

PROGRESOS REALIZADOS

EN EL ESTUDIO I CONSTRUCCION DE PUENTES DE FERROCARRIL

Dos de los hombres mas distinguidos del mundo técnico, especialistas eminentes en el arte del ingeniero, el señor Herry S. Jacoby, profesor de la Universidad de Cornell, al hablar en una sesion de la Asociacion Americana para el Avance de las Ciencias, i el señor Bodin, Presidente de la Sociedad de Ingenieros Civiles de Francia, han tomado por tema de sus conferencias, el primero el 28 de Junio último i el segundo el 9 de Enero, la cuestion mui interesante que hemos indicado en el encabezamiento de este artículo. Esta cuestion ha sido tratada bajo puntos de vista completamente distintos, i dado el gran interes que presentan los progresos realizados tan rápidamente en este ramo importante de la ingeniería, vamos a reproducir a continuacion las consideraciones i hechos principales suministrados por nuestros dos sabios especialistas.

AMÉRICA

Una revolucion se ha llevado a cabo en el curso de estos últimos años en la construccion de los puentes. La ciencia ha hecho progresos: los puentes se arman al pié de la obra, el metal da mas garantías, las cargas trasportadas son mas pesadas; el material rodante, locomotoras i carros, han aumentado en potencia i en capacidad. Cien millones de francos se han gastado en material nuevo i se ha trasformado la via para obtener trasportes mas económicos, las curvas han aumentado en radio i las gradientes se han suavizado, se han colocado rieles mas pesados. El peso unitario máximo por metro de via, que era de 6,300 kg en 1893, es actualmente de 9,900 kg, i en el mismo lapso de tiempo la carga ha pasado de 19,8 t a 27 t por eje motor. Estas circunstancias han exijido la reconstruccion de un gran número de puentes i se ha impuesto naturalmente la necesidad de examinar los principios que sirven de base i ademas de tomar en cuenta las investigaciones i esperiencias recientes i de revisar por su base las reglas seguidas hasta ahora.

Se ha llegado a simplificar i uniformar lo mas posible los tipos i detalles de las superestructuras metálicas, consiguiendo de este modo reducir su costo i el trabajo de taller. Se han adoptado reglas uniformes para la fabricacion i trabajo del acero, que ha llegado a ser i será en adelante el metal usado esclusivamente en materia de puentes. Las cualidades del metal son determinadas por varias condiciones esenciales i fundamentales;

todo el antiguo bagaje de condiciones ha sido considerablemente simplificado i alijerado de todo lo que la experiencia habia demostrado ser manifestamente supérfluo. La ciencia de los puentes se ha pues, rejuvenecido, i la aplicacion de las nuevas reglas i métodos de construccion da, con seguridad, 25 por ciento de economía con respecto a la aplicacion de los antiguos. Lo que caracteriza los métodos nuevos es la manera como se toman en cuenta los choques i vibraciones, aumentando en un tanto por ciento el peso de la carga móvil.

Choques, vibraciones

Seria mui útil llevar a cabo numerosas experiencias con el fin de determinar lo mas exactamente posible el tanto por ciento de que acabamos de hablar. De esta manera se reduciria a lo estrictamente necesario i sin empirismo el aumento de las dimensiones que es necesario dar a las construcciones metálicas, debido a los choques que tienen que soportar.

Servicios especiales

Una reforma que parece digna de recomendarse es el establecimiento de servicios esclusivamente encargados de la construccion de puentes. De esta manera se obtiene gran economía de tiempo i de dinero i una experiencia rápida i profunda basada sobre la experiencia de los hechos, que da la práctica. Muchas compañías de ferrocarriles en América han creado tipos de puentes para luces que varian entre ciertos límites. Para luces mui grandes se acostumbra, jeneralmente, en la actualidad, dirigirse a especialistas en la materia.

Para los tipos corrientes se llega—por el exámen incesante de los detalles, el estudio continuo, la observacion de cada dia—a resultados verdaderamente prácticos, a la casi perfeccion de las formas i de la estructura.

