

PUENTES PROVISORIOS

PARA FERROCARRILES DE TROCHA ANCHA

ESTUDIO JENERAL I APLICACION A UN TIPO DE 48,00 M. DE LUZ TEÓRICA

POR

RAUL CLARO SOLAR

Introduccion

La construccion de nuevas líneas férreas exige, especialmente en la rejion meridional del pais, el establecimiento de numerosos puentes de importancia considerable muchas veces.

Las dificultades que presenta por lo jeneral la fundacion de esta clase de obras, a consecuencia de la gran profundidad a que se encuentra el terreno inalterable, contribuye a aumentar su costo con la importancia que es necesario dar a sus apoyos. Para muchas de ellas las fundaciones no pueden llevarse a cabo sino con el ausilio del aire comprimido, i, aun así, no faltarian ejemplos para manifestar lo difícil que ha sido llegar a establecerlas en condiciones de seguridad suficiente.

Resulta de aquí que, en la jeneralidad de los ferrocarriles de las provincias australes, el costo de los puentes de importancia representa una suma considerable de los gastos de construccion i, aun mas, que a veces llega a valer tanto o mas que las obras restantes de la línea.

Penetrada de estas ideas, la Direccion de Obras Públicas se ha preocupado mui especialmente de estudiar una solucion que permita reducir el importe de los grandes puentes i ha llegado a la conclusion de que esa solucion se obtendria construyendo, en lugar de puentes definitivos de fierro o acero, puentes provisorios de tipos económicos.

Se realizaria así una economía considerable, no solo porque, en igualdad de condiciones, un puente provisorio tiene un costo notablemente mas reducido que un puente definitivo, sino tambien i mui principalmente, porque un puente provisorio puede asentarse sobre apoyos tambien provisorios, lo que no seria aceptable para un puente definitivo.

Esta última consideracion es sin duda la dominante. En efecto, hemos indicado ya

las dificultades que de ordinario presenta la ejecucion de machones i estribos de carácter definitivo, aparte del crecido desembolso que exige; en cambio construir cepas de pilotaje o de otro sistema análogo es una operacion relativamente sencilla i económica.

A fin de poder precisar las ideas espuestas, la Direccion de Obras Públicas ha creido conveniente llevar a cabo el estudio de una série de tipos de puentes provisorios aplicables a diversas luces i de tipos, jenerales tambien, de cepas i estribos de pilotaje destinados a esas mismas obras.

Pero, ante todo, se hacia indispensable la adopcion de ciertas bases jenerales a las cuales las obras en proyecto debieran ajustarse.

Habiéndosele encomendado la elaboracion de dichas bases i su aplicacion al estudio de un proyecto de puente provisorio para cincuenta metros de luz, el infrascrito ha creido conveniente, para la mejor disposicion de la materia, dividir su trabajo en dos partes.

La primera comprende el estudio de las diversas cuestiones jenerales que se relacionan con los proyectos de puentes provisorios i en especial de las normas de cálculo aplicables a esas mismas obras.

La segunda parte no es otra cosa que la memoria descriptiva i justificativa de un proyecto de puente provisorio calculado en conformidad a dichas bases.

PRIMERA PARTE

BASES JENERALES PARA EL ESTUDIO DE LOS PUENTES PROVISORIOS

CAPÍTULO PRIMERO

ELECCION DEL SISTEMA DE PUENTE

1. *Jeneralidades.*—Tratándose de luces relativamente grandes i de puentes que han de estar solicitados por esfuerzos considerables, hemos circunscrito nuestra eleccion a los tipos enrejados americanos.

Los sistemas de vigas enrejadas en que se emplea esclusivamente la madera, como los tipos Town i Long, no son a nuestro juicio aceptables. En efecto, ellos se prestan dificilmente para la realizacion de grandes tramos; pero, aun admitiendo que fueran aplicables a ellos, bastaria para no recomendar su empleo las grandes dificultades con que se tropieza para llevar a cabo las reparaciones que tienen por objeto corregir cualquiera deformacion en sus vigas.

Los tipos mistos de madera i fierro no presentan tales inconvenientes. De aplicacion relativamente sencilla para tramos hasta de cincuenta metros de luz, permiten ejecutar de una manera fácil i espedita las reparaciones que exige practicar de tiempo en tiempo en ellos la deformabilidad que los caracteriza.

