



ESTUDIOS SOBRE PUENTES DE MADERA
CON UN ENSAYO PRÉVIO
DE CLASIFICACION DE LAS CARGAS RODANTES
PARA LAS VÍAS CARRETERAS DE CHILE



(*Conclusion*)

CAPÍTULO X

Especificaciones i valor de los materiales.—Pesos muertos

§ I.—ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES

Los estudios de puentes hechos en los capítulos anteriores han tenido por resultado el fijar las dimensiones de las principales piezas que entran a formar la parte de la obra que varía con la longitud de los tramos. Fundándonos en estos resultados formaremos luego los cuadros de los materiales necesarios para la construcción. Pero antes de tratar este punto, vamos a determinar las cantidades de materiales por metro corrido de viga, que quedan invariables cualquiera que sea la luz. De mas está decir que esta parte no influye directamente sobre la elección de uno u otro sistema, pues el gasto que le corresponde es el mismo para todos. Pero, tiene su importancia para fijar el precio total de los materiales por metro corrido de puente, i también para determinar el peso muerto de estas obras.

I.—MATERIALES INVARIABLES CON LA LUZ

103. *Maderas.*

Se sabe que comprenden:

Un doble entablado de 0 m. 10 i 0,05 de grueso.

Dos guarda-ruedas.

Dos barandas, en el caso de vigas inferiores.

1.º *Entablados.*

El entablado *inferior* se extiende sobre todo el ancho del puente i cubre jeneralmente las vigas laterales. Por consiguiente puede avaluarse el ancho total en 5 m. 30. Como lo hemos dicho al principio de nuestro estudio, el espesor es de 0 m. 10. Jeneralmente las maderas tienen 0 m. 30 de ancho. El cubo por metro corrido de puente será:

$$5 \text{ m. } 30 \times 0,10 \times 1 \text{ m.} = 0 \text{ m.}^3 \text{ } 530$$

El entablado superior que tiene 0 m. 05 de grueso no se extiende sino sobre la vía carretera, que tiene 3 m. 80 de ancho. El cubo de madera por metro corrido de puente será, pues:

$$3 \text{ m. } 80 \times 0,05 \times 1 \text{ m.} = 0 \text{ m.}^3 \text{ } 190$$

2.º *Guarda-ruedas.*

Para tener guarda-ruedas eficaces, conviene tomar piezas de 20 x 20. El cubo de madera correspondiente por metro corrido de puente será:

$$2 \times 0,20 \times 0,20 \times 1 \text{ m.} = 0 \text{ m.}^3 \text{ } 080$$

Síguese que el cubo total de entablados i guarda-ruedas será por m. c. de puente. 0 m.³ 800

3.º *Barandas.*

En los puentes de vigas inferiores, la baranda forma parte del elemento que no varía con la luz. Para luces inferiores a cinco metros, jeneralmente no se usan barandas. Pero pasado este límite, su empleo se hace indispensable. Como baranda-tipo emplearemos un sistema compuesto de dos soleras de

0,15 × 0,15 distantes de 1 m. 00 de eje a eje, unidas por montantes de 0,10 × 0,10 distantes de 1 m. 25. En cada paño pondremos dos diagonales de 0,10 × 0,10, en asta de San Andres. Los montantes en los extremos de los tramos tendrán 0,15 × 0,15. En estas condiciones, el cubo de madera de la baranda por metro corrido será:

$$\text{Soleras: } 2 \times 0,15 \times 0,15 \times 1 \text{ m.} = 0 \text{ m.}^3 \text{ 045}$$

$$\text{Montantes: } 1 \times 0,10 \times 0,10 \times \frac{1}{1,25} = 0 \text{ 008}$$

$$\text{Diagonales: } 2 \times 0,10 \times 0,10 \times \frac{1,50}{1,25} = 0 \text{ 024}$$

$$\text{es decir por metro corrido. } 0 \text{ m.}^3 \text{ 077}$$

ó $2 \times 0,077 = 0 \text{ m.}^3 \text{ 154}$ por metro corrido de puente.

En resumen: la parte invariable del puente se compone, pues, por metro corrido:

$$1.^\circ \text{ De los entablados i guarda-ruedas. . . . } 0 \text{ m.}^3 \text{ 800}$$

$$2.^\circ \text{ De las barandas. } 0 \text{ 154}$$

$$\text{es decir, por metro corrido. } 0 \text{ m.}^3 \text{ 954}$$

104. *Fierros.*—Los fierros empleados para la parte invariable del puente comprenden los clavos que sirven para fijar los tablones i los pernos de los guarda-ruedas. En la práctica, se cuenta un quintal español de clavos por 10 metros de puente de simple vía. Esta cantidad es mas que suficiente para afianzar bien los entablados. Pero como se pierde siempre una cierta cantidad de todo material pequeño es prudente conservar este término.

