

# 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).

(CONCLUSIÓN)

APARATOS MARTENS.—V. Martens, Director del Real Laboratorio de ensayos de Charlotemburgo, ha ideado otro aparato, fundado en distinto principio, pero que también da las lecturas con gran precisión y sencillez y análogamente al anterior realiza la medición directa de la profundidad de la impresión.

El aparato representado en la figura 16 está en comunicación por el tubo (a) con un depósito de agua á presión, penetrando debajo de un disco de cuero (b) inferior al cual hay una membrana de (c), ambas fuertemente comprimidas, aislando de un modo perfecto el espacio comprendido entre la armadura (d) y el platillo (e).

Cuando se admite el agua se elevan el embolo (b-c) y el pistón (f) cuya superficie útil es de 500 centímetros cuadrados, transmitiendo estos elementos una presión determinada.

Se determina la del agua por un manómetro cuyo grado 300 equivale en el pistón á una presión superficial de 6 kilogramos por centímetro cuadrado, luego la presión en ésta, cuando el manómetro marque grados, será  $P = r \frac{6.500}{300} = 10 \cdot r$ , al llegar á la presión máxima  $r = 300$ , luego  $P = 3.000$  kilogramos, ó sea la presión del ensayo normal.

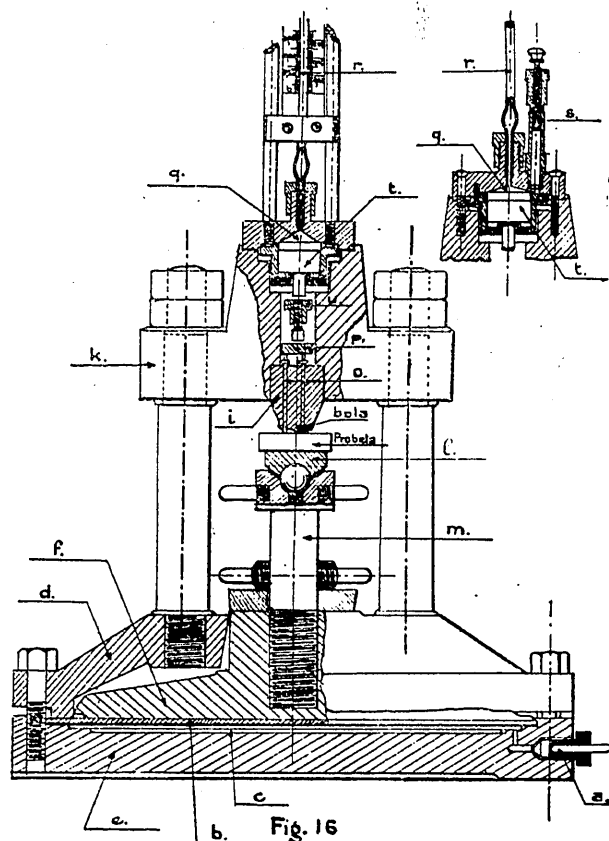
La bola se sujeta por medio de cera en una pieza (i) que se apoya en la armadura principal del aparato (k) colocándose la probeta sobre la pequeña base (l) que descansa sobre el tornillo (m) que sirve para colocarlos en contacto con la bola.

La disposición destinada á la lectura de la profundidad de la impresión está colocada en la parte superior del aparato.

Tres pequeñas varillas de acero (o) se aplican sobre la superficie del cuerpo que se ensaya, terminan en el dado (p), sobre éste descansa un pistón (n) que transmite sus movimientos verticales á la pieza, sobre la cual, y aislada, se encuentra la cámara (q) llena de mercurio, que se eleva dentro de un estrecho tubo (r) en

el que por medio de una pequeña bomba se hace llegar dicho cuerpo hasta el índice cero de la escala.

La operación se realiza del siguiente modo: se coloca el cuerpo á ensayar sobre (l), se eleva con el tornillo (m) hasta ponerle en contacto con la bola que no varía de posición, apoyándose entonces en el cuerpo las tres varillas (o); se da entrada al agua



hasta que el manómetro llegue al grado 300, ó sea una presión contra la bola de 3.000 kilogramos, quedando el cuerpo marcado por aquella, elevándose lo que permite su naturaleza y su dureza.

Las tres varillas (o) se elevan y hacen subir la pieza (t), la que comprime al mercurio haciéndole ascender por el tubo marcando en la escala correspondiente una cierta altura  $h'$ .

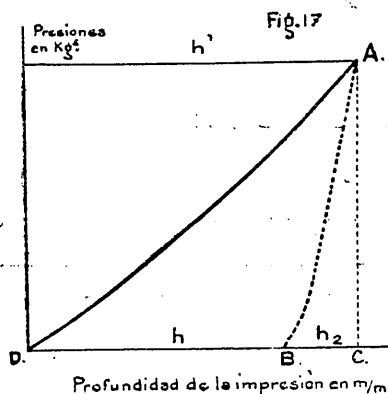
Esta altura no es como á primera vista aparece, la profundidad de la impresión, sino que en ella está incluida además de esta altura  $h$  otra  $h''$  debida á las deformaciones elásticas de aparato, el aplastamiento de la bola y la variación de espesor de la probeta, puesto que el aparato lo que únicamente registra es

(1) Véase el número anterior.

la cantidad que la superficie superior del cuerpo ensayado se eleva con relación a su posición inicial.

Para determinar el valor de  $h$  pueden utilizarse dos procedimientos.

Si se comprime sobre un cuerpo cualquiera una bola con una presión creciente, la relación entre ésta y la profundidad de la impresión se puede representar por la curva  $OA$  de la figura 17,

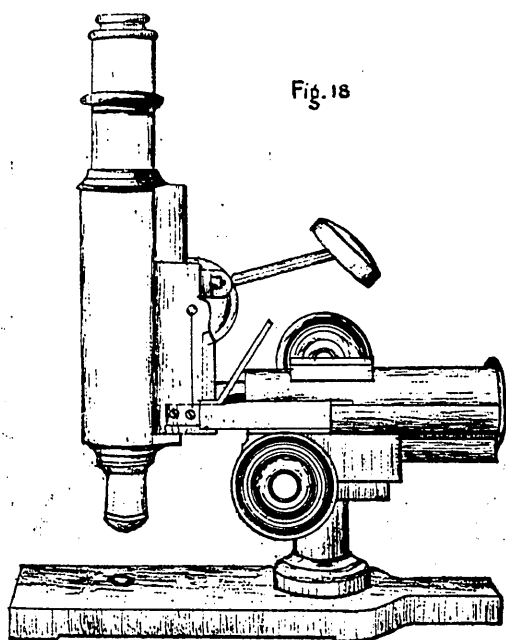


en la que la ordenada son las presiones y las abscisas las profundidades; supongamos que el punto A es el final de la experiencia y la altura medida en el aparato es  $h'$ .

Si se cierra el tubo de llegada del agua y se da salida a la que había penetrado en el aparato, la presión baja, siendo la forma de la curva de presiones en la descarga, la indicada por  $AB$ , quedando el manisco de mercurio en una altura  $h$  para una presión cero durante algún tiempo, descendiendo luego por su peso hasta cero.

La abscisa  $OB = h$  corresponde a la profundidad efectiva de la impresión y  $BC$  es la suma de las correspondientes a las deformaciones antes mentadas.

Otro modo bien sencillo de determinar  $h$  consiste en utilizar el tornillo  $m$  para descender la probeta, con objeto de que quede libre del contacto de la bola, descargándose un tanto el aparato; cuando ha terminado la descarga se vuelve a elevar hasta restablecer el contacto efectivo, llevando la bola al fondo de la impre-



sión; el valor que en la escala marque el mercurio indicará la profundidad buscada.

El número de dureza sería, según Brinell,  $\frac{P}{2\pi q h}$ , siendo  $q$  el radio de la bola; pero no sería exacta esta expresión si se tiene

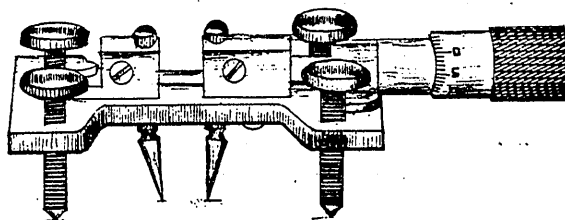
en cuenta la deformación de la bola, sino esta otra  $\frac{P}{2\pi q' h}$ , siendo  $q'$  el radio de curvatura de la impresión, variable según la presión.

Para la aplicación del sistema se emplean únicamente valores fijos para  $P$  y  $r$ , ó sean 3.000 kilos y 5 milímetros, no habiendo entonces otra incógnita en la expresión que el valor de  $h$ .

OTROS APARATOS.—Han sido construídos por las casas Falcot, Aktrenbalaget Alpha, Amsler Lafen, Huber Wagner, en cuya descripción no hay para qué detenerse, pues aunque tienen algunas disposiciones particulares interesantes no difieren gran cosa de los descritos.

SEGUNDO GRUPO: MICROSCOPIO DE BAINELL.—En la figura 18 se representa el usado por el creador del método, no siendo preciso explicación alguna para comprender perfectamente su funcionamiento y utilización, siendo pequeña en realidad la variación que han experimentado los microscopios hoy usados, siendo casi idénticos al primitivo.

Otro tipo de aparato se utiliza, sobre todo para la determina-



ción de diámetro de piezas terminadas de máquinas, etc.; se representa en la figura 19, no siendo preciso tampoco explicación ni descripción para comprender su aplicación.

