

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

NECESARIA PARA TODOS LOS CUERPOS FACULTATIVOS DE OBRAS PÚBLICAS, TORREROS DE FAROS, CONTRATISTAS Y CUANTOS TENGAN RELACIÓN CON AQUELLAS

AÑO XLIII

SERIE 6.^a

Carreteras y caminos vecinales, puentes, ferrocarriles, tranvías, canales, ríos, riegos, desecamientos, puertos, alumbrado marítimo, aplicaciones de la electricidad y abastecimiento de aguas.

SE PUBLICA TODOS LOS JUEVES

TOMO I

NÚM. 7.^o

Redactor-Presidente.... Ilmo. Sr. D. Luis Sáinz y Gutiérrez, Inspector general del Cuerpo de Ingenieros de Caminos.
Redactores...... Los Sres. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.
D. Luis Gaztelu, Profesor de la Escuela de Caminos.
D. Manuel Maluquer, Ingeniero del mismo Cuerpo, *Secretario*.
Colaboradores...... Todos los Ingenieros de Caminos.

Redacción y Administración: San Marcos, 4.—Madrid.

SECCIÓN OFICIAL

Por Reales decretos de 15 del corriente se ha ascendido á Ingeniero Jefe de primera clase, Jefe de Administración de tercera, á D. Antonio Sanz González, y á Ingeniero Jefe de segunda, Jefe de Administración de cuarta, á D. Enrique Gadea.—(*Gac.* de 16 de Febrero.)

—Por Real decreto de 15 del corriente se declara comprendido en el plan de las obras que deben empezarse en el actual año económico, las de voladura de la parte peligrosa de los escollos denominados «Los Cabezos», en el Estrecho de Gibraltar, cuyo presupuesto parcial es de 253.303 pesetas, consignándose á este objeto una partida de 50.000 pesetas para el actual ejercicio, y autorizando al Ministro de Fomento para ejecutar estas obras por Administración.—(*Gac.* de 16 de Febrero.)

—Por Real decreto de la misma fecha, se aprueba por su importe de 18.710'08 pesetas el presupuesto de gastos para estudiar y redactar el proyecto definitivo de obras de defensa de Sevilla contra las inundaciones del río Guadalquivir en relación con las obras del puerto, presupuesto formado por el Inspector general D. Javier Sanz, encargado de dicho estudio.—(*Gac.* de 16 de Febrero.)

—La Compañía de los caminos de hierro del Norte, celebrará concurso público el 10 de Marzo próximo para adquirir 360 kilogramos de aceite de olivo para alumbrado y engrase.—(*Gac.* de 16 de Febrero.)

—Se ha otorgado á D. José María Parejo, como representante de la Compañía de minas de Riotinto, la ocupación de cierta porción de terreno de la playa de Punta Umbria, para establecimiento del Sanatorio ó barrio de la Salud con destino á la higiene del personal ocupado en aquella industria.

—Como resultado de la visita girada para dar cuenta de las marcas que señalan los cables submarinos que unen á las posesiones españolas de Africa con la Península, se citan en la *Gaceta* las boyas que hace falta colocar de nuevo.—(*Gac.* de 17 de Febrero.)

SECCIÓN DOCTRINAL

ESTUDIO SOBRE EL ACERO EN LOS PUENTES

I

VENTAJAS DEL EMPLEO DEL ACERO

Habiéndome confiado la Dirección general los estudios en comisión especial de las carreteras de Fonfría á Ledesma y de Ledesma á Fermoselle (afectando ambas á las dos provincias de Zamora y Salamanca), encontréme con el problema del paso de los ríos Duero y Tormes, en emplazamientos extraordinariamente escarpados, y entre las diferentes soluciones estudiadas, opté por atravesar tan caudalosas corrientes por medio de arcos metálicos de 120 metros de luz, cuyas rasantes establecí á 100 y 90 metros de altura respectivamente, en las proximidades de los pueblos de Pino y Fermoselle.

Dada la gran importancia de estas obras, vine obligado á profundizar el especial estudio de los grandes arcos metálicos, y entre los muchos problemas que entraña este trabajo, y de los que espero ir dando cuenta á mis compañeros, presentaré en primer lugar el de la elección del material que ha de constituir el viaducto: *hierro ó acero*.

Considero, pues, interesante reproducir en la *Revista* el capítulo de mi memoria que dedico á esta cuestión.

