

PUERTO DE BARCELONA

PRUEBAS PRACTICADAS CON LOS CARRILES Y CONTRACARRILES
DESTINADOS AL MONTAJE DE SUS VÍAS FÉRREAS.

(Continuación.)

Estando constituido el acero, como hemos visto, por granos de hierro casi puro, reunidos entre sí por una especie de ganga de una fusibilidad mucho mayor, la perforación de un bloque de dicho metal con un instrumento de *choque*, como el punzón, produce una especie de desagregación en todo el contorno del taladro; los granos se dislocan ó desprenden de la materia que los reúne, y la resistencia del bloque en dicha parte puede quedar notablemente alterada. De aquí la iniciación de pequeñas rajaduras, que pueden extenderse bajo la acción de una causa en apariencia insignificante, un cambio brusco de temperatura, etc., y hasta producir la imprevista é instantánea rotura de las piezas. Para precaver tales accidentes, sería preciso reconocer las piezas completamente trabajadas; es decir, fundir y enfriar nuevamente el metal. lo que es prácticamente imposible en muchos casos. Conviene, pues, para la seguridad, no utilizar en la ejecución de estas piezas sino aceros bastante *dulces*, á fin de atenuar todo lo posible las probabilidades de este género de accidentes.

Ahora bien: se han exagerado estos temores de tal modo, que en ciertos puntos, como en Holanda, donde ocurrieron varias catástrofes en algunas obras construidas con dicho material, no porque el *acero* sea *malo*, sino por *lo malo del acero* en ellas empleado, se ha caído en el vicioso extremo de adoptar materiales que en nada ó poco se diferencian del hierro, esterilizando así las más preciadas cualidades del nuevo metal. Creemos, pues, muy preferible, ya que según se ha demostrado hasta la saciedad en numerosos experimentos prácticos, primero, que los trabajos *en caliente*, como el forjado, laminado, etc., no modifican en nada la textura del acero, siempre que se terminen las operaciones á una temperatura poco distinta de la inicial; segundo, que los útiles empleados para el trabajo *en frío* que actúan sobre pequeñas superficies, como los de las máquinas de *tornear*, *acepillar*, *limar*, *perforar*, etc., no producen desagregaciones de ninguna especie; y tercero, que el efecto del *punzón* no se extiende en caso *alguno* á más de *milímetro y medio* de los bocados de los taladros, ni á más de *un milímetro* el de la *tijera*, creemos preferible, repetimos, comenzar por fabricar *buenos aceros*, como son los que hemos ensayado de los *Altos Hornos de Bilbao*, condición verdaderamente esencial, y adoptar simplemente algunas precauciones en su trabajo, como la de practicar el *punzo-*

nado dando á los agujeros un diámetro inferior en tres ó cuatro milímetros al definitivo, salvo completar la operación con la lima, ó la máquina de alisar; y la de cortar las piezas ó barras, cuando esto se haga *en frío*, con uno ó dos milímetros de exceso, completando con los útiles arriba indicados las operaciones del refino. Ciertó es que estos dobles trabajos encarecerán bastante la mano de obra del acero; pero además de que tal aumento afectará solamente á un número limitado de elementos de una construcción, resultando de escasa importancia para el incremento de la unidad media, quedará éste más que compensado por la posibilidad de emplear materiales dos ó tres veces más resistentes que el hierro, y la consiguiente disminución en los espesores y pesos de las piezas.

En más de una ocasión se ha intentado definir la calidad del acero por su composición química, y de aquí surgieron diferentes métodos de ensayo, fundados en análisis más ó menos perfectos. Pero por desgracia, en éste como en otros muchos ejemplos que suele ofrecer la naturaleza, dos cuerpos que presentan identidad ó gran analogía en sus componentes químicos, pueden diferir extraordinariamente en sus propiedades y caracteres físicos. Así se observan ciertos hierros impuros, que contienen las mismas proporciones de carbono y otros metalóides que los buenos aceros, y sin embargo, distan mucho de poseer sus propiedades.

Pero hay más aún; con una composición idéntica, el modo de fabricación y el origen mismo del acero pueden influir en su calidad. Así, por ejemplo, los aceros que se obtienen de fundiciones fosforosas, aunque se priven completamente de aquel metalóide, si bien presentan igual resistencia á la rotura por tracción, ofrecen garantías mucho menores de seguridad que los aceros que provienen de las fundiciones desprovistas en su origen de fósforo. La composición química de un acero, por lo tanto, no proporciona por sí sola suficientes indicaciones para apreciar su calidad. De aquí que tales análisis, bien delicados y difíciles, por cierto, hayan caído completamente en desuso, y que se haya apelado á los experimentos físicos directos para la comprobación de la resistencia.

Las pruebas más generalmente practicadas son las de *tracción*, deduciendo del límite observado para la carga de rotura, y del alargamiento proporcional correspondiente, la mejor ó peor calidad del material. Muchos ingenieros y constructores se contentan con estos datos experimentales para la clasificación y recepción de los aceros. Nosotros creemos, sin embargo, que dichos datos, aunque de notoria importancia, son por sí solos insuficientes; y en esto diferimos de la opinión de Mr. Flamant, que juzga innecesarias otras pruebas, como las del choque ó la flexión; por conducir, según él, á resultados completamente similares.