#### Aplicación práctica del método.

El procedimiento que se ha estudiado puede considerarse desde dos puntos de vista diferentes:

El primero como ensayo de dureza en sí.

El segundo por su relación con la determinación del límite de resistencia de los materiales.

Como corolario de ambos el de la comprobación de la homogeneidad de la masa de los metales.

Como ensayo de dureza está indicada su aplicación, pues todas las experiencias realizadas han sido concordantes y convincentes.

Desde el expresado punto de vista, los resultados han sido muy satisfactorios, y todos los estudios realizados han llegado en resumen a coincidir en las bases primordiales del método; aunque ligeramente difieren en pequeños detalles de números y coeficientes, y es evidente que su aplicación sería de verdadera importancia y trascendencia.

La sustitución del ensayo de tenacidad y resistencia por el de dureza sería muy ventajosa, pues permitiría reemplazar las costosas máquinas de ensayo a la tracción por otras mucho más sencillas, pues aunque se quisiera conocer el alargamiento y extricción bastaría un simple aparato que ejerciese los esfuerzos de tracción sin que tuviese que dar indicación de los mismos, pues las medidas que deberían obtenerse se tomarían en las mismas probetas.

¿Puede y debe en la situación actual de la cuestión sustituirse un ensayo por otro? Quizá todavía no.

Seguramente esta sustitución será el límite de una larga serie de ensayos comparativos de ambos ensayos, los dos con ca-

rácter práctico, no con el carácter de sencillas experiencias de laboratorio experimental como hasta ahora se ha hecho.

Conviene estudiar dicha sustitución, viendo la cuestión no sólo desde el punto de vista del constructor ó el que emplea los materiales, sino también por el fabricante de ellos. Para el primero, realmente, el ensayo de tenacidad con sus derivaciones, para determinar el límite elástico, alargamiento, etc., tiene gran importancia, puesto que le da á conocer características de los metales, que le es necesario conocer para su empleo racional y adecuado, pero le es indiferente que la indicación que le dan á conocer de estos materiales se le faciliten por uno ú otro procedimiento.

En cambio, ¿qué de ventajas no le reporta el que estos ensayos puedan multiplicarse mucho más, que los métodos clásicos, pues así conoce mucho mejor el material con el que trabaja?

Esto es de gran importancia para los materiales que utiliza en sus construcciones, pero ¿qué no se dirá, si el método le permite conocer las propiedades características del metal mismo, de que están construidas piezas terminadas con que con aquéllos métodos era imposible realizar?

Ha de tener, por lo tanto, el constructor gran interés en la adopción de este procedimiento.

Por lo que se refiere al fabricante, su interés quizá sea mayor todavía, pues su empleo no ha de dar lugar á cambio alguno ni en la fabricación ni clasificación de los materiales, lo que podía ocasionarle gastos cuantiosos; en cambio, estos ensayos pueden multiplicarse en extremo con gran economía; le ha de ser muy fácil evitar que le sean rechazadas grandes partidas de materiales, porque uno ó varios de los que las constituyen de mal resultado, como sucede con los métodos hasta ahora empleados, pues como los ensayos son en pequeño número, hay que fiarse del resultado obtenido en pequeño número de piezas para juzgar del estado y calidad de todas las pertenecientes á su lote, pudiéndose así desechar algunas en buen estado ó reciprocamente; si el resultado obtenido ha sido favorable, admitir quizá algunas en malas condiciones, y como todo fabricante de buena fe ha de desear que lo que entrega sea realmente de recibo, ha de encontrar este procedimiento excelente, pues considerando el argumento en su límite, permite probar y ensayar todas las piezas fabricadas con gran economía.

Queda demostrado que el fabricante no puede por menos de mirar con simpatía este método de ensayo.

Conyendrá, pues, ver si en el estado actual del asunto se puede ó no realizar la sustitución del método clásico.

Opino que todavía es algo prematuro; pero si se debe incluir en los pliegos de condiciones al mismo tiempo que el método antiguo, pues utilizando los dos simultáneamente se reúnen datos y enseñanzas bastantes para que más adelante, con verdadero conocimiento de causa y de los materiales que en España se emplean, pueda hacerse insensiblemente la sustitución.

En los Congresos de Bruselas de 1906, Copenhague 1909 y Washington en 1912, celebrados por la Asociación Internacional de Ensayos de materiales de construcción se ha tratado esta cuestión obteniéndose en aquél conclusión orientada en el sentido indicado que dice textualmente:

*«El Congreso opina que para la recepción de los materiales metálicos, la medida de la tenacidad puede completarse á título documental en el mayor número posible de casos con el número de dureza Brinell.»*

El Congreso de 1909, en Copenhague, acordó recomendar la continuación de los ensayos, y en el más reciente de Washington se volvió á ocupar del asunto pero sin tomar acuerdo algu-

no, dejando, por lo tanto, vigente á la lácita el del Congreso anterior.

Seguramente partiendo de estos acuerdos, y en vista de los buenos resultados obtenidos, se han establecido en muchas fábricas y administraciones; á continuación se indican algunas de las más importantes:

**FÁBRICA DE ARMAS Y CAÑONES.**—En Francia é Inglaterra se ha establecido en las fábricas nacionales y particulares para el acero empleado en los cañones.

**COMPAÑÍAS DE FERROCARRILES: FERROCARRILES PRUSIANOS.**—Propuesto por *Schewarse* se ha adoptado para la recepción y ensayo final en llantas montadas en sus ejes.

Para los carriles prescriben se haga doble número de ensayos Brinell que de tracción.

Piden profundidades de impresión con bolas de 19 milímetros y presiones de 50.000 kilogramos comprendidas entre 5 y 5,5 milímetros para los carriles con resistencia mínima de 60 kilogramos por milímetro cuadrado, y de 4,50 á 5 milímetros para los que tienen resistencias mínimas de 70 kilogramos por milímetro cuadrado.

**FERROCARRIL NORTE, EMPERADOR FERNANDO.**—Hacen múltiples ensayos Brinell en la recepción de carriles, sólo á título informativo, pero con tendencia á la sustitución.

**FERROCARRILES RUSOS.**—Está prescrito el ensayo Brinell en todos los pliegos, pero sin que los resultados que de él se obtengan decidan la aceptación ó rechazo de la partida.

**FERROCARRILES ITALIANOS DEL ESTADO.**—Se han hecho múltiples ensayos en el Laboratorio oficial de estos ferrocarriles, habiéndose publicado en *Ingeniero Ferrovia* los resultados de 34 grupos de los mismos, copiándose á continuación las consecuencias deducidas:

1.<sup>a</sup> Existe una relación casi constante entre el número de dureza y el límite de resistencia, la cual, para carriles escogidos, presentando entre sí las mayores anomalías, resulta con valores, cuyo promedio, para diversas dosis de carbono, es de 0,333.

2.<sup>a</sup> Las anomalías observadas en el ensayo de dureza son de menor importancia que las registradas en el ensayo de tracción; y

3.<sup>a</sup> Se puede medir de un modo suficientemente aproximado el número de dureza con una probeta tipo, y pueden emplearse aparatos portátiles, que permitan hacer las pruebas sin mover los carriles, objetos del ensayo.

Vemos, pues, que ya han pasado los ensayos Brinell del período de laboratorio al terreno práctico, y esto invita todavía más á pensar su inclusión en España en los pliegos de condiciones, y en su vista tengo la honra de proponer al Congreso la siguiente conclusión por lo que se refiere á la primera parte de esta Nota:

**CONCLUSIÓN 1.<sup>a</sup>** *«Procede y es conveniente incluir cuanto antes en los pliegos de condiciones para la recepción de los materiales metálicos, y en especial de carriles, el ensayo Brinell, que deberá practicarse en número doble, por lo menos, que el de tracción, por ahora sólo á título informativo, recogiendo los datos que de los mismos se deduzcan para llegar en momento oportuno á su sustitución por aquél.»*

Como propuesta aproximada é hipotética, dada la calidad general de los carriles usados en España, y sobre la base de modificarla á la vista de los resultados obtenidos en los ensayos, podría exigirse que con el ensayo normal, es decir, con presiones de 3.000 kilogramos y bola de 10 milímetros de diámetro, se hiciesen impresiones cuyo diámetro variase entre 4,25 y 4,50 milímetros.

## APÉNDICE

Sólo con el carácter de complemento á todo lo expuesto, se indican á continuación muy ligeramente dos métodos de ensayo de materiales metálicos, deducidos del método Brinell y del que pueden considerarse como variantes.

Como los resultados obtenidos no han sido todavía completamente satisfactorios, pues los resultados teóricos no concuerdan con los obtenidos en la práctica, no pueden todavía salir estos métodos del período de ensayo; pero considero interesante su mención por el carácter de los mismos de derivados del Brinell.

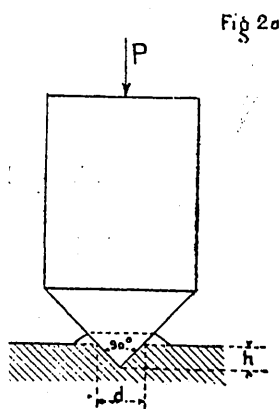
**Método Roos.**—Este método es del mismo género que el Brinell, es decir, consiste en determinar las condiciones de un metal por la impresión que en él produce una bola; pero produciéndose aquélla, no por presión estática, sino por acción dinámica, es decir, mediante el choque de una maza en la bola apoyada en el cuerpo á ensayar.