Desde la construcción del puente de San Luis, sobre el Missisipi, en cuya obra se empleó casi por primera vez el acero, hasta el día, se ha propagado, aunque muy lentamente, la utilización de este material.

Verdad es que las pruebas efectuadas el año 1860

en algunas construcciones navales inglesas, y las experiencias hechas en un tablero de un puente de Holanda, fueron casi contraproducentes; pero desde entonces acá, y no van muchos años, los procedimientos de fabricación del acero se han perfeccionado de tal modo, que hoy día es casi unánime la opinión de los Ingenieros sobre la preferencia que debe darse al acero, siempre que se trate de obras importantes.

Sin embargo, de todos los grandes puentes en arco recientemente construidos, solo se ha empleado el acero en el puente Washington, de Nueva York. Ni Eiffel en sus dos viaductos, ni los Ingenieros suizos é italianos, lo emplearon en los grandes arcos allí construidos, aunque no cabe dudar que hubieran obtenido con dicho material muy sensibles economías.

Puede que aún no tuvieran bastante confianza en el acero; pero también cabe admitir que los constructores no suelen ser muy partidarios de un metal que al permitir una reducción en el peso de sus obras, disminuye en la misma proporción sus utilidades, si se tiene en cuenta sobre todo que la confección y roblonado es algo más costoso con el acero.

Asimismo el Ingeniero D. Luis Acosta, en la memoria de su hermoso proyecto del puente de la Barca (1), propone también el hierro, por considerarlo tan económico como el acero, y porque en la fecha en que se redactó, sólo una fábrica española, la de Altos Hornos, elaboraba acero Bessemer.

Sin embargo, en estos últimos años (desde el año 1888) han sido tan evidentes los progresos de la fabricación del acero, y se ha generalizado de tal manera su científica metalurgia, que la opinión de los Ingenieros se ha sensiblemente reaccionado en favor del acero, y lo que pudiera considerarse hace 10 años como un atrevimiento, es hoy una consecuencia racional de aquellos progresos.

Considerando, pues, que el empleo del acero habría de permitirme obtener una no despreciable economía en los puentes sobre el Duero y sobre el Tormes que tenía que proyectar, no vacilé en proponerlo previamente á la superioridad.

A la consulta hecha, ha dictaminado la Junta Consultiva en los términos siguientes:

«Opina la Sección al primer punto consultado, que estando sancionadas por muy repetidos ejemplos las ventajas de carácter técnico y económico de los puentes de acero, especialmente en tramos de gran luz, conviene emplear este material en los que han de construirse sobre el Duero y el Tormes para servicio del tráfico por las carreteras de Ponfria y de Salamanca á Ferroselle. Estima, pues, aceptada esta parte de la propuesta del Ingeniero, y abundando en la idea que el mismo emite de someter el metal á un esfuerzo de 9 á 10 kilogramos por milímetro cuadrado, cree oportuno que se le recomiende lo que á este propósito se dispone en la Real orden de 23 de Abril de 1893 dictando reglas para el reconocimiento de los tramos metálicos construidos en los ferrocarriles.»

(1) Publicado en los Anales de esta REVISTA, núm. 4 del año 1894.

• Efectivamente, dicha Real orden que, transcribe el dictamen del eminente Inspector D. Eduardo Saavedra, dice lo siguiente, en lo que se refiere al empleo del acero:

«Cuando se adopte el acero, los límites de trabajo para las vigas principales pueden variar entre 9 y 12 kilogramos, según los casos. En las barras de celosía ó de triangulación, en las cuales los esfuerzos de tensión ó compresión directa pueden cambiar alternativamente de dirección, los coeficientes se deben disminuir en un tercio, y á los roblones, sean de hierro ó de acero, no se les habrá de suponer una resistencia á la tranchadura superior á 3 kilogramos por m^2 (1).

»No obstante todo lo dicho, los autores de los proyectos podrán poner los guarismos que su pericia técnica les aconseje, siempre que razonen suficientemente su adopción.»

Como se desprende de todo lo expuesto, los Ingenieros quedan, en definitiva, facultados para proponer los coeficientes de trabajo que consideren aceptables para cada caso y mientras no se formule un Reglamento más preciso para el empleo del acero, cada Ingeniero tendrá que justificar los coeficientes que adopte, los ensayos de pruebas á que se ha de someter el material y las condiciones que se imponen para la ejecución de la obra en los talleres, pues desde luego se comprende que han de sufrir notable alteración las condiciones facultativas preceptuadas en el modelo oficial aprobado por Real orden de 16 de Julio de 1878, que es el que suele copiarse en todos los proyectos.

