

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.

HIERROS Y ACEROS

Ponencia de D. Rudesindo Montoto, Comandante de Ingenieros, proponiendo al Congreso de Ciencias de Sevilla la aprobación de las proposiciones presentadas por D. Domingo Mendizábal, Ingeniero de Caminos, al Congreso de Valladolid.

I.—ANTECEDENTES.

En el V Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, reunido en Valladolid, y ante la Sección de Ciencias aplicadas del mismo, presentó D. Domingo Mendizábal, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, una documentada Memoria acerca de algunos métodos modernos de ensayo para la recepción de hierros y aceros, y especialmente de los relativos á determinaciones de dureza y de resistencia al desgaste por rozamiento.

Como resumen de dicho trabajo, formuló dos conclusiones, que copiamos literalmente, y dicen así:

«*Conclusión 1.ª* Procede, y es conveniente, incluir cuanto antes en los pliegos de condiciones para la recepción de 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 la sustitución de aquél.

«*Conclusión 2.ª* Procede, y es conveniente, incluir en los pliegos de condiciones para la recepción de materiales metálicos, 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, é 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.»

Sometidos á examen y discusión en la Sección de Ciencias Aplicadas el mencionado trabajo y sus conclusiones, recayó sobre éstas el acuerdo transcrito á continuación:

«La Sección de Ciencias Aplicadas tiene el honor de proponer al Congreso que acuerde tomar en consideración las proposiciones de D. Domingo Mendizábal, referentes á los ensayos de recepción de hierros y aceros, y autorizar al Comité Ejecutivo de la Asociación para nombrar una Comisión técnica que informe acerca de

aquellas y formule conclusiones que puedan ser sometidas á la aprobación del próximo Congreso.»

Aprobada por el Congreso esta proposición, y con el fin de llevarla á la práctica, se dirigió el Comité Ejecutivo á todas las Corporaciones que podían estar interesadas en los asuntos que se iban á discutir, invitándoles á que nombrasen una persona de su seno que las representara en la Comisión que había de constituirse.

Las entidades ó Corporaciones invitadas á hacerse representar fueron las siguientes:

Ministerio de Marina.

Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Idem de id. de Minas.

Idem de id. de Montes.

Idem de id. Agrónomos.

Idem de id. Industriales.

Escuela Central de Arquitectura.

Cuerpo de Artillería del Ejército.

Idem de Ingenieros del Ejército.

Hechas las correspondientes designaciones quedó constituida la Comisión en esta forma:

Por el Ministerio de Marina: Excmo. Sr. D. Francisco Díaz Aparicio, General de Ingenieros de la Armada.

Por la Asociación de Ingenieros de Caminos: Sr. D. Fermín Casares y Bescansa.

Por la Asociación de Ingenieros de Minas: Excmo. Sr. Don Eduardo Gullón.

Por la Asociación de Ingenieros de Montes: Sr. D. Fernando Baró.

Por la Asociación de Ingenieros Agrónomos: Sr. D. Mariano Fernández Cortés.

Por la Asociación de Ingenieros Industriales: Sr. D. Mario Viani Caballero.

Por la Escuela Central de Arquitectura: Sr. D. Francisco J. de Luque.

Por el Cuerpo de Artillería del Ejército: Sr. D. Ramón Acha Caamaño, Teniente coronel.

Por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército: Sr. D. Rudesindo Montoto, Comandante.

Y por la Sección de Aplicaciones de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, el Presidente de la misma, excelentísimo Sr. D. Francisco de P. Arrillaga, y el Secretario, señor D. Enrique Hauser.