El aumento de la luz de los puentes de diversas clases demuestra bien el progreso realizado en esta parte del arte del ingeniero.

Puentes de alma llena

En los puentes de planchas laminadas, las vigas se forman de planchas de acero i todos los órganos tienen gran rigidez. De esta clase de puentes existia, hace unos doce años, mui pocos ejemplos de luces mayores de 30 m. Ahora hai puentes de este sistema que tienen vigas de 38 m de centro a centro de los apoyos; es el caso del puente carretero en «Riverside Drive, Nueva York», construido en 1900.

Otro puente, en este caso de ferrocarril, de una luz casi igual, ha sido construido tambien en 1900 en la línea del ferrocarril del Erie, seccion de Bradford. Las vigas mas pesadas del sistema de que se trata, son las centrales de un puente de ferrocarril de cuádruple via, construida cerca de Lyons en el ferrocarril «New York Central». Su peso es de 103 t, para una luz de 32, 83 m, siendo su altura total de 3,71 m.

Pisos abiertos

Los pisos de los puentes metálicos para ferrocarriles construidos durante mucho tiempo abiertos, se hacen ahora cerrados, es decir, formados de planchas de fierro con pinturas a prueba de agua i cubiertos de lastre. Estos pisos metálicos se hacen de planchas de diversas secciones. Su empleo, introducido hace quince años, se ha estendido rápidamente, i desde diez años a esta parte se ha reconocido como indispensable en los puentes que atraviesan ciudades.

El piso cerrado puede hacerse mas angosto que el abierto i tiene la ventaja notable de permitir que la vía corriente con durmientes i lastre se prolongue por encima del puente, lo que evita los golpes a la entrada i salida del puente.

Puentes remachados i con articulaciones

La necesidad de dar mayor rijidez a los puentes, debido al aumento progresivo de las cargas rodantes, ha conducido en estos últimos tiempos a emplear puentes remachados para luces mucho mayores que las que se consideraban como límite de los puentes de esta clase. No se emplea mas, como regla jeneral, los puentes articulados, a no ser que la luz pase de 45 metros, i esto se debe a que la razon entre las cargas rodantes i el peso muerto de los puentes ha aumentado considerablemente en los últimos tiempos. Recientemente se ha construido un puente de 55 metros con vigas remachadas. Pero el empleo de la remachadura, si ha sido copiado de Europa, no le ha quitado a los puentes americanos su carácter distintivo, que consiste en lo siguiente: que el material de la armazon metálica se concentra en algunos elementos de gran fuerza i de gran resistencia.

Puentes articulados

Con raras escepciones, las vigas de celosía son de los sistemas Warren Pratt i Baltimore, de enrejado simple. A la distancia se podría distinguir dificilmente si los puentes de esta clase son remachados o articulados. Una de las obras mas acertadas que pueden citarse es el viaducto del ferrocarril «Chicago and North Western», que atraviesa el valle del rio des Moines a $56\frac{1}{2}$ metros de altura sobre el nivel del agua. Tiene 810 metros de largo, ha sido construido en 1901 i es el viaducto del ferrocarril de doble via mas largo que existe. Las pilas estremas van espaciadas a 14 metros i todas las otras a 23 metros. Cuatro corridas de largueros de fierro sostienen los rieles.

Al lado de esta obra escepcional se puede citar, ademas, el viaducto del ferrocarril «Chesapeake and Ohio», cuyo desarrollo total mide 5 kilómetros mas o ménos. Este puente tiene líneas de tal gracia i sus detalles están estudiados de una manera tan notable, que es bajo este doble punto de vista, verdaderamente sin igual en los Estados Unidos. El viaducto construido en Bradford, en el punto donde el ferrocarril del Erie atraviesa la bahía de Kinzúa, es el más alto del país; la viga está a 92 metros sobre el fondo del valle i el largo es de 626 metros.

Estética

El punto de vista de la estética no ha sido descuidado en las últimas construcciones. Las vigas han sido centradas, los ensambles de las barras i barandas han sido rodeados en vez de formar ángulos bruscos; en todas partes se han preocupado de las líneas i del aspecto jeneral. Se tienen pruebas evidentes de este cuidado del constructor en las obras del ferrocarril elevado de Boston i de algunos viaductos recientemente terminados en Chicago.

