

NUESTROS PUENTES CARRETEROS

POR

CARLOS ALLIENDE ARRAU

I. ANTES DE 1888

En Chile se presta verdadera atención a los puentes carreteros sólo desde hace unos 36 años (1888), después que se creó la Dirección General de Obras Públicas, que vino a centralizar la ejecución de todos los trabajos fiscales del país.

Antes de esa fecha los puentes carreteros de alguna importancia eran escasos, pudiéndose contar entre los más notables los construidos sobre los ríos Maipo y Cachapoal en el camino longitudinal que recorre la República de Norte a Sur. La última de estas obras, que existe todavía gracias a las reparaciones que continuamente se le hacen, es de madera de pino y da una idea muy exacta de los sistemas usados entonces. El puente sobre el río Maipo, cuya vida alcanzó a más de medio siglo, estaba formado por tres tramos de 50 metros de largo cada uno, constituyendo en su conjunto una viga continua de tipo Town múltiple; el otro es del sistema Long y tiene un largo de 248 metros dividido en 9 tramos.

En las dos obras citadas se han empleado como barras resistentes sólo piezas de madera; y ésta es la característica de casi la totalidad de los puentes construidos en Chile antes de 1888, en los cuales se usaba el fierro solamente para los pernos, planchas y otros elementos secundarios.

La infraestructura que hoy día se conserva en perfectas condiciones, se constituyó en ambos puentes por machones de mampostería, lo que es una verdadera excepción respecto de casi todos los otros puentes carreteros del país construidos hasta entonces, cuyas fundaciones se habían establecido generalmente por medio de un pilotaje clavado a martinete.

Como dato ilustrativo diremos que en 1888 existían en Chile alrededor de 5 000 metros de puentes carreteros, no estando incluidas en esta cifra las obras de menos de 5 metros de luz.

II. SUPERSTRUCTURA DE LOS PUENTES CARRETEROS

Desde 1888 hasta hoy la evolución en la construcción de los puentes carreteros presenta tres etapas más o menos definidas, que revelan un progreso constante hacia soluciones cada vez mejores.

En la primera, que comprende los años transcurridos desde 1888 a 1902, se hicieron obras análogas al tipo Long, ya indicado, es decir, totalmente de madera;

y obras que podríamos llamar mixtas, de madera y fierro, semejantes a los puentes del sistema Howe de los Norteamericanos. Al final de este período, las construcciones del tipo Long habían sido completamente desterradas, y se empleaban solamente puentes Howe, superiores a aquellos bajo el punto de vista de su peso muerto.

Sin embargo, los puentes Howe, construídos también con pino, resultaban aún muy pesados y tomaban luego grandes deformaciones. Esto, y la rápida acción del tiempo que destruía muy luego las maderas de sus vigas-barandas, etc., hizo pensar en la conveniencia de sustituirlos por tipos más aceptables.

El nuevo sistema, que vino a reemplazarlos por completo, y que se ha usado principalmente durante los años comprendidos entre 1902 y 1910, o sea en la segunda etapa de la evolución de los puentes carreteros señalados en un párrafo anterior, es el Fink. Es éste también un tipo mixto, de madera y de fierro; pero en él se ha empleado invariablemente la madera nacional de roble-pellín, y raras veces se ha sobrepasado en los tramos, una luz de 20 metros, en tanto que en los Howe se llegaba hasta 40 metros.

Simultáneamente con los Fink, y para luces menores de 12 metros, se han construído en este segundo período puentes exclusivamente de madera (roble) formados por simples vigas longuerinas.

La duración de los puentes Fink se puede estimar en 20 años, mientras que la de los Howe no ha pasado de 15, en las mismas condiciones. Esta circunstancia, unida al menor peso de los puentes y a su mayor facilidad de construcción, justifican plenamente el paso de un tipo al otro.

Llegamos por último al tercer período de la evolución antes indicada y que abarca desde 1910 hasta hoy.

En él se ha mejorado considerablemente la condición de nuestros puentes carreteros con la introducción del acero como material único para las vigas y demás piezas de puente, habiéndose entregado en estos años al tráfico numerosas obras del tipo Fink, Warren, Monier, etc. y también tipos especiales semejantes a las vigas Cantilever.

