

ANALES

DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Calle San Martín N.º 352 - Casilla 487 - Teléf. 88841 - Santiago - Chile

AÑO LVII ⁽¹⁾

DICIEMBRE DE 1944

N.º 12

(1) Año LVII desde la fecha de su primera publicación en 1888 como "Anales del Instituto de Ingenieros"
Año XLIV desde la fecha de su primera publicación, Enero de 1901, como "Anales del Instituto de Ingenieros de Chile"

Ing. Julio Tapia Cabezas

Refuerzos de puentes metálicos en los Ferrocarriles del Estado

(Continuación)

CAPITULO V

REFUERZOS DIRECTOS:

Los refuerzos directos consisten en agregar material a las diferentes partes de la viga hasta conseguir fatigas inferiores a las admisibles. Así, a una viga de alma llena se le agregarán suelas para aumentar su momento de inercia. En el caso de una viga enrejada hay que estudiar separadamente la forma de reforzar sus cabezas, diagonales y montantes.

El refuerzo directo, en cuanto a la economía del material metálico es el más conveniente; mas, no siempre se puede aplicar, ni es el menos costoso debido a que en casi la totalidad de los casos hay que ejecutarlo bajo tráfico, lo que aumenta enormemente el costo y también las probabilidades de accidentes.

En general, al hablar de refuerzos nos referiremos a refuerzos bajo tráfico, pues este es el problema que se nos presenta casi siempre.

La ejecución de los refuerzos directos es defectuosa, porque para colocar, por ejemplo, las suelas, es necesario cortar la totalidad de los remaches y reemplazar algunos de ellos por pernos para dar paso a los trenes. Los pernos no llenan totalmente los huecos y se producen, entonces, deslizamientos que dan origen a esfuerzos secundarios imposibles de determinar.

Igual dificultad se encuentra en el refuerzo de las diagonales cuando hay que cortar la remachadura de unión a las almas.

La economía que significa la menor cantidad de material metálico que se necesita para un refuerzo directo se pierde ante el aumento del costo de la obra de mano. El tener que colocar pernos cada vez que va a pasar un tren, el escarear los agujeros para colocar los remaches, aumenta enormemente el costo de la obra y si a esto se agrega el peligro que representa el que por un descuido cualquiera no se coloque el número de pernos necesario y se produzca un accidente, se ve que debe evitarse en lo posible esta clase de trabajos.

Se aconsejan los refuerzos directos cuando:

a) El refuerzo de las cabezas se puede hacer agregando fajas de suelas que no obliguen a cortar la remachadura principal para su colocación y que tampoco haya necesidad de cortar todos los remaches de unión de las diagonales a las almas, o si hay que hacerlo, la contra-diagonal existente o una provisional pueda tomar todo el esfuerzo.

b) Cuando debido a la poca altura del puente sobre el lecho del río se pueda afirmar el tablero con caballos de madera o castillos de durmientes en tal forma, que las vigas no trabajen.

Si no se verifica ninguna de estas condiciones y hay la necesidad de hacer un refuerzo directo, debe estudiarse cuidadosamente la forma en que se va a desarrollar la faena. Es aconsejable colocar las suelas de las cabezas por mitad para así sólo cortar los remaches de un lado.

Al reforzar las cabezas debe tomarse en cuenta que no se puede agregar suelas indefinidamente y que hay una relación entre la sección del alma más los ángulos y las suelas. Como límite puede aceptarse que la sección de suelas sea un 60% de la sección total de la cabeza.

En nuestros puentes se hicieron refuerzos directos cuando se comenzó a estudiar esta clase de trabajos; después con la experiencia adquirida esta solución sólo se la ha aceptado cuando cumple con las condiciones indicadas anteriormente o cuando es de absoluta necesidad hacerlo.

