; esto que ocurre para

los metales naturales puede aplicarse en mayor grado á los metales manufacturados.

La más ligera variación en la composición química; produce diferencias considerables en el grado de dureza.

La dureza de los metales depende especialmente de su composición química; ejemplo bien conocido es el hierro y acero, en los que su mayor ó menor dureza depende de la cantidad de carbono y otros cuerpos que entran en su composición; por ello casi instintivamente se habla del hierro dulce ó duro (acero) pensando no solamente en su dureza, sino también en su composición química.

Como generalmente ocurre que los cuerpos resistentes son al mismo tiempo duros, se ha establecido la costumbre de hablar y clasificar como duros ó blandos, según los resultados obtenidos en el ensayo de *resistencia*.

MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LA DUREZA.—Los procedimientos más empleados para la determinación de la dureza pueden clasificarse en los dos grupos siguientes:

1.º Se determina la dureza por la penetración de un cuerpo en el que se ensaya por uno de los dos métodos siguientes:

a) El cuerpo penetrante no cambia de posición respecto al cuerpo ensayado. (*Penetración*.)

b) El cuerpo penetrante varía de posición respecto al cuerpo ensayado. (*Estriado ó rayado*.)

2.º Se determina la dureza por las condiciones de resistencia del metal.

No se detallan en esta Nota los procedimientos de penetración, no sólo por ser sobradamente conocidos, distinguiéndose por los nombres de sus autores, *Middeberg*, *Kerpely*, *Kigch*, *Johnson*, *Keep*, etc., sino también por ser realmente métodos completamente de laboratorio é inaplicables quizá, dentro de los procedimientos rápidos y expeditos que deben emplearse, no sólo en las fábricas productoras, sino por los mismos consumidores, disponiendo unos y otros, aunque no siempre, de laboratorios, que no se encuentran dotados del número y calidad de aparatos y máquinas tan precisas como las existentes en los laboratorios de índole exclusivamente experimental, y además que tampoco se dispone del tiempo preciso para realizar cierta clase de ensayos que así lo exigen.

A la misma categoría pertenecen los ensayos por *choque* y *estriado*, como son los de *Hanenschild*, *Bauschinger*, *Smith*, etc.

Quizá ésta sea una de las causas por las que no han sido incluidos estos ensayos en los pliegos para determinar la dureza de los metales.

A continuación se detallan dos clases de ensayos de dureza de los metales, cada uno de los cuales determina, dentro de la misma propiedad, finalidades distintas, y que teniendo otro carácter de aplicación distinto de los expresados pueden, sin inconveniente, considerarse como de aplicación práctica.

En cada una de las dos partes de que consta esta Nota se trata de cada uno de estos ensayos.

PRIMERA PARTE

Procedimiento Brinell.

El procedimiento que se ha de describir puede incluirse en el grupo 1.º a) de la clasificación antes establecida.

En el Congreso celebrado en París el año 1900 por la Asociación internacional de Ensayos de materiales de construcción, segundo de la serie, presentó una muy interesante Memoria J. A. Brinell, Ingeniero Jefe de la importante fábrica metalúrgica y siderúrgica de *Fagersta Westanfors* (Suecia), describiendo

un procedimiento para la determinación de la dureza de los materiales metálicos, el cual desde dicha fecha lleva, como es natural, su nombre y además el de ensayo a la bola.

En el encabezamiento de su Memoria se encuentra concretado y expuesto todo lo que a su procedimiento se refiere, decía así:

«Nuevo método para determinar la dureza, la resistencia, el límite de elasticidad aparente, el alargamiento y los defectos de homogeneidad de los aceros, así como también la dureza de los demás cuerpos sólidos, por medio de una pequeña bola de acero templado, marcando una impresión en el cuerpo ensayado.»

El método Brinell se caracteriza por reunir todas las condiciones que debe poseer un buen ensayo, como son:

Dar resultados homólogos y exactos.

Ser fácil de ejecutar y aprender.

No exigir grandes preparativos, emplear poco tiempo y no ser costoso.

Poderse efectuar en pieza y materiales terminados, sin producir deformaciones ni deterioros.

Determinar la dureza absoluta y no la relativa en comparación con otros cuerpos.

El método Brinell consiste en obtener una impresión en el material a ensayar, por medio de una bola de acero templado mediante una presión ejercida en la misma, haciéndola penetrar en aquél, dada su propiedad de poder introducirse sin romperse ni deformarse sensiblemente en los cuerpos muy duros.

Esta propiedad es debida no sólo a su forma esférica sino también, y principalmente, a la homogeneidad de su temple por refrigeración instantánea en un cuerpo de pequeño tamaño y forma regular.

Brinell comenzó sus experiencias con la sola idea de emplear un procedimiento sencillo y rápido para que pudiera ser utilizado por un obrero cualquiera, sin tener que recurrir a los especialistas llamados «conocedores del acero».

