

ESTUDIO SOBRE EL ACERO EN LOS PUENTES

III

CONDICIONES DEL ACERO PARA PUENTES (1)

Con todos los datos que hemos podido reunir, in-

cluyendo las interesantes opiniones de las fábricas españolas, que en el número anterior consignamos, se ha formado el siguiente cuadro en que aparecen reunidas las condiciones que en diversos países se imponen para las pruebas y trabajo del acero en los puentes.

Estado de las condiciones de prueba y trabajo del acero.

	Carga de rotura — Kilogramos por m/m ²	Alargamiento por 100. — Barre- tas de 200 m. m.	Limite de elasticidad. — Kilogramos por m/m ²	Metal para roblones.	Agujeros para roblones.	TRABAJO DEL ACERO — KILOGRAMOS POR M/M ²		
						Vigas principales.	Viguetas y celosías.	Roblones.
Fábricas francesas.	Batignolles.....	45 á 50	20 á 18	»	acero.....	alisados.....	10 á 12	»
	Reves Lille.....	45 á 50	20	»	hierro.....	alisados.....	10 á 11	9
	Creusot.....	42 á 45	22 á 20	24	acero.....	punzonados.	»	»
	Cail.....	45	20	24			12	»
	Terre-Noire.....	42 á 45	22 á 20	22 á 25			10	10
	La Felguera.....	38 á 40	24 á 30	22 á 24			10 á 12	»
Fábricas españolas.	Mieres.....	38 á 40	24 á 30	22 á 24	acero.....	punzonados.	8,50 11,50	7,50
	La Vizcaya.....	40 á 45	18 á 20		acero más blando.	forados.....		
	Altos Hornos.....	42 á 46	26 á 22		acero.....		10	
	Maquinista de Barcelona.....	42	22	21 á 28	acero.....	punzonados.	11,50-8,50	4 á 5
Marinas.	Vasco Belga de Miravalles.....	45	24	28	acero.....		9	6 7
	Marina Palastros de 6 á 8 m/m.	43	21		hierro ó	alisados.....		
	— de 8 á 20 m/m.	42	22		acero.....			
	Almirantazgo inglés.....	42 á 49	20				10,50	
Puentes construidos.	Marina española.....	40 á 47	10 á 24					
	Lyon.....	47	24	24	acero.....		10	
	Ferrocarril de Tours á Sargé.....	44 á 4	24	24	acero.....		10	
	Rouen.....	50	18	22	hierro.....			
	Giratorio de Caen.....	50	25	25	acero.....	forados.....	10	
	Plattsmouth y Bismark.....						10,80	
	Puente del Forth.....	47 á 58	20 á 17		acero.....	forados.....	11,80	
	Cernadova (Danubio).....	42 á 48	21					
	Ferrocarril de Valladolid á Ariza...	45	20	22	hierro.....	punzonados.		
	Informe de 1888 del Consejo general de Puentes y Calzadas de Francia.....	42 á 45	21	24	acero.....	alisados.....	12 10,50	9 7
Reglamentos.	Board of Trade (oficina inglesa).....						8,50	
	Reglamento francés de 1891.....	42	22	21 á 28			11,50	6
	Real orden española de 1893.....						9 á 12	6 á 9 3
Condiciones propuestas para el puente de Pino (proyecto).....		40	21	20 á 26	acero.....	alisados.....	10	8 5

CONCLUSIONES

Voy á tratar ahora de deducir de todos los datos consignados en el cuadro anterior y de los que he podido tomar en mis frecuentes visitas á las fábricas de Vizcaya y Asturias, los elementos que he de proponer á la Superioridad para las condiciones de prueba y trabajo que deben exigirse en los aceros empleados en puentes.

Cargas de rotura.—Se observa en el cuadro que las cargas de rotura por milímetro cuadrado de sección, oscila entre 38 kilogramos (mínimo propuesto por las fábricas de La Felguera y Mieres), y 58 kilogramos, que se exigían para las piezas de acero duro,

de los grandes arcos del puente del Forth, sometidos únicamente á compresión (1).