Todos estos representantes fueron convocados á una sesión en la Secretaría de la Academia de Ciencias, que se verificó el

día 26 de Octubre de 1916, con asistencia del autor del trabajo sometido á examen y de los representantes de los Cuerpos de Ingenieros de Caminos, Montes, Industriales, Agrónomos y Militares. Se deliberó acerca de la conveniencia de aplazar todo acuerdo hasta una segunda sesión, á la que tal vez podría concurrir un número mayor de representantes; pero se convino, por unanimidad, en no celebrar por entonces nueva reunión, atendiendo á que no había seguridad de lograr mayor concurso en la que se convocase. Los concurrentes formularon sus opiniones concernientes al asunto sometido á debate, pudiéndose apreciar que aquéllas eran unánimemente favorables al espíritu de las conclusiones propuestas por el Sr. Mendizábal. Se deliberó también sobre la conveniencia de que alguno de los presentes diera forma á estas opiniones, á fin de que esa ponencia fuera sometida á nuevo examen de la Comisión técnica, la cual, al reunirse otra vez, podría ya formular el texto definitivo de las conclusiones que han de ser examinadas por el VI Congreso.

Resuelto por los reunidos que era conveniente obrar así, se decidió, también por unanimidad de votos, encomendar al que suscribe la redacción de dicha ponencia, en atención á ser quizá entre los presentes el que por razón de su cargo oficial en el Laboratorio de Ingenieros Militares había tenido más frecuentes ocasiones de practicar el ensayo de Brinell con ejemplares variados de hierros, aceros al carbono y especiales.

Sólo por deber de obediencia aceptamos una misión que cada uno de los allí presentes hubiera podido desempeñar con mayor acierto. En cumplimiento de tan honroso encargo exponemos á continuación el resultado de nuestras reflexiones sobre los dos puntos estudiados por el Sr. Mendizábal, que consideraremos sucesivamente.

II.—ENSAYO DE DUREZA POR EL MÉTODO DE BRINELL.

El Sr. Mendizábal estudia detalladamente las *posibilidades* del ensayo de Brinell, basándose en los trabajos de numerosos experimentadores, y especialmente en los de Breuil, Charpy, Dillner, Benedicks, Grard, Meyer, Martens y Heyn. Esas *posibilidades* están resumidas con gran precisión en la obra de Guillet, titulada *Temple, recocido, revenido*, publicada en 1909. No obstante el tiempo transcurrido hasta hoy, las conclusiones á que llegaba Guillet no han sido impugnadas y son probablemente definitivas. Dicen así:

«Los estudios realizados hasta hoy parecen permitir la sustitución del ensayo Brinell al de tracción para la determinación de la carga de rotura, pero únicamente para los aceros al carbono, y probablemente sólo en estado natural. Es incontestable que antes de deducir una conclusión cualquiera con respecto á otros productos metalúrgicos, será necesario practicar con ellos ensayos muy precisos, realizar estudios muy profundos.

»Por otra parte, el método de Brinell puede, independientemente de toda otra consideración, prestar servicios importantes para examinar la homogeneidad de una pieza ó un conjunto de piezas en bruto ó que hayan estado sometidas á un tratamiento especial, y también podrá servir de guía para dirigir ciertas fabricaciones (placas de blindaje) ó ciertos tratamientos (cementación y temple).

»Algunas fábricas utilizan este procedimiento para la fabricación del acero y obtienen excelentes resultados.»

La bibliografía acerca del método de Brinell, muy copiosa entre 1900 y 1909, disminuye singularmente desde esta época, y, como ya queda dicho, la aparecida después no modifica los resultados á que ya se había llegado en la segunda fecha citada.

En rigor, ya antes de 1906 eran conocidas lo mismo las ventajas que las limitaciones del sistema, como puede verse por la Memoria de H. Le Chatelier, publicada en dicho año por la *Revue de Metallurgie*, cuyo título es: «El ensayo de dureza por el método de Brinell en el Congreso de Bruselas». En este Congreso, después de empeñadísima discusión, sostenida principalmente por Breuil, Le Chatelier, Martens y Heyn, se adoptó el acuerdo que transcribe el Sr. Mendizábal en la página 56 de su obra, y que reproducimos aquí:

«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 de Brinell.»