La luz mas grande de un puente de grandes mallas i enrejado simple es la del puente de Louisville, construido sobre el Ohio en 1893. El tramo es de 163 metros de centro a centro de los apoyos. Desde entónces varios viaductos de luz mas o ménos igual han sido construidos, pero mas macizos i pesados que el anterior, aun siendo el tramo mas corto. Es cierto que las condiciones respecto a las cargas rodantes son mas onerosas.

Los estudios de los detalles de los grandes puentes articulados han tenido por objeto principal eliminar todas las causas de indeterminacion en la reparticion de los esfuerzos i reducir los esfuerzos secundarios, aumentando, al mismo tiempo, la resistencia i rijidez de las armaduras. Se abandonan cada dia mas las barras dobles. Las barras simples se calculan con mas certeza i la cantidad de metal se reduce, de este modo, a lo estrictamente necesario. Anteriormente se unian las vigas rara vez por travesaños rijidos. El sistema se ha jeneralizado despues i se ha estendido a las vigas de tramos cortos. La superestructura metálica queda, de esta suerte, completa i estable por sí sola, independientemente de la mampostería.

Detalles

La dilatacion de la parte metálica se facilita por medio del empleo de rodillos de grandes dimensiones i las planchas de apoyo se estudian de manera que repartan bien las cargas sobre las albañilerías.

Para dar mayor rijidez al conjunto de la armadura, las barras de arriostramiento se unen por medio de ensambles rijidos en lugar de emplear tirantes con tornillos de ajuste.

Puentes carreteros

Las mejoras de todas clases que se han introducido en la construccion de puentes de ferrocarriles, aun de tramos cortos, no se han aplicado, desgraciadamente, en la construccion de los puentes carreteros. Esto proviene del sistema desgraciado que se emplea en la construccion de las obras, siendo éstas encargadas con frecuencia, en las ciudades i localidades de poca importancia, a individuos que no tienen conocimiento ninguno en la materia. Los puentes de esta clase vibran i se mueven al paso de las cargas móviles, se deterioran rápidamente, se destruyen por el moho, por falta de conservacion, i el presupuesto local se recarga considerablemente con la renovacion frecuente de las obras.

El remache se sustituye a la articulacion en un número mui restringido de puentes

carreteros. La reforma se abre paso con ménos rapidez en estos puentes. Claros grandes han sido salvados por medio de vigas de puentes carreteros.

Cantilevers

El puente cantilever, que atraviesa el Mississipi, en Memphis, es el mas largo de América. Mide 241 m i fué terminado en 1891, siete años despues que el puente del Forth. Hai varios cantilevers notables, dignos de mención, entre éstos el del rio Monongahela en Pittsburgh, que sobrepasará al de Memphis i tendrá 248 m de luz.

El mas grande de todos los puentes de América i aun del mundo es el de Quebec, del cual los *Annales des Travaux Publics* ya han dado las dimensiones en 1901 (página 1048).

Puentes colgantes

Hasta ahora sigue siendo el puente de Brooklyn, concluido en 1883, el que tiene el «record» de todos los puentes colgantes del mundo. Su luz es de 487 m. Será sobrepasada dentro de poco por el puente sobre el East River en Nueva York, que salva un claro de 488 m i tiene un ancho mayor que el de Brooklyn. Cada uno de sus cuatro cables tiene una resistencia de 4 500 t sin pasar el límite de la estabilidad.

Puentes metálicos en arco

Se ha construido en estos últimos años un número considerable de puentes metálicos en arco, i se seguirán empleando en el porvenir. Todas estas obras tienen un aspecto mui elegante.

El mas antiguo de acero, el del Mississipi, en San Luis (1874), está desprovisto de rótulas en la clave i sus apoyos son fijos.

Puentes en concreto armado

El período de diez años que acaba de pasar ha visto desarrollarse, con una rapidez verdaderamente asombrosa, las construcciones de concreto: arcos en concreto comun, albañilerías de todas clases en concreto armado.

