

EMPLEO DEL ACERO

EN LAS CONSTRUCCIONES CIVILES

PROGRAMA

- I.—Objeto de la memoria.
 - II.—Resumen histórico del empleo del acero en las construcciones civiles.
 - III.—Clase de metal que debe preferirse.
-

EMPLEO DEL ACERO EN LAS CONSTRUCCIONES CIVILES

§ I.—*Objeto de la memoria.*

El empleo del acero en las construcciones civiles, tiende á generalizarse cada día más y más; como el precio de este metal tiende á igualar al precio del hierro, ofreciendo su empleo mayores garantías y una disminución notable en los pesos muertos de las obras así construídas, los ingenieros y los constructores le dan generalmente la preferencia.

Á medida que los ingenieros se familiarizan con el empleo del acero, y se estudia en todos sus detalles la fabricación y cualidades de estos metales, se ha llegado á una serie de conclusiones, ó más bien dicho, de reglas que deben tenerse siempre presentes cuando se trata de proyectar una obra con esta clase de materiales. Hacer un resumen de estas reglas elementales, justi-

ficándolas sumariamente, es el objeto de esta pequeña memoria, y para ello he consultado varios trabajos publicados últimamente, citando en primer lugar, el informe de los señores Hallopeau y Lantrac, ingenieros de puentes de la Compañía de Fives-Lille y la obra titulada *Cálculos de los puentes metálicos de uno ó varios tramos* del señor Maximiliano de Leber; y varios otros folletos sobre las construcciones de los grandes puentes hechos en estos últimos tiempos, tanto en Francia como en Inglaterra.

Como lo manifiesta el título de esta memoria, sólo me ocuparé de la aplicación del acero en las construcciones civiles (techumbres, puentes, puertas de esclusas, etc., etc.), dejando á un lado las construcciones mecánicas, donde los aceros encuentran como es muy natural, un campo vastísimo de aplicaciones, que sería muy largo estudiar.

Como actualmente se han usado los aceros laminados en la construcción del gran puente del Malleco, y como continúan usándose en todos los puentes que la fábrica del Creusot va á enviar á Chile para los ferrocarriles en construcción, he creído que esta memoria pudiera tener algún interés de actualidad para los ingenieros que siguen de cerca esta construcciones, y cuyos proyectos han sido concebidos y calculados en conformidad con los progresos de la industria y las observaciones que la experiencia ha aconsejado para el empleo del acero.

§ II.—*Resumen histórico del empleo del acero en las construcciones civiles.*

Las grandes construcciones civiles hechas en los Estados Unidos de América en estos últimos años, han marcado, por decirlo así, el origen de la época del empleo de los aceros en los puentes metálicos. El puente de San Luis sobre el Mississippi, fué construído hace 20 años con arcos de acero y con tramos de 150 á 160 metros de luz: en esa misma época, se estudiaba el gran

puente de Brooklyn, que fué ejecutado parte en hierro y parte en acero. Sin embargo, en estos dos puentes, el acero fué empleado en condiciones especiales y excepcionales y apartándose de los procedimientos que se emplearon posteriormente en muchos otros puentes americanos y de los que se emplean actualmente; y como ejemplos podemos citar los puentes de Plathsmouth, de Bismark, sobre el Missouri, del Niágara; el de Saint-John, de Saint-Laurent, de Kentucky y el de Poughkeepsie, etc., etc.

La Europa siguió el ejemplo de los americanos del Norte y desde 1870 á 1878 en Holanda se han construído en acero laminado las piezas de puentes ó piezas transversales y los largueiros debajo de los rieles, de algunos grandes puentes. En Inglaterra se han construído también varias grandes obras en acero laminado y sólo nos bastará citar el construído últimamente, el gigantesco puente del Forth. En Francia se han ejecutado en estos últimos años algunos grandes puentes en palastros de acero, sobre todo por el ingeniero Lavoinne, que después de su vuelta de Estados Unidos, proyectó en 1885 el puente sobre el camino de Rouen y varios otros. Actualmente se construyen en Lyon sobre el Ródano dos grandes puentes de acero que deben reemplazar los antiguos puentes de Morand y Lafayette.

Dado el estado actual de la industria y los procedimientos expeditos que se emplean para obtener una calidad de metal uniforme y con un costo relativamente igual al de los palastros de hierro, se puede decir que el acero está llamado á reemplazar al hierro en todas las grandes construcciones civiles, y que su periodo de ensayo se encuentra terminado, puesto que la experiencia adquirida hasta la fecha permite fijar las condiciones que deben reunir los proyectos estudiados para este metal, debiendo presentar las mismas condiciones de garantías que las construcciones de hierro laminado. Estas condiciones son de varias naturalezas: unas concernientes á la clase de metal que es conve-

niente usar según las circunstancias; y otras concernientes á la manera como deben hacerse los cálculos de estas obras y, por consiguiente, á la confección de los proyectos y tipos que deben escogerse; y por fin, las concernientes á la fabricación ó ensayos de los materiales que deben entrar en las construcciones.