En las pruebas que hice con aceros de las fábricas de Bilbao, cuando tuve que inspeccionar las obras del puente de Panes (Asturias), con 10 barras sacadas de chapas y angulares, rompieron aquellas bajo tracciones comprendidas entre 45^k, 10 y 50^k, 4 (término medio 48,64); los aceros corrientes de La Felguera y Mieres, son algo más dulces y rompen bajo cargas comprendidas entre 38 y 45 kilogramos, pero se obtiene con ellos mayor alargamiento, como es natural.

(1) Hay aceros extraduros que resisten hasta 80 y 100 kilogramos por milímetro cuadrado sin romperse, pero son muy frágiles y sólo admiten alargamientos de 6 á 8 por 100.

(1) Véanse los dos artículos anteriores.

Yo entiendo que son preferibles para puentes los aceros extradulces, de temple escaso, de grano bien formado, y no doy tanta importancia á la carga de rotura, como al alargamiento y al límite elástico.

El Reglamento francés de 1891 abunda en este criterio, y reduce á 42 kilogramos la carga mínima de rotura.

Creo que se puede sin inconveniente alguno rebajar aún este límite á 40 kilogramos, y esta es la cifra que propongo, teniendo en cuenta que el trabajo del metal nunca ha de exceder de 10 kilogramos.

Alargamiento.—Así como en los pliegos de condiciones de los puentes de hierro, no suele exigirse la proporción mínima de alargamiento para las pruebas del metal, debe en cambio tenerse muy en cuenta esta prueba en los materiales con que se ejecuten los puentes de acero, pues el mayor ó menor alargamiento de que es susceptible el metal, evidencia su mayor ó menor maleabilidad, así como la identidad de resultados en los ensayos hechos con varias barretas, pondrá de manifiesto la homogeneidad de su fabricación.

Debe tenerse en cuenta que para estos ensayos de alargamiento es preciso emplear siempre barretas de 200 m/m de longitud, que es el tipo ya generalmente admitido, pues se comprende que con barras mayores ó menores el alargamiento total no sería comparable á los coeficientes que sirven de base á los ensayos.

Habiendo reducido á 40 la carga mínima de rotura, procede aumentar hasta 24 por 100 el alargamiento, que es casi el tipo máximo admitido en el extranjero. Se obtendrán así los aceros extradulces que más convienen para puentes, y se podrán utilizar los aceros corrientes de las fábricas nacionales, cuyos productos satisfacen cumplidamente á estas condiciones.

Límite elástico.—Tampoco en los pliegos de condiciones para puentes de hierro se suelen señalar los límites de elasticidad del metal, á pesar de que, y como dice muy bien la fábrica Vasco Belga, es mucho más importante el obtener un límite elástico elevado, que una resistencia muy grande á la rotura.

Sin embargo, hay que hacer una salvedad. Se fabrican aceros fosforosos que presentan la particularidad característica de tener un límite elástico, que supera á veces 30 kilogramos por m/m^2 , pero ofrecen el peligro de romperse repentinamente bajo la acción de un choque violento.

Sin duda para obviar este peligro, el Reglamento francés de 1891, señala como máximo los dos tercios de la carga de rotura y como mínimo un medio de ésta.

Creo acertadísima esta precaución y propongo los límites de 20 y 26 kilogramos por m/m^2 para la elasticidad del metal.

Metal para roblones.—Es este asunto aún muy discutido y sobre el que no se ha logrado reunir unanimidad de pareceres, según se desprende por la lectura del cuadro anterior. Sin embargo, la ma-

yoría de las fábricas recomienda ya el acero y se han empleado con éxito en los puentes del Forth, de Rouen, etc., y por último el Consejo general de Puentes y Calzadas en su dictamen del año 1888, estima que es preferible emplear roblones de acero extradulce, de la cabida llamada en Francia «Fer fondu», pudiendo resistir una carga mínima de rotura de 38 kilogramos y sufrir un alargamiento mínimo de 28 por 100.