Pero, lo que le da su verdadera importancia a este último período, es el empleo en gran escala del concreto armado, tanto en puentes de gran longitud, como en pequeños.

La primera obra de este género, abierta al público en Octubre de 1910, es la construída sobre el estero Viña del Mar en la ciudad del mismo nombre, y ella fué sometida a minuciosas pruebas de resistencia, que sirvieron para conocer prácticamente un material que se empleaba por primera vez en puentes importantes de Chile.

La era iniciada con la construcción de la obra mencionada, ha sido fecunda, y hoy cuenta el país con más de 20 grandes puentes de concreto armado, cuyo largo total excede de 4 200 metros y cuyo costo alcanza más o menos a \$ 9 000 000. Fuera de éstos hay actualmente en construcción obras que en conjunto tienen unos 400 metros de largo y cuyo costo subirá de \$ 3 000 000.

No se incluyen aquí pequeños puentes de 2 a 8 metros que se han ejecutado sobre canales o reducidos cursos de aguas, ni las losas de concreto armado colocadas sobre obras de fierro, etc., etc.

En cuanto al tipo de puentes de concreto armado usados, podemos decir que ha predominado la viga recta de vía superior; lo que es explicable, pues rara vez se ha pasado de 24 metros en el largo de los tramos. Estas luces reducidas se justifican por ser relativamente económico el costo de la infraestructura de las obras, constituidas generalmente con pilotajes como se explica más adelante.

Se han construido también puentes del tipo Vierendeel y Cantilever, y en la actualidad se ejecutan dos grandes obras en arco, sobre el río Limarí y el Río Bueno, con largo de 160 y 100 metros, respectivamente, y cuyos tramos tienen luces de 35 metros.

Además del empleo del concreto armado, se ha empezado a ejecutar en este último período, puentes colgantes, sobre todo en la región vecina a la Cordillera de Los Andes y en la zona Sur, donde el carácter torrencioso de los ríos hace muy difícil realizar una fundación económica en sus lechos. Las luces a que se ha llegado con estas obras fluctúan entre 40 y 90 metros, siendo lo más importante de ellas, el puente construido sobre el río Claro en el camino de San Clemente a la Argentina, que se entregó al tráfico público hace dos años.

En el país existen en la actualidad alrededor de 20 puentes colgantes carreteros, y cada día se comprende más y más que, por su economía, rapidez de ejecución y seguridad, este tipo es el llamado a primar sobre los demás en toda la región cordillerana de Chile. Comprendiéndolo, la Dirección de Obras Públicas está haciendo un estudio sistemático de esta clase de obras, desde 40 a 120 metros de luz, estudio que abarca las disposiciones más económicas, el material más apropiado, etc., etc.

III. INFRAESTRUCTURA

No ha variado en la misma proporción que la superestructura, desde 1888 a la fecha, la infraestructura de los puentes carreteros chilenos, ya que hoy, como en años pasados, las fundaciones se hacen principalmente por medio de pilotajes clavados a martinete. Sólo ha habido cambio en los perfiles usados, en la manera de

amarrarlos y en la profundidad de penetración, pues, mientras anteriormente se empleaban sólo rieles, y las amarras eran tablonces de madera, hoy se usan pilotes, etc. y barras de acero (cantoneiras) etc. El sistema ha dado buen resultado y es económico. No se habría podido ejecutar en el país la gran cantidad de puentes carreteros que hoy existen, si en cada caso hubiera sido necesario recurrir a las costosas construcciones con aire comprimido, necesarias para llegar al suelo firme.

Gran parte de nuestros ríos nacen de la Cordillera de los Andes y deben salvar varios miles de metros en menos de 300 km. de largo para llegar a vaciarse en el Océano Pacífico. Se han formado así cauces, de gran pendiente, con suelo de ripio, en los que las velocidades del agua son también grandes, produciéndose socavaciones de varios metros, aun en los ríos de importancia secundaria. En tales condiciones, para tener una seguridad suficiente, sería preciso fundar las cepas o machones a 7, 8 y a veces a 10, y más metros bajo aguas mínimas. De aquí ha resultado la solución del pilotaje que es más económico y suficientemente segura, como se ha dicho.