Trataremos de analizar sucesivamente estas condiciones en los párrafos siguientes.

§ III.—Clase de metal que debe preferirse.

Al principio se creyó que lo mejor sería emplear aceros que presentasen *una gran resistencia* sin preocuparse de *su dureza*; pero á medida que los procedimientos de fabricación de los aceros se mejoraron, se emplearon metales más y más dulces, hasta que, gracias á los descubrimientos hechos últimamente, se ha llegado á producir de una manera fácil y á precios corrientes, un metal enteramente dulce que es el que se emplea ahora de una manera corriente en las construcciones ordinarias.

El *hierro* es un metal cuyas moléculas al estado pastoso, han sido soldadas y estiradas por medio del calor y de la presión ejercida por los laminadores ó martillos; por el contrario, el *acero* empleado en las construcciones civiles, cualquiera que sea su naturaleza, es un metal *fundido*; y es esta la *diferencia que hay que establecer en la serie de compuestos ferruginosos que existen actualmente*.

Á causa del laminado, al obrar sobre una masa pastosa y amorfa, cuya cohesión se obtiene por efecto de la soldadura, la textura del palastro de hierro es laminosa ó fibrosa; mientras que la masa fundida que llena los moldes donde se hacen los lingotes de acero que se someten al laminado, por ser compacta, da al acero una textura cristalina y homogénea. Teniendo presente estas circunstancias, se ve que las propiedades de estos dos metales deben ser diferentes; las condiciones de resistencia y de

estiramiento relativo del metal fundido deben ser naturalmente superiores á las del hierro ordinario.

Como se sabe, el palastro de hierro presenta á la tracción resistencias diferentes cuando se le somete á la acción de esfuerzos *longitudinales*, es decir, en el sentido del laminado, ó á la acción de esfuerzos *trasversales*, es decir, en el sentido perpendicular al laminado; y sus fibras son susceptibles de separarse longitudinalmente por *desoldadura*.

El *acero*, por el contrario, *presenta en todos sentidos más ó menos las mismas condiciones de resistencia*: por su naturaleza cristalina, da lugar á que se propaguen con cierta facilidad las trisaduras ó hendiduras que pueden producirse con los cambios de estado de equilibrio molecular. Para no citar más que algunas cifras en comprobación de lo anterior, voy á dar aquí los resultados obtenidos por mí, en los ensayos hechos en algunos palastros de acero destinados á la construcción de los puentes de las nuevas líneas férreas de Chile que se elaboran en la fábrica del Creusot.

Los palastros ensayados eran de acero de la marca A-9 de la fábrica que se encuentra *caracterizada por una resistencia á la tracción por milímetro cuadrado, comprendida entre 45 á 50 kilogramos, y un estiramiento relativo de 25% como minimum*. Los lotes núms. 85 y 86 de palastros de 7 milímetros, dieron en los ensayos á la tracción una resistencia por milímetro cuadrado en el *sentido longitudinal* de 45 k. 5 con un estiramiento relativo de 27% y el mismo palastro á la *tracción trasversal*, dió una resistencia de 46 k. 1 por m/m^2 con un estiramiento relativo de 26%. Los lotes núms. 87 y 88 dieron á la *tracción longitudinal* una resistencia por m/m^2 de 48 k. 2 con 25% de estiramiento relativo; y á la *tracción trasversal* 48 k. 7 de resistencia por m/m^2 con 25% de estiramiento relativo. Los lotes 89 y 90 dieron como resistencia por m/m^2 á la *tracción longitudinal*, 46 k. 1 con 26% de estiramiento relativo; y á la *tracción trasversal*, 46 k. 6 de resis-

tencia por m/m^2 , con 26,5% de estiramiento relativo. Los lotes 91 y 92 dieron como resistencia á la *tracción longitudinal*, 44 k. 9 por m/m^2 con un estiramiento relativo de 29% y á la *tracción transversal* 45 k. 4 de resistencia por m/m^2 con 28% de estiramiento relativo. Estos números ponen por sí solos de manifiesto la poca ó ninguna diferencia de resistencia del *acero*, ya sea que se encuentre sometido á esfuerzos longitudinales ó transversales al sentido del laminado, y se ve por consiguiente la gran ventaja que hay en el empleo de este metal en las construcciones civiles, siempre que su uso sea razonado y siguiendo las reglas del arte.