La armazon de fierro o acero, que va envuelta por la masa de concreto, no representa sino una ínfima parte de esta última, i el papel que desempeña es esclusivamente el de resistir a los esfuerzos de traccion.

Mas de 150 puentes de concreto armado han sido construidos en los Estados Unidos en el curso de estos últimos años. El siguiente hecho es digno de nota: el puente de arco metálico mas grande de América se terminaba el mismo año que el puente de Topeka, en Kansas, el mas importante que se haya construido en concreto armado, puente de cinco arcos, teniendo el del centro 38,1 m de luz. Claros mucho mayores serán salvados próximamente i el Memorial Bridge, en Wáshington cuyos planos están ya aprobados, se anuncia como uno de los ejemplos mas notables de este jénero.

El concreto armado es de un empleo cada día mayor i se sustituye mas i mas al fierro en los puentes de luces medianas. El fierro exige gastos continuos de conservacion

i su duracion es corta. El concreto no tiene este inconveniente i no necesita ser examinado sino a largos intervalos. Su precio, considerado subido hasta ahora, principia a bajar i no hai duda que de esto resulte una nueva era para la utilizacion i empleo de este nuevo jénero de materiales.

Puentes movibles

Entre los puentes jiratorios notables se puede citar el del rio Harlem en Nueva York, que da paso a cuatro vias i salva una distancia total de 118 m. El tramo móvil pesa 2 500 t, siendo el mas pesado del mundo.

Puentes levadizos

Grandes progresos se han realizado en esta clase de puentes. Chicago posee un puente levadizo, cuyo tablero de 40 m de largo i 15 m de ancho puede ser levantado verticalmente por un sistema de cables i contrapesos a 43,5 m de altura vertical.

Numerosos puentes de este tipo existen en el canal de Erie.

En la misma ciudad de Chicago se terminó en 1895 un puente de báscula, del cual han dado una descripcion los *Annales* de 1901 (pájs. 387 i 648). El puente mas importante del tipo de báscula es el construido para 8 vias de ferrocarril i que atraviesa el «Drainage Canal»; su luz es de 85 m.

En Milwaukee se encuentra un puente de báscula de los mas ingeniosos, cuya descripcion aparece en los *Annales* de 1902 (páj. 134). Está dispuesto de manera que no exije ningun esfuerzo para ser levantado.

Llamaremos la atencion, ántes de terminar, al puente trasbordador de 120 m que acaba de construirse en Duluth i que tiene grande analogía con los puentes «Arnodin», mui conocidos.

Se ha propuesto construir sobre el rio Charles, cerca de Boston, un puente de acero de once arcos; los tramos tendrán de 31 a 57 m. Se cree que este puente podrá rivalizar, bajo el punto de vista de la estética, con cualquiera obra de Europa.

El discurso del profesor americano termina con la enumeracion de un gran número de puentes reemplazados, modificados i trasformados, sin interrumpir el tráfico de los trenes, i lo mas a menudo con una rapidez extraordinaria.

FRANCIA

Extracto del discurso del señor Bodin:

Los primeros puentes de fierro fueron los de Britannia i de Conway, de Asnières i de Langon. El primero de éstos, el de Britannia, construido en 1850 sobre el estrecho de Menai, fué una verdadera revelacion de las ventajas que ofrecia el empleo del fierro. La superestructura de este puente, cuyo sistema de construccion recuerda el de las calderas, está compuesta de dos grandes tubos de seccion rectangular, cuyas cuatro paredes de alma llena son formadas de palastros i escuadras. Como apoyos tiene dos estribos i tres machones, colocados simétricamente a distancias de 70 a 140 m. Dentro de estos grandes

tubos de altura de 7 a 9 m i de 4 m de ancho se han lanzado trenes. Esto era una grande audacia, pues las dimensiones de las piezas no habian sido determinadas sino por medio de esperiencias diversas, hechas con modelos a escala reducida i cargadas hasta la ruptura.