Entre los varios sistemas de enrejados mistos, Howe, Pratt, etc., hemos dado la preferencia al primero porque presenta mayor sencillez en su disposicion i mui especialmente por haberse ejecutado en el pais numerosos puentes carreteros de este tipo, lo que hace que sea mas conocido i permite encontrar con facilidad operarios diestros en los trabajos de armadura.

Naturalmente, para pequeñas luces se recurrirá a vigas del tipo Howe sencillo. Pero, para tramos de mas de treinta metros, las dificultades que presenta la realizacion del tablero i mui especialmente la necesidad de limitarse, en lo que se refiere a la escuadría de las diagonales, a las dimensiones corrientes del comercio, obligan a rechazar los enrejados sencillos; se debe entónces recurrir al empleo de vigas Howe dobles, escluyéndose los tipos múltiples por las dificultades de su realizacion práctica.

Adoptado ya el sistema de viga por emplear, solo nos resta fijar los rasgos jenerales de los tipos de puente que estudiamos; para este objeto conviene tratar por separado de los puentes de via inferior i de los de via superior.

2.—*Puentes de via inferior.* — Como hemos dicho, las vigas serán del sistema Howe, lo que nos evita entrar en su descripcion por ser demasiado conocido ese tipo de enrejado.

Solo observaremos aquí que, para tramos de importancia, que admiten un contraviento horizontal superior, habrá conveniencia en aumentar la altura de las vigas, llegando a fijar esa dimension en un octavo i aún en un séptimo de la luz. En cambio en los tramos de luces pequeñas, hai interes en no exajerar la altura a fin de no comprometer la rijidez trasversal del puente; por este motivo creemos recomendable no llevar la altura a mas de un décimo de la luz.

En lo que se refiere a la disposicion adoptada para el tablero, en jeneral será preferible disponer tantos travesaños como nudos tienen las vigas, colgándolos de los tirantes que entran en la composicion de estas; pero, cuando la distancia entre nudos escede de dos metros, la disposicion anterior exigiria travesaños de tal importancia que hai ventajas indiscutibles en recurrir al empleo de un travesaño intermedio.

En muchos puentes americanos se ha adoptado una disposicion análoga, haciendo descansar entónces todos los travesaños sobre las cabezas inferiores de las vigas principales. Pero con el galibo de nuestros ferrocarriles, un sistema semejante impediría contraventar superiormente los tramos de cincuenta metros i ménos de luz.

Resulta de aquí que las ventajas obtenidas colocando los travesaños sobre las cabezas inferiores de las vigas, ventajas que esencialmente se reducen a la sencillez con que se puede realizar entónces el contraviento inferior, se encontrarian mas que compensados con los inconvenientes que se derivarian de la falta de contraviento superior.

Estas consideraciones nos han movido a colgar los travesaños intermedios, como los que se encuentran a plomo de los nudos, realizándose dicha suspension por medio de tirantes especiales. Es verdad que en los tramos cortos no habria inconveniente para recurrir a la disposicion recordada de los puentes americanos; pero ya que esta se abandona para los grandes tramos no hai interes en conservarla para aquellos.

En todo caso el tablero se completará con longuerinas i durmientes en la forma ordinaria.

Pasando ahora al estudio de los contravientos, observaremos que, desde el momento en que los travesaños del puente van colgados bajo las vigas, habrá ventaja en aprovechar esas piezas como montantes del arriostrado inferior. Formará pues ese contraviento una viga Monier sencilla con diagonales constituidos por tirantes de fierro.

En caso de existir contraviento superior, se impone formarlo con una viga Howe sencilla cuyos tirantes atraviesen las cabezas superiores de las vigas principales i cuyas diagonales sean piezas de madera.

Si no existe ese arriostrado, será indispensable mantener todos o parte de los nudos de las vigas maestras por medio de brazos que por su extremo superior se apoyaran contra las cabezas de aquellas e inferiormente se afianzaran a los travesaños del puente, convenientemente prolongados.

En uno i otro caso deberán existir marcos extremos que refieran a los apoyos las reacciones debidas a dichos contravientos.