En el cuadro siguiente está la lista de los principales puentes reforzados directamente. Todos son de vigas enrejadas. En la segunda columna está el peso del refuerzo de las vigas por metro corrido de puente. En la tercera, el porcentaje de aumento de resistencia que se refiere al aumento del momento de inercia en el centro. En la cuarta, el peso por metro corrido de refuerzo por 1% de aumento de resistencia. En la 5.ª y 6.ª los porcentajes de suelas respecto de la sección total de las cabezas, sin y con refuerzo.

REFUERZOS DIRECTOS

PUENTE	Luz teórica del tramo	Peso del refuerzo por m. c.	Porcentaje K de aumento de resistencia	Peso por unidad del % de aumento por m. c.	Porcentaje r de suelas en las cabezas	
					Sin ref.	Con ref.
	m.	Kg.	%	Kg.	%	%
Angostura.....	35,80	740	72	10,2	56	75,0
Paine.....	27,90	372	66	5,7	58	75,0
Tinguiririca.....	55,00	133	13	10,2	42	50,0
Quinta.....	65,00	157	12	13,0	45	54,0
					60	60,0
Lircay N.º 1.....	15,70	179	40	4,5	33	49,0
Lircay N.º 2.....	31,00	755	53	14,2	64	75,0
Lircay N.º 2.....	32,50	330	25	13,2	49	59,0
Claro.....	40,66	125	10	12,5	62	66,5
Demaihue.....	15,30	187	99	1,9	67	81,5

Como peso medio de refuerzo por metro corrido de las vigas por 1% de aumento de resistencia podemos tomar 12 Kgs., es decir, el peso de un refuerzo es:

$$1) P = l \cdot 12 \cdot K$$

siendo k el tanto por ciento de aumento de resistencia.

La primera condición para iniciar el estudio de un refuerzo directo es que $r \leq 60$, r es el porcentaje de suelas respecto de la sección total de las cabezas; dentro de este límite es válida la fórmula 1).

Sólo cumplen con las condiciones indicadas los refuerzos de los puentes Tinguiririca, Lircay N.º 2 (Limahue) y Quinta.

En la lámina 14 se ve el esquema del refuerzo del puente Tinguiririca y en la 15 el del Lontué.

CAPITULO VI

REFUERZOS TIPO A.—*Se agregan apoyos intermedios.*

Esta clase de refuerzo conviene, siempre que la altura del puente sobre el lecho del río sea pequeña y que las fundaciones de los machones o cepas proyectadas no sean costosas.

Como la ventaja principal de este tipo de refuerzo es el evitar el directo, es condición esencial que el refuerzo metálico que haya que hacer sea el mínimo, es decir el del montante a plomo del apoyo intermedio y el de las diagonales adyacentes.

Tiene el inconveniente de disminuir la sección de desembocadura y de exponer las fundaciones proyectadas al peligro de las socavaciones.

El material metálico queda mal aprovechado, pues el momento máximo se reduce a la 4.ª parte, o sea, se refuerza la viga en 400% cuando es difícil que el refuerzo que se necesita sea superior a 100%.

Es una solución estéticamente defectuosa, la altura de la viga es desproporcionada respecto de su nueva luz y las cepas proyectadas no quedan de acuerdo con la infraestructura existente.

Esta observación tiene valor en los puentes muy conocidos por su esbeltez y belleza. Se tomó en cuenta en el Malleco al estudiar su refuerzo y en el caso de los viaductos Quino, Salto y Quillén para no aceptar esta solución de cepa intermedia que habría destruído su conjunto armonioso.

Ocurre en algunos casos que el material metálico de las vigas es de mala calidad y que, por lo tanto, no vale la pena reforzarlo; pero como tampoco se dispone de la suma necesaria para renovarlas, conviene esta solución que permite, al cambiar la superestructura años después, economizar gran cantidad de material; ya que las nuevas vigas van a tener la mitad de la luz.