Luego se dieron cuenta que, para resistir mas eficazmente a los esfuerzos, las paredes (suelas) superior e inferior debian ir unidas entre ellas en el mayor número posible de puntos, por medio de paredes verticales (o almas); en consecuencia, el ancho de las suelas fué reducido i se multiplicó el número de almas. La forma tubular completamente cerrada fué abandonada; entónces el tablero se formó de dos vigas laterales, unidas por piezas transversales, estando cada una de estas vigas compuesta de suelas hechas solidarias por medio de una o dos paredes verticales.

Los puentes de Asnières (1852) i de Langon (1855) pertenecen a este tipo, del cual cada parte constitutiva tiene su trabajo señalado. En estos puentes, el alabeo (voilement) de las chapas verticales de las vigas, que era de temer, se ha evitado agregando piezas atiesadoras, todas verticales al principio, verdaderos montantes, de los cuales cierto número sirve para la union de las ligazones transversales de las vigas, despues inclinadas cerca de los apoyos en donde los esfuerzos de corte son mas considerables.

Estas dos obras han hecho escuela i su tipo ha sido aplicado varias veces, pero con las modificaciones exigidas por las circunstancias locales.

Cuando se hicieron los estudios del puente de Asnières, Clapeyron, dedujo las fórmulas que permiten determinar con facilidad los momentos flectores i los esfuerzos de corte, que se producen encima de los apoyos de una viga continua. El conocimiento de estas fórmulas ha permitido proporcionar las secciones de las piezas a los esfuerzos que tienen que resistir i ha contribuido a facilitar el estudio de los puentes de viga continua.

Pronto el cálculo indicó que habia metal en exceso en las paredes verticales de las vigas. Entónces las almas enrejadas se sustituyeron a las almas llenas de palastro i se emplearon tablas de fierro inclinadas a 45° mas o ménos, especie de enrejado con mallas tupidas que parecian hacer la construccion mas económica. Como en estos enrejados los esfuerzos no pueden obrar sino en el sentido del largo de las barras, se sigue que de dos tablas que se cruzan, una resiste a un esfuerzo de traccion i la otra a uno de compresion.

En los puentes de:

Dirschau.....	1850-1857
Berna.....	1856-1859
Offenburg.....	1858
Colonia.....	1856-1860
Argenteuil....	1863

el enrejado se componia solamente de tablas de palastro que se sostenian mutuamente. Éste se mejoró agregando piezas suplementarias que reforzaron algunas de las barras e hicieron mas eficaz su resistencia a la compresion: los puentes de

Drogueda.....	1855
Lorient.....	1863-1864

son ejemplos de estos últimos puentes.

Después de esta época, las vigas principales de los puentes se han compuesto de suelas unidas por una especie de celosía, formada de dos series de tablas, capaces de resistir, unas a la tracción, las otras a la compresión. A pesar de un débil refuerzo, el espaciamiento reducido de las mallas hacia eficaz la resistencia a la compresión y el metal estaba repartido de una manera más racional, puesto que, a igualdad de resistencia, el peso de la obra era menor.

El refuerzo de las barras, que estaban sometidas a esfuerzos de compresión, era, pues, un nuevo progreso.

En seguida se reemplazaron las tablas de palastro con su refuerzo por barras perfiladas, escuadras, fierros *T* o *U*, de tal manera que la acción era constante en todo el largo de la barra. Los puentes sobre el Volga (1871, línea de Rybinsk a Bologoi), y el del boulevard Masséna, son de este tipo.

Después se llegó a formar todo el enrejado por medio de fierros perfilados, los cuales tenían sobre las tablas de palastro la ventaja de hacerlo más rígido, sosteniéndose las barras unas a otras.

Este enrejado se calculaba, dividiendo el esfuerzo de corte de una sección vertical por el número de barras cortadas por esta sección, o bien suponiendo, como lo indica Ritter, que las vigas de enrejado múltiple se forman por la sobreposición de varias vigas de enrejado simple.