Por mi parte ya indiqué en mi librito sobre *Puentes económicos de hierro*, etc., pág. 214, que los roblones de acero, por ser este un metal fundido y homogéneo, ofrecen sobre los de hierro la ventaja, muy digna de tenerse en cuenta, que rellenan por completo los agujeros, sin que se tuerzan ó rompan las fibras, como ocurre con los de hierro, cuando no hay una coincidencia perfecta entre los agujeros de las distintas chapas.

En cambio, por muy dúctil que sea el acero, es siempre muy peligroso trabajarlo fuera de ciertas condiciones de temperatura, que es difícil mantener en los montajes, donde se opera con fraguas portátiles y se remacha á brazo.

Ejecución del roblonado.—Por todas estas razones creo que lo más prudente será:

1.º Emplear el acero extradulce (38 kilogramos de carga mínima de rotura y 28 por 100 de alargamiento) para todos los roblones que hayan de ser cosidos á máquina en los talleres.

2.º Autorizar el empleo de estos mismos roblones en el montaje, siempre que el cosido se efectúe á máquina.

3.º Adoptar el hierro extrafino (36 kilogramos de resistencia mínima á la rotura con 16 por 100 de alargamiento), para aquellos roblones, que por su situación especial, necesitan ser remachados á brazo.

Todos los Ingenieros y los constructores más afa-
mados, dan gran importancia á la perfección del roblonado, y muchos de ellos opinan que debieran estudiarse y despiezarse los puentes, de modo á permitir el empleo de la máquina roblonadora (hidráulica ó por aire comprimido), en todos los roblones que hay que remachar durante el montaje.

Paréceme muy razonable esta exigencia, pues no cabe dudar que por muy diestros que sean los operarios, nunca ejercerán sus martillos la enérgica presión producida por una máquina. ¿Que puede esta prescripción ocasionar algún pequeño aumento de gasto y una sujeción, á que no son muy aficionadas ciertas fábricas de segundo orden? Siempre será insignificante la diferencia de coste y se obtendrá con ella una perfección en el cosido muy favorable para la solidaridad de las piezas unidas.

Así que entiendo que debe exigirse la condición del roblonado mecánico, aun en el montaje, no exceptuando más que aquellas uniones secundarias, como, por ejemplo, las de las placas bombeadas del piso, en que sería imposible efectuar el cosido á máquina.

Ejecución de los agujeros de los roblones.—Tam-

bién es muy controvertida esta condición, pues si bien algunas fábricas pretenden que los agujeros punzonados, no ofrecen inconveniente alguno, otras entienden que deben alisarse los agujeros en un espesor mínimo de 3 m/m y hasta hay fábricas é Ingenieros que estiman que deben forarse por completo con taladro giratorio, como se ha hecho en los puentes de Caén y en el famoso del Forth.

Por mi parte me parece algo exagerada esta última perfección, que produce un aumento de coste sensible; pero como he tenido ocasión de observar en varias fábricas de puentes que el punzonado de los roblones no se ejecuta con matemática exactitud, lo que lleva consigo que los agujeros de las chapas no suelen coincidir, obligando al roblón á torcerse, creo que será siempre muy buena precaución, obligar á las fábricas á que alisen á máquina todos los agujeros correspondientes, en un espesor mínimo de 3 m/m , con lo que se limpia perfectamente el agujero, quitándole el borde que pudiera haberse modificado algo en su textura por efecto del choque violento del punzón, y además obteniéndose así la superposición perfecta de todos los agujeros que deban coserse.

Trabajo á que debe someterse el acero.—La oficina del *Board of trade*, que inspecciona los puentes en Inglaterra, admite un coeficiente de 10 $\text{k}, 5$ por m/m^2 . algunos Ingenieros ingleses creen que no hay inconveniente alguno en elevarlo á 13 kilogramos, exigiendo un límite de elasticidad doble y una resistencia mínima á la rotura cuádruple, es decir, 26 y 52 kilogramos respectivamente.

En el puente del Forth, el trabajo del acero alcanza 11 $\text{k}, 8$.