Roos, después de prolijos cálculos que no considero necesario copiar en esta Nota, deduce la constancia de la relación  $\frac{a^2}{Q}$  siendo  $a$  la superficie de la impresión y  $Q$  el trabajo mecánico gastado en el choque, no existiendo tal constancia en la práctica, aunque sin ser demasiado grandes las diferencias.

Para pasar al límite de resistencia necesita utilizar las cifras de dureza estática, y, como consecuencia también de largos cálculos, deduce que la relación  $\frac{\Delta D^2}{\Delta F}$ , siendo sus términos ambos números de dureza, debe ser también constante; pero los resultados obtenidos difieren en cantidades de importancia que llegan al 22 por 100.

Estos resultados no permiten todavía la aplicación del sistema que, aunque muy interesante, se encuentra todavía en período de ensayo.

**Método Ludwik.**—En este método se sustituye la bola del sistema Brinell por un útil cilíndrico, en su parte superior limitado por un plano normal á las generatrices, y en su parte infe-



rior está labrado un cono recto, tal que el ángulo de las generatrices sea 90°.

El número de dureza (fig. 20) es:

$$\Delta = \frac{P}{a} = \frac{P}{\frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2}} = \frac{P}{1,11 d^2} = \frac{P}{4,44 h^2}$$

El aparato empleado permite medir la profundidad al mismo tiempo que realiza la impresión.

También puede medirse el diámetro siguiendo los procedimientos usados en el sistema Brinell.

Este procedimiento presenta pocas ventajas sobre el Brinell, pues aunque casi es el mismo, todavía no están bien determinados los coeficientes y valores numéricos correspondientes, y esto hace que no se hayan extendido.

## SEGUNDA PARTE

## Medición de las durezas por el desgaste superficial.

Una gran parte de los metales en su forma definitiva de aplicación están sometidos á importantes é intensos trabajos de desgaste por rozamientos de unas superficies con otras.

Es muy interesante y útil poder clasificar los metales de frecuente uso y aplicación, por su mayor ó menor resistencia al mentado trabajo; conocer las circunstancias que modifican esta resistencia, como composición, fabricación, etc., al fin de aplicar aquéllas en cada caso particular en la forma más conveniente y apropiada al objeto de que se trata.

La resistencia que presentan los cuerpos para ser más ó menos desgastados es una manifestación ó aspecto especial de la dureza de los mismos, y puede sin inconveniente alguno incluirse en la definición general de dureza, dada al comienzo de esta Nota, al considerarla como la mayor ó menor dificultad que un cuerpo presenta para ser penetrado por otro.

Hasta ahora poco ó nada se ha tratado acerca de la conveniencia de someter á los cuerpos metálicos que en su trabajo habitual han de estar sometidos á enérgico rozamiento, á ensayos que determinen su aptitud para el mismo, y esta segunda parte de la presente Nota se dedica íntegra á este interesante aspecto del ensayo general de dureza.

Se estudiarán los antecedentes ó corta historia de esta clase de ensayos, todos ellos de índole experimental, las varias formas en que puede realizarse, sus relaciones con otros ensayos de dureza y, por último, su aplicación á la práctica.

**ENSAYOS DE DESGASTE.**—Los cuerpos al trabajar al rozamiento y experimentar desgaste el uno por el otro, pueden hacerlo en tres formas distintas, según se indica á continuación, anotándose un ejemplo típico de cada trabajo.

- a) Desgaste sencillo.—Los canchales de los elevadores.
- b) Desgaste lubricado.—Los elementos de las máquinas.
- c) Desgaste en seco.—Los carriles al paso de los trenes.

En las tres formas de realizar el desgaste, el hecho que se produce consiste simplemente en que el cuerpo más duro, por muy pulimentado que prácticamente esté, penetra en la superficie del más blando, por las rugosidades y salientes microscópicas que aquél presenta, haciendo en éste arañazos y estrías más ó menos profundos, haciéndole perder en su movimiento relativo cierta cantidad de materia según el grado de dureza relativa del uno con relación al otro.

Ensayos de esta clase han sido realizados desde 1902, siendo sus iniciadores Codron y Schleringer y continuados por Saniter, Nusbaumer, y últimamente por Breuil y Robin.

Todos los ensayos realizados tienen, como es natural, un aspecto común; consisten en producir un rozamiento más ó menos enérgico en el cuerpo que se quiere ensayar, por medio de un cuerpo desgastante más duro, como, por ejemplo, piedra de afilar, arena, papeles esmeril, acero extraduro, etc.

En general se adopta como coeficiente de desgaste ó término de comparación para clasificar los metales y realizar los estudios señalados, la cantidad en peso ó volumen desgastado del cuerpo ensayado en un cierto tiempo y determinadas condiciones.

A continuación se detallan los ensayos recientemente verificados, no parándonos en los de Codron y Schleringer que, aunque pueden considerarse como los iniciadores de esta clase de trabajos, llegaron á resultados poco precisos que no aclaran ni ilustran las consecuencias á que es preciso llegar.

**ENSAYOS MODERNOS.**—*Método Breuil.*—Breuil, encargado de la sección de metales en el Laboratorio de la Escuela Central de París, ha realizado numerosos ensayos de desgaste en metales,

tanto como consecuencia de peticiones de particulares como á título especulativo.

Empleó primeramente la máquina Dorry; una plataforma de fundición perfectamente horizontal, constantemente cubierta por arena fina y húmeda de Fontainebleau.

Las probetas eran cilíndricas de 10 milímetros de diámetro, sometidas á presiones variables de 0,5 á 12,3 kilogramos por centímetro cuadrado.

Los metales que principalmente ensayó fueron bronce, aleaciones blancas á base aluminio y fundiciones.

El número de vueltas que la plataforma tenía que dar desgastando á la probeta variaba de 5.000 á 200.000, según la naturaleza de los metales.

Sobre estos ensayos hizo Breuil una moción que presentó á la Sección francesa de la Asociación internacional de Ensayos de materiales de construcción, en su sesión de 6 de Marzo de 1909, en la que confesaba el poco éxito de los ensayos realizados, pues no le permitían deducir consecuencias concretas.

Abandonó la máquina Dorry y utilizó la piedra de afilar para los mismos, igualmente sin éxito, pues observó que ésta no cumplía la condición inexcusable para esta clase de ensayos, cual es la absoluta constancia práctica de las condiciones del mismo, lo que exige perfecta invariabilidad del medio empleado, y en la piedra sus granos se redondean si el ensayo es un poco largo, disminuyendo su poder de ataque con la duración del mismo.

Podría retocarse la piedra, pero esta operación no ofrece garantías de que quede en el mismo estado primitivo, no siendo tampoco cosa de cambiar la piedra para cada ensayo.

Fué igualmente abandonada la piedra y adoptado el papel esmeril del comercio, en el cual, después de numerosos ensayos, encontró una constancia y uniformidad grandes, que lo hacían apto para esta clase de ensayos á pesar de la exactitud de los mismos.

Se puede renovar el papel para cada ensayo; siendo muy bajo en coste, no produce grandes dispendios esta precaución.

El ensayo de una muestra dura tres minutos, en cuyo tiempo no se deteriora el papel, ni se eleva la temperatura de aquella sensiblemente; esta circunstancia es muy de apreciar, pues podría variar completamente las condiciones del ensayo.

Los resultados obtenidos para varios metales permiten clasificar éstos, cuando las condiciones del ensayo han sido idénticas para todos.

A continuación se indican, en corroboración de lo expuesto, los coeficientes de desgaste para varios aceros experimentados con una presión de un kilogramo por centímetro cuadrado durante tres minutos, habiéndose repetido tres veces cada ensayo.

|                                                  |                                                                                                          |                       |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Aceros con 0,7 de C.....                         | $\left\{ \begin{array}{l} 340 \text{ miligramos.} \\ 352 \text{ »} \\ 354 \text{ »} \end{array} \right.$ | Medio 349 miligramos. |
| Aceros con 0,94 de C (templado).....             | $\left\{ \begin{array}{l} 100 \text{ miligramos.} \\ 80 \text{ »} \\ 90 \text{ »} \end{array} \right.$   | Medio 90 miligramos.  |
| Aceros con 0,13 de C y 0,05 de Ni.....           | $\left\{ \begin{array}{l} 315 \text{ miligramos.} \\ 312 \text{ »} \\ 352 \text{ »} \end{array} \right.$ | Medio 325 miligramos. |
| Aceros con 0,5 de C, 21 de Ni y 0,017 de Cr..... | $\left\{ \begin{array}{l} 102 \text{ miligramos.} \\ 112 \text{ »} \\ 107 \text{ »} \end{array} \right.$ | Medio 107 miligramos. |

En la mentada sesión en que Breuil presentó su trabajo, fué éste objeto de gran discusión, no encontrando por los miembros presentes gran acogida los datos obtenidos y consecuencias deducidas, principalmente por la forma de practicar el ensayo, no inspirando demasiada confianza por el poco tiempo á que cada cuerpo estaba sometido al ensayo, separándose por ello algún

tanto de las condiciones prácticas de su empleo, no saliéndose del terreno experimental.

La realidad difiere mucho en un caso del otro, sobre todo por el tiempo que los materiales trabajan en el ensayo de Breuil.

Fué excitado á que continuara los estudios de tema tan interesante.

ENSAYOS DE ROBIN.—F. Robin presentó en el Iron and Steel Institute el año 1909 un interesante trabajo sobre este asunto, acudiendo á uno de los varios concursos *Carnegie*, costeados por este conocido filántropo.