Para fijar los guarda-ruedas, puede usarse pernos de 12" × 1" cuyo peso es de 3^k con tuerca i golillas. La distancia entre los pernos es de 1^m 50. El peso de fierro por metro corrido de puente será pues:

$$4^k 6 + \frac{2 \times 3^k}{1,5} = 8^k, 6 \text{ para la parte constante.}$$

Estos números nos servirán mas allá para establecer las cantidades de materiales de los puentes.

II.—MATERIALES QUE DEPENDEN DE LA LUZ

105. *Vigas inferiores*.—Hemos estudiado anteriormente las dimensiones de puentes con vigas inferiores en los casos siguientes:

- 1.º 5 vigas sencillas para tramos de 0, m. 90 hasta 5 metros.
- 2.º 5 vigas con torna-puntas para tramos de 5 m, 8 m i 10 metros.
- 3.º 5 vigas con vigas-sopandas i torna-puntas para tramos de 10 m, 13 m i 16 metros.
- 4.º 3 vigas con torna-puntas i travesaños para tramos de 5 m, 8 m i 10 metros.
- 5.º 3 vigas con vigas-sopandas, torna-puntas i travesaños para tramos de 10 m, 13 m i 16 metros.
- 6.º 2 vigas con vigas-sopandas, torna-puntas i travesaños para luces de 10 m, 13 m i 16 metros.

I. Maderas.—El cálculo ha tenido por objeto la determinación de las dimensiones de las vigas, vigas-sopandas, torna-puntas i travesaños. Para esta parte de la obra, cuyas dimensiones se deducen del cálculo, hemos establecido las especificaciones exactas de materiales en los casos que acabamos de citar. Los cuadros número 29 a número 32 se refieren a estos puentes. Llevan las dimensiones longitudinales i trasversales de todas las piezas al mismo tiempo que su número. Contienen también los cubos parciales i totales, de tal manera que para establecer la especificación especial que se refiere a una de estas obras, bastará transcribir los números correspondientes de uno de los cuadros. Por fin, la última columna procura el elemento más importante para nuestro estudio, el cubo de madera por metro corrido de puente que exige cada uno de los sistemas. Basta dar una mirada a los diversos cuadros mencionados para imponerse de la lei de variación.

CUADRO NUM. 29

Especificaciones i valor de los materiales para pases desde 0 m. 90 hasta 5 metros

LONGITUD DE LOS TRAMOS	M. A. D. E. R. A. S.										Fierro por metro corrido	Fierro por metro corrido
	Seccion	Longitud total metros	CUBICACION		CUBICACION POR METRO CORRIDO			VALOR POR METRO CORRIDO				
			De una viga metro cúb. metro cúb.	De cinco vigas metro cúb. metro cúb.	Vigas	Parte fija	TOTAL	Maderas kilogramos	Fierro kilogramos	TOTAL kilogramos		
0,90	20 x 20	1,10	0,044	0,220	0,244	0,800	1,044	45,7	20,88	13,71	34,59	985
1,40	20 x 25	1,60	0,080	0,400	0,286	"	1,086	32,0	21,72	9,60	31,32	1009
1,70	25 x 25	1,90	0,11875	0,59375	0,349	"	1,149	27,7	22,98	8,31	31,29	1062
2,00	20 x 30	2,20	0,1321	0,6605	0,330	"	1,130	26,7	22,60	8,01	30,61	1044
2,50	25 x 30	2,70	0,2025	1,0125	0,405	"	1,205	22,9	24,10	6,87	30,97	1107
3,00	30 x 30	3,20	0,288	1,440	0,480	"	1,280	20,3	25,60	6,09	31,69	1172
3,80	30 x 35	4,00	0,420	2,100	0,553	"	1,353	17,7	27,06	5,31	32,37	1235
4,50	35 x 35	4,80	0,588	2,940	0,653	"	1,453	16,1	29,06	4,83	33,89	1324
5,00	35 x 40	5,30	0,742	3,710	0,742	"	1,542	15,3	30,84	4,59	35,43	1403

CUADRO NUM. 30
Especificaciones de las maderas en el caso de cinco vigas inferiores

Longitud de los tramos	VIGAS				TORNA-PUNTAS				CUBICACION DE LAS MADERAS		
	Dimensiones	Seccion	Longitud	Cubicacion de una viga	Dimensiones	Seccion	Longitud	Cubicacion de dos tornapuntas	De una viga con dos tornapuntas	De cinco vigas con diez tornapuntas	Por metro corrido de puente
metros	metros	m. cuadr.	metros	m. cdb.		m. cuadr.	metros	m. cdb.	m. cdb.	m. cdb.	m. cdb.
5	0,20 x 0,30	0,06	5,30	0,318	0,20 x 0,20	0,04	1,90	0,152	0,470	2,350	0,470
8	0,30 x 0,30	0,09	8,30	0,747	0,20 x 0,30	0,06	3,00	0,360	1,107	5,535	0,692
10	0,30 x 0,35	0,105	10,30	1,0815	0,30 x 0,30	0,09	3,50	0,630	1,7115	8,5575	0,856
10	0,20 x 0,30	0,06	10,30	0,618	0,20 x 0,30	0,06	3,50	0,420	1,238	6,190	0,619
13	0,25 x 0,30	0,075	13,50	1,0125	0,25 x 0,25	0,0625	4,10	0,5125	1,931	9,655	0,743
16	0,30 x 0,30	0,09	16,50	1,485	0,30 x 0,30	0,09	5,00	0,900	3,105	15,525	0,970