Es cierto que en los primeros años se daba poca importancia a la penetración del pilotaje, pues, no se tenían suficientes datos respecto a las socavaciones; pero, después de algunas experiencias dolorosas se comprendió que era primordial preocuparse de este punto. Se puede decir con toda justicia que en la actualidad el pilotaje de nuestros puentes carreteros se calcula principalmente para resistir a la socavación, sin descuidar por esto la acción de las cargas verticales.

La construcción de los puentes de concreto armado ha desarrollado, además, un tipo de cepas que podríamos llamar *Mixtas*. En ellas se puede distinguir una infraestructura formada por pilotes clavados hasta fichas de 7 a 10 metros, que se cortan más o menos al nivel del suelo, y una superestructura, que se encastra en el pilotaje anterior, constituida por un marco rígido de concreto armado.

Otro tipo de cepa, de carácter más definitivo que el anterior y que se ha usado principalmente en lechos arenosos, como ocurre en los ríos Itata, Laja, etc. es uno formado por tubos huecos de concreto armado, cuya hincadura se hace por medio de un dragado interior. Con este sistema, usado en nuestros puentes ya en cuatro casos diferentes, se ha llegado con facilidad relativa hasta 20 mts. bajo el nivel del lecho.

Finalmente, en la actualidad y por primera vez, se emplea el aire comprimido en la fundación de un puente carretero. Esto se hace en la construcción del puente sobre el Río Bueno cerca de la ciudad de este mismo nombre, habiéndose ya hincado un macellón a unos 18 mts. bajo aguas mínimas, cota en que se ha encontrado terreno firme.

IV, PISO

La constitución del piso ha ido también amoldándose a la evolución que ha experimentado la construcción de los puentes carreteros en los diversos períodos de que hemos hablado.

En las obras de madera estaba indicado usar un piso de madera, y en tal forma se ha procedido en todos los puentes de esa clase. En ellos la calzada se ha confeccionado con tabloncillos de roble-pellín, de coigue y últimamente hasta de eucaliptus, los cuales se han colocado, sea transversalmente, sea longitudinalmente. Los inconvenientes de esta clase de calzada son sobradamente conocidos para insistir sobre el particular: rápido desgaste; facilidad de incendios, comprometiendo con ello la seguridad de la obra entera; aspereza del rodado cuando tienen alguna edad, debido a que los clavos que los sujetan se aflojan, etc., etc. Su única ventaja es su reducido costo de construcción.

Como duración, debe considerarse superior el roble-pellín a las demás especies de maderas citadas; y en todo caso, cuando el tráfico es intenso, se puede establecer que la edad de este piso no pasa de 4 a 5 años.

En los puentes de acero se ha usado también principalmente la calzada de madera formada con tabloncillos, y sólo en alguna que otra obra se ha empleado un piso de macadam, hecho sobre planchas bombeadas remachadas a las longuerinas y travesaños del tablero. El motivo por que no se ha desarrollado más este sistema de uso corriente en Europa para obras de acero, es su subido precio, pues, aparte del alto valor de las planchas bombeadas, el piso mismo es pesado, y esto influye en la resistencia de las vigas maestras, y naturalmente, en la cantidad del material.

La construcción de los puentes de concreto armado, practicada en gran escala desde 1910, como se ha dicho, ha traído por fin una mejora evidente en los pisos pues, por la naturaleza misma de estas obras se dispone en ellas de una espléndida fundación o apoyo para la calzada, cual es la losa superior que figa las vigas.

En los primeros puentes construídos, el sistema empleado, ha sido el de agregar a la losa resistente una simple chapa de concreto sin armar, de 5 cm. de espesor medio, sobre la cual se extiende una delgada capa de arena con alquitrán a manera de protección. Esto ha dado buen resultado en las obras de tráfico liviano, en las cuales, aun después de tres años de edad, no ha sido preciso renovar la calzada. En puentes de tráfico pesado las experiencias hechas datan de sólo algunos meses. motivo que impide todo pronunciamiento.