Después de obtenida la impresión se determina su diámetro, se calcula la superficie esférica de la misma y se divide la presión total empleada por la mentada superficie, obteniéndose un número que es el que Brinell llama *grado ó número de dureza*.

Los aparatos que en el principio de las experiencias usaba Brinell se reducían simplemente a un microscopio de tubo vertical y de movimiento de traslación, mediante un tornillo horizontal, con objeto de conseguir que el eje de aquél coincidiera con los bordes opuestos de la impresión, midiéndose su diámetro en la escala del tornillo, el cual está dotado de su nonius correspondiente.

Para obtener la impresión disponía Brinell de un sencillo aparato, compuesto de dos placas horizontales, entre las que disponía la probeta y la bola; la superior de aquéllas se movía por medio de un volante horizontal y se transmitía el movimiento y la presión por un tornillo de eje vertical.

Debajo de la placa inferior, un sistema de resortes comunicaba a un manómetro de cuadrante la presión de la experiencia.

Después de muchas y largas experiencias consideró, y así aconsejó para los ensayos de hierros y aceros, el empleo de bolas de 10 milímetros de diámetro, sometidas a una presión de 3.000 kilos.

Las principales ventajas del método son las siguientes, además de las antes ya mentadas:

Determinar la dureza en diversos puntos y zonas del mismo cuerpo.

Fijar la influencia del trabajo de recalentado, martillado, temple, etc.

Comprobar la homogeneidad de los materiales.

Las más interesantes aplicaciones de este método fueron deducidas por Brinell, después de constantes observaciones, en 1.700 probetas, y se fundan en la correlación existente entre los resultados del método practicado tal como se ha expuesto y la determinación del límite de resistencia (coeficiente de rotura), alargamiento proporcional y límite de elasticidad aparente.

Brinell ha deducido que para los aceros con una dosis de carbono menor de 0,8 por 100 existe una relación constante ó casi constante entre el número de dureza deducido y el límite de resistencia.

Esta relación ó coeficiente, multiplicado por el número de dureza, da el límite de resistencia.

El coeficiente deducido por Brinell es 0,346.

En el caso en que la experiencia confirmase, como ha confirmado, las presunciones de aquél, se podrían obtener los límites de resistencia de materiales, en casos en que la insuficiencia de materia hiciese imposible la preparación de las probetas precisas para el ensayo corriente de tracción, como, por ejemplo, en los fragmentos de la pieza de una máquina que se hubiese roto.

A continuación se inserta un cuadro en el que, para diversas clases de acero, se detallan los datos y características, deducidos de los ensayos realizados.

En este cuadro tienen la siguiente significación las letras que se indican:

d Diámetro de la impresión.

a Área de la superficie esférica de la misma.

Δ Número de dureza.

R Límite de resistencia.

C Coeficiente medio que para el acero es igual a 0,346.

<i>d</i> — mm.	<i>a</i> — mm ²	$\Delta = \frac{3.000}{a}$	<i>R = C \Delta</i> — Kgs. $\times$ mm ²
4,05	13,47	223	77,5
4,10	13,83	217	75,1
4,15	14,18	212	73,5
4,20	14,54	207	72,0
4,25	14,89	202	70,0
4,55	17,21	174	60,5
4,60	17,61	170	59,0
4,65	18,02	166	57,5
4,70	18,43	163	56,5
4,75	18,85	159	55,0
5,20	22,91	131	45,5
5,25	23,39	128	44,5
5,30	23,88	126	43,7
5,35	24,37	124	43,0
5,40	24,88	121	42,0
5,45	25,38	118	41,0
5,50	25,89	116	40,3

Para la determinación del alargamiento preconiza Brinell que el ensayo se verificase en la siguiente forma:

Se coloca una bola de 5 milímetros de diámetro, de tal modo, que su punto de contacto con la cara superior de la probeta, que en este caso tiene que estar perfectamente labrada en forma paralelepípedica, estuviese situado a 2 milímetros del borde de la misma; en esta situación, se ejerce la presión hasta que en el reborde que en la arista correspondiente se habrá de formar se iniciase la rotura; en este instante, la flecha máxima horizontal de dicho reborde medía el alargamiento, puesto que suponía que para los diversos metales dicho reborde era proporcional a dicho alargamiento, en cuyo caso, por medio de un ensayo comparativo a la tracción en un metal sometido también al ensayo Brinell se obtenían elementos para hacer dicho cálculo.

Para obtener el límite de elasticidad aparente se inicia el

ensayo en igual forma, pero se detiene en el momento en que la expresada arista comienza á deformarse, instante que se determina fácilmente por la observación sobre la cara correspondiente, previo pulimento, por reflexión de la luz de un foco luminoso.

En la hoja primera se representan los gráficos deducidos por Brinell para diversas clases de acero, en los que se representan las curvas determinadas mediante ensayos de tracción y de bola.

En ellas se observan algunas diferencias de importancia secundaria y cuyo valor relativo se determina más adelante.