Los ensayos realizados por Robin, que le han servido para redactar su trabajo, han sido practicados utilizando papeles esmeril distintos en cada ensayo.

También ha encontrado en el comercio, aun en contra de ideas muy extendidas, ejemplares de papeles de suficiente uniformidad para poder ser utilizados en estos trabajos.

Dispuso de un torno de eje vertical, con una plataforma horizontal móvil á la que se aplica el papel esmeril por cualquier procedimiento.

La probeta que se ha de ensayar se coloca sobre el papel y se la mantiene fija en el extremo de una palanca, unida á una disposición que, por intermedio de una junta Cardan, permite su movimiento sobre la superficie del papel, manteniendo constante y exactamente horizontal la superficie de la probeta colocada en contacto del papel.

Esta palanca, lastrada por pesos, está mantenida contra la superficie de la plataforma por resortes debidamente colocados.

Conviene evitar en el ensayo que la temperatura de la probeta se eleve, sensiblemente, sobre la del ambiente.

Generalmente se toma un recorrido de 200 metros sobre una pista de 145 milímetros de diámetro, con una velocidad media de 150 vueltas por minuto, siendo la superficie de la probeta en contacto la de 15 milímetros de diámetro, determinándose la pérdida en peso de éstos (1).

En esta forma no se llega á calentar la probeta, la que se enfría durante cada pesada, y al mismo tiempo se comprueba la uniformidad del ensayo.

El coeficiente de desgaste de cada probeta se fija dividiendo la pérdida de peso total durante los tres minutos de experiencia con el mismo papel, por el número de centímetros cuadrados de la sección en contacto con ésta.

Para que el método tenga valor es preciso que los resultados obtenidos sean bastante concordantes; de los resultados obtenidos se han apreciado algunas variaciones que oscilan en la casi totalidad de los casos entre el 2 y 4 por 100; únicamente en un ensayo llegó al 10 por 100.

Puede aceptarse como bastante exacto el método empleado, aunque tiene los mismos defectos que se señalaron en las experiencias de Breuil, al no asimilarse á la realidad por la corta duración del ensayo.

CIRCUNSTANCIAS QUE INFLUYEN EN EL ENSAYO.—Entre las varias que pueden escogerse, se señalarán las siguientes:

1.<sup>a</sup> *Presión*.—El desgaste es tanto mayor cuanto lo es la presión de la probeta sobre el cuerpo desgastado.

Tiene como límite la resistencia de la sustancia que une los granos al papel, así como la de éste mismo.

En general, no debe pasarse de un kilogramo por centímetro cuadrado.

En cada metal es distinta la curva que relaciona los desgastes con las presiones, variando también con la dureza de los esmeriles, haciéndose más rápido el aumento del desgaste.

(1) Se subdivide el ensayo de tres minutos en tres ensayos de un minuto; después de cada uno de éstos se comprueba el desgaste experimentado.

2.<sup>a</sup> *Superficie*.—El desgaste es proporcional á la superficie en contacto con el esmeril; su forma es indiferente, no conviniendo que sea poligonal, pues con los vértices se producen bruscos arranques del grano del papel.

3.<sup>a</sup> *Velocidad*.—La velocidad aumenta la potencia de desgaste para un mismo recorrido y en las mismas condiciones de presión.

Este efecto se explica por el hecho de que la fuerza viva del grano, proyectado sobre la superficie á estudiar, crece con el cuadrado de la velocidad.

Con el paso de un mismo número de granos por la superficie de la probeta, cuanto mayor sea su fuerza viva, el trabajo será mayor, y, por lo tanto, más considerable el desgaste.

Según la naturaleza de los metales, varía el grado de proporcionalidad.

4.<sup>a</sup> *Naturaleza del cuerpo desgastante*.—Como es natural, influye grandemente esta circunstancia en el desgaste.

El tamaño del grano influye también en el valor numérico de los resultados, sin cambiar mucho la clasificación.

Para los aceros al carbono no duros, el desgaste crece con el tamaño del grano; en los aceros duros se arrancan ó se redondean.

En el Laboratorio de la Escuela Central de París se han fijado como esmeriles reglamentarios los de la Casa Denis Poulot, núm. 3, y el núm. 2,5 de Vakey.

CONCLUSIONES.—Como consecuencia de todo lo expuesto, respecto á este método de ensayo, no olvidando que cada modo de operar puede clasificar en distinto orden los cuerpos ensayados:

1.<sup>a</sup> Es preciso tener gran cuidado en el uso de este ensayo, pues, por ser método de medida de una propiedad que puede verificarse de muchas maneras, puede dar apreciaciones muy variadas.

2.<sup>a</sup> Hay que desconfiar de las conclusiones deducidas por analogía en este género de ensayo, si no corresponden exactamente las circunstancias en que se ha realizado.

3.<sup>a</sup> Puede aplicarse este método para deducir la potencia desgastante de un cuerpo con relación á otro.

#### Estudio del acero al carbono.

Las condiciones del ensayo han sido las siguientes: tres minutos de duración, en pista de 145 milímetros de diámetro, con una velocidad de 1,15 metros por segundo y presión de un kilogramo por centímetro cuadrado.

Muy interesantes son los resultados obtenidos y muy dignos de tenerse en cuenta, sobre todo en la redacción de los pliegos de condiciones para carriles, material que está sometido al desgaste constante, siendo, por lo tanto, de gran importancia dotarle de las condiciones necesarias para que presente resistencia máxima al desgaste, haciendo entrar en su composición los elementos necesarios para ello, siempre que éstos no sean perjudiciales para su resistencia ó que sin perder ésta los haga demasiado frágiles.

Esta parte de los ensayos al desgaste es, por consiguiente, la más importante, y de la que pueden deducirse consecuencias más útiles.

Parece natural que la resistencia al desgaste sea mayor en los aceros al carbono cuanto más duros sean éstos, ó bien cuanto mayor sea la dosis de carbono que posean, pero las experiencias no han confirmado estas presunciones.

Después de repetidos ensayos en múltiples lotes de aceros de distinta composición, se han reunido y coleccionado los resultados, los que son muy concordantes.

El primer lote de aceros tienen todos ellos idéntica composi-

ción; por lo que se refiere al Mn, Si y Ph varían las dosis de carbono.

Las dosis comunes de los cuerpos ya mentados son:

|         |                      |
|---------|----------------------|
| Mn..... | 0,25 á 0,30 por 100. |
| Si..... | 0,20 »               |
| Ph..... | 0,015 á 0,04 »       |

Los resultados obtenidos se anotan á continuación, habiéndose utilizado en los ensayos el esmeril núm. 3 de Denis Poulot.

| DOSIS DE CARBONO<br>Por 100. | Número<br>de<br>desgaste. |
|------------------------------|---------------------------|
| C = 0,07.....                | 170                       |
| C = 0,12.....                | 198                       |
| C = 0,25.....                | 175                       |
| C = 0,38.....                | 204                       |
| C = 0,60.....                | 143                       |
| C = 0,65.....                | 110                       |
| C = 0,83.....                | 100                       |
| C = 1,00.....                | 101                       |
| C = 1,03.....                | 81                        |
| C = 1,80.....                | 47                        |

Se observa en esta relación dos anomalías: la primera, al segundo tipo ensayado; la segunda, al cuarto, ó sea al que tiene por dosis 0,38 por 100, á la que precisamente corresponde el número máximo de desgaste, ó sea el mínimo de resistencia á este trabajo; es muy interesante esta observación, pues corresponde precisamente á las dosis de carbono aproximada á la que tienen los carriles más usados en España (0,45 á 0,55).

De esta serie de ensayos se deduce la conveniencia de introducir algún otro componente ó aumentar la dosis de algunos de los existentes para aumentar dicha resistencia.

Veamos los resultados obtenidos variando las dosis de Mn y Si para dosis constantes y pequeñas de C.

Se indican las composiciones de los aceros ensayados, así como los números de desgaste obtenidos.

| COMPOSICIÓN<br>Por 100.  | Número<br>de<br>desgaste. |
|--------------------------|---------------------------|
| C = 0,07 Mn = 0,26.....  | 161                       |
| C = 0,07 Mn = 0,38.....  | 170                       |
| C = 0,38 Mn = 0,81.....  | 160                       |
| C = 0,038 Mn = 0,90..... | 154                       |

Se observa en los dos primeros ensayos que aunque las dosis de carbono son débiles, los números de desgaste no son crecidos.

Los dos últimos aceros son muy interesantes por corresponder á las dosis de carbono que la primera serie de ensayos daban al minimum de resistencia ó máximo de desgaste, habiendo bajado el número correspondiente en 40 unidades por ser superior la dosis de Mn.

Esto puede servir de norma para fijar la composición química que deben tener los aceros de carriles, en los que, si bien hay que dar dosis de carbono relativamente altas para proporcionar una buena tenacidad al metal, debe agregarse Mn y Si para hacer al material apto para resistir al desgaste, sin perder de un modo apreciable aquella condición.

Estudiemos ahora la influencia de Ph:

| COMPOSICIÓN<br>Por 100. | Número<br>de<br>desgaste. |
|-------------------------|---------------------------|
| C = 0,12 Ph = 0,02..... | 198                       |
| C = 0,10 Ph = 0,16..... | 123                       |
| C = 0,06 Ph = 1,00..... | 81                        |

Resulta muy regular la influencia de la dosis de Ph en los aumentos de resistencia al desgaste; según estos ensayos debería aumentarse la dosis de Ph en los aceros para carriles, pero no



hay que olvidar lo quebradizos y frágiles que resultan; no adecuados, por lo tanto, para el trabajo que tienen que resistir, debe, pues, prescribirse el aumento de resistencia al desgaste, mediante la agregación de este cuerpo y limitarse por ahora con la adición de Mn y Si.