Como también recuerda el Sr. Mendizábal, en los Congresos de 1909 y 1912 no se adoptó ningún nuevo acuerdo acerca del asunto.

*
* *

En el año 1906 adquirió el Laboratorio del Material de Ingenieros una máquina para el ensayo de Brinell, construida por la Sociedad Aktiebolaget Alpha, de Stokolmo, y desde entonces viene practicándose dicho ensayo en el mencionado establecimiento con el carácter puramente informativo y accesorio que recomendaba el Congreso de Bruselas. Los resultados obtenidos en dichos ensayos confirman las conclusiones antes citadas, de Guillet: el ensayo de Brinell puede reemplazar al de tracción; pero sólo en lo que se refiere á la determinación de la carga de rotura en los aceros al carbono, no para la del límite elástico, alargamiento, estricción y módulo de elasticidad.

Será también muy útil para la comprobación de la homogeneidad. Con lo dicho queda formulado nuestro voto en pro de la primera conclusión formulada por el Sr. Mendizábal, si bien debemos consignar nuestro excepticismo respecto á la posibilidad de que dicho sistema reemplace al ensayo ordinario de tracción, siempre que, además de *R*, se necesite conocer alguna de las características antes mencionadas, y que precisamente tienen relación más directa con el trabajo de la materia en la práctica, según observa Le Chatelier en el trabajo citado.

Sería tal vez conveniente prescribir, si no un tipo de máquina determinado, el empleo de la bola de 10 milímetros de diámetro bajo carga de 3.000 kilos, porque si bien la fórmula de Benedicks, pág. 23 de la Memoria, permite deducir para una esfera cualquiera el número de dureza que se obtendría con otras, el empleo de la esfera normal evitaría todo cálculo.

También convendría prescribir el tiempo durante el cual la presión de 3.000 kilogramos debe actuar sobre la esfera; la práctica más generalizada fija esa duración en quince segundos. La de cinco minutos, propuesta por Grard, resta al procedimiento una de sus grandes ventajas, que es la de la rapidez de ejecución.

Cuando se trate de comprobar la homogeneidad de un carril, por ejemplo, convendrá practicar un crecido número de impresiones, y el factor tiempo será entonces de gran importancia.

Finalmente, no sería superfluo recomendar que la máquina elegida permitiera contraste fácil, á fin de cerciorarse de que la carga que actúa sobre la bola es realmente la de 3.000 kilogramos, y que esta presión sea alcanzada en tiempo brevísimo, atenuando así los errores que afectan al ensayo, minuciosamente estudiados por Grard.

No obstante la recomendación del Congreso de Bruselas, gran número de pliegos redactados con posterioridad á 1906 no hacen mención del ensayo de Brinell. En la «Selección de especificaciones normales», publicadas en 1912 por la Sociedad Americana

para el Ensayo de Materiales, trabajo sumamente prolijo y completo, se omite en absoluto el mencionado ensayo, no sólo para el material de ferrocarriles, sino para todos los aceros de construcción, de calderas, etc. Para los carriles de acero Bessemer ó Martin, no exige otro ensayo mecánico que el de flexión por choque, fijando, según el tipo del carril, el peso de la maza, la altura de caída, la separación de apoyos, y, en resumen, todas las circunstancias que puedan influir sobre los resultados del ensayo.

La Unión de Fabricantes alemanes prescribe la ejecución de los ensayos de choque en condiciones semejantes á las americanas citadas, y además el de tracción.

Ninguno de los pliegos para material ferroviario de que tenemos noticia omite el ensayo de flexión por choque, por ser entre los mecánicos el decisivo. Entre nosotros, si bien se practica este ensayo, no se efectúa generalmente con arreglo á las normas más generalizadas fuera de España, porque los martinets son casi siempre débiles, las mazas son de poco peso, las alturas de caída no son suficientes y las separaciones de apoyo tampoco son como conviene.