En otras obras se han agregado al concreto de la chapa superior algunos litros de

alquitrán de hulla, a fin de hacer más elástico e impermeable el piso. Esta experiencia, realizada sólo en puentes de tráfico relativamente pesado, no parece satisfactoria, pues, a pesar de que el concreto fragua aparentemente en buenas condiciones y acusa al cabo de 28 días una resistencia a la compresión de 60 k/cm^2 , en la generalidad de los casos se han observado desagregaciones importantes y a veces destrucción completa. Es de observar que aún en aquellas obras en que el tráfico se ha permitido sólo al cabo de dos meses a fin de obtener una fragua más completa del material, se han observado los mismos desperfectos, aunque en menor escala. Últimamente se están haciendo experiencias con este mismo sistema; pero usando una dosis sumamente rica (460 K. a 520 K. de cemento por m^3 de mezcla).—Aunque sobre el resultado de este ensaye nada se puede decir todavía de definitivo, algunas manifestaciones indican ya que tampoco está satisfactorio, en tal forma que casi se puede predecir que la combinación concreto con alquitrán no deberá emplearse en lo sucesivo.

Recientemente se han hecho experimentos de pisos hechos de concreto betuminoso, en los cuales como materia betuminosa se ha empleado una brea especial fabricada por la Cía de Gas de Santiago, semejante en sus características a los asfaltos o betúmenes provenientes de la destilación del petróleo. El ensayo en cuestión, practicado en el puente Mapocho cerca de El Monte, cuenta sólo tres meses de edad, y hasta la fecha se mantiene en perfectas condiciones. Naturalmente nada se puede concluir tampoco sobre su resultado definitivo, pero su aspecto y estado hacen esperar que tenga éxito.

Finalmente se puede citar como ensayo interesante el que se acaba de hacer sobre el puente de concreto armado construído sobre el Cautín en Temuco, en el cual se ha constituído el piso con adoquinado de madera. Esta obra está formada en sus primeros 50 mts. por dos puentes gemelos, construídos uno al lado del otro para formar doble vía. El adoquinado se practicó de acuerdo con las reglas corrientes de esta clase de trabajos, pero, debido a que no se dejó una junta de dilatación suficientemente ancha, con las primeras lluvias el pavimento absorbió agua, y se hinchó en tal forma, que ejerció sobre las veredas un presión comparable a la de un arco, resultando, en suma, que los puentes gemelos se separaron en toda su longitud en unos 2 a 3 cm . El resto de la obra se construyó de una sola pieza y por este motivo la hinchazón de la madera sólo produjo levantamientos de parte del adoquinado.

Corregido después el defecto producido por la pequeñez de la junta de dilatación, lo que se consiguió sacando una fila de adoquines a cada lado y rellenando el espacio con arena alquitranada, el pavimento ha quedado en aceptables condiciones.

V COSTO

Aunque es un poco difícil establecer el costo por unidad de nuestros puentes carreteros, pues, en esto influyen el largo, el perfil del terreno, altura de la rasante, etc., etc., creo que es posible establecer ciertas cifras medias, que contemplen los casos más generales.

En lo que sigue he hecho un estudio de este costo para las obras de simple vía, que en nuestro país tienen un ancho total (entre barandas) de 4.50 mts. y una calzada de 3.50 mts., y he tenido a la vista con este objeto los puentes más representativos construidos en los últimos años.

Este costo se refiere a obras de 18 a 20 metros de luz, con alturas de cepas comprendidas entre 4 y 6 metros sobre el lecho del río, casos que son los que frecuentemente se presentan en la práctica, y los precios corresponden a la región central del país (Santiago a Talca) y al momento presente.

A) PUENTES DE CONCRETO ARMADO

Superestructura \$ 1 100 por metro corrido o 244 por metro cuadrado.

Cepas (marcos rígidos de concreto armado sobre una infraestructura de pilotes) \$ 10 000 o \$ 14 000.

Estribos (de concreto armado sobre una infraestructura de pilotes) \$ 20 000.

