Año III 15 de Febrero de 1903 Núm. 2

ANALES

DEL

INSTITUTO DE INJENIEROS DE CHILE

PUENTES DE CONCRETO CON BÓVEDAS

A TRIPLE ARTICULACION

PROYECTADOS PARA EL FERROCARRIL EN CONSTRUCCION DE ALCONES A PICHILEMU

Seccion: paradero del «Cardonal» a túnel del «Arbol»

POR

JERARDO ATEAGA A.

(Continuacion)

(e