3.—*Puentes de via superior.*—Para tramos hasta de veinte metros de luz, recomendamos las vigas longuerinas colocadas directamente bajo los durmientes de la via. Cuando la luz esté comprendida entre veinte i treinta metros, solo un estudio comparativo entre el sistema de vigas longuerinas i el de tablero con travesaños i longuerinas especiales permitirá dar la preferencia a uno o a otro. Por fin para tramos de treinta metros i mas, se deberá preferir indiscutiblemente el último sistema a que nos acabamos de referir.

De estas observaciones se desprende que, para puentes de ménos de veinte metros, la altura de las vigas estará limitada forzosamente por la necesidad de asegurar la estabilidad trasversal de la obra; esta condicion obliga en las proximidades de veinte metros a no hacer aquella dimension mayor que un décimo de la luz.

En cambio, siempre que se recurra al empleo de un tablero especial, habrá conveniencia en aumentar la altura hasta un octavo i aun hasta un séptimo de la luz. Naturalmente, en este caso, la distancia entre vigas dependerá de la altura i deberá ser suficiente para asegurar la estabilidad trasversal del puente.

Hemos fijado ya las diversas disposiciones adoptadas para el tablero. Solo resta agregar que, ya sea que se empleen los mismos durmientes de la via como travesaños, ya sea que se recurra a travesaños especiales, esas piezas descansarán sobre las cabezas superiores de las vigas.

Resulta de aquí que no habrá inconveniente alguno de construccion para disponer contravientos horizontales superior e inferior i para formarlos con vigas Howe sencillas que es sin duda la solucion mas satisfactoria. A mas de esos arriostrados i correspondiéndose con sus nudos, convendria colocar cruces verticales para aumentar la rijidez trasversal de la construccion.

Por fin, si se estiman necesarios, se dispondrán en los extremos del puente marcos verticales que contribuirán a ensanchar su base de asiento.

CAPÍTULO II

MATERIALES EMPLEADOS

1. ELECCION DE LOS MATERIALES.—Para dilucidar acertadamente esta cuestion, la estudiaremos con algun detenimiento.

Desde luego conviene observar que, por tratarse de puentes de carácter provisional, habrá ventaja evidente en aceptar para los diversos materiales puestos en obra tasas de trabajo superiores a las que de ordinario se acostumbran. Se consigue así, sin aminorar la seguridad que es dable esperar de un puente provisorio, disminuir considerablemente el cubo de materiales i reducir en consecuencia el costo de la construccion. Segun esto, todas aquellas consideraciones que tiendan a reducir el peso muerto de la obra deberán ser tomadas en cuenta mui especialmente. Ellas conducen directamente a dar preferencia a los materiales livianos i susceptibles de trabajar a tasas elevadas.

a) *Piezas de madera*.—Limitaremos por el momento nuestras observaciones a las piezas de madera que forman parte de las vigas principales i de los contravientos.

Por consideraciones que seria inoficioso desarrollar aquí, nuestra eleccion tiene que decidirse entre la madera indígena llamada roble pellin i el pino oregon.

No existen en el pais establecimientos de elaboracion de maderas que entreguen sus productos en un estado de desecacion conveniente; de aquí que el roble pellin de que se podria disponer seria puesto en obra sin preparacion alguna.

Los resultados del empleo de la madera en un estado en que se encuentra embebida de agua no se harian esperar; las piezas así formadas se deformarian, esperimentando alargamientos o acortamientos bajo las influencias de la humedad o de una atmósfera seca i ardiente.

Las consecuencias de dichas deformaciones serian funestas para la conservacion de los puentes. Refiriéndonos especialmente a las diagonales de los enrejados, un aumento en la longitud de tales piezas orijinaria en ellos esfuerzos suplementarios cuya importancia no podria precisarse; un acortamiento de las mismas piezas aflojaria el enrejado, las diagonales no trabajarían i las cabezas i tirantes recibirían, como en el caso anterior, esfuerzos suplementarios de consideracion.

Consecuencias análogas a las anteriores se derivarian del empleo del roble pellin para formar las cabezas de los enrejados, si bien entónces los inconvenientes apuntados tendrian menor intensidad.

A las consideraciones anteriores pueden agregarse otras de gran importancia. El roble pellin, cuando se encuentra embebido de agua, es una madera sumamente densa, no siendo raro ver piezas de roble que se sumergen en el agua; sin exajeracion podemos, pues, estimar su peso específico en 1.000 k/m^3 . En caso de emplear dicho material para formar las vigas principales, el peso muerto de éstas seria mui considerable.