Como propiedad general puede establecerse que el martillado, prensado y trabajo del acero aumenta su resistencia al desgaste.

**Acción de las llantas en los carriles.**—Robin ha realizado diversos ensayos en los carriles, y ha podido observar que en sus cabezas, después de algún tiempo de uso, se va formando una capa de material que cada vez va adquiriendo mayor dureza (debido al golpeado de la rueda-ecronissage) la que decrece según aumenta la distancia á la superficie.

Esta zona, representada en la figura 21, experimenta, además, en los puntos de vía en que la velocidad es menor, entra-

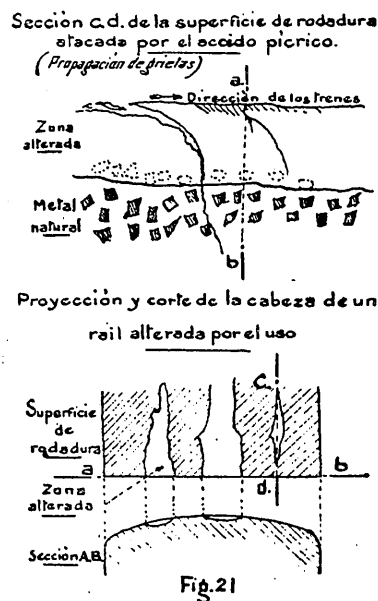


Fig. 21

das de estaciones, etc., una cierta alteración, presentándose bandas de sórbita con una resistencia grande al desgaste, siendo su fragilidad extraordinaria, que á veces determina la fragmentación de la cabeza por grietas normales al eje de la vía.

Estas grietas pueden propagarse con el tiempo al interior del carril produciendo su rotura.

Si se pudiera dar á los carriles, aunque fuese superficialmente, la estructura sorbítica atenuada sería una gran ventaja, pero es algo peligroso por resultar frágil.

**ENSAYOS DE NUSBAUMER.**—Para sus experiencias utilizó la máquina Derihon, que se encuentra representada en la figura 22, y cuya descripción se detalla seguidamente.

Se compone de un disco de acero extraduro, que gira dentro de un recipiente lleno de aceite en su tercio, tiene un metro de circunferencia, pudiendo variar su velocidad de 500 á 3.200 vueltas por minuto, correspondiendo á una velocidad tangencial comprendida entre 8 y 53 metros por segundo.

La probeta que se desea estudiar, de forma cilíndrica cargada con un peso conocido, se apoya sobre la periferia del disco, está fuertemente sujeta á una pieza dispuesta para evitar vibraciones, así como las fugas de aceite al ser éste proyectado constantemente en el asiento de la probeta; un nivel exterior permite comprobar la lubricación.

La presión con que está cargada la probeta se obtiene por un sistema de palancas, que permiten al mismo tiempo medir el desgaste de aquélla.

La palanca A, B, C, fija en A, se apoya constantemente en

la probeta en el punto B y se encuentra cargada en C, con un peso conocido, conociéndose la carga en B dada la relación de los brazos  $\frac{AB}{AC} = \frac{1}{12}$ .

Otra palanca D, E, F, que en F sostiene un contrapeso con el punto F, fija sostiene en D por intermedio de la pieza G á la palanca A, B, C, en equilibrio, cuando ésta no tiene carga en C.

Al desgastarse la probeta el punto B desciende una cierta cantidad, igual á este desgaste vertical; el punto L también descenderá una cantidad  $\frac{AL}{AB} = 10$  veces el desgaste de la probeta.

Siendo N un punto fijo, con el tornillo micrométrico K que aprécia centésimas de milímetro se apreciará lo que el punto L desciende, ó sea, en resumen, el desgaste de la probeta con una aproximación de 0,001 de milímetro.

Para hacer esta lectura se coloca primeramente la palanca A, B, C horizontal, por medio del tornillo H, quedando en contacto K con L; una vez realizado el ensayo, se ponen nuevamente en contacto estos dos puntos haciéndose la lectura para evitar errores cuando funciona un galvanoscopio unido á ambos por intermedio de una pila.

Se mantiene la temperatura constante por medio de una corriente de agua que refrigera toda la máquina, colocándose en V un termómetro para seguir la temperatura de la probeta.

Las características constantes de todos los ensayos realizados por Nusbaumer con esta máquina han sido: presión de 48 kilos por centímetro cuadrado, el disco giraba á 3.200 vueltas por minuto, durando la operación el tiempo preciso para que diese 10 millones de vueltas y setomaba como número de desgaste el de milésimas de milímetro que disminuía la longitud de la probeta.

En el cuadro que se inserta á continuación se indican los resultados obtenidos con diez tipos de acero, detallándose su composición, así como los principales coeficientes que los caracterizan.

| ACEROS      |    | COMPOSICIÓN |      |      |      |      |      |      | COEFICIENTES |                        |         |           |
|-------------|----|-------------|------|------|------|------|------|------|--------------|------------------------|---------|-----------|
|             |    | C           | Mn   | Si   | S    | Ph   | Cv   | Ni   | Rotura       | Límite de elasticidad. | Dureza. | Desgaste. |
| Ordinarios. | 1  | 0,20        | 1,30 | 0,10 | 0,02 | 0,05 | »    | »    | 65           | 38                     | 156     | 85        |
|             | 2  | 0,43        | 0,80 | 0,30 | 0,02 | 0,06 | »    | »    | 82           | 50                     | 255     | 151       |
|             | 3  | 0,06        | 0,50 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | »    | »    | 40           | 25                     | 99      | 325       |
| Especiales. | 4  | 0,36        | 1,70 | 0,16 | »    | »    | »    | »    | 77           | 56                     | 187     | 57        |
|             | 5  | 0,38        | 1,35 | 0,08 | »    | »    | »    | »    | 89           | 71                     | 187     | 80        |
|             | 6  | 0,34        | 1,20 | 0,06 | »    | »    | »    | »    | 92           | 74                     | 196     | 200       |
| Templados   | 7  | 0,43        | 0,80 | 0,30 | 0,02 | 0,06 | »    | »    | 130          | 123                    | 340     | 89        |
|             | 8  | 0,06        | 0,50 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | »    | »    | »            | »                      | 223     | 25        |
| Al níquel.  | 9  | 0,08        | 0,33 | 0,16 | 0,01 | 0,01 | 1,20 | 4,76 | »            | »                      | 444     | 20        |
|             | 10 | 0,28        | 0,48 | 0,22 | 0,01 | 0,02 | 1,43 | 4,55 | 170          | 160                    | 387     | 28        |

Los resultados apuntados en el primer grupo constituido por los tres aceros 1, 2 y 3 permiten deducir análogas consecuencias respecto á los efectos producidos por el C, Mn y Si que los deducidos por Robin en sus ensayos, es decir, la menor influencia del C y el gran efecto del Mn y Si, así como la menor resistencia al desgaste en los aceros con dosis aproximadas al 0,40 de C.

Las relaciones entre las presiones y desgastes adoptan formas parecidas á la curva representada en la figura 23, creciendo al principio rápidamente con las presiones, después más lentamente y, por último, de un modo muy rápido, quedando asintótica de una paralela al eje de los desgastes.

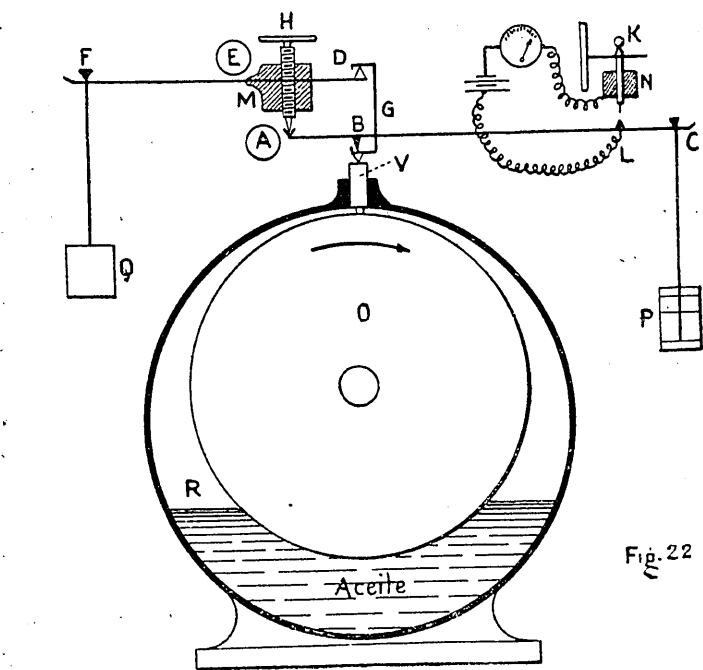
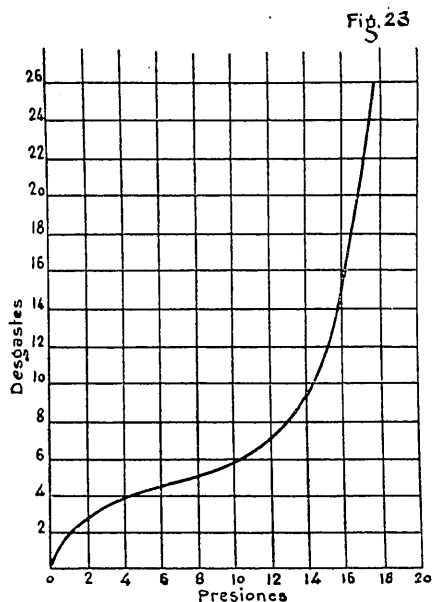


Fig. 22

te y, por último, de un modo muy rápido, quedando asintótica de una paralela al eje de los desgastes.