V. = Viga.—V. S. = Viga sopanda.

CUADRO NÚM. 31

Especificaciones de las maderas en el caso de tres vigas inferiores

Longitud de los tramos	VIGAS				TORNA-PUNTAS				CUBICACION DE LAS MADERAS						
	Longitud	CENTRALES		ORILLERAS		Longitud	De las vigas centrales		De las vigas orilleras		De las tres vigas	De los seis tornapuntas	Viguetas TOTAL	p. metro corrido de puente	
		Dimensiones	Cubicacion	Dimensiones	Cubicacion		Dimensiones	Cubicacion	Dimensiones	Cubicacion					
metros	metros	m. cúb.	m. cúb.	m. cúb.	m. cúb.	m. cúb.	m. cúb.	m. cúb.	m. cúb.	m. cúb.	m. cúb.	m. cúb.	m. cúb.	m. cúb.	
5	5,30	0,25 × 0,30	0,3975	0,20 × 0,30	0,6360	1,90	0,25 × 0,25	0,2375	0,20 × 0,20	0,3040	1,0335	0,5415	1,71875	3,20375	0,65875.
8	8,30	0,30 × 0,35	0,8715	0,30 × 0,30	1,4940	3,00	0,30 × 0,30	0,540	0,20 × 0,30	0,720	2,8655	1,3600	2,750	6,4755	0,8094
10	10,30	0,35 × 0,35	1,26175	0,30 × 0,35	2,163	3,50	0,30 × 0,35	0,735	0,30 × 0,30	1,260	3,42475	1,995	3,09375	8,5135	0,95135
10	10,30	0,30 × 0,30	0,927	0,20 × 0,30	1,236	3,50	0,30 × 0,30	0,630	0,20 × 0,30	0,840	2,863	1,470	3,09375	7,42675	0,74267
V. S.	5	0,20 × 0,30	0,300	0,20 × 0,20	0,400										
13	13,56	0,30 × 0,30	1,215	0,25 × 0,30	2,025	4,10	0,30 × 0,30	0,738	0,25 × 0,25	1,025	4,637	1,763	3,78125	10,18125	0,783
V. S.	6,50	0,30 × 0,30	0,585	0,25 × 0,25	0,812										
16	16,50	0,30 × 0,35	1,7325	0,30 × 0,30	2,970	5,00	0,30 × 0,30	0,900	0,30 × 0,30	1,800	6,8625	2,70	4,8125	14,375	0,8984
V. S.	8,00	0,30 × 0,30	0,720	0,30 × 0,30	1,440										

CUADRO NUM. 32

Especificaciones de las maderas en el caso de dos vigas bajo la via

Longitud de los tramos	DIMENSIONES			CUBICACION			
	De las vigas	De las vigas sopandas	De las torna-puntas	De las vigas con torna-puntas	De las viguetas	TOTAL	p. metro corrido de punta
metros	metros	metros	metros			m. cúb.	m. cúb.
10	10,30 × 0,30 × 0,30	5,00 × 0,20 × 0,30	3,50 × 0,30 × 0,30	3,714	5,0175	8,7315	0,87315
13	13,50 × 0,30 × 0,30	6,50 × 0,30 × 0,30	4,10 × 0,30 × 0,30	5,076	7,41125	12,4873	0,9606
16	16,50 × 0,35 × 0,35	8 × 0,35 × 0,35	5 × 0,30 × 0,35	8,1025	7,805	15,9075	0,9942

II. Fierros.

La cantidad de fierro que exige cada sistema es un elemento de mucha importancia. Así, por ejemplo, se nota a primera vista que las vigas con vigas-sopandas cuya union se hace con abrazaderas, necesitarán una cantidad de fierro mayor que las otras, desapareciendo por el hecho una parte de la economía que se realiza sobre la madera. En el caso de que se empleen travesaños, hai que tomar en cuenta los pernos que sirven para su ensamble con las vigas, etc.

Sin embargo, como las dimensiones de la mayor parte de estos fierros no se deducen directamente del cálculo, sino mas bien de las reglas de una buena construccion, es indispensable, para tener un resultado que tenga algun valor práctico, establecer algunos principios que sirvan de base para fijar dichas dimensiones.

Vamos, pues, a examinar sucesivamente las diversas clases de fierros que entran a componer las vigas, i haremos a medida las observaciones que juzguemos de alguna utilidad.