Ya hemos visto, sin embargo, que ciertos materiales, de análoga com-

posición química, pueden ofrecer un mismo coeficiente de resistencia á la tracción, y sin embargo, comportarse de muy distinto modo bajo la acción de esfuerzos diferentes. Y como quiera que en las construcciones metálicas no todas las piezas han de resistir por *tracción*, antes al contrario, se hallarán muchas de ellas sometidas á esfuerzos de muy diversa naturaleza, de aquí la necesidad de practicar otros experimentos más en armonía con el género especial de acciones que están llamadas á contrarrestar.

Ciertos elementos, además calculados y contruídos para resistir á un género determinado de esfuerzos, pueden hallarse sometidos accidental y aun periódicamente á otros distintos de aquellos que han determinado su resistencia.

Nada tiene, por lo tanto, de extraño, que estos nuevos esfuerzos, que pueden producirse por una causa eventual cualquiera, como una *vibración* ó un *choque*, al modificar con más ó menos energía las condiciones habituales del trabajo de aquéllas, experimentadas de un modo incompleto, evidencien defectos de fabricación inadvertidos, y hasta sean origen de esas repentinas catástrofes, que nadie se explica, ó se atribuyen á fenómenos desconocidos aún para la ciencia, siendo así que dependen *generalmente* de la mala calidad del material, y de la insuficiencia en sus pruebas y reconocimientos.

No es posible, tampoco, como afirma Mr. Flamant, comparar el *choque* á la *tracción*, bajo el punto de vista de las deformaciones producidas. Es cierto que por la acción del choque, debido á la caída de un cuerpo grave, normalmente á la sección recta central de la pieza sometida á ensayo, todos los haces fibrosos inferiores al llamado *eje neutro* sufrirán una *distensión* más ó menos grande, en razón directa de su distancia á dicho eje; pero en cambio, todas las fibras superiores experimentarán efectos inversos ó de *compresión*, sin contar otro género de esfuerzos llamados *cortantes*, que se desarrollan en sentido transversal á las fibras. Lo que se verifica en el choque, por lo tanto, es un verdadero efecto de *flexión*, como el producido por una carga ó peso que actuara directamente sobre el punto cho-cado; y á tal extremo es esto cierto, que en posesión de un medio que permita apreciar con toda exactitud la deformación instantánea debida al choque, bastaría establecer la sencilla ecuación de igualdad de trabajos para deducir la carga directa equivalente; ó de un modo recíproco, dada esta carga, determinar la altura de caída de un peso previamente fijado. De aquí podría deducirse á primera vista la inutilidad de una de estas pruebas, conocidos los resultados de las restantes; pero tampoco esto es cierto, dada la radical diferencia que existe en la producción de ambos esfuerzos.

En las pruebas de choque el efecto es brusco y momentáneo, y la deformación total se produce en un solo instante. Las moléculas del metal,

desde el estado de perfecto reposo en que se encuentran, pasan bruscamente al de vibración, tanto más intensa cuanto mayor es el esfuerzo producido. ¿Cuán distintos efectos no puede producir este modo de obrar, que el usual en las demás pruebas, donde el esfuerzo va creciendo de un modo lento y gradual hasta adquirir su intensidad máxima, y en que somos dueños de prolongar estos efectos sucesivos durante plazos dependientes de la voluntad?

Nadie ignora que un bloque de hierro fundido, que puede sufrir por comprensión lenta una carga á veces considerable, se rompe como frágil vidrio con el choque de un peso mucho menor. Otro tanto puede acontecer con el acero si la mala graduación en el temple ha llegado á perjudicar sus buenas condiciones de elasticidad. Por el contrario, si aquél es conveniente, lo repentino y pasajero del esfuerzo, provocando una reacción molecular de igual rapidez y energía, será causa de una deformación permanente inferior á la producida por una acción lenta y continua, que puede alterar el grado de elasticidad del metal, fenómenos exactamente comparables á los que se observan en los resortes ordinarios. De aquí la necesidad y fundamento de las tres clases de pruebas consignadas en el proyecto.

PRUEBAS DE TRACCIÓN.

No poseyendo la Junta del Puerto ningún aparato de los usuales para este género de pruebas, ni siendo lógico adquirirlo, dado el cortó número de ensayos necesarios, tuvimos que acudir á los establecimientos metalúrgicos de Barcelona, que los tienen ya establecidos para su servicio particular.