Dos razones aconsejan, pues, rechazar el roble pellin para la construccion de las vigas i de los contravientos, razones que ponen en evidencia las ventajas que sobre esa madera presenta el pino oregon: es una la gran deformabilidad de las piezas de roble em-

pleadas en estado natural, i la otra su peso escesivo, mui superior al del pino, que puede estimarse como término medio en 700 k/m^3 .

Veamos ahora si es aceptable el roble pellin para las piezas de resistencia del tablero.

Desde luego, la consideracion de densidad nos induciria a rechazarlo; en efecto, aun siendo formado por piezas de pino, el tablero representa una fraccion considerable del peso total del puente; al construirlo de roble, el peso muerto se elevaria considerablemente, las dimensiones de las vigas principales aumentarian i quizas el mayor costo proveniente de esta circunstancia superaria a la economía que se trataba de obtener con el empleo del roble para el tablero.

Pero hai otra consideracion todavia de mayor peso, en especial cuando se trata de puentes de via inferior. En tales casos, i aun admitiendo para los travesaños i longuerinas fuertes tasas de trabajo, su escuadría es mui considerable, llegando para los primeros casi a un límite máximo. Ahora bien, las fatigas aceptables para el pino no lo serian para el roble embebido de agua, lo que obligaria, empleando este material, a aumentar la seccion transversal de las piezas del tablero o a armar esas piezas con tirantes i pendolones; de estas dos soluciones, la primera nos haria salir de las dimensiones prácticas de la madera i la segunda, aparte de los inconvenientes que presenta para la conservacion de la obra, haria probablemente nula la economía obtenida por el empleo del roble.

En mérito de las consideraciones espuestas, hemos formado con pino oregon las piezas de resistencia del tablero o sea los travesaños i longuerinas. En cambio, desapareciendo la importancia de ellas al tratarse de los durmientes, hemos empleado para estos el roble pellin.

b) *Piezas metálicas.*—Los zoquetes que permiten realizar la union de las cabezas, tirantes i longuerinas, en las vigas principales i en los contravientos sistema Howe, se harán de fundicion. Las piezas chicas como ser pernos, abrazaderas, etc. etc., serán fierros corrientes del comercio.

Queda por fijar la clase de metal que se empleará en los tirantes de las vigas principales i de los contravientos.

Si solo tomáramos en cuenta la conveniencia de emplear un material de gran resistencia a fin de disminuir las secciones de dichas piezas i, en consecuencia, el peso muerto del puente, daríamos la preferencia al acero; pero intervienen aquí otras consideraciones que nos han decidido por el fierro.

En efecto, los tirantes en barras que se encuentran en el comercio son por regla jeneral de fierro, i no es probable, en vista del pequeño número de toneladas que el peso de aquellas piezas representa, que se encarguen especialmente al extranjero; resulta de aquí que, aunque adoptáramos el acero para la confeccion de las barras de que se trata, es casi seguro que en la práctica se harian de fierro. Esto traeria consigo una falta de seguridad para el puente, pues la tasa de trabajo que fijaríamos para aquel metal seria inaceptable para este último.

Es verdad que nada impediria prescribir, como lo hacemos mas adelante para los fierros de construccion, condiciones de recepcion características del metal empleado en los tirantes i diagonales. Pero la falta absoluta de aparatos de ensayos no permite confiar mucho

en el cumplimiento estricto de dichas condiciones i aconseja proceder con prudencia en esta materia.

Por los motivos indicados, haremos de fierro las piezas metálicas de que hemos venido ocupándonos.

2. CALIDAD DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.—a) *Madera*.—La madera empleada será de pino oregon bien seco, sin nudos defectuosos, sin rasgaduras i perfectamente sana.

Las piezas de pino serán rectas, de canto vivo i aserradas por los cuatros lados.

Los ensambles serán correctos, sin suples ni cuñas i los ajustes bien ejecutados.

b) *Fierro elaborado*.—Las piezas chicas, como ser pernos, etc., se harán de fierro elaborado corriente del comercio.