Pernos para fijar los extremos de las vigas.—Como estas piezas no están sometidas sino a esfuerzos pequeños, i son ademas bastante largas, (o m. 60 a o m. 80), tendrán un diámetro de 1", que es conveniente para esta longitud.

Fierros planos angulares.—Estas piezas, que sirven para el ensamble de las torna-puntas con las vigas o vigas-sopandas, solo

tienen por objeto mantener el ensamble, i no están sometidas a ningun esfuerzo que varíe con la luz; tendrán, pues, las mismas dimensiones para todos los puentes, i comprenderán 2 alas de 0 m. 40 de largo, 0 m. 08 de ancho i 8 mm. de grueso. El peso será de 4 kg.

Pernos que sirven para fijar los fierros angulares.—Hasta 10" de largo, hemos tomado un diámetro de $\frac{1}{2}$ ". Mas allá, tomamos $\frac{3}{4}$ ".

Abrazaderas.—Las abrazaderas que sirven para el ensamble de la viga o de la viga-sopanda, tienen las dimensiones fijadas por el cálculo.

Pernos que sirven para fijar los travesaños.—Estos pernos tendrán un diámetro de 1", que se justifica por la longitud útil de estas piezas, la cual varía de 0 m. 55 hasta 1 m. 05. Además, para los travesaños que se encuentran sobre la viga-sopanda, los pernos pueden reemplazar las abrazaderas. Es fácil averiguar que los pernos de 1" bastan plenamente para este efecto.

Ensamble de las vigas.—Cuando el tramo pasa de 10 metros, hai que tomar en cuenta el ensamble de las vigas. Para tramos inferiores a 17 m. 50, hemos contado con un ensamble por cada viga, i desde este límite tomaremos dos ensambles.

El ensamble de las maderas se mantiene por medio de pernos i el conjunto es reforzado por dos planchas de fierro de 0 m. 800 x 0 m. 100 x 0 m. 006.

Segun la seccion de las maderas que hai que ensamblar, emplearemos 4 pernos de $\frac{3}{4}$ " o 1", o 6 pernos de 1". Adoptaremos, pues, tres clases de ensambles de 12 k, 16 k i 22 k, segun que las piezas tendrán 0 m. 20, 0 m. 25 o 0 m. 30 de altura.

Tomando por base los principios espuestos mas atras es como hemos determinado el peso de los fierros que entran en la composicion de las vigas estudiadas anteriormente. El cuadro número 33 da todos los detalles relativos a este punto, para 15 puentes desde 5 metros hasta 16 metros de luz.

Lo mismo que para las maderas, el cuadro de las especificaciones contiene las dimensiones i el número de piezas de cada sistema. Indicamos tambien los pesos unitarios, parciales i totales, de manera que basta consultar los números del cuadro

para hacer las especificaciones correspondientes a cada obra. Por fin, la última columna contiene el peso de los fierros por metro corrido de puente, elemento que utilizaremos más adelante, cuando determinemos la cantidad i el valor total de los materiales de la superestructura de los puentes.

Por mas claridad, la Lámina X da el detalle de un tramo de 16 metros, con 3 vigas inferiores.

III. Amarras.

Los elementos de la construcción que acabamos de examinar son aquellos cuyo empleo es indispensable para la realización de la obra. Pero fuera de estos, hai otras piezas que se emplean en ciertos casos i nó en otros. A esta categoría de piezas pertenecen las amarras que juntan las torna-puntas con las vigas. Sin embargo, tienen una utilidad directa. Pues bajo la acción de cargas rodantes disimétricas, las torna-puntas de una viga no trabajan de una manera igual, i el sistema tiende a jirar en torno de estas piezas. Las amarras impiden este movimiento i dan la rijidez debida al conjunto. Sirven además a consolidar las torna-puntas.

No deduciéndose directamente del cálculo las dimensiones de estas piezas, hemos preferido establecer, en lo que se refiere a ellas, una especificación distinta, con el fin de hacer mas completa la distinción entre las diferentes partes de la construcción. El cuadro número 34 contiene todos los detalles de maderas i fierros que se refieren a las amarras. Hemos establecido, como en los casos anteriores, el cubo de madera i el peso de fierro por metro corrido de puente que exige su empleo.

Muchas veces se juntan las torna-puntas por medio de amarras transversales colocadas horizontal u oblicuamente de manera a formar contraviento. No hemos tomado en cuenta este elemento.