Estudios y comprobaciones del sistema.

ALARGAMIENTO Y LÍMITE DE ELASTICIDAD.—Antes de pasar adelante, y aunque sea alterando el orden en que anteriormente han sido expuestas, siguiendo á Brinell, las consecuencias y deducciones por él obtenidas, me ocuparé de la posibilidad de obtener los coeficientes correspondientes á los ensayos indicados en el encabezamiento de este párrafo.

El objeto de esta alteración es prescindir ya en esta Nota de ellos, pues el resultado obtenido no ha sido satisfactorio, para no ocuparnos de otra cosa que la parte útil del ensayo Brinell, cual es la determinación de la resistencia.

Gran interés despertó la afirmación de Brinell de que con su método se podrían determinar de un modo tan sencillo coeficientes tan interesantes, y numerosos especialistas se dedicaron al estudio de su método.

En Francia, entre otros, se ocuparon de ello especialmente Breuill, Charpy, Chatelier y Dillner.

El primero presentó en la Sección francesa de la Asociación internacional de Ensayos de materiales de construcción, en su sesión de 21 de Julio de 1902, un interesante estudio sobre el particular, el cual fué nuevamente presentado, ampliado con algunos nuevos datos y experiencias, en el Congreso que la mencionada Asociación celebró en Bruselas en 1906.

Respecto á la determinación del *alargamiento*, Breuill, en los múltiples ensayos que ha realizado, comprobó en primer término la verdadera dificultad, casi imposible de vencer, de que la bola, una vez iniciado el ensayo, conserve su punto más bajo en la vertical del de contacto primitivo con la probeta, ó sea á 2 milímetros de la arista de ésta, pues aquélla, al realizarse la experiencia se hincan en el material, el cual, al desbordarse en la cara vertical de la probeta, acerca aquélla á la bola, no habiendo forma práctica de evitarlo, caminando la bola en la dirección en que encuentra mínima resistencia, no quedando tampoco, como Brinell afirmaba, la arista en su deformación en el mismo plano horizontal de la cara superior, sino que desciende en la forma representada en la figura 1.^a

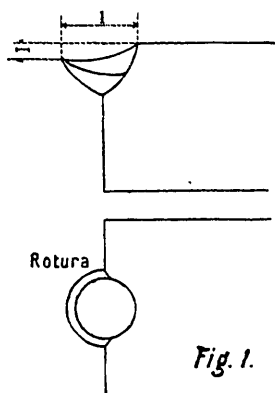


Fig. 1.

La rotura se produce comúnmente en la unión de la arista deformada con la cara; en los metales blandos se ve limpia y claramente aparecer, después de la deformación, la grieta; en los

metales duros es muy difícil darse cuenta del instante de la rotura, pues es brusca y sin anuncio; el valor de ϵ' disminuye igualmente con la dureza de los metales.

Si para varios metales se miden los valores de ϵ' y se comparan, bien con los alargamientos, bien con las extricciones que le son proporcionales, se obtiene:

METALES	Valores de ϵ' Milímetros.	Valores de ϵ'' Milímetros.	Alargamientos Por 100.
Cobre.....	3,00	3,00	51,0
Acero de palastros.....	3,15	4,00	36,0
— Thomas.....	2,7	4,00	31,0
— al níquel.....	2,7	2,7	29,5
— de ejes.....	3,7	2,7	28,0
— de cañones..	3,00	2,5	25,0
— al crisol.....	2,5	2,00	24,0
— de llantas.....	2,5	1,3	18,5

Se observan, en general, variaciones en el mismo sentido en los números de las columnas 2.^a y 3.^a y con alguna proporcionalidad, aunque con variaciones suficientemente grandes, para que no pueda deducirse regla alguna fija y determinada; los números de las columnas 1.^a y 3.^a varían sin orden alguno y no en el mismo sentido.

Por lo expuesto se deduce sería peligroso confiar la determinación del *alargamiento* á la fijación de las flechas señaladas tanto en sentido horizontal como vertical.

En cuanto al *límite aparente de elasticidad* se ha determinado análogamente y en muy numerosos ensayos los valores de la relación $\frac{E_{\text{máx}} - E_{\text{mín}}}{E_{\text{med}}}$ para las dos formas del ensayo, ó sea para el de tracción como para el Brinell, variando aquella para el primero del 2 al 25 por 100, y en el segundo, del 5 al 35 por 100.

La relación $\frac{E_B}{E_T}$ varía entre el 14 y el 22 por 100 sin ley fija.

Tampoco se puede, por lo tanto, confiar en este ensayo para la determinación del límite de elasticidad.

Estos dos puntos fueron tratados en el ya citado Congreso de Bruselas de 1906, al que concurrió Brinell, y en las conclusiones adoptadas, después de detenida discusión, se hizo mención muy favorable del método, por lo que se refiere á la determinación de la resistencia de los materiales, pero ni siquiera se mencionó nada respecto á estos dos ensayos.