Creemos que sería muy recomendable la adopción de las normas americanas ó alemanas en lo relativo al ensayo de choque, previa la adquisición del material de ensayos preciso para su ejecución.

Mientras esto se realiza, el ensayo de flexión bajo cargas estáticas hasta alcanzar una flecha permanente fijada de antemano es, á nuestro juicio, el más indicado para suplir al de choque.

Tal vez estas indicaciones no son del todo pertinentes en este lugar, por estar fuera del plan que se nos había trazado, ya que éste comprende solamente las proposiciones del Sr. Mendizábal; pero no es improbable que al deliberar la Sección de Ciencias aplicadas sobre estos dos puntos, encuentre oportuno el examen de las demás condiciones facultativas para la recepción del material ferroviario, y en tal supuesto nos ha parecido que no nos alejábamos demasiado del tema al señalar una deficiencia evidente de la mayor parte de los pliegos españoles.

Con lo dicho damos por terminado el examen de la primera proposición.

III.—DESGASTE.

Es un hecho conocido que las durezas determinadas por los procedimientos esclerométricos, así como por los de Brinell, Ludwik y otros, no guardan proporcionalidad con las resistencias al desgaste por rozamiento, característica de gran interés para muchos materiales, y entre ellos el de ferrocarriles. El señor Mendizábal, distinguido Ingeniero de la Compañía de los ferrocarriles de Madrid á Zaragoza y á Alicante, viene preocupándose desde hace tiempo de la necesidad de subsanar la falta de un ensayo que determine dicha resistencia al desgaste, y al efecto ha estudiado detenidamente las investigaciones efectuadas en distintos países para resolver ese asunto. No es mucho lo publicado acerca de cuestión tan interesante, ó por lo menos lo que ha llegado á nuestra noticia. Se puede presumir que los únicos trabajos dignos de mención son los de Breuil, Robin, Nusbaumer y Saniter, estudiados todos ellos en la Memoria del Sr. Mendizábal.

No estimamos acertado el empleo del asperón ni el de los papeles de esmeril para determinar los coeficientes de desgaste por rozamiento. El asperón adolece de falta de homogeneidad; podría, tal vez, sustituirse por el *carborundum*, que, como producto artificial, es susceptible de poseer en mayor grado aquella cualidad; pero esto no pasa de ser una hipótesis, cuya compro-

bación sólo se alcanzaría ejecutando numerosos ensayos concordantes.

El papel de esmeril tampoco está exento de defectos. Las partículas de esmeril se desprenden del papel, incrustándose en la *probeta* ó cayendo al suelo; en ambos casos, el coeficiente inicial de desgaste no se sostiene y no se puede esperar concordancia en los resultados.

Opinamos, en cambio, que los ensayos de Nusbaumer y Saniter ofrecen gran interés, y que pueden fundarse en ellos esperanzas de una solución práctica de la cuestión del desgaste en los metales; pero es preciso reconocer que ninguno de los dos ha recibido hasta ahora suficiente sanción experimental. Nusbaumer presentó al V Congreso de la Asociación Internacional para el Ensayo de Materiales su Memoria, cuyo título es: *Note sur les essais d'usure pour métaux*; en ella preconiza el empleo de la máquina Derihon con lubricación permanente, máquina que está claramente descrita en la Memoria del Sr. Mendizábal, página 71.