CUADRO NÚM. 34
Especificaciones de maderas i fierros para amarres

Número de vigas	Longitud de los tramos	MADERAS PARA A.M.A.RRES				PERNOS PARA FIJAR LAS AMARRAS												
		Núm.	Longitud	Seccion	VOLÚMEN		Número	Longitud entre tuercas i cabeza	Diámetro	PESO								
					De cada pieza	TOTAL				De cada perno	TOTAL	Por metro corrido de puente						
5	5	20	metros	20 x 7,5	metro cúb.	0,0225	metro cúb.	0,090	20	0,35	1"	3,110	kilogramos	62,20	Por metro corrido de puente	kilogramos	12,44	
"	8	"	1,50	20 x 10	0,450	0,0225	0,090	"	"	0,50	"	3,705	"	74,10	"	9,26	"	7,41
"	10	"	2,00	20 x 10	0,800	0,040	0,100	"	"	0,50	"	3,705	"	74,10	"	6,62	"	6,62
"	10	"	2,50	"	1,000	"	0,100	"	"	0,40	"	3,307	"	66,14	"	5,38	"	5,38
"	13	"	3,00	30 x 10	1,800	0,09	0,138	"	"	0,45	"	3,504	"	70,08	"	4,64	"	4,64
"	16	"	3,50	30 x 10	2,400	0,12	0,150	"	"	0,50	"	3,705	"	74,10	"		"	
3	5	12	1,50	20 x 7,5	0,270	0,0225	0,054	"	{ 8	0,35	1"	3,110	"	24,88	"	7,62	"	7,62
"	8	"	2,00	20 x 10	0,480	0,040	0,060	"	{ 4	0,40	"	3,307	"	13,23	"		"	
"	10	"	2,50	20 x 10	0,600	0,050	0,060	"	{ 12	0,50	"	3,705	"	44,46	"	5,56	"	5,56
"	10	"	2,50	20 x 10	0,600	0,050	0,060	"	{ 4	0,55	"	3,900	"	29,64	"	4,52	"	4,52
"	13	"	3,00	30 x 10	1,080	0,090	0,083	"	{ 8	0,40	"	3,307	"	26,45	"	4,13	"	4,13
"	16	"	3,50	30 x 10	1,440	0,090	0,090	"	{ 4	0,45	"	3,504	"	28,03	"		"	
2	10	8	2,50	30 x 10	0,600	0,075	0,060	"	{ 4	0,50	"	3,705	"	14,82	"	3,29	"	3,29
"	13	"	3,00	30 x 10	0,720	0,090	0,0554	"	12	0,50	"	3,705	"	44,46	"	2,78	"	2,78
"	16	"	3,50	30 x 10	0,840	0,105	0,0525	"	8	0,50	1"	3,705	"	29,640	"	2,96	"	2,96
"	"	"	"	"	"	"	"	"	8	0,50	"	3,705	"	29,640	"	2,28	"	2,28
"	"	"	"	"	"	"	"	"	8	0,55	"	3,900	"	31,200	"	1,95	"	1,95

106. *Vigas barandas.*— Como para las vigas inferiores hemos establecido las especificaciones de los puentes con vigas-barandas que hemos estudiado. Estas son:

1.º Vigas de 2 metros de altura de eje a eje de las cabezas, con montantes i viguetas distintas de 2 metros, para tramos de 10, 12, 14, 16, 18 i 20 metros;

2.º Vigas de 2 metros de altura, con montantes i diagonales distantes de 2.50 metros, para tramos de 10, 12.50, 15 i 17.50 metros.

3.º Vigas de 2.50 metros de altura, con montantes i diagonales distantes de 2.50 metros, para tramos de 17.50 i 20 metros.

Los cuadros números 35 i 36 se refieren a los puentes de la primera categoría; los cuadros números 37 i 38, a los de la segunda i la tercera categoría.

Aunque el resultado de la comparacion entre los puentes con viguetas distantes de 2 metros i los de viguetas distantes de 2.50 metros no deje cabida a duda, no será inútil fijar por cifras las diferencias entre los dos sistemas. Además, en ciertos casos será preferible sacrificar la pequeña economía que resulta de uno de los sistemas i adoptar el que convenga mas al punto de vista del aspecto de la obra.

Los cuadros números 35 a 38 indican los cubos parciales i totales de las maderas que se refieren a las diversas partes de la construcción, i tambien las cantidades i pesos de los fierros que exigen los diferentes puentes. Será, pues, fácil hacer las especificaciones para cada caso especial por medio de los números indicados en los cuadros adjuntos. La lamina XI da los planos del puente número 27, de 20 metros de luz.

Hai que notar que las dimensiones que hemos calculado para vigas-barandas son aplicables a las mismas vigas colocadas bajo la via, con una distancia de 4 metros i estando unidas por medio de viguetas i longuerinas que soporten una via de 5 metros de ancho. Como los cuadros están redactados de tal manera que los materiales que se refieren a las vigas, viguetas i longuerinas quedan separados, será fácil formar las especificaciones relativas a las vigas Howe colocadas debajo de la via. Los materiales de las vigas son idénticos a los de las mismas vigas empleadas como vigas-barandas. Por lo que se refiere a las viguetas i longuerinas, tienen las dimensiones calculadas anteriormente para

de 2 metros de largo

LOS REMILES		ENSAMBLES DE LAS CABEZAS DE LAS VIGAS		PESO DEL FIERRO	
PESO	Número	PESO		TOTAL	Por metro corrido de puente
		Por unidad	TOTAL		
TOTAL					
kilógramos		kilógramos	kilógramos	kilógramos	kilógramos
78,8	4	12	48	796,48	79,65
82,4	4	12	48	1000,96	83,41
99,2	4	16	64	1231,64	87,97
103,2	4	16	64	1473,76	92,11
124	8	22	176	1849,28	102,73
135,6	8	22	176	2121,17	106,06

vigas inferiores distantes de 4 metros i viguetas distantes de 2 metros o 2.50 metros. Para hacer especificaciones completas, habrá que tomar en cuenta los contravientos de las vigas.