Me he ocupado de ellos, por el interés que hubieran tenido en el caso de haber dado resultado favorable y para no dejar de mencionar asunto en el que tanto hincapié hizo Brinell en 1900.

Desarrollado este punto paso al estudio detenido de la:

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA.—Como ya se ha indicado anteriormente, quien en primer término comenzó en Francia el estudio de este método fué Breuill, Jefe del Laboratorio de ensayos de la Compañía del ferrocarril de París, Lyon-Mediterráneo.

Este operador se mostró desde el primer instante poco afecto á este sistema, pues en todas las comunicaciones por él redactadas se observa tendencia á quitar seguridad y exactitud á los resultados obtenidos.

En la Sección Francesa de la Asociación internacional y en su ya mentada sesión de 21 de Julio de 1902, presentó un cua-

dro de resultados que después volvió á publicar unido á un informe al Congreso de Bruselas de 1906, en el cual, que se copia á continuación, hacía resaltar la importancia de las variaciones observadas en los resultados obtenidos, tanto en el método clásico de tracción como en el Brinell, en los valores deducidos para ambos de las relaciones $\frac{R \text{ máx} - R \text{ mín}}{R \text{ med}}$.

METALES	LÍMITE de resistencia. Kilogramos.	TRACCIÓN	BRINELL
		$\frac{R \text{ máx} - R \text{ mín}}{R \text{ med}}$ Por 100.	$\frac{R' \text{ máx} - R' \text{ mín}}{R' \text{ med}}$ Por 100.
Acero Martín ácido.....	76	1,7	7,4
— idem id.....	64	9,2	11,8
— de cañones.....	57	2,2	3,6
— de ejes.....	49	2,9	4,4
— al crisol.....	46	6,6	10,4
— idem id.....	44	2,8	11,3
— de palastros.....	44	2,5	8,3
— idem id.....	33	7,1	6,5
— Thomas.....	40	1,4	1,8
VALORES MEDIOS.....		4,04	7,26

De estos valores deducía las siguientes consecuencias:

- Para un mismo metal las variaciones de R son inferiores á las de R' y sin gran exactitud, aquéllas son la mitad de éstas.
- Para un mismo metal las variaciones del número de dureza y las del límite de resistencia no son del mismo signo.
- La relación entre R y R' que según Brinell debía ser constante, varía entre 0,322 y 0,376 sin ley fija ni determinada.
- Si se utiliza como coeficiente constante el valor medio de las cifras deducidas, se obtendrá en algún casos un error en la apreciación del límite de resistencia del 12 por 100, error de importancia muy superior á los admitidos en esta clase de ensayos.

Concluía Breuill diciendo: «En resumen, para este género de ensayos no he encontrado la concordancia anunciada por Brinell entre R y R' ; sin embargo debe reconocerse que la aproximación es notable. Este modo de determinar el límite de resistencia podría, según mi opinión, bastar para ciertos ensayos rápidos y de poca precisión».

Graves son, en efecto, los cargos formulados por Breuill, pero conviene hacer constar que los aparatos que utilizó para la determinación de los elementos necesarios para sus cálculos, especialmente el diámetro de la impresión, eran mucho más sencillos é inexactos que los usados por Brinell en sus trabajos.

Utilizaba Breuill una placa de acero (fig. 2.^a) en la que está practicada una ranura angular, con una amplitud determinada.

Uno de sus lados, labrado en bisel, lleva una graduación tal que á cada 20 milímetros de separación entre sus trazos corresponde una variación en el diámetro de la impresión, la que debe quedar tangente á ambos lados del ángulo, de un milímetro; se puede, por lo tanto, leer hasta $\frac{1}{20}$ milímetros, pero fácilmente se comprende que los errores que en las lecturas se producen han de ser de un orden muy superior á los que Brinell obtendría con su microscopio.

Además, teniendo en cuenta que las impresiones producidas en las probetas presentan, según el corte producido por un plano

diametral de las mismas, la disposición representada en la figura 3.^a, se comprende la dificultad de aplicar la reglilla descrita para la determinación exacta del diámetro de aquélla.

Insistiendo sobre lo expuesto, no hay que olvidar que el mis-

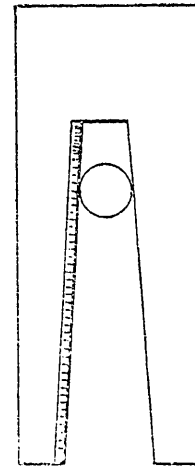


Fig. 2

mo Breuill, en su informe, ya indicaba que con sus métodos se puede llegar en las medidas á cometer un error del 3 al 4 por 100, luego las variaciones más fuertes observadas en la medida de la dureza pueden estar afectadas por esta causa del 7 por 100 de error, pues pueden cometerse en los términos que se comparan en uno ú otro sentido.