Como solución provisoria se ha usado este tipo de refuerzo con frecuencia, empleando cepas de rieles, sobre todo en puentes de alma llena. Como definitiva se adoptó en los puentes Laja, Ligüemo (ramal a Pichilemu), y Cachapoal (ramal a Las Cabras).

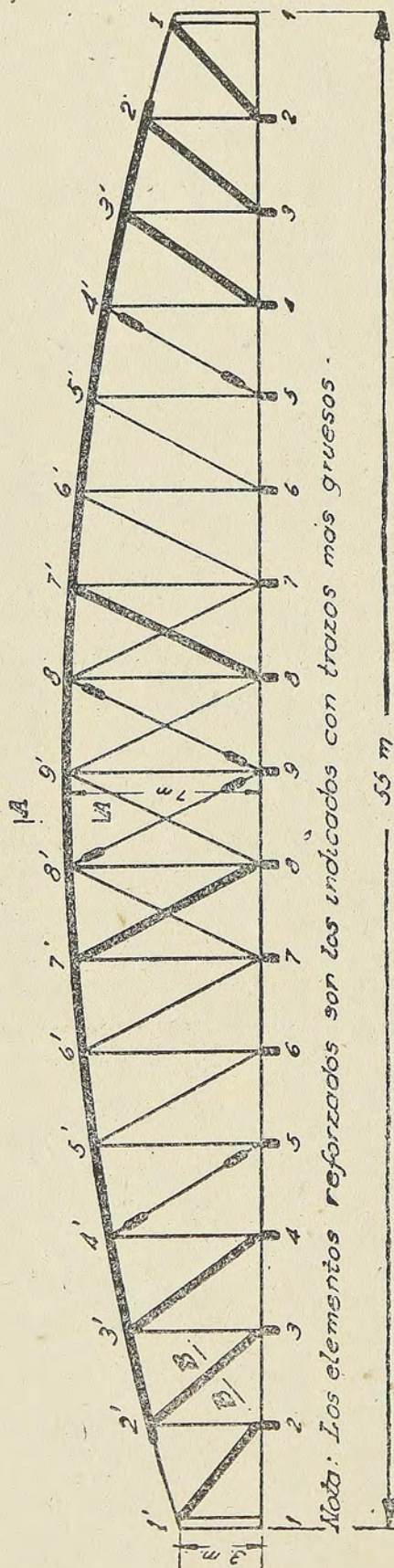
Lamina 14

REFUERZO PUENTE TINGUIRIRICA

ESQUEMA DEL REFUERZO DE UN TRAMO

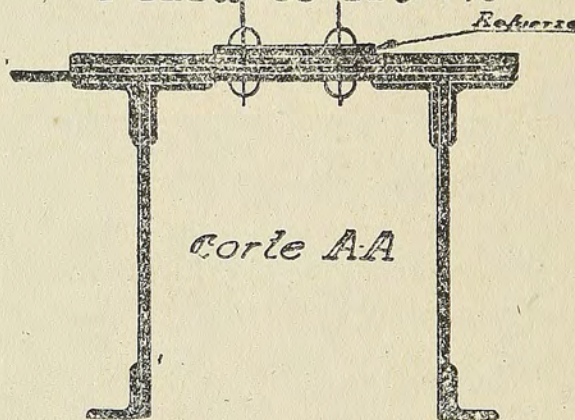
ELEVACION

Esc: 0 1 2 3 4 5 10 m



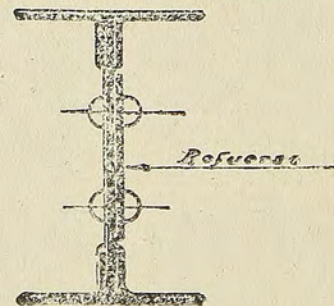
Nota: Los elementos reforzados son los indicados con trazos mas gruesos.