La idea fundamental de esta máquina no deja de presentar analogía con la que presidió á la construcción de las máquinas de Thurston para determinación de los coeficientes de lubricación de aceites. Estas máquinas, muy conocidas en España, no creemos que hayan justificado las esperanzas en otro tiempo puestas en ellas. Hemos tenido ocasión de emplear con mucha frecuencia dos de los modelos construídos por la Casa Bailey: el pequeño, que es el más conocido, y otro mucho mayor, destinado especialmente al ensayo de lubricantes para coches de ferrocarriles. Estas máquinas son eficacísimas para poner á prueba, no los aceites lubricantes, sino la paciencia del operador. En los muchísimos ensayos que con ellas hemos practicado, nos fué de todo punto imposible obtener resultados aceptables en el sentido de representar el verdadero coeficiente de lubricación de los aceites. Un modelo perfeccionado de la máquina Thurston es el ideado por Martens, del cual existen dos ejemplares en el Laboratorio de Gross-Lichterfelde-West. En una visita á este Laboratorio consultamos acerca de su eficacia al Profesor Holde, de reputación notoria en lo relativo á ensayos de aceites, y no se mostró muy satisfecho de los resultados obtenidos con ellas.

No obstante lo dicho, abrigamos la esperanza de que con la máquina Derihon se obtengan resultados aceptables, y lo fundamos en que su autor ha conseguido eliminar en su funcionamiento el mayor de los defectos, en nuestra opinión, de la máquina Thurston: la gran superficie de rozamiento de los cojinetes, reducida en la máquina Derihon á la sección transversal de la barreta, que puede ser tan pequeña como se desee.

Saniter ideó en 1908 la máquina cuya descripción y esquema pueden verse en las páginas 74 y siguiente de la Memoria del Sr. Mendizábal. El trabajo íntegro fué publicado en *Engineering* en dicho año. Saniter trató de realizar en el laboratorio las condiciones prácticas del rozamiento de las ruedas de acero sobre los carriles y obtuvo resultados en que los coeficientes de desgaste crecen inversamente á las proporciones de carbono, como era de esperar.

Aunque muy interesante uno y otro procedimiento, no parece que hayan estimulado el celo de otros experimentadores, puesto que no obstante el tiempo transcurrido desde su divulgación hasta el Congreso de Nueva York (VI de la Asociación Internacional), no se presentó á éste ninguna Memoria en confirmación ó denegación de los resultados obtenidos por los autores.

De lo expuesto por el Sr. Mendizábal en su Memoria se deduce que los ensayos de desgaste por rozamiento en seco ó lubricado no han recibido aún la debida sanción práctica, si bien es preciso reconocer que se encuentran en vías de obtenerla. Es asunto

que debe preocupar á todos los fabricantes de material ferroviario, así como á los Ingenieros encargados de construir las líneas. Por esto debe ser elogiada la iniciativa del autor de la Memoria que comentamos al proponer la inclusión de la característica de desgaste entre los demás que se exijan para la recepción de materiales metálicos. Creemos que debe mantenerse la doctrina contenida en su proposición sin aferrarse á la letra; esto es, que procede sentar la conveniencia de que se practiquen numerosos experimentos con máquinas semejantes á la de Derihon ó Saniter, sin incorporar todavía en los pliegos de condiciones los resultados que se obtengan.

La Comisión técnica podría proponer al Congreso de Sevilla que recomendase á los Laboratorios interesados en el asunto la adquisición de un mismo tipo de máquina y la práctica de ensayos repetidos, cuyos resultados podrían quizá ser presentados al siguiente Congreso, aplazando hasta entonces la aplicación de la conclusión 2.ª de las propuestas por el Sr. Mendizábal.

La Comisión, no obstante, resolverá lo que estime más acertado.

Madrid, 20 de Noviembre de 1916.

*
*
*

AMPLIACIÓN DE LA PONENCIA

Una vez terminada la redacción del anterior informe comunicó su autor al Sr. Secretario general de la Asociación que se encontraba dispuesto á presentarse ante la Comisión técnica para dar lectura al trabajo; á la vez, y cumpliendo un deber de cortesía, remitió una copia de la ponencia al Sr. Mendizábal. El señor Secretario general convocó oportunamente á todos los miembros de la Comisión; pero, dificultades originadas por ausencia de alguno de ellos, con cuya asistencia se contaba, y que al cabo de tiempo comunicó que se veía imposibilitado de concurrir á la reunión, no permitieron que se efectuara ésta hasta el día 3 de Marzo de 1917. El acto se celebró en la Academia de Ciencias, bajo la presidencia del ilustre Secretario perpetuo de la Corporación, concurriendo los representantes de los Cuerpos de Ingenieros de Minas, Caminos, Agrónomos y Montes, Arquitectos, Artillería é Ingenieros del Ejército. También estuvieron presentes en el acto el Sr. Secretario de la Sección de Aplicaciones y el Secretario general de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias.