CUADRO NÚM. 39

Puentes para tramos desde 5 hasta 20 metros.— Cantidades i valor de los materiales.—Pesos muertos

NÚMEROS	SISTEMA DE LAS VIGAS	Largo de los tramos	Cantidades de materiales por metro corrido de puente		Valor total de los materiales por metro corrido de puente	Coeficiente de importancia de los fierros	Por ciento del valor total	Peso muerto por metro corrido de puente
			Maderas	Fierros				
		mtrs.	m. cúb.	kigs.	\$	%	kigs.	
1	Cinco vigas sencillas, inferiores, con tornapuntas.	5	1,514	46,3	44,17	31	1409	
2		8	1,746	37,9	46,29	24	1609	
3		10	1,910	32,0	47,80	20	1751	
4	Cinco vigas inferiores con vigas-sopandas i torna-puntas.	10	1,673	45,9	47,23	29	1552	
5		13	1,835	47,4	50,92	28	1699	
6		16	2,074	43,3	54,47	23	1910	
7	Tres vigas sencillas, inferiores, con tornapuntas.	5	1,667	44,1	46,57	28	1544	
8		8	1,823	37,9	47,83	24	1679	
9		10	1,865	33,9	47,47	21	1712	
10	Tres vigas inferiores, con vigas-sopandas i torna-puntas.	10	1,757	37,3	46,33	24	1619	
11		13	1,820	38,9	48,07	24	1677	
12		16	1,942	37,5	50,09	22	1785	
13	Dos vigas inferiores, con vigas-sopandas i torna-puntas.	10	1,887	29,7	46,65	19	1728	
14		13	1,970	30,1	48,43	19	1803	
15		16	2,000	29,4	48,82	18	1829	
16	Vigas-barandas del sistema Howe, de 2 metros de altura, con montantes i viguetas distantes de 2 metros.	10	1,642	88,3	59,33	44	1566	
17		12	1,712	92,0	61,84	44	1633	
18		14	1,825	96,6	65,48	44	1739	
19		16	1,892	100,7	68,05	44	1804	
20		18	1,973	111,3	72,85	45	1887	
21		20	2,025	114,7	74,91	46	1937	
22	Vigas-barandas del sistema Howe, de 2 metros de altura, con montantes i viguetas distantes de 2 metros 50.	10	1,669	71,4	54,80	40	1574	
23		12.50	1,706	74,4	56,44	39	1610	
24		15	1,862	79,6	61,12	39	1755	
25		17.50	1,958	89,4	65,98	40	1852	
26	Vigas-barandas del sistema Howe, de 2 metros 50 de altura, con montantes i viguetas distantes de 2 metros 50.	17.50	1,913	88,6	64,84	41	1810	
27		20	2,068	97,0	70,46	41	1958	

§ 2. VALOR DE LOS MATERIALES

107. *Precios unitarios.*—Aplicando precios unitarios a las cantidades de materiales indicadas en los cuadros que preceden, podremos establecer el valor de los materiales por metro corrido de puente. Intencionalmente no hicimos intervenir hasta ahora este elemento, pues los precios unitarios constituyen una entidad mui variable segun los tiempos i los lugares. Hemos admitido \$ 20 como precio del metro cúbico de roble pellín. Para el fierro, conviene tomar un precio bastante alzado. Por lo jeneral, se utilizan en los puentes muchos materiales de tamaño chico i a menudo es necesario forjar piezas especiales. Por este motivo será a la vez prudente i justo contar los fierros, sin distincion de clase, a \$ 0.30 el kilogramo. Tomando por base estos precios unitarios, hemos determinado los valores de los materiales indicados en el cuadro número 39, que se refieren a 27 puentes estudiados. El cuadro número 29 indica el valor de los materiales para nueve pasajes inferiores a cinco metros.

108. *Cuadro número 39.*—Hemos reunido ademas en este cuadro los diferentes datos prácticos que se desprenden de este estudio. La columna 4 contiene el cubo total de madera, incluyendo el elemento fijo; la columna 5 indica el peso total del fierro; la columna 6 el valor de los materiales. Como indicacion, hemos juzgado útil anotar en la columna 7, el tanto por ciento del valor total que se refiere al fierro, es decir, el coeficiente de importancia de este material. Por fin, la última columna indica el peso muerto. Todos estos datos se refieren al metro corrido de puente.