2 almas de 450×10
 1 suela de 680×9
 2 " de 600×9
 4 ángulos de $90 \times 90 \times 10$
 2 " " $70 \times 70 \times 10$

REFUERZO1 suela de 220×10 

Corte AA

4 ángulos de $120 \times 80 \times 12$
 1 alma de 390×11

REFUERZO1 plat de $220 \times 9,5$ 

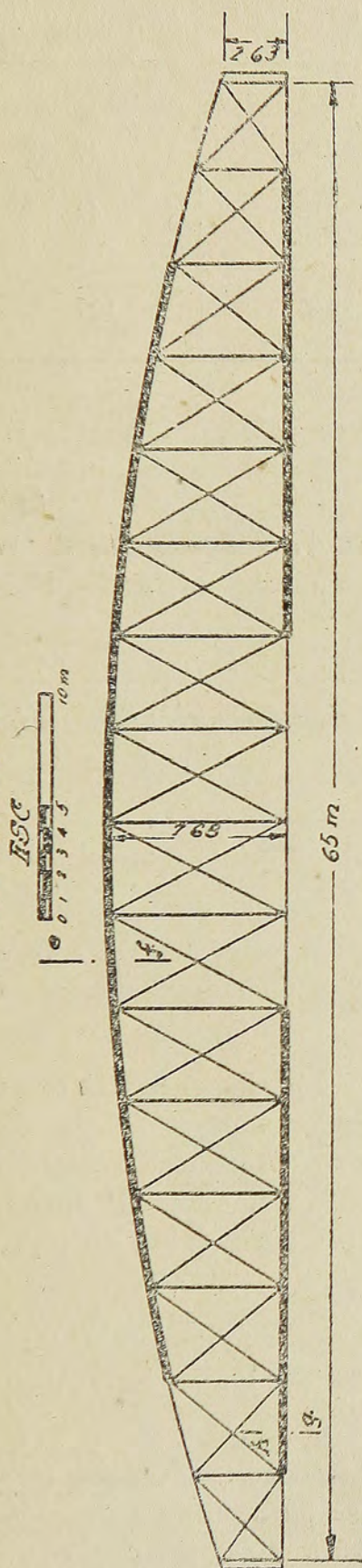
DIAGONAL 2'-3

Corte
B-B

Lámina 15

REFUERZO PUENTE LONTUE

ESQUEMA DEL REFUERZO DEL TRAMO
ELEVACION

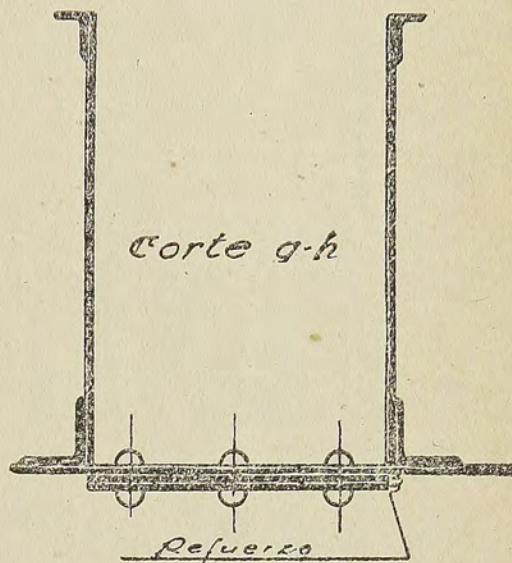


Nota: Los elementos reforzados son los indicados con trazos mas gruesos.