¿Qué es acero?—Debemos tratar de definir, en primer lugar, lo que se entiende por *acero*.

Aunque parece ociosa esta pregunta, tratándose de mis lectores, el caso es que aún no puede definirse, con rigurosa exactitud, la composición de lo que se llama comunmente *acero*, y en el interesante discurso de mi querido y sabio profesor D. Manuel Pardo, al ingresar en la Academia de Ciencias, se evidencia, con abundancia de datos, la «disconformidad que existe entre los hombres de ciencia respecto á las sustancias que comunican al hierro las propiedades que pueden llamarse *acerantes*, ni á si forman ó no con el metal verdaderas combinaciones químicas».

Pero nos saldriamos de los límites de este trabajo si procurásemos, aunque fuera someramente, repetir aquí las opiniones de tantas eminencias químicas é ingenieriles como han terciado en la materia.

Sabido es que hoy día se ha demostrado que no es el carbono exclusivamente el que determina el *aceramiento* de los hierros; y que otros metales ejercen

(1) A este propósito debo hacer observar que ha debido introducirse en la redacción de este último párrafo algún error de imprenta, por omisión probablemente, pues si se le limitara á 3 kilogramos el trabajo máximo á la tranchadura de los roblones, sería menester, en la mayor parte de los casos, multiplicar el número de roblones en una proporción á veces impracticable.

Lo que probablemente habrá querido decir nuestro eminente compañero D. Eduardo Saavedra, es que el trabajo de arranque de las cabezas de los roblones no deberá superar en 3 kilogramos por m^2 el esfuerzo que resulte por el apriete de los roblones, condición análoga á la del Reglamento francés de 1891.

análogas propiedades, pero al constructor le interesa poco que tengan mayor ó menor proporción de carbono ó de silicio, de tungsteno ó de cromo. Lo que le importa es que el metal con que se ha de ejecutar el puente reúna las condiciones de resistencia, límite elástico y alargamiento, que resulten más convenientes para la construcción. No necesitamos efectuar análisis químicos del material; lo que interesa es proceder con el mayor cuidado y escrupulosidad á los ensayos mecánicos del acero que ha de constituir la obra.

Así es que, desde el punto de vista industrial, hay que comprender bajo el nombre genérico de *aceros* todos los compuestos de hierro, *maleables*, *fundidos* y que pueden ser muy diferentes por su composición; su modo de fabricación y sus propiedades.

Creíase al principio que convenían para la construcción aceros presentando resistencias muy considerables á la rotura, sin darse cuenta de que se obtenían así metales de gran dureza, pero nada dúctiles.

Hoy día, por el contrario, está reconocido que sólo deben emplearse, para puentes sobre todo, los aceros *muy dulces* y muy homogéneos, que los recientes descubrimientos metalúrgicos permiten obtener con relativa economía.

Con los actuales métodos de fabricación consíguense producir, casi con matemática exactitud, todas las variedades de calidad intermedia entre el acero fundido muy maleable y los aceros durísimos necesarios para ciertas aplicaciones. Por lo mismo es menester sujetar con mucho rigor las condiciones de fabricación, procediendo á ensayos minuciosos para asegurarse de que la calidad del metal corresponde á las especiales condiciones de su empleo.

Seguridad que ofrece.—Por no haber dado importancia á estos detalles ocurrieron seguramente los fracasos en los primeros ensayos hechos con acero. En los palastros de acero fabricados hacia el año 1870, la falta de homogeneidad era muy frecuente, produciéndose roturas espontáneas, que dieron mucho que pensar. Hoy puede en cambio asegurarse que en los aceros obtenidos, por el procedimiento Martín-Siemens principalmente, la homogeneidad de los palastros y barras de acero es perfecta, ofreciendo el acero, por lo menos, tantas garantías de seguridad como el hierro.

Los aceros dulces que deben emplearse en puentes, se trabajan con la misma facilidad que el hierro; tienen límites elásticos y alargamientos mucho mayores que aquél.

Su misma estructura, compacta y homogénea, permite creer que ha de ser menos sensible á los efectos vibratorios que las fibras del hierro dulce, las que al cristalizarse, por efecto de los choques, adquieren propiedades vidriosas que las hacen quebradizas. En todo caso, siendo homogénea y fundida la textura del acero, ofrece en todos sentidos igual resistencia, mientras que el hierro laminado, por su estructura fibrosa, trabaja en malas condiciones, cuando está, como ocurre en un gran número de

piezas, sometido á esfuerzos oblicuos ó normales á sus fibras.