La elección quedaba reducida á la del sistema más satisfactorio entre los dos que se nos ofrecían, uno de *palanca* y el otro de *presión hidráulica*. No duró, empero, nuestra vacilación, por las innegables ventajas que á nuestro juicio concurría en el segundo de los citados aparatos. En el primer sistema se obtiene, en efecto, el esfuerzo por la acción de una palanca, en cuya extremidad, correspondiente al brazo de más longitud, se van colocando pesos cada vez mayores hasta producir la rotura. Con objeto de obtener el aumento gradual de la carga, se produce ésta por la caída de un delgadísimo filete de agua, en una capacidad cilíndrica, que por medio de un tubo comunicante de cristal, acusa al exterior la altura del líquido, y en una escala adosada al tubo el esfuerzo correspondiente. Esta continuidad de acción constituye, sin embargo, el defecto capital del aparato, pues es evidente que una vez forzado del límite de elasticidad del metal, la barra de ensayo seromperia indefectiblemente bajo aquel esfuerzo, en plazo más ó menos largo; pero como dicha transición sólo puede hacerse tangible algo después, ó sea en el momento inmediato á la rotura, por la inusitada rapidez

del alargamiento y contracción de la sección transversal de la barra, de aquí que el continuado incremento de la carga conduzca por lo regular á resultados viciosos, superiores casi siempre al verdadero coeficiente de resistencia.

Estos inconvenientes no se presentan en los aparatos de presión hidráulica, como se comprenderá por la ligera descripción del que nos ha servido en nuestras pruebas, perteneciente á la *Sociedad Material para ferrocarriles y construcciones*.

Esta sencilla máquina, análoga á las empleadas en sus delicados experimentos por los Ingenieros del *Bureau Veritas*, de Bruselas, está fundada en el mismo principio que la prensa hidráulica. La barra de prueba se sujeta fuertemente por uno de sus extremos á un soporte fijo, y por el opuesto al vástago de un émbolo horizontal, que al ser impulsado por el agua en presión, que proporciona una simple bomba de mano unida al aparato, ejerce sobre aquélla un esfuerzo de tracción tanto más enérgico, cuanto mayor es la presión del líquido. Esto se mide por medio de un manómetro metálico, que se hace comunicar con el tubo inyector, provisto á su vez de una válvula de seguridad.

Basta lo dicho para comprender que este mecanismo no puede dar en caso alguno falsas indicaciones como los aparatos de palanca. Efectivamente, no solo se produce y mide la acción del modo más directo posible, sino que, una vez rebasado el límite de elasticidad del metal que se ensaya, y al producirse el rápido alargamiento de la rotura bajo una presión determinada, ésta no puede aumentar en modo alguno, y antes bien tenderá á descender por la contracción que en tal momento sufre la sección transversal de la barra.

Con objeto de simplificar el uso del aparato, evitando en cada nuevo ensayo la enojosa repetición de iguales cálculos numéricos, se ha formado la llamada *Tabla de presiones efectivas*, deducida de las que marca el manómetro, teniendo en cuenta las dimensiones de los órganos sobre que actúan y las pérdidas por rozamiento. Dicha tabla comprende desde una á doce atmósferas, límite de la potencia del aparato. Hé aquí su modo de formación:

Constando el émbolo de dos cuerpos cilíndricos de eje común, pero de diferente diámetro, con objeto de unir al más estrecho ó vástago completamente anterior al cilindro el extremo móvil de las barras de prueba, es evidente que el agua en presión actuará solamente sobre el reborde ó corona circular entre ellos comprendida, y cuya superficie se deduce, por lo tanto, del pequeño cálculo siguiente:

BASE DEL ÉMBOLO.

Diámetro = 0,266;

$$\text{Sección} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,1416 \times 26,6^2}{4} = 555,72 \text{ c/m}^2$$

VÁSTAGO DEL ÉMBOLO.

Diámetro = 0,05.

$$\text{Sección} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,1416 \times 5^2}{4} = 19,63 \text{ c/m}^2$$

Superficie de la corona circular = 536,09 c/m².

Cada atmósfera de presión acusada por el manómetro, dará, por consiguiente sobre el émbolo, un esfuerzo de tracción equivalente á

$$1,0336 \times 536,09 = 554,10 \text{ kilogramos,}$$

de cuya cifra hay que deducir las pérdidas debidas al rozamiento de las guarniciones de cuero, en ambos cuerpos, para lo que haremos uso de la fórmula

$$F = 1,5 \frac{\pi d}{4} p$$

deducida por el insigne mecánico Reuleaux, de los experimentos de Hieh, y en la cual se representan:

F , el rozamiento;

d , diámetro del émbolo ó vástago en m/m;

p , la presión del líquido en kilogramos por m/m².

El rozamiento en la base del émbolo será, pues,

$$F = 1,5 \times \frac{3,1416 \times 266}{4} \times 0,010336 = 3,24;$$

y en el vástago,

$$F = 1,5 \times \frac{3,1416 \times 50}{4} \times 0,010336 = \frac{0,61}{3,85}.$$

Rozamiento total que descontado del esfuerzo antes deducido, dá una presión efectiva por cada atmósfera acusada, de

$$554,10 - 3,85 = 550,25;$$

ó sean **550** kilogramos, prescindiendo de la pequeña fracción adicional.

JULIO VALDÉS,
Ingeniero de caminos.