2 almas de 600 x 10
2 angulos de 90 x 90 x 10
1 suela de 680 x 9

REFUERZO

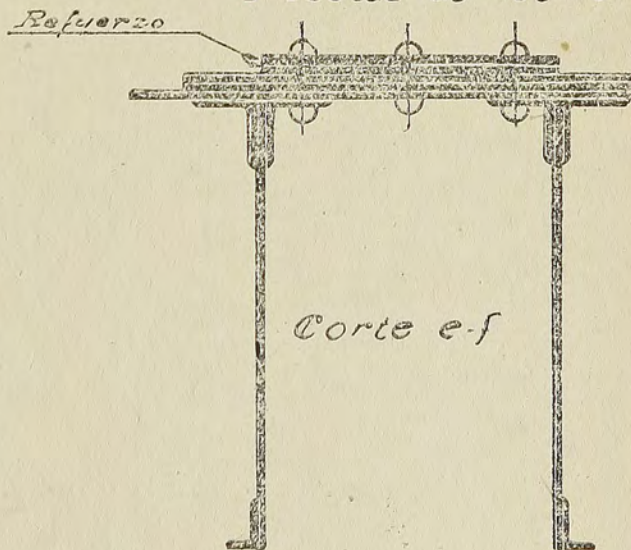
2 suelas de 400 x 9



2 almas de 600 x 10
4 angulos de 90 x 90 x 10
1 suela de 680 x 9
2 " de 610 x 9

REFUERZO

2 suelas de 400 x 9



A continuación, damos los datos referentes a estos puentes; en ellos se ve que el peso del refuerzo por metro corrido del Laja es excesivo.

PUENTES		Luz del tramo	Pesó por m. c. de puente, kgs.	
			Refuerzo	Apoyo intermed.
CACHAPOAL	Ramal Las Cabras.....	40,0	300	62
		50,0	330	50
LIGUEIMO	Ramal Pichilemu.....	59,0	213	42
LAJA		49,5	490	105

Efectivamente, no cumple con la condición de que su refuerzo indirecto sea mínimo; pero como el material metálico era muy malo, los ensayos dieron límite de elasticidad de 21,2 Kgs. y de 31,4 de ruptura, con un coeficiente de calidad 660, había que renovar en un futuro próximo totalmente la superestructura. Se aceptó esta solución que cambiaba los tramos de 49,50 m. por dos de 22,00 y 27,50 m. de luz.

REFUERZO TIPO B.—*Se unen dos o más vigas para transformarlas de aisladas en continuas.*

Generalmente sucede que una viga enrejada, simplemente apoyada no se puede reforzar en el centro donde el momento es mayor, debido a que tiene el máximo de material admisible en sus cabezas.

El refuerzo directo en esta parte no se puede aceptar por tener a veces en suelas más del 60% de la sección total o por tener que cortar remachaduras vitales para colocar nuevas suelas.

En cambio, si la viga simplemente apoyada la unimos a la siguiente y la transformamos en continua de dos tramos, corremos el momento máximo (carga uniformemente repartida) de 0,5 l a 0,375 l de distancia del apoyo izquierdo y lo disminuimos en 44%. Es casi seguro que en esta sección podemos aumentar el número de suelas sin sobrepasar el porcentaje admitido y sin tener necesidad de cortar remachaduras importantes.

Si en vez de unir dos tramos, juntamos tres, el momento máximo en las vigas laterales disminuye en 36% a 0,4 l, del primer apoyo. Se ve que lo más conveniente es unir las vigas de a dos.

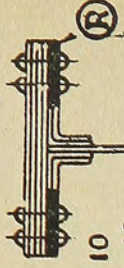
La colocación del refuerzo en la unión de las vigas no ofrece dificultad por estar en esta parte el minimum de material de las cabezas y poder cortar los remaches que unen la única suela con las cantoneras sin peligro, ya que esa suela se coloca generalmente como recubrimiento.