VIGAS DE GRANDES MALLAS

Se ha llegado de este modo a preferir las vigas compuestas de mallas simples, llamadas de grandes mallas, caracterizadas por el hecho que el enrejado está formado por la juxtaposición de triángulos, ya sea en forma de *N* o de *V*, con o sin elementos verticales. Estas vigas sólo tienen el número estrictamente necesario de barras y se dice que no tienen barras superabundantes. En una memoria notable, el señor Maurice Levy demuestra que las vigas triangulares deben, por principio, ser adoptadas de preferencia, porque son teóricamente las más económicas. Su cálculo es más riguroso, porque se acerca más a la realidad cuando se desprecian los esfuerzos debidos a las uniones de las barras entre ellas.

Aun cuando tengamos la costumbre de remachar las piezas entre sí, nosotros aceptamos de buena gana, en nuestros cálculos, que los esfuerzos debidos a la rigidez de los ensambles sean despreciables; la experiencia de la duración de nuestras obras justifica esta hipótesis.

Por lo demás, los americanos, que han construido numerosas obras con ensambles articulados, abandonan este sistema de construcción, desde los últimos años únicamente, para adoptar las vigas completamente remachadas.

Hasta ahora no se ha hablado más que de puentes de vigas que descansan sobre más de dos apoyos. El cálculo de estas vigas supone que el nivel de estos apoyos permanece invariable, sea cual fuere la posición de la sobrecarga sobre la obra. Sin embargo, la naturaleza del terreno de fundación hace temer, algunas veces, un asentamiento, aun en el apoyo mismo (en el caso de una pila metálica, por ejemplo) pueden producirse variaciones de nivel. Por eso, en estos dos casos, se ha preferido emplear vigas que no descansan sino sobre dos apoyos. Pero en este caso resulta un cierto aumento en la can-

idad de metal, puesto que se pierde el encastramiento parcial sobre los apoyos, que produce la continuidad de las vigas.

Para disminuir el costo, se han construido vigas cuya altura no es constante en todo el largo. Esta altura está en cada punto i en cierta medida, en proporcion con la magnitud del momento flector.

Cantilevers

En 1872 Gerber construyó sobre el Danubio, en Vilshofen (Baviera) un puente que, aun cuando se compone solamente de vigas sobre dos apoyos, presenta una disposicion que tiene la ventaja de un encastramiento parcial en cada apoyo. Sencillemente le ha dado a la viga un largo mayor que la distancia entre los apoyos. De este modo esta viga forma a cada lado, fuera del tramo, una especie de consola. Además, al extremo de cada consola descansa otra viga, la cual, trasladada al plano de la viga principal, forma la continuacion de esta última. El largo de la consola está combinado de manera que se obtenga el encastramiento parcial mas favorable.

De esta suerte, se llega a realizar una economía comparable a la que da el empleo de una viga continua, pero sin tener ninguno de los inconvenientes de esta continuidad.

En América, este sistema se ha aplicado en la construccion del viaducto de Dixville, sobre el rio Kentuki (1877). Con este sistema se han evitado los inconvenientes de la desnivelacion que producen las variaciones de temperatura en las pilas metálicas de grande altura.

Esta disposicion es verdaderamente notable. Ha sido aplicada en muchas otras obras tanto con vigas de altura constante, como con vigas cuya altura varía en cada punto, en proporcion a la magnitud del momento flector. El puente del Forth (1883-1890) i el puente de Tchernavoda (1891) son aplicaciones de este sistema, que se llama de consolas, o cantilevers.

En estas obras se han usado, sin temor, barras de gran largo, con el objeto de obtener un sistema simple, sin barras superabundantes. Este tipo permite construir obras cuyos tramos tienen luces considerables, en los cuales no podia pensarse hasta entónces; el puente del Forth, que es una de las mas hermosas aplicaciones, tiene dos tramos de mas de 500 m cada uno.

Parece que este tipo representa el último grado de perfeccionamiento a que han llegado los puentes que puedan emplearse en el caso de tramos de grandes luces.

(Traducido de los *Annales des Travaux Publics de Belgique* de Abril de 1903, por E. Lyon.)

(Continuará)