Si se resta este 7 por 100 de error, que no tiene nada que ver con el método en sí, se encuentran errores del mismo orden que los hallados en el procedimiento ordinario para la determinación de la resistencia.

Volviendo sobre la medición de las impresiones se indicará que Breuill hacía dos impresiones casi unidas en la misma pro-

Fig. 3.



beta, las cuales, por esta razón y haber sido hechas con la misma bola é igual presión, debían ser idénticas, pues según el mismo autor las diferencias entre sus diámetros son de la importancia de los errores de lectura.

Hizo así 41 experiencias, y las diferencias halladas son las siguientes:

Diferencia de 0,35 milímetros.....	1 vez.
— 0,20 —	1 —
— 0,15 —	2 —
— 0,10 —	6 —
— 0,05 —	14 —
— 0,00 —	17 —
TOTAL.....	41 veces.

La diferencia de 0,10 milímetros entre dos medidas del mismo diámetro corresponde á una variación entre los números de dureza del 4 por 100; por lo tanto, si aquélla es de 0,20 milímetros, ésta valdrá el 8 por 100; por lo expuesto se deduce que no deben considerarse como con una exactitud suficiente las experiencias de Breuill, luego las conclusiones por él deducidas tampoco deben aceptarse sin grandes reservas.

Charpy y Dillner, el primero, Ingeniero principal de las fábricas de Saint-Jaques, y el segundo, Jefe del Laboratorio de ensayos de la Universidad técnica de Stokolmo, han trabajado con

gran perseverancia, siguiendo el camino trazado por Brinell, habiendo obtenido resultados mucho más satisfactorios que los enunciados por Breuill, empleando, respectivamente, aceros de procedencia francesa y sucra.

Los primeros resultados obtenidos no fueron completamente favorables, pues de ellos podía deducirse que el coeficiente encontrado disminuía rápidamente con la dosis de carbono, siendo esta disminución casi idéntica para toda clase de aceros de cualquier procedencia.

Admitiendo un solo coeficiente, el cálculo de la resistencia á la rotura por medio del número de dureza se obtenía, para unas y otras clases de acero, valores bastante separados de la realidad.

Se ha buscado el modo de eliminar este error, admitiendo un coeficiente medio para los aceros que tuvieran dosis de carbono inferiores á 0,50 por 100, y otro distinto para aquéllos en que dicho componente entrase en dosis superior á aquél límite.

Este procedimiento supondría el conocimiento de la composición química del acero ensayado y la dosificación del carbono, lo cual, no siempre ocurre, ó si hubiese que hallarle previamente perdería su carácter rápido y práctico el ensayo; por ello es más lógico suponer diferentes los expresados coeficientes, según el número de dureza obtenido tomando por ejemplo como límite el núm. 175.

También se ha observado en los ensayos (y sobre este punto tan interesante se ha de volver á tratar con gran detalle) que, según se hagan las impresiones, en sentido normal ó paralelo á la dirección del laminado, se obtienen números algo diferentes.

Por todo ello, Dillner establece los siguientes coeficientes, cuyos valores medios, determinados como se indica á continuación, proporcionan la comprobación de que el coeficiente general de Brinell tiene gran exactitud:

CIFRAS DE DUREZA	Normal al laminado.	Paralelo al laminado	Valores medios.
$\Delta < 175$	0,362	0,314	0,358
$\Delta > 175$	0,344	0,324	0,334
VALORES MEDIOS.....	0,353	0,339	0,346

En la hoja segunda de dibujos se representan gráficamente las curvas determinadas por los límites de resistencia hallados, bien directamente, bien por el método Brinell, tanto en el sentido del laminado como normalmente, y puede comprobarse que existe concordancia muy satisfactoria, sobre todo para las dosis de carbono inferiores á 0,50 por 100; también para las superiores existe hasta en los menores á 0,80 por 100, límite que ya había fijado Brinell en su Memoria original.

Para el primer grupo, las diferencias sólo alcanzan al 3,3 por 100, y para el segundo llegan al 6,1 por 100, pero esta diferencia sólo corresponde á las dosis superiores.

En los cuadros que se insertan en la hoja tercera se agrupan las experiencias de Charpy, con el mismo criterio antes expuesto; es decir, determinando coeficientes distintos, según el número de dureza sea inferior ó superior á 175.

Los coeficientes medios difieren algo de los antes indicados, pero bien poco, son 0,351 y 0,336 para uno ú otro caso, con un promedio de 0,343, difiriendo del de Brinell menos del 1 por 100.

Los errores entre los límites de resistencia hallados directamente ó por los números de dureza son 3,1 y 2,1 por 100, respectivamente, límites bien bajos, y que quedan comprendidos

dentro de los que aun con los aparatos más perfeccionados se cometen.

Se ve confirmado por todo lo expuesto lo acertado de las afirmaciones de Brinell, por lo que se refiere á esta aplicación del método.