Dió lectura el que suscribe al trabajo que había redactado, y terminada aquélla, informó á los señores presentes de que, poco después de escrita su ponencia, había ocurrido un hecho importante que podía afectar á las resoluciones en estudio, porque modificaba sus puntos de vista respecto á la segunda proposición del Sr. Mendizábal: la relativa á los ensayos de desgaste. Este hecho es la publicación del informe presentado á la Institución de Ingenieros Mecánicos de Londres por la Comisión Investigadora de los Ensayos de Dureza. El informe apareció en los números de *The Engineer* del 8 y 15 de Diciembre y, por ser éstas las fechas de publicación, sus conclusiones han podido ser tenidas en cuenta al escribir esta ponencia; no nos juzgamos autorizados á hacerlo, sin embargo, porque creíamos inminente la reunión y preferimos dar en ella noticia verbal del asunto, indicando la conveniencia de modificar las conclusiones, en conformidad con los resultados obtenidos por los técnicos ingleses.

La Comisión, por iniciativa del Sr. Presidente, acordó, en vista de esa manifestación, que se ampliara ó modificara el informe con arreglo á dichos resultados, convocando á nueva Junta cuando se creyera conveniente. También resolvió aceptar las

modificaciones propuestas en la ponencia á la primera conclusión del Sr. Mendizábal, modificándola, ó, mejor dicho, ampliándola en ese sentido.

(Continuará.)

APLICACION DE LA TEORIA DE MÖRSCH

Puente de hormigón armado sobre el río Júcar EN JALANCE (VALENCIA)

POR

ARTURO MONFORT

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

(CONTINUACIÓN) (1)

CONTINUACIÓN DEL ESTUDIO ANALÍTICO.—Todas las líneas de influencia de H , V y M contienen solamente términos positivos. Las de H y V , como componentes de la reacción R del apoyo, son independientes de la situación del punto o y, por tanto, conservan la misma forma si se suponen estas reacciones estáticas desconocidas aplicadas á la misma sección del apoyo.

Las ordenadas de H , V y M sirven para la determinación de las líneas de influencia de los momentos respecto á los extremos del núcleo central de cualquier sección transversal, momentos que, conocidos que sean, obtendremos directamente los esfuerzos máximos en los bordes de la sección considerada, que son los que nos interesa conocer.

En efecto, siendo F la sección y J y w sus momentos de inercia

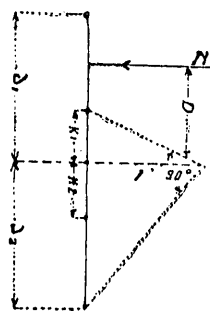


Fig. 20.

cia y resistente, el esfuerzo máximo en el borde superior será, según la ley de distribución del trapecio (fig. 20),

$$\sigma_1 = \frac{N}{F} + \frac{M}{w} = \frac{N}{F} \left(1 + \frac{D}{w} \right) = \frac{N}{F} \left(1 + \frac{D V_1}{i^2} \right)$$

siendo i el radio de giración.

Pero

$$F i^2 = J$$

$$\frac{F i^2}{V_1} = w$$

Además, i es media proporcional entre los segmentos k_1 y v_2 y también entre los k_2 y v_1 .

Luego

$$i^2 = v_1 k_2 \quad \text{ó} \quad v_1 = \frac{i^2}{k_2}$$

(1) Véase el núm. 2169.