El Reglamento francés de 1891, autoriza un trabajo de 11 $\text{k}, 50$ para las vigas principales de puentes de más de 30 metros de luz, reduciéndose este coeficiente á 8 $\text{k}, 50$ para tramos menores, en que las sobrecargas ejercen mayor influencia y son, por lo tanto, más sensibles las influencias dinámicas del paso de trenes ó carros.

Aunque en la Real orden española de 1893 se autoriza hasta 12 kilogramos por m/m^2 , no he creído deber pasar de 10 kilogramos en el cálculo de arcos y vigas principales, reduciendo este coeficiente á 8 kilogramos para las viguetas, celosías y palizadas, entendiéndose que estos esfuerzos máximos deben calcularse por milímetro cuadrado de sección neta, es decir, descontando los agujeros de roblones y pernos.

Con estos trabajos máximos, que, como se ve, nunca pasarán de la mitad del límite de elasticidad comprobado, se obtendrá una economía sensible y queda margen más que suficiente para los esfuerzos secundarios, tan difíciles de precisar y calcular.

En cuanto al trabajo de los roblones á la tronchadura, señalo como límite 5 kilogramos, pues como dije en mi primer artículo, rebajándolo más, se multiplicaría extraordinariamente el número de roblones y, por otra parte, el reglamento francés de 1891, pres-

cribe que este trabajo no deberá superar á los $\frac{1}{2}$ del trabajo mínimo admitido para las demás piezas. Siendo éste de 7 $\text{k}, 5$, el trabajo mínimo del acero para roblones resultará ser de 6 kilogramos superior al propuesto.

El Reglamento francés añade también, que debe calcularse el trabajo de arranque de las cabezas, de modo á que no supere en 3 kilogramos el esfuerzo resultante del apriete de los roblones. Parece-me afinar demasiado y complicar hasta un límite impracticable el cálculo de cualquier puente. Se obtendrá á mi juicio seguridad bastante empleando las fórmulas corrientes de los formularios de constructores desde el momento en que se adopta un coeficiente de trabajo de 5 kilogramos, que es el $\frac{1}{2}$ del límite mínimo de elasticidad y el $\frac{1}{8}$ del coeficiente de rotura.

Con lo dicho creo haber justificado suficientemente las condiciones de pruebas y cálculo que he propuesto, y me daré por satisfecho si este trabajo fuera útil á mis compañeros.

JOSÉ EUGENIO RIBERA.

Oviedo Febrero 96.

PUERTO DE BARCELONA

Avanzan con bastante rapidez las importantes obras del Depósito Comercial, vastísimo edificio que ha de levantarse en el muelle más interior del puerto, y toma su nombre de esta notable construcción.

Los cimientos de la misma, en los que se invirtió una suma aproximada de 800.000 pesetas, se llevaron á cabo por Administración y consisten, como sistema general, en una serie de muros formados por bloques de hormigón hidráulico y enlazados unos con otros, constituyendo una verdadera cuadrícula en relación con la constituida por los muros y crugias de la construcción superior. La altura de estos muros de bloques, ó sea la profundidad de asiento de su primera hilada, toda vez que la coronación de los mismos enrasa con el nivel de la pleamar, alcanza á una sonda de 8'60 metros, exceptuando la correspondiente á la fachada principal del lado del mar, en que hubo necesidad de llegar hasta 14 metros como cota máxima, por la poca resistencia del fondo, asentando los bloques sobre un macizo general de escolleras en una longitud de 120 metros y con alturas variables de 4 á 6. Los espacios de planta rectangular que constituyen la citada cuadrícula, se rellenaron con arena perfectamente limpia y homogénea, hasta una cota inferior en un metro al nivel de la baja mar, á partir de la cual se vertió posteriormente una capa de hormigón hidráulico bien apisonado de 1 $\text{m}, 60$ de altura, cuya superficie superior enrasa, por lo tanto, con el nivel de la pleamar y que, recubierta á su vez por una chapa de cemento Portland, servirá de piso á los almacenes y galerías de los sótanos.

Las obras del edificio propiamente dicho, que son