EXPERIENCIAS DE SANITER.—E. Saniter, de Rotherdan, concurreó el año 1909 al concurso celebrado por el Iron-and Steel Ins-



titute, ya mentado al hablar de los ensayos de Robin, presentando un aparato que esquemáticamente está representado en la figura 24, y cuyo principio es el siguiente:

La probeta *F* gira sujeta por una garra *K*, accionada oportunamente; el extremo de la probeta sirve de apoyo á un anillo *F*, al que hace girar por rozamiento, el cual, por intermedio de un juego de bolas se mueve dentro de otro anillo exterior *E*, cogidos ambos por la pieza *N*, suspendida de la palanca *C*, cargada con un peso.

El anillo interior *P* es de acero al níquel al 6 por 100, con una dureza Brinell 555.

Las cifras de desgaste de Saniter corresponden á 0,0001 de pulgada, en que el diámetro de las probetas normales ha sido reducido para un número fijo de vueltas, variable de unos á otros.

En el resumen de todos estos trabajos, que se hace á conti-

nuación, se copian algunos de los resultados obtenidos por Saniter.

COMPARACIÓN CON OTROS MÉTODOS PARA DETERMINAR LA DUREZA.— Aunque sean muchos los procedimientos que pueden usarse para determinar la dureza de los cuerpos, me limitaré en estas consideraciones al método Brinell, no sólo por ser el extensamente estudiado en esta Nota, sino porque es el que más afinidad tiene con el método de desgaste, para hallar la dureza superficial de los materiales.

Recordando la clasificación que al principio de esta segunda parte se ha hecho de las distintas formas en que el desgaste po-

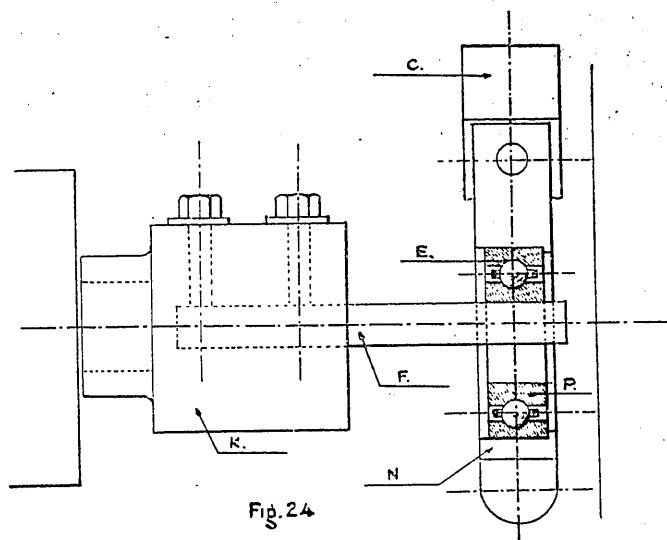


Fig. 24

dria producirse, veremos por los métodos para su determinación ya reseñados si ajustan bien á aquéllos:

a) Desgaste sencillo.—Los canchales de los elevadores.—Método Robin.

b) Desgaste lubricado.—Elementos de las máquinas.—Método Nusbaumer con máquina Derihon.

c) Desgaste en seco.—Paso de las ruedas por los carriles.—Método Saniter.

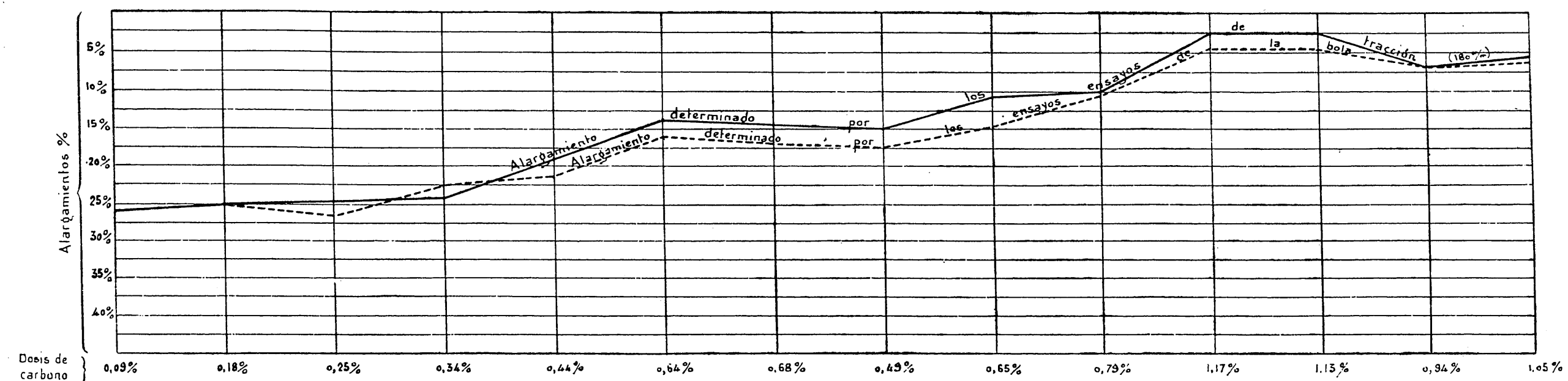
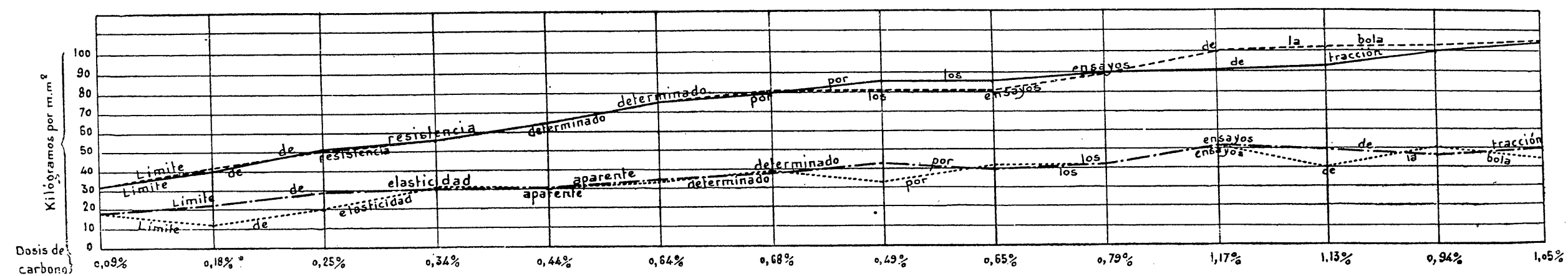
Se reúnen á continuación, para cada uno de estos ensayos, los resultados en los mismos obtenidos, así como los hallados en el método Brinell en los mismos materiales, con objeto de ver si del segundo se pueden sacar deducciones respecto al primero, ó es preciso, para el perfecto conocimiento de los metales, realizar los dos ensayos.