109. *Valor de los materiales.*—Para las *vigas inferiores*, aunque las diferencias de precios no son mui grandes, se nota, sin embargo, que hasta 10 metros hai ventaja en emplear 5 vigas inferiores, puesto que esta solucion procura el gasto mínimo de materiales i el peso muerto mínimo; es tambien la mas fácil de ejecucion. Desde 10 metros conviene emplear 3 vigas inferiores con vigas-sopandas i torna-puntas. Para tramos de 16 metros, la diferencia entre los tipos de tres i dos vigas inferiores, no es mui grande todavía, pues no alcanza a 3% i, por consiguiente,

conviene adoptar la solución con tres vigas, que da más estabilidad i que necesita un contraviento trasversal de menor importancia. Se aplicará el tipo con dos vigas inferiores en el caso de tramos más largos. Sin embargo, hai que notar que si se impone la condición de que todas las maderas queden afuera de las aguas altas, los puentes con torna-puntas necesitan una altura libre bastante grande, i en muchos casos convendrá emplear dos vigas de celosía puestas bajo la vía a la misma distancia de 4 metros, aunque esta solución ocasione un gasto mayor.

Por lo que se refiere a los puentes con *vigas-barandas*, indudablemente costarán más que los puentes con vigas inferiores, i no se emplearán sino en el caso de que la altura disponible entre el nivel del tablero i las aguas altas no sea suficiente para colocar vigas inferiores. Comparando los tipos estudiados, se ve que las vigas con paños de 2 metros dan un gasto mayor que las con paños de 2.50 metros. La diferencia consiste principalmente en los fierros i proviene no solamente de la armadura de las viguetas, sino que también de los fierros de las vigas i del tablero. Para puentes calculados con cargas menores que las que nos han servido de base, i que permitirían evitar la armadura de las viguetas, la diferencia entre los dos sistemas sería mucho menor, i en varios casos se podría preferir el tipo de vigas del primer sistema, cuyos paños cuadrados dan mejor aspecto a la obra que las del segundo sistema. Para tramos que se acercan a 20 metros, no hai duda que conviene admitir vigas de 2.50 metros de altura, con paños de la misma longitud. En todo caso, el cuadro número 39 indica las diferencias entre las distintas soluciones, i permite en cada caso particular adoptar la solución que parece preferible. Por lo demás, los valores de los materiales por metro corrido de puente darán indicaciones útiles cuando haya que determinar la longitud de tramo más económica, en relación con el valor de las cepas o de los machones.

§ 3. FÓRMULAS EMPÍRICAS

110. *Cubo de las maderas*.—La figura 1 de la lámina XII indica los cubos de maderas por metro corrido para 27 puentes de 5 hasta 20 metros de tramo. Juntando los puntos 16 i 21, que

corresponden respectivamente al cubo mínimo de los tramos de 10 i 20 metros, i trazando una paralela por el punto 3, que corresponde al cubo máximo del tramo de 10 metros, tendremos dos rectas entre las cuales quedan comprendidos todos los cubos de madera. Por medio de los números inscritos en el cuadro número 39, será de suma facilidad escribir las ecuaciones de estas rectas, que serán de la forma

$$y = a + bx$$

Sin embargo, hemos cambiado algo los coeficientes a i b , disminuyendo a i aumentando b para que tengan un valor sencillo, sin que los resultados se alejen mucho de la realidad. Las fórmulas siguientes solo conducen a una diferencia máxima de 4% respecto de los cubos máximos i mínimos obtenidos por el cálculo. Podemos admitir por el cubo de madera por metro corrido de puente para tramos desde 5 metros:

$$V_{\min} = 1^m, 325 + 0,04 l$$

$$V_{\max} = 1^m, 350 + 0,04 l$$

siendo l la longitud del tramo.

Estos valores límites comprenden todas las soluciones. Pero se podría separar algunos casos cuyo empleo no conviene en la práctica. Así, para tramos de 5 i 8 metros, no es indispensable tomar en cuenta las soluciones 7 i 8, porque acabamos de ver que para estos tramos no hai ventaja en emplear 3 vigas inferiores. Para 10 metros, podemos separar los casos números 3, 9 i 13, pues las soluciones 4 i 10 reemplazan con ventaja respectivamente los números 3 i 9, i el número 13, que se refiere a 2 vigas inferiores, no es mui recomendable. Por fin, para 13 metros, la solución 14, i para 16 metros, el caso de 5 vigas inferiores, representado por la solución 6, no tienen razon de ser.

Separando, pues, los casos indicados mas arriba, vemos que trazando por 10 una paralela a la línea 16-21, tendremos un límite superior de las soluciones que conviene adoptar. La espresion analítica de esta línea podrá servir, pues, como valor prác-

tico del cubo de las maderas por metro corrido de puente, para tramos desde 5 metros.