Actualmente con el nombre de *aceros se comprende una serie de productos ferruginosos fundidos y maleables cuya composición, modo de fabricación y propiedades son muy diferentes*. La mayor ó menor reducción del tanto por ciento de carbono que entra en la composición de estos metales, permite hacer variar su calidad completamente y obtener *aceros fundidos* que por su propiedades sean completamente asimilables al *hierro soldado*; por esta razón, esta clase de metal se denomina generalmente con el nombre de *hierro fundido*. Pero los modos de fabricación actuales, permiten además obtener una serie de variedades de aceros intermedios entre el llamado *hierro fundido*, que es enteramente maleable y los aceros más resistentes y *más duros*. Por desgracia, esta gran facilidad de hacer variar la calidad del acero fundido, tiene sus inconvenientes, porque á más de las irregularidades que pueden resultar en el metal, por la buena ó mala manera de conducir las series de operaciones de elaboración, todavía hay que tomar precauciones para asegurarse de la calidad del producto obtenido y poder garantizar su uso para las construcciones; peligro que sólo se puede suprimir, por medio de ensayos repetidos sobre los materiales que se emplean y por precauciones especiales en su clasificación y elaboración.

Por otra parte, la clasificación de estos productos tan suma-

mente variados, es muy compleja y á decir verdad, no se encuentra aún ahora bien definida. El cuadro siguiente, da la clasificación que la oficina del control del material fijo de la Compañía del Ferrocarril de Paris-Lyon-Méditerranée, ha establecido, después de numerosos ensayos, basándose principalmente en su resistencia y estiramiento relativos á la ruptura y en la acción del temple.

DESIGNACIÓN		ACCIÓN DEL TEMPLE	TEXTURA	Límite mini- mum de la elasticidad.	Resistencia á la ruptura por m/m ²	Tanto por ciento de estiramiento á la ruptura, medido sobre 100 m/m en el sentido longitu- dinal.
Hierros fundidos.	Extra-duros....	Temple enérgico	Grano fino.....	kígs.	kígs. 80 á 100	% 6 á 8
	Muy duros.....	Id. Id....	Id. Id.....		70 á 80	8 á 12
	Duros.....	Id. Id....	Id. Id.	35	60 á 70	12 á 18
	Dulces.....	Temple firme..	Grano bien formado.	33	50 á 60	18 á 22
	Muy dulces....	Temple débil...	Id. Id.....	30	45 á 50	22 á 24
Aceros.....	Soldables.....	No se templan.	Textura granulosa..	27	40 á 45	24 á 28
	Soldantes.....	Id. Id....	Id. Id.....	29	35 á 40	28 á 32

Según esta clasificación, los aceros con que han sido trabajadas las piezas del puente del Malleco, y las que se elaboran actualmente para las superestructuras de los puentes de las nuevas líneas férreas, que en los ensayos han dado una resistencia á la ruptura que varía generalmente entre 45 á 48 kilogramos por m^2 con un estiramiento relativo comprendido entre 25 á 30% medido sobre pedazos de 100 milímetros de largo y en el sentido longitudinal; y cuyo límite de elasticidad ó carga por milímetro cuadrado á partir de la cual los estiramientos se hacen sensibles, que fué determinada directamente para los lotes. N.º 7 á 12 de escuadras de $100 \times 100 \times 10$, dando los siguientes resultados, para el lote N.º 7—31,5 kilog.—para el N.º 8—34 kilog.—para el N.º 9—34,3 kilog.—para el N.º 10—32,5 kilog.—para el N.º 11—33 kilog.—y para el N.º 12—33 kilog. es decir término medio de 33,05 kilogramos por m^2 y con textura de granos finos bien formados: se encuentran comprendidos entre los aceros *dulces* y los denominados *muy dulces*.

Sin embargo, hai otras clasificaciones más detalladas. Como en general la resistencia de los aceros fundidos crece según el grado de carburación desde 35 kilogramos por milímetro cuadrado hasta 100 kilogramos, mientras sus estiramientos relativos disminuyen desde 30% á 4%, las fábricas distinguen entre estos límites de 4 á 10 clases de metales diferentes. Así, por ejemplo, la clasificación de la fábrica del Creusot es la siguiente:

Número	BARRA $d = 20$ $l = 100$	Extra-dulce	Muy dulce	Dulce	Duro	Muy duro	Extra-duro
I		Klgs.	Klgs.	Klgs.	Klgs.	Klgs.	Klgs.
	Ruptura media	40	50	60	70	80	90
	Estiramiento medio minimum	25 %	21 %	17 %	13 %	9 %	5 %

(Continuará.)