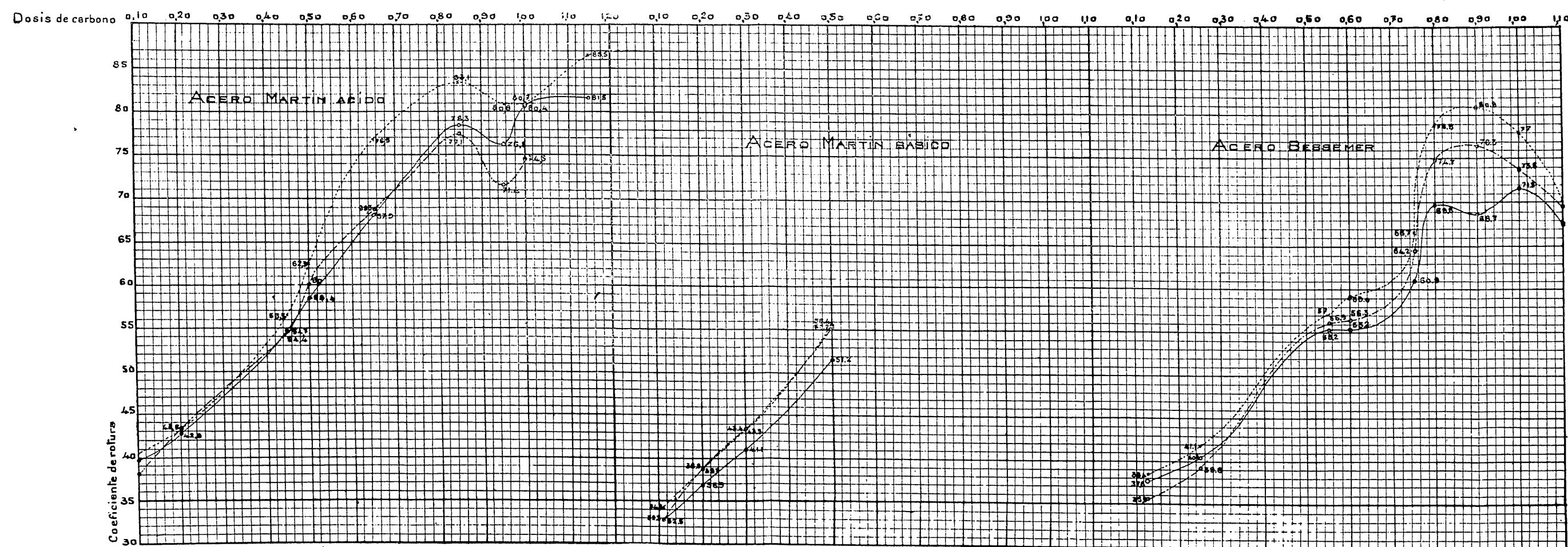
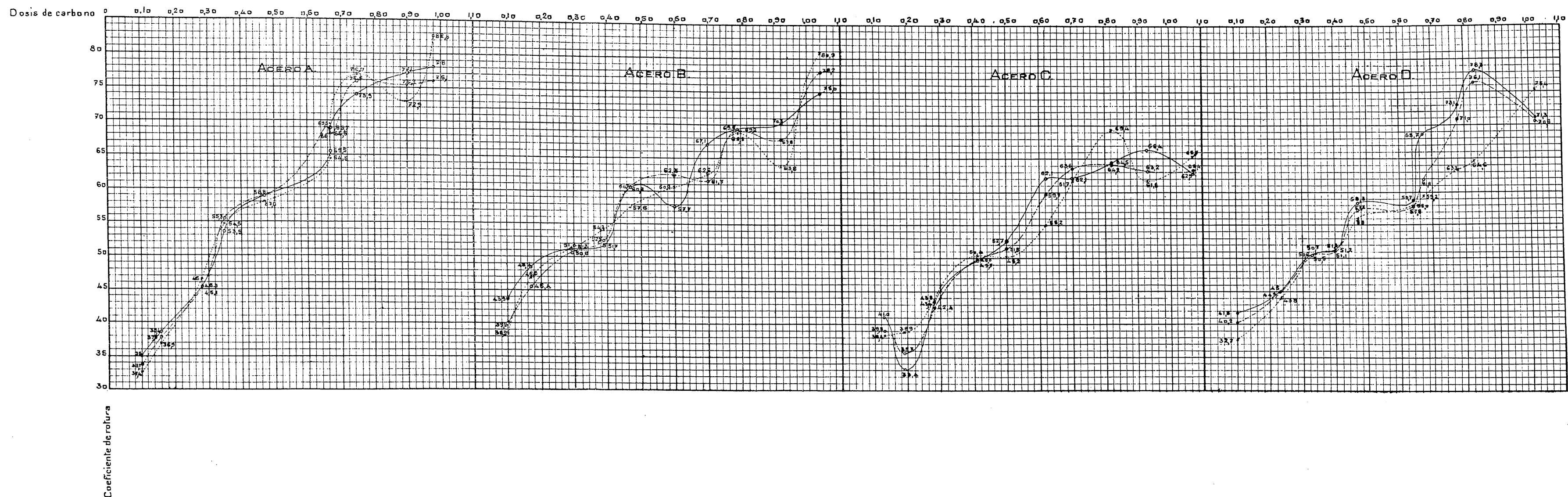
| GRUPO a)        |                     | GRUPO b)        |                     | GRUPO c)        |                     |
|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| Número Brinell. | Número de desgaste. | Número Brinell. | Número de desgaste. | Número Brinell. | Número de desgaste. |
| 95              | 160                 | 99              | 325                 | 202             | 39                  |
| 160             | 55                  | »               | »                   | 223             | 22                  |
| 155             | 170                 | 156             | 85                  | 228             | 43                  |
| 180             | 58                  | 187             | 57                  | 241             | 47                  |
| 190             | 204                 | 187             | 80                  | 250             | 48                  |
| 250             | 47                  | 196             | 200                 | 252             | 38                  |
| 255             | 202                 | 255             | 151                 | 269             | 36                  |
| 355             | 27                  | 340             | 89                  | 288             | 46                  |
| 453             | 105                 | 387             | 28                  | 288             | 61                  |
| 574             | 27                  | »               | »                   | 315             | 25                  |

De la observación del cuadro anterior no se deduce relación fija ni regla alguna que ligue los dos ensayos; luego es preciso, para conocer completamente los materiales, efectuar los dos ensayos.

Por lo tanto, si se considera necesario ó, por lo menos, conveniente que en los ensayos de los materiales destinados á ser







— Carga de rotura determinada en el ensayo con bola { presión paralela al sentido del laminado  
 ..... Carga de rotura determinada en el ensayo con bola { presión perpendicular al sentido del laminado  
 - - - Carga de rotura determinada en el ensayo de fracción

Cuadro A.

Aceros con número de dureza inferior a 175 (según Charpy).

| Resistencia a la tracción<br>kg. por mm <sup>2</sup> R. | Número<br>de<br>dureza<br>Δ | $\frac{R}{\Delta} = C$ | Resistencia a la tracción<br>deducida del número<br>de dureza. kg. por mm <sup>2</sup> . | Dife-<br>rencia<br>% | Resistencia a la tracción<br>kg. por mm <sup>2</sup> R. | Número<br>de<br>dureza<br>Δ | $\frac{R}{\Delta} = C$ | Resistencia a la tracción<br>deducida del número<br>de dureza. kg. por mm <sup>2</sup> . | Dife-<br>rencia<br>% |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 30,4                                                    | 80,0                        | 0,380                  | 28,1                                                                                     | 7,6                  | 46,8                                                    | 137,2                       | 0,341                  | 48,2                                                                                     | 3,0                  |
| 32,1                                                    | 91,2                        | 0,395                  | 32,0                                                                                     | 0,3                  | 46,8                                                    | 141,4                       | 0,331                  | 49,6                                                                                     | 6,0                  |
| 35,4                                                    | 95,6                        | 0,370                  | 33,6                                                                                     | 5,1                  | 49,1                                                    | 140,8                       | 0,346                  | 49,4                                                                                     | 6,1                  |
| 36,4                                                    | 92,0                        | 0,395                  | 32,3                                                                                     | 11,3                 | 49,1                                                    | 142,0                       | 0,345                  | 49,8                                                                                     | 1,4                  |
| 36,8                                                    | 100,8                       | 0,365                  | 35,4                                                                                     | 3,8                  | 50,1                                                    | 146,8                       | 0,341                  | 51,5                                                                                     | 2,8                  |
| 36,8                                                    | 106,4                       | 0,345                  | 37,3                                                                                     | 1,4                  | 50,8                                                    | 152,4                       | 0,333                  | 53,5                                                                                     | 5,3                  |
| 38,1                                                    | 112,4                       | 0,339                  | 39,5                                                                                     | 3,7                  | 51,1                                                    | 148,6                       | 0,344                  | 52,1                                                                                     | 0,0                  |
| 38,8                                                    | 110,0                       | 0,352                  | 38,6                                                                                     | 0,5                  | 51,8                                                    | 146,8                       | 0,353                  | 51,5                                                                                     | 0,6                  |
| 39,1                                                    | 114,4                       | 0,342                  | 40,2                                                                                     | 2,8                  | 52,1                                                    | 146,8                       | 0,355                  | 51,5                                                                                     | 1,1                  |
| 40,1                                                    | 118,0                       | 0,340                  | 41,4                                                                                     | 3,2                  | 54,2                                                    | 162,9                       | 0,333                  | 57,2                                                                                     | 5,5                  |
| 41,1                                                    | 118,8                       | 0,358                  | 40,3                                                                                     | 2,0                  | 54,8                                                    | 153,1                       | 0,356                  | 53,7                                                                                     | 2,0                  |
| 41,5                                                    | 114,4                       | 0,363                  | 40,2                                                                                     | 3,1                  | 54,8                                                    | 155,2                       | 0,353                  | 54,5                                                                                     | 0,5                  |
| 41,5                                                    | 120,0                       | 0,346                  | 42,1                                                                                     | 1,4                  | 55,1                                                    | 158,7                       | 0,347                  | 55,7                                                                                     | 1,1                  |
| 42,1                                                    | 113,6                       | 0,371                  | 39,9                                                                                     | 5,2                  | 55,8                                                    | 165,75                      | 0,337                  | 58,2                                                                                     | 4,3                  |
| 42,8                                                    | 116,0                       | 0,369                  | 40,7                                                                                     | 4,9                  | 56,4                                                    | 162,9                       | 0,346                  | 57,2                                                                                     | 1,4                  |
| 41,3                                                    | 126,4                       | 0,341                  | 44,4                                                                                     | 3,0                  | 56,4                                                    | 166,5                       | 0,339                  | 58,4                                                                                     | 3,5                  |
| 43,8                                                    | 130,0                       | 0,337                  | 45,6                                                                                     | 4,1                  | 56,8                                                    | 166,5                       | 0,341                  | 58,4                                                                                     | 2,8                  |
| 44,1                                                    | 121,0                       | 0,364                  | 42,5                                                                                     | 3,6                  | 58,1                                                    | 171,75                      | 0,338                  | 60,3                                                                                     | 3,9                  |
| 44,1                                                    | 130,0                       | 0,339                  | 45,6                                                                                     | 3,4                  | 59,4                                                    | 169,5                       | 0,350                  | 59,4                                                                                     | 0,0                  |
| 46,8                                                    | 132,4                       | 0,353                  | 46,5                                                                                     | 0,6                  | 60,8                                                    | 174,2                       | 0,349                  | 61,1                                                                                     | 0,5                  |
|                                                         |                             |                        |                                                                                          |                      |                                                         |                             | 0,351                  |                                                                                          | 3,1                  |

Cuadro B.