La fórmula será:

$$V = 1^m, 36 + 0,04 l \quad (42)$$

III. Peso muerto.—La figura 2 de la lámina XII da la representación gráfica del peso muerto de los puentes estudiados. Trazando por el punto 3 una paralela a la recta 4-26, tendremos 2 líneas que limitarán los varios pesos. Pero, como en el caso anterior, conviene separar las soluciones 7, 8, 3, 9, 13, 14 i 6. Trazando por el punto 10 una paralela a la línea 4-26, tendremos una recta que limitará los pesos muertos de los puentes que conviene adoptar en la práctica. Podemos emplear, pues, como peso muerto por metro corrido de puente desde tramos de 5 metros, la fórmula siguiente, que es la expresión analítica de la línea 10:

$$P_m = 1280^k + 34 l \quad (43)$$

Siendo l la longitud del tramo.

§ 4. CONSIDERACIONES SOBRE LOS ESTUDIOS I LA CONSTRUCCION DE LOS PUENTES DE MADERA

Los distintos resultados que se deducen de este estudio procuran datos útiles para la comparación de varios sistemas de puentes, pero no bastan todavía para resolver por completo el problema. Falta el elemento que se refiere a los gastos de construcción. Hasta ahora no tenemos datos exactos sobre este punto; i sin embargo, si existe una clase de obras para las cuales se pueda estimar por experiencia i por comparación los distintos elementos que entran a formar el precio de costo, i ahorrar los gastos debidos al imprevisto, estos son, a buen seguro, los puentes de madera. Pero habría que centralizar no solamente los estudios, sino también el servicio de construcción.

Por lo que se refiere a los estudios, hace años que se vienen construyendo en Chile puentes de madera de suma importancia: un exámen juicioso de las obras existentes combinado con

algunos estudios bien entendidos, no dejaría de dar una solución del problema, mostrando en cada caso i para cada tramo el tipo de puente que merezca la preferencia. En seguida se haría un *Album de Puentes* para vías carreteras, en el cual se reunirían para los tramos usuales los planos completos i las especificaciones detalladas de los materiales. Este Álbum debería servir de base para los proyectos, dejando siempre al ingeniero la facultad de hacer las modificaciones de detalle que juzgara convenientes en cada caso particular. De esta manera se podría evitar la introducción de tipos de puentes que no presentan una garantía suficiente, i al mismo tiempo se haría una economía mui importante de tiempo i de personal.

Terminado el estudio del proyecto i tratándose ahora de la *construcción*, surge esta cuestión que tantas veces se ajita para toda clase de trabajos: ¿debe ejecutarse el trabajo por contrato o por administración? Recordemos, ante todo, que los puentes de madera son obras siempre de la misma naturaleza. Haciéndolos por contrato, es de temer que para cada puente haya un nuevo contratista, poco al corriente de esta clase de construcciones. El trabajo por administración tendría, por el contrario, la ventaja grande de educar un personal especial i que por consiguiente haría el trabajo con mas destreza i prontitud; permitiría tambien reducir al mínimum el trabajo al pié de la obra. A veces el lugar de colocación se encuentra alejado de toda población i es difícil encontrar el número de operarios que necesita un trabajo uniforme; en la época de las lluvias queda suspendida la construcción durante muchos días; en una palabra, hai una série de gastos inútiles i de entorpecimientos que convendría evitar. Por eso es necesario reducir a un mínimum el trabajo i la permanencia de los obreros al pié de la obra, i, en vez de cortar i ajustar las piezas de madera en el lugar de la colocación, conviene hacer la reforma que fué propuesta ya varias veces, i que consiste en armar los puentes en un *taller central*, adonde hubiera un personal escogido, bien preparado, i que trabajaría bajo la dirección de un conductor que tuviera bastante práctica. Una vez armado el puente en el taller i aceptado por el ingeniero respectivo, los obreros se trasladarían con los materiales al lugar de colocación i harían en poco tiempo

la armadura de la superestructura sobre las cepas que encontrarían ejecutadas ya por otra partida de obreros acostumbrados a este trabajo.

La construcción de los puentes por administración tendría, además, una gran ventaja bajo el punto de vista de la calidad de los materiales. Permitiría evitar el empleo de maderas demasiado verdes, pues el taller tendría como anexo un *Depósito de Materiales* adonde las maderas recibirían la preparación indispensable para ser puestas en obra con provecho.

La construcción de los puentes de madera se presta, pues, con visible ventaja al trabajo por administración; i, a mi juicio, la combinación de los estudios de buenos tipos de puentes con la ejecución por medio de operarios acostumbrados a esta clase de trabajos, i la utilización de materiales preparados bajo la supervijilancia del Estado, daría una mejora notable en la conservación i la duración de los puentes de madera.

GUILLERMO OTTEN

Ingeniero honorario de Puentes i Calzadas de Bélgica,
contratado por el Gobierno de Chile