EXPERIENCIAS DE BENEDICKS.—Este ilustre Profesor de Upsala ha estudiado cuidadosamente este método, tratando de conocer y definir la influencia que en la determinación de la dureza no podría tener el diámetro de la bola y la presión.

En 1904 publicó las consecuencias por él deducidas, las cuales fueron posteriormente comprobadas por el mismo Brinell, el cual las ha hecho suyas, mostrando su conformidad.

Respecto á la influencia del diámetro de la bola, dedujo la siguiente regla:

a) Para un mismo metal se obtiene una cifra de dureza constante multiplicando la deducida por el método Brinell por la raíz quinta del radio de curvatura de la bola.

En el cuadro que se inserta á continuación se indican para una misma presión 3.000 kilos y diferentes diámetros de bola (D), las experiencias con tres metales, los diferentes números de dureza deducidos directamente y los calculados por Benedicks:

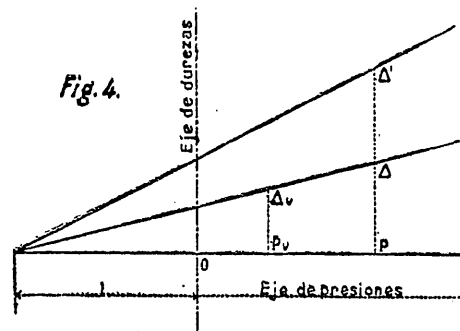
D — mm.	TIPOS DE ACERO					
	Núm. 1.		Núm. 2.		Núm. 3.	
	Δ	$\Delta \sqrt[5]{\frac{D}{\rho}}$	Δ	$\Delta \sqrt[5]{\frac{D}{\rho}}$	Δ	$\Delta \sqrt[5]{\frac{D}{\rho}}$
3,75	107	139	208	271	315	410
5,00	99	136	201	177	306	422
7,50	95	142	178	266	272	407
Diferencias máximas...	12	6	30	11	43	15

Si conviene, por lo tanto, tomar como número de dureza normal el que se refiere á la bola de 10 milímetros de diámetro; su valor se obtendrá, en el caso de no disponer de este tamaño y si de otra de diámetro D' , por la fórmula:

$$\Delta = \Delta_{D'} \cdot \sqrt[5]{\frac{D'}{10}}$$

b) Las curvas representativas de la dureza en la función del diámetro para diversas presiones, están ligadas por una relación muy sencilla.

Las ordenadas del diagrama de uno de los metales no difieren más que por un factor constante de las ordenadas correspondientes á la misma presión en los diagramas de otros metales.



Estas curvas son, por lo tanto, congruentes, luego las tangentes en todos los puntos de los diagramas correspondientes á la misma abscisa, ó sea igual presión, se cortan en el mismo punto situado en el eje de las presiones (fig. 4.a); por esta cir-

cuñstancia y ser estas curvas de muy débil curvatura, se pueden utilizar sustituyéndolas por sus tangentes, lo que permite, con mínimo error, determinar la dureza Δ_0 correspondiente á la presión P_0 conociendo la dureza Δ relacionada con la presión P

$$\Delta_0 = \Delta \frac{l + P_0}{l + P}$$

siendo el valor de l constante y dependiendo de las presiones $\frac{P_1 + P_2}{2}$ entre las cuales se quiere operar; Benedicks las ha calculado según los límites siguientes:

Valores de P_1 Kilogramos.	Valores de P_2 Kilogramos.	$\frac{P_1 + P_2}{2}$ Kilogramos.	Valor de l Kilogramos.
100	590	300	3.700
500	4.000	2.250	17.000

Por consiguiente, para deducir el número de dureza normal, ó sea con bola de 10 milímetros y presión de 3.000 kilos, en función del número determinado con presión y diámetros diferentes se utilizará la fórmula:

$$\Delta = \Delta_p \cdot \sqrt[5]{\frac{p}{10}} \cdot \frac{20.000}{17.000 + p}$$

ESTUDIOS DE GRARD.—El Capitán de Artillería del Ejército francés M. Grard ha estudiado detenidamente el método Brinell y ha sido uno de los experimentadores que ha llegado, no sólo á conclusiones más concretas y favorables para el método, sino también el que ha hecho experiencias más detalladas y minuciosas.

Su estudio tiene como principal finalidad determinar las causas de error que pueden presentarse al operar con este método y evaluar su importancia para darse cuenta de la influencia que en los resultados obtenidos pueden tener aquéllas, al objeto de ponderar las garantías que pueda ofrecer el método.

CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DE LA IMPRESIÓN.—En la figura 3.^a se indica la sección diametral de una impresión realizada en las condiciones normales.

Para evaluar su superficie pueden adoptarse dos criterios según se mida su profundidad ó su diámetro.