El inconveniente de esta solución está en la dificultad del trabajo para colocar las suelas de refuerzo en la cabeza inferior a plomo de los apoyos y en el cambio que

REFUERZO PUELTE CALLE CALLE N°1

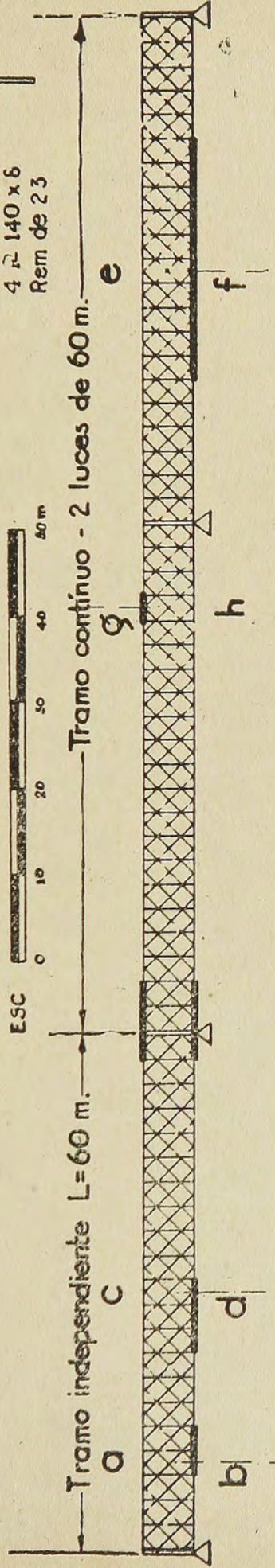
Km. 833-792.

Corte g-h

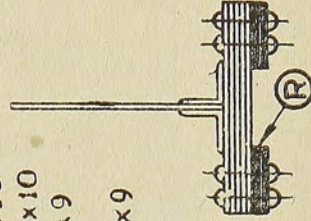


1 Alma 500 x 10
2 L 100 x 100 x 10
4 Suelas 500 x 9
REF

4 ϕ 140 x 8
Rem de 23

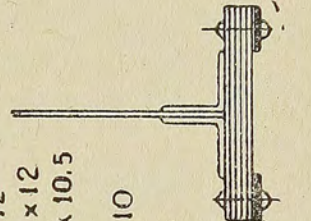


Corte e-f



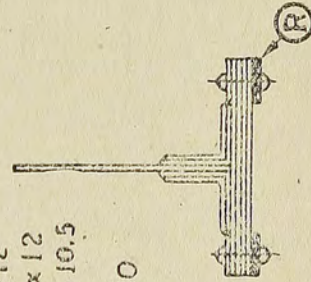
1 Alma 500 x 10
2 L 100 x 100 x 10
5 Suelas 500 x 9
REF
4 ϕ 150 x 9
Rem 23

Corte c-d



1 Alma 500 x 12
2 L 150 x 150 x 12
5 Suelas 500 x 10.5
REF
2 ϕ 100 x 10
Rem 26

Corte a-b



1 Alma 500 x 12
2 L 150 x 150 x 12
4 Suelas 500 x 10.5
REF
2 ϕ 100 x 10
Rem de 26

NOTA: Los trazos gruesos indican refuerzo.

hay que hacer de éstos, pues, en el caso de unir dos vigas hay que cambiar un apoyo fijo por uno móvil para dejar dos móviles y uno fijo. Se puede o colocar en la unión un apoyo nuevo en lugar de los dos existentes, que es la mejor solución, o cambiar al fijo por uno móvil y dejar, entonces, dos apoyos. En este caso habría que proyectar tantos apoyos móviles iguales a los que existen como el número de tramos que se unen menos uno.

Es una ventaja de este tipo de refuerzo el centrar la reacción en los apoyos intermedios lo que es importante cuando los tubos o machones son débiles, ya que la excentricidad de las cargas aumenta bastante las fatigas de las fundaciones. Para conseguir esto es necesario cambiar los dos apoyos por uno solo en los machones.

Al adoptar este tipo de refuerzo hay que tomar en cuenta las dos condiciones aceptadas para los refuerzos directos; es decir, no pasar en suelas el 60% de la sección total de las cabezas y no tener que cortar remachaduras vitales.