Precio del acero.—Ya preveía D. Manuel Pardo, en su notable discurso de 11 de Noviembre de 1894, que los precios del acero, que decrecían gradualmente, llegarían á igualarse con los del hierro, á causa de los perfeccionamientos y rapidez en los procedimientos de fabricación, imponiéndose entonces de una manera decisiva la sustitución de un metal por otro.

Ha llegado el día en que los precios del acero dulce para construcciones son *los mismos* que los de los hierros similares.

En España tenemos ya cuatro grandes fábricas que lo producen de inmejorable calidad: Altos Hornos (Bilbao), el acero Bessemer y el Siemens; La Vizcaya (Bilbao), La Felguera, y Mieres (Asturias), el Martín Siemens; y en todas ellas se adquieren palastros y barras de todas clases de aceros dulces corrientes, por igual precio que el del hierro. Hasta es probable que al limitarse la producción del hierro y al generalizarse, por el contrario, la del acero, llegue á ser éste más barato que aquél.

Economía que se obtiene con el acero.—Este descenso continuo que desde hace algunos años ha venido sufriendo el precio del acero, lleva consigo una considerable economía en el coste de todas las obras metálicas.

Desde el momento en que para el acero se pueden admitir sin peligro coeficientes de trabajo de 10 á 12 kilogramos por m^2 , mientras que no sería prudente exceder de 6 á 8 kilogramos en el hierro dulce, se obtiene necesariamente una economía proporcional á la diferencia de los coeficientes admitidos, que si bien es tanto más sensible cuanto mayor sea la luz, existe aún para obras y puentes de pequeña importancia.

Como en los puentes en arco la resistencia de éstos tiene que depender del peso muerto del viaducto que sobre ellos se apoya, se comprende la importancia que tiene la reducción de dicho peso muerto. Así que en los arcos de acero sometidos á menor compresión, no solo por la reducción de su peso propio, sino por la disminución del peso del tablero y pilas, ha de resultar muy sensible la reducción de sus dimensiones. No puede precisarse, sin cálculos muy detallados para cada caso, la economía que se obtiene adoptando el acero; pero es seguro que aquélla puede alcanzar á 40 por 100 para luces de 120 á 150 metros.

Facilidad de montaje.—Esta disminución del peso del tablero y de los arcos facilita otro tanto el montaje del puente, porque las operaciones de transporte y manejo son más económicas, las cimbras y andamiajes no necesitan tanta resistencia; los tornos y demás aparatos auxiliares de suspensión de las piezas pueden por lo mismo ser mucho más ligeros.

Las fábricas dan mucha importancia á estas ventajas, que aunque en menor escala, son también apreciables en los tramos rectos de pequeña luz.

En resumen, el acero presenta hoy día indiscutibles ventajas de economía y seguridad, y debe por lo tanto emplearse en la mayor parte de las construcciones metálicas.

El único inconveniente que puede ofrecer es su variedad de fabricación, y por esto procede prescribir reglas muy precisas y severas, y ensayos muy escurpulosos para asegurarse de la perfecta calidad é igualdad del material.

La fijación de estas reglas será objeto del siguiente artículo (1).

JOSÉ EUGENIO RIBERA.

Oviedo, Febrero 1896.

EL CAMINO DEL GRAO DE VALENCIA

Es sabido que las grandes dificultades con que tropiezan los ingenieros para la conservación esmerada de las carreteras en el Centro y Mediodía de España, son el clima de que disfrutan y los materiales de que disponen. El clima, caluroso en exceso, resquebraja y hace polvo hasta los acopios que hay en los paseos y los materiales que teniendo poca dureza y mala calidad, siendo piedra machacada blanda y recebos arcillosos, las más de las veces, no resisten el continuo gravitar de los carros cargados que transitan por el firme y se trituran y aplastan en vez de trabar convenientemente.

El camino del Grao de Valencia reúne, á estas condiciones, una frecuentación excepcional, pues transitan por él diariamente de 3.500 á 4.000 vehículos cargados en su mayoría; así es que su conservación se hacía imposible á pesar de una dirección activa, inteligente y costosísima. Se gastaban anualmente 35.000 pesetas en piedra partida, que el cilindro de vapor apisonaba sin descanso; se hizo un último esfuerzo levantando todo el firme y reconstruyendo el camino, operación que costó 60.000 pesetas, sin que con todos estos gastos se obtuviese otro resultado que tener llenos de baches y rodadas los cinco y medio kilómetros que tiene el camino.