En el primer caso la fórmula que debe emplearse es:

$$a = \pi \cdot D \cdot h$$

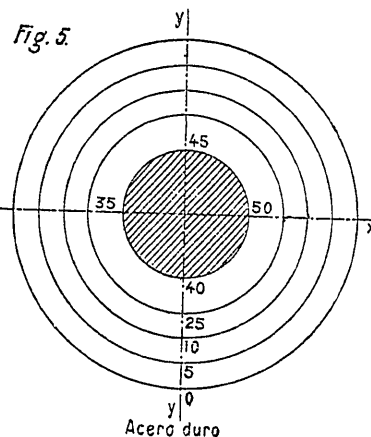
Examinando dicha figura se observa pueden adoptarse dos valores diferentes para h , según se tome como referencia el plano superior de la probeta ó la arista de la impresión.

Dichas alturas son h y $h' = h + \varepsilon$, luego la superficie de la impresión resulta más pequeña con el primer valor que con el segundo, ó sea que el número de dureza será mayor en el primer caso.

Como ejemplo de la forma exacta que tiene la impresión, se representa en la figura 5.^a y en planta acotada las alturas de los diversos puntos de una impresión en acero duro, en la que se indican para diversos diámetros las cotas de los mismos.

Si se adopta la medida h , es preciso para tomar esta cota apoyar el aparato necesario á bastante distancia de la impresión, para tener la seguridad de que la superficie de referencia no está

alterada, lo que obliga á que dicha superficie se encuentre labrada y pulimentada, sujeción que, dado el carácter rápido y práctico del ensayo, y sobre todo la posibilidad y ventaja de operar sobre los mismos cuerpos acabados, hace casi imposible trabajar en esta forma, debiéndose, por lo tanto, adoptar h' como cota



inicial, pues para su determinación se puede en cualquier caso y forma tomar las cotas de varios puntos de la arista y determinar la media.

En el segundo caso, ó sea si se mide el diámetro, la fórmula que debe emplearse es:

$$a = D \cdot \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

Se miden dos diámetros rectangulares y se deduce el valor medio; este procedimiento tiene el inconveniente de que si la bola se ovala algo durante el ensayo, la medida de aquéllos puede ser mayor que la que correspondería al verdadero diámetro de la bola, siendo muy difícil la determinación de esta diferencia por verificarse dicha deformación en su período elástico y recobrar, por lo tanto, su diámetro y forma primitiva.

Las experiencias anotadas en el cuadro adjunto están realizadas en estas condiciones, y puede observarse por los resultados obtenidos operando con h ó con d son tan parecidos que justifica sea igual adoptar uno ú otro procedimiento.

Siendo más cómodo determinar d que h , se adoptará aquel método en las experiencias que deben realizarse.

TIPOS de aceros.	D — mm.	OPERANDO CON h				OPERANDO CON h'				Diferencia de los valores.
		h mm.	a mm ²	Δ	Δ med	h' mm.	a' mm ²	Δ	Δ med	
1	10,008	0,604	18,99	158		0,696	21,88	138		
2	»	0,571	17,95	167		0,675	20,22	148		
3	»	0,571	17,45	167	164	0,677	21,28	141	143	21
4	»	0,579	18,20	165		0,674	21,19	142		
5	»	0,571	17,95	167		0,656	20,62	146		
6	10,010	0,497	15,63	192		0,591	18,58	161		
7	»	0,507	15,94	189		0,589	18,52	162		
8	»	0,497	15,63	192	191	0,573	18,01	167	166	25
9	»	0,500	15,72	191		0,570	17,92	176		
10	»	0,500	15,72	191		0,576	18,11	166		
11	10,006	0,428	13,45	223		0,408	14,71	204		
12	»	0,421	13,23	227		0,497	15,63	192		
13	»	0,420	13,20	227	228	0,478	15,03	204	201	27
14	»	0,413	12,98	231		0,468	14,71	204		
15	»	0,409	12,86	233		0,462	14,52	207		

TIPOS de aceros.	D — mm.	OPERANDO CON <i>d</i>			
		<i>d</i> — mm.	<i>a</i> — mm ²	Δ	Δ med
1 } 2 } 3 } 4 } 5 }	10,008	5,06	21,60	139	142
	»	5,00	21,04	143	
	»	5,00	21,04	143	
	»	5,00	21,04	143	
	»	4,98	20,88	144	
6 } 7 } 8 } 9 } 10 }	10,010	4,70	18,43	163	166
	»	4,66	18,11	166	
	»	4,63	17,86	168	
	»	4,64	18,09	167	
	»	4,66	18,11	166	
11 } 12 } 13 } 14 } 15 }	10,006	4,29	15,24	197	203
	»	4,25	14,93	201	
	»	4,24	14,86	202	
	»	4,22	14,68	205	
	»	4,19	14,49	210	

APRECIACIÓN DE LOS ERRORES QUE PUEDEN COMETERSE. —En dos grupos pueden clasificarse estos errores:

- 1.º Errores debidos á la precisión de los aparatos empleados.
 - a) Aparatos de presión.
 - b) Aparatos para la medición del diámetro.
- 2.º Errores debidos á las condiciones de la experiencia.
 - c) Rapidez en poner en presión el aparato.
 - d) Duración de la presión.
 - e) Influencia del sentido en que se ejerce la presión con relación á la dirección del laminado.