Aceros con número de dureza inferior a 175 (según Charpy).

| Resistencia<br>a la tracción<br>kg. por mm <sup>2</sup><br>R | Número<br>de dureza<br>Δ | $\frac{R}{\Delta} = C$ | Resistencia<br>a la<br>tracción deducida<br>del<br>número de dureza<br>kg. por mm <sup>2</sup> | Diferencia<br>% |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 57,1                                                         | 175,0                    | 0,326                  | 58,8                                                                                           | 3,0             |
| 59,4                                                         | 175,15                   | 0,339                  | 58,9                                                                                           | 0,9             |
| 61,5                                                         | 175,9                    | 0,350                  | 59,1                                                                                           | 2,3             |
| 62,1                                                         | 188,65                   | 0,329                  | 63,4                                                                                           | 2,1             |
| 62,7                                                         | 182,7                    | 0,343                  | 61,4                                                                                           | 2,1             |
| 64,4                                                         | 185,25                   | 0,347                  | 62,3                                                                                           | 3,3             |
| 65,4                                                         | 187,8                    | 0,348                  | 63,1                                                                                           | 3,5             |
| 66,1                                                         | 196,3                    | 0,337                  | 66,0                                                                                           | 0,2             |
| 66,8                                                         | 200,0                    | 0,334                  | 67,2                                                                                           | 0,6             |
| 68,1                                                         | 204,0                    | 0,334                  | 68,5                                                                                           | 0,6             |
| 69,4                                                         | 199,0                    | 0,348                  | 66,9                                                                                           | 3,6             |
| 69,4                                                         | 209,0                    | 0,332                  | 70,2                                                                                           | 1,1             |
| 70,4                                                         | 201,0                    | 0,350                  | 67,5                                                                                           | 4,1             |
| 78,5                                                         | 244,5                    | 0,321                  | 82,1                                                                                           | 4,5             |
| 97,5                                                         | 291,5                    | 0,334                  | 97,9                                                                                           | 0,4             |
| 102,0                                                        | 308,0                    | 0,331                  | 103,5                                                                                          | 1,5             |
| 109,5                                                        | 338,0                    | 0,324                  | 113,6                                                                                          | 4,0             |
| 121,6                                                        | 362,0                    | 0,336                  | 121,6                                                                                          | 0,0             |
| 121,6                                                        | 366,0                    | 0,332                  | 123,0                                                                                          | 1,2             |
|                                                              |                          | 0,336                  |                                                                                                | 2,1             |

empleados sobre todo en ferrocarriles, en los que tanto afecta á la seguridad de la explotación cualquier defecto que pase inadvertido en la recepción, así como también tiene tanta trascendencia económicamente, que si se adquiere una gran partida de material, como, por ejemplo, carriles, sin que reunan todas las condiciones necesarias para que tengan toda la larga vida que se les puede y debe exigir, y resulta ésta más corta por sufrir rápida inutilización por desgaste, es natural que se adopten todas las precauciones para comprobar sus verdaderas condiciones.

En este mismo sentido se ha ocupado Von R. Schaibe, consejero en Dresde de los ferrocarriles sajones, en el estudio que ha publicado en *Zeitung des Vereins Deutscher Eisenbahn*, en el cual anota la falta del ensayo de dureza al desgaste en los pliegos de condiciones é inserta un largo y amplio cuadro, que no se copia por su extensión, en el que hace resaltar las contradicciones existentes en los aceros para carriles usados en casi todos los ferrocarriles alemanes y austro-húngaros, entre el coeficiente de calidad de cada uno de ellos (deducidos de muy diverso modo) y los desgastes producidos por el paso de diverso número de millones de toneladas, necesario para producir el desgaste de un milímetro en el material colocado.

Para llenar esta laguna, dice, conviene tener muy en cuenta las cifras expuestas, y preconiza el empleo del ensayo al desgaste, bien por las piedras, arena á gran velocidad, etc.

En vista de todo lo expresado, tengo la honra de proponer al Congreso la siguiente conclusión, por lo que se refiere á la segunda parte de esta nota:

CONCLUSIÓN 2.<sup>a</sup>—*Procede y es conveniente incluir en los pliegos de condiciones para la recepción de materiales metálicos, y en especial de carriles, algún ensayo que determine la resistencia al desgaste, por ahora sólo á título informativo, en número igual, por lo menos, al del actual ensayo de tracción, á insistir cerca de las entidades que, por tener elementos para ello, continúen los ensayos de esta clase por la gran utilidad que han de reportar para el completo conocimiento de los materiales metálicos.*

Madrid 20 de Septiembre de 1915.

## PATRONES FOTOMÉTRICOS DE LLAMA (1)

POR

E. B. ROSA y E. C. CRITTENDEN

(*Bulletin of The Bureau of Standards, vol. X, núm. 4.*)

III. *Experimentos con algunos tipos de lámparas.*—1. Patrones empleados. 2. La lámpara Carcel.—3. La lámpara Hefner.—4. La lámpara Harcourt.—5. Conclusiones.

Las figuras 1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup> son la representación gráfica de la distribución de las observaciones correspondientes á dos lámparas típicas en las que la mayor parte de las evaluaciones se han hecho con humedades bajas, así es que la mayor parte de las curvas se han dibujado con un número pequeño de observaciones con humedades elevadas. Éstas se hicieron en las condiciones menos favorables para la precisión: los números de la tabla 3.<sup>a</sup> demuestran las grandes variaciones debidas, probablemente, á los errores accidentales de medida. Sin embargo, no es posible considerar con absoluta independencia los valores que figuran en la tabla para cada lámpara porque en cada serie de medidas las determinaciones correspondientes al grupo total de lámparas se

hicieron sin interrupción, y la conformidad entre los resultados obtenidos, es, por lo tanto, menos significativa, de lo que sería si los experimentos se hubieran hecho en épocas distintas.

Con las lámparas de pentano se han hecho muchos más experimentos, los suficientes para hacer varias determinaciones, completamente independientes entre sí del factor de corrección. En la tabla 4.<sup>a</sup> se consignan los resultados publicados en 1910, que son consecuencia de observaciones representadas gráficamente en las figuras 3.<sup>a</sup> y 4.<sup>a</sup>

Tabla 4.<sup>a</sup>

*Coficiente del vapor de agua para lámparas de pentano.*

El coeficiente que se da es el tanto por ciento de disminución de la potencia luminosa producido por un aumento de un litro de vapor de agua por metro cúbico de aire.

| LÁMPARA                | Número de observaciones. | Coficiente. | Vapor de agua. Litros por m <sup>3</sup> de aire. |
|------------------------|--------------------------|-------------|---------------------------------------------------|
| Chance, núm. 116..     | 220                      | 0,569       | 4,0-27,0                                          |
| Idem, núm. 118.....    | 81                       | 0,572       | 14,1-26,8                                         |
| Sugg, núm. 171.....    | 165                      | 0,561       | 4,0-27,0                                          |
| Media.....             | »                        | 0,577       | »                                                 |
| American, núm. 25..... | 42                       | 0,577       | 5,0-14,3                                          |
| Idem, núm. 74.....     | 43                       | 0,558       | 5,0-27,0                                          |
| Idem, núm. 157.....    | 46                       | 0,570       | 18,2-26,8                                         |
| Idem, núm. 162.....    | 31                       | 0,562       | 13,7-26,0                                         |
| TOTAL.....             | 628                      | »           | »                                                 |
| Media.....             | »                        | 0,567       | »                                                 |
| MEDIA TOTAL.....       | »                        | 0,567       | »                                                 |

Se llega al mismo valor del coeficiente con humedades bajas (4 á 14 litros por metro cúbico) que con elevadas (14 á 27 litros por metro cúbico), es decir, que la ley que liga la potencia luminosa con la humedad es una función lineal entre los límites de humedad de los experimentos. Se ha obtenido el mismo coeficiente con lámparas antiguas que con americanas, y los resultados correspondientes á lámparas distintas ensayadas en épocas diferentes y con varias humedades concuerdan bastante bien. El valor medio 0,567 por 100 de variación en la potencia luminosa producido por un incremento de un litro de vapor de agua por metro cúbico de aire, deducido de 628 observaciones en siete lámparas distintas, parece que puede aceptarse sin vacilación.

Al no haber motivo para dudar de que debía aceptarse para valor del coeficiente de corrección el más pequeño de los obtenidos, por lo menos en las condiciones en que se experimentó en el Bureau of Standards, se trató de averiguar el motivo de que el valor encontrado en Inglaterra fuera tan grande. Los experimentos de Mr. Paterson con la lámpara de pentano se hicieron con todo cuidado y constituyen una labor de mucho mérito, aunque, como ya se ha indicado anteriormente, la humedad se evaluó con higrómetros ordinarios sin ventilación, mientras que en el Bureau of Standards se empleó siempre el aparato de Assmann.

El Dr. Glasebrook, en la Memoria en que da cuenta de la modificación de la humedad normal, dice: «Una serie completa de experimentos ha demostrado que la constante 0,066 de la fórmula sirve para todos los higrómetros, tengan ó no ventilación». Lo cual quiere decir que se obtiene el mismo valor para la constante cuando la humedad se deduce de observaciones hechas con higrómetros sin ventilar, pero empleando la fórmula ó las tablas preparadas para los aparatos con ventilación, con la única alteración de sustituir el núm. 10 por el 8 en el paréntesis de la fórmula. Lo dicho equivale á desplazar paralelamente á sí misma

(1) Véase el número 2095.