Con estos precios se puede establecer aproximadamente que en la región central del país y en puentes de más o menos de 100 metros, el costo total por metro corrido fluctúa entre \$ 1 900 y \$ 2 100.

B) PUENTES DE ACERO

Superestructura \$ 650 por metro corrido o \$ 144 por metro cuadrado.

Cepas, (de pilotes amarrados con cantoneras u otra clase de perfiles) \$ 9 000 a \$ 12 000.

Estribos (de concreto armado sobre infraestructura de pilotes) \$ 15,000.

En la región central del país, en puentes de más o menos de 100 metros se puede decir que el costo total por metro corrido fluctúa entre \$ 1 300 y \$ 1 450.

C) PUENTES DE MADERA (mixtos)

Superestructura \$ 700 por metro corrido, o \$ 155 por metro cuadrado.

Cepas, (de pilotes tipo doble riel amarrados con tabloncillos de madera) \$ 8 000 a \$ 9 000.

Estribos, (de pilotes tipo doble riel amarrados con tabloncillos de madera) \$ 12 000.

El costo total por metro corrido fluctúa entre \$ 1 250 y \$ 1 350.

Como conclusión general, se puede sacar de estos números que en la región central del país, prácticamente no hay diferencia entre el precio de los puentes de madera y los de acero, razón por la cual en ningún caso pueden recomendarse aquellos. En cambio entre las obras de concreto armado y las de acero hay bastante diferencia; pero el carácter definitivo de los primeros, sus menores gastos de conser-

vacación, hace preferible el empleo del concreto armado, por lo menos en obras de importancia.

VI. CONCLUSIÓN

En la rápida incursión hecha a través del desarrollo de los puentes carreteros chilenos, ha podido observarse un progreso continuo desde 1888 hasta hoy.

Vimos al principio los antiguos puentes, fabricados con maderas extranjeras. Estas obras en los primeros años de su vida tenían la apariencia espléndida que le daban sus altas vigas; pero luego cediendo al peso de su magnificencia efímera, se deformaban caprichosamente; y al cabo de muy pocos años, para evitar su ruina, era preciso ayudarlos con puntales, cepas provisórios, etc.

Vimos después el uso de puentes mixtos, de madera y acero, confeccionados con nuestra noble y antigua madera nacional, el roble. Estas eran estructuras más sencillas, más livianas, menos deformables y también de mayor duración que las anteriores. Se había dado un gran paso en el camino del progreso.

En seguida vimos la construcción de obras aún más definitivas, obras en cuyas partes vitales solo se empleada el acero; y llegamos por fin al último escalón del desarrollo de nuestros puentes carreteros, en que hemos observado el uso del moderno material definitivo que se denomina concreto armado.

Los 5 000 metros de puentes carreteros que existían en el país en el momento que la Dirección de Obras Públicas nació como Oficina Fiscal, el año 1888, se han convertido hoy en 42 000, siendo más de 850 su número. De ellos hay alrededor de 7 500 metros de obras de acero, 4 200 de concreto armado, 1 500 de puentes colgantes, y el resto que aún forma la parte más importante, lo constituyen los puentes de madera (28 500 metros).

Se ha progresado, pues, tanto en la calidad de los materiales y en las condiciones técnicas de las obras, como en el número y longitud de ellos, pues hemos visto que en los 36 años recorridos la cantidad de puentes ha aumentado casi nueve veces. La constitución de las fundaciones, la formación de las calzadas, el aspecto estético de las obras, todo ha progresado; y los defectos que se observan en el momento presente se estudian más y más.

Y es una satisfacción decir que la considerable obra realizada ha sido hecha exclusivamente por ingenieros chilenos, quienes han debido luchar con las circunstancias especialmente desfavorables que les ofrecían nuestros torrentosos ríos en la mayor parte de su curso. Estos ingenieros han estudiado las obras construidas en otros países más adelantados; pero han tomado de ellos sólo lo necesario, dando nacimiento a tipos de puentes verdaderamente originales adaptados a las condiciones económicas y topográficas del país. Podemos, pues, terminar diciendo que es justo, muy justo el título que colocamos delante de estas líneas: "NUESTROS PUENTES CARRETEROS".