Las reclamaciones continuas de los carreteros obligaron á la Comisión de caminos del Ayuntamiento de dicha ciudad á cambiar de procedimiento; se

pensó en adoquinarlo ó entarugarlo; pero estas soluciones de dudosos resultados no se realizaron afortunadamente, y se optó por ensayar un proyecto del Ayudante de Obras públicas, Sr. Meseguer; proyecto que constituye un adelanto de aplicación inmediata á los trozos de carretera que reúnan las condiciones dichas.

Todo el mundo ha observado el hecho de que los vehículos marchan por las carriladas que encuentran abiertas, porque estando por ellas el terreno más duro que por el resto del camino, el ganado ejerce la tracción con más facilidad, con menos *fatiga*. Es indudable que si estas rodadas no destruyeran por completo el firme, si siempre se conservaran sin baches, el problema de la conservación estaría resuelto á poca costa, pues por ellas irían los vehículos pesados que marchan al paso, y los ligeros, que llevan mayor velocidad, ocuparían el resto del firme.

En esto se debieron fijar los italianos al idear sus carriles de losas; pero no contaron con la falta de homogeneidad en la dureza de la piedra, y por tanto con el desigual desgaste de aquéllos; y de aquí que el perfil longitudinal de los carriles aparezca, al poco tiempo de instalados, lleno de pequeñas ondulaciones, que se agrandan más y más á medida que pasan nuevas ruedas por ellas.

En los carriles instalados en el camino del Grao se ha resuelto el problema por completo. Se ha empleado el acero, material duro, elástico y homogéneo, en el que no pueden haber baches, por ser su desgaste muy igual y pequeño, obteniendo con ellos unas *rodadas ó carriladas artificiales* de muchos años de duración.

La sección del camino es la que indica la fig. 1.^a En ella se ve que en vez de los acopios que suele haber en los paseos se han colocado, á derecha é izquierda dos carriles, por los que marchan en direcciones opuestas los carros que transportan mercancías; los de la derecha para los que van al puerto, los otros para los que vienen, quedando libre el resto del camino para los cocheros ó carros descargados, que llevan mayor velocidad que la del aire de paso.

Los carriles tienen por sección una E, fig. 2.^a, que está formada por dos hierros en U cosidos por pernos con doble tuerca, colocados de 50 en 50 cm. á lo largo del nervio central del carril. Parece ser que dificultades de fabricación han impedido que los carriles sean de un solo hierro, que por otra parte hubieran sido de difícil manejo por su gran peso. Las dimensiones acotadas en la figura están calculadas para resistir un peso de cuatro toneladas en cada rueda, suponiendo que el carril está apoyado en sus extremos y sin rellenar de grava, como luego se verá, caso á que se está muy lejos de llegar en la práctica; se ve también que la superficie de rodadura es ligeramente cóncava, lo que sirve de *guía* á las ruedas de los vehículos; es decir, que la pequeña flecha hace el mismo oficio que la pestaña y la hendidura, que respectivamente llevan en la rueda y el carril los tranvías.

(1) Los compañeros desearios de estudiar esta interesante cuestión pueden leer, además de la segunda edición de *Materiales de construcción*, de D. Manuel Pardo, y de su interesante discurso ya citado, las revistas siguientes que hemos consultado:

Giornale del Genio civile: Sull'adozione del acciaio Martin Siemens, per la costruzione dei travati dei ponti. Anno 1889, pág. 585.

Revue universelle des mines, año 1890, tomo XII, pág. 154.—*Emploi de l'acier dans les ponts*.

Annales de Oppermann, año 1890, Abril y Mayo.—*Emploi de l'acier dans les constructions*.

Annales de construction, Marzo 1888.—Nota de Mr. Prendeau, Ingeniero Jefe de Puentes y Calzadas, sobre el empleo del acero en los puentes franceses.

Annales des ponts et chaussées, 1885, primer semestre, pág. 574. *Consideré*.—*Emploi du fer et de l'acier dans les constructions*.

Revue universelle des mines, 1885, segunda serie, pág. 411. *Edouy Matheson*.—*Sur l'emploi de l'acier dans les constructions*.

Annales industrielles, año 1884, pág. 728. *Perisid*.—*De l'emploi de l'acier dans les constructions navales, civiles et mécaniques*.