Teniendo en cuenta todas estas causas de error y siguiendo de un modo constante un método racional y uniforme, es fácil darse cuenta de la influencia de todas y cada una de estas causas de error.

GRUPO 1.º a) y b). —La fórmula general que determina los errores que pueden cometerse, es la siguiente:

$$\frac{\delta \Delta}{\Delta} = \frac{\delta p}{p} + 2 \frac{\delta d}{d}$$

por entrar en primer grado la presión y en segundo el diámetro.

Dada la precisión de los aparatos que después se describirán, y las muchas experiencias realizadas, la presión se puede medir, sin inconveniente alguno, con el 0,30 por 100 de error.

La precisión en la medida de los diámetros está, como es natural, limitada por la limpieza de los bordes de la impresión, suponiéndolas netas; el aparato utilizado, menos exacto, mide el 1,20 de milímetro, ó sea para un diámetro medio de 5 milímetros el 1 por 100, luego $\frac{\delta \Delta}{\Delta} = 3$ por 100.

Detallando estas consideraciones generales, transformemos este error en cifras Brinell.

APARATOS DE COMPRESIÓN. —Las máquinas empleadas permiten hacer una tara con una aproximación en el manómetro de 5 kilogramos, luego el error total, teniendo en cuenta que las lecturas pueden estar afectadas de error por paralaje de otros 5, llegaría á 10 kilogramos.

Después de varias experiencias anotadas en el cuadro que se inserta á continuación, para diversas clases de acero y presiones variables de 100 en 100 kilogramos, se han hallado las influencias de éstas en el diámetro de la impresión, y, por lo tanto, en el número de dureza:

ACEROS	Presiones. — Kgs.	Diámetro de la impresión. — mm.	Aumento de diámetro. — 1/10 mm.	Número de dureza.	Disminución del número de dureza.
Dulce.....	2.700	5,25	»	128	»
	2.800	5,35	+ 10	124	— 4
	2.900	5,45	+ 10	118	— 6
	3.000	5,55	+ 10	114	— 4
	3.100	5,62	+ 7	111	— 3
Semiduro.	2.700	4,26	»	201	»
	2.800	4,33	+ 7	193	— 8
	2.900	4,40	+ 7	187	— 6
	3.000	4,46	+ 6	182	— 5
	3.100	4,52	+ 6	177	— 5
Duro.....	2.700	4,03	»	225	»
	2.800	4,11	+ 8	216	— 9
	2.900	4,17	+ 6	210	— 6
	3.000	4,23	+ 6	204	— 6
	3.100	4,29	+ 6	197	— 7

Del cuadro se deduce que las variaciones máximas del número de dureza, para una diferencia de 100 kilogramos en la presión, es 9, luego para los 10 kilogramos, error máximo cometido al leer en el aparato, la variación será 0,9, ó sea menos de una unidad Brinell.

INFLUENCIA DE LA BOLA. —Las bolas utilizadas son de 10 milímetros de diámetro, de acero templado al cromo y son casi rigurosamente esféricas.

Se han medido los diámetros de 100 bolas, en las cuales 70 variaba entre 10 y 10,010 milímetros, quedando desechadas las restantes; de este lote se separaban 20, cuyo error de diámetro variaba entre 10,002 y 10,010 milímetros, utilizándose sólo las 50 cuyo diámetro más distinto del reglamentario llegaba á valer 10,002 milímetros.

Este error no es apreciable en unidades Brinell.

(Continuará.)

EL AGUA DEL LOZOYA

(De la sesión del 20 del corriente en el Congreso de los Diputados.)

El Sr. VICEPRESIDENTE (Canals): El Sr. Nicolau tiene la palabra para alusiones personales.

El Sr. NICOLAU: Voy á intervenir brevísimamente en este debate, cosa que no pensaba hacer, á pesar de haber sido aludido algunas veces; pero la manifestación que hizo aquí el Sr. Ministro de la Gobernación de que había mandado este asunto á informe del Consejo Superior de Sanidad, me mueve á hacer algunas indicaciones, que se concretarán en un ruego que pienso dirigirle.

El problema de la depuración de las aguas de Madrid, señor Ministro de la Gobernación, es ante todo un problema de ingeniería sanitaria. En vano será que en él intervengan las personalidades de más alto valer científico en materia médica y en materia sanitaria; será preciso que igualmente intervengan en él cuantos han estudiado estos problemas de ingeniería sanitaria y cuantos han hecho profesión de esta materia, para resolverlo de una manera acertada.

En este mismo asunto que estamos tratando aquí yo he de hacer una manifestación: la de que la depuración de las aguas del Lozoya será imposible ínterin no se resuelva el problema de las turbias.

Es evidente que si el agua es clara se la podrá depurar, se la