El fierro con que se ejecutarán los tirantes o diagonales de las vigas i contravientos se ajustará a las condiciones siguientes:

Carga mínima de ruptura.....	32 k. mm ²
» » de elasticidad.....	16 k. mm ²
Alargamiento mínimo de ruptura.....	8%

Estas cifras se comprobarán ensayando por traccion muestras de seccion cuadrada de 12 mm. de lado i de 100 mm. de largo útil.

c) *Fundicion*.—Se harán con este material los soquetes de las vigas principales i de los contravientos. Dichas piezas deberán presentar una estructura homogénea, sin grietas ni sopladuras.

Las condiciones anteriores se comprobarán por la inspeccion detallada de todas las caras de cada pieza.

d) *Alquitranadura*.—Todas las piezas de madera llevaran dos manos de alquitran vegetal caliente, que se darán hasta obtener la saturacion. Esta alquitranadura se estenderá a todas las caras de la pieza, hayan o nó de estar espuestas a las influencias directas de la atmósfera; igualmente se hará estensiva a las caras de contacto de las diversas piezas entre sí.

Todas las piezas metálicas del puente se alquitranarán sobre sus distintas caras; esta condicion se estiende tambien a las piezas de ensamble i en jeneral a todas ellas, aunque hayan de quedar dentro de otras.

3. RECEPCION DE LOS MATERIALES.—Esta operacion se sujetará a las especificaciones consignadas en el número anterior, completadas con las que contiene el cuaderno de «Cláusulas i Condiciones para la construccion de puentes carreteros.—1899» i las «Especificaciones técnicas para la construccion de ferrocarriles» del mismo año.

Ademas se atenderá a lo dispuesto en los acápite que siguen.

Los coeficientes de resistencia i alargamiento fijados para el fierro de los tirantes i diagonales de los enrejados se comprobarán por el ensayo de muestras de las dimensiones previstas i que se cortarán en las barras que se presenten a la recepcion.

Se ensayarán dos muestras, considerando aceptable el metal empleado si ámbas dan resultados satisfactorios, e inaceptable en el caso contrario. Si una muestra satisface a las condiciones impuestas i la otra nó, se ensayará una tercera que decidirá sobre la aceptacion o rechazo del lote.

El contratista deberá dar toda clase de facilidades i proporcionar los aparatos necesarios para los ensayos siendo de su cuenta, sin escepcion alguna, todos los gastos que por este motivo se orijinen.

CAPÍTULO III

BASES DE CÁLCULO

Se nos ha fijado como base de los cálculos relativos a los puentes provisorios, en todo lo que a ellos sea aplicable, el pliego de condiciones propuesto por el Consultor Técnico del Gobierno de Chile, señor Huet, bajo el rubro «Norma para los cálculos de los puentes metálicos.»

Se comprende, por la simple enunciacion del título de dicho pliego, que muchas de las prescripciones que en él se contienen no serán aplicables al estudio de un puente provisorio del sistema Howe de madera i fierro. Por este motivo hemos creido conveniente entrar en algunas consideraciones para fijar de una manera precisa las bases jenerales a que deberá ajustarse el cálculo de los puentes provisorios de que nos ocupamos.

§ I ESFUERZOS SOLICITANTES

1. PESO MUERTO.—El peso muerto de los diversos elementos constitutivos de un puente provisorio se establecerá mediante la cubicacion de los materiales de un anteproyecto, pues no existen estudios que permitan fijarlo por comparacion o por medio de fórmulas empíricas.

Se adoptarán en estos cálculos como pesos específicos los valores siguientes:

Madera de pino oregon.....	700 k/m ³
» » roble pellin.....	1.000 »
Fierro elaborado.....	7.800 »
Fundicion.....	7.200 »

De estas cifras, las que se refieren a la fundicion i al fierro elaborado son de uso corriente. La densidad del roble es algo superior a la de 900 k/m³ que se fija de ordinario, pues hemos debido tomar en cuenta el empleo de madera embebida de agua. En lo que se refiere al pino oregon, no poseemos datos precisos sobre su peso específico habiéndonos visto obligados a fijarlo por comparacion con los que da, para maderas análogas, el formulario de Vigreux (1).

(1) VIGREUX. «Notes et formules de l'ingénieur, etc». 1900, páj. 1046.

(Continuará)