Este sistema de refuerzo se aceptó para el puente sobre el río Calle-Calle, que está formado por tres tramos metálicos de vía superior, enrejado cuádruple de 60 m. de luz. Dos tramos forman una viga continua, el tercero es libre.

Las secciones de las cabezas tenían un 66% de suelas y para reforzarlo había que agregarle dos suelas más, lo que aumentaba el número de ellas de 5 a 7 con un porcentaje de 74%. Para colocar las suelas proyectadas había que cortar las cuatro filas de remaches de unión. No cabía un refuerzo directo.

Lo más favorable era unir el tercer tramo y transformarlo en vigas continuas de tres tramos. Había que cambiar un solo apoyo fijo por uno móvil para lo que se aceptó uno de los apoyos del puente Antivero, retirado del servicio, que se había proyectado cuando se reforzó este puente y era de muy buena calidad.

El peso del refuerzo fué de 54 Kgs./m. c. En la lámina 16 se ve un esquema del refuerzo y un corte de la cabeza inferior.

REFUERZOS TIPO C.

Consisten en agregar una viga intermedia entre las dos principales. Como se ve, este refuerzo sólo se puede aplicar a tramos de vía superior y con sus travesaños apoyados sobre las vigas principales. Si el tablero está colocado bajo el plano de las suelas de la cabeza superior, la viga de refuerzo deberá tener una altura inferior a la conveniente y por lo tanto no será económica.

Este tipo de refuerzo tiene la ventaja de evitar el refuerzo del travesaño y de que su ejecución no presenta peligro para el tráfico; mas, tiene el grave inconveniente de colocar al tramo un apoyo intermedio en cada estribo o machón, o sea, deja el tramo con seis apoyos. Cualquier asentamiento que produzca una desnivelación del apoyo central respecto de los dos laterales hace que las vigas resistan las cargas en una proporción diferente de lo calculado.

Como la viga de refuerzo transforma el travesaño en una viga continua, en la que ella recibe la reacción central, el trabajo de esta viga va a ser función de la distancia entre las vigas principales.

Para trocha de 1,68 m. la distancia entre las longuerinas es de 1,88 m, y el valor l llega hasta 4,75 m. para puentes de vía superior. Según estos datos, tenemos

que al colocar una viga intermedia con $l = 4,75$ m. reforzamos las vigas laterales en 67% y si $l = 3,00$ m. el refuerzo sería de 170%.

Raras veces se necesita un refuerzo mayor de 70%, se podría aceptar como límite un 100%. Este sería el refuerzo para un $l = 3,50$ m. Podemos decir, entonces, que para $l < 3,50$ m. este tipo de refuerzo no es en ninguna forma económico.

Los cambios que hay que hacer a los planos de contravientos, tanto horizontales como verticales para poder colocar la tercera viga, encarecen el costo de esta solución, al que hay que agregar también el valor de los nuevos apoyos.

En general, no se recomienda adoptar este tipo de refuerzo, sino en casos muy especiales.

Un ejemplo de esta solución lo tenemos en el refuerzo del viaducto Traiguén hecho en 1915. Se reforzaron con una viga intermedia los tramos de 18,3 y 21,9 m. de luz. Como la distancia $l = 3,050$ es menor que 3,50 m. según lo que hemos visto, el refuerzo no debe ser económico. Así es en realidad; las vigas laterales para el tren B trabajan con una fatiga de 7,5 Kgs./mm² y la intermedia con 13,6 es decir, hay un 46% de material perdido en las vigas laterales.

El peso del refuerzo en los tramos de 18,3 m. de luz es de 840 Kgs./m. c. y en los de 21 m. de 930 Kgs. Este peso se refiere sólo al refuerzo de las vigas. El refuerzo más pesado para la luz 18,3 m. si tomáramos cualquier otro tipo de refuerzo sería de ± 400 Kgs., o sea, tiene un peso superior en 110% al que habría tenido con otra solución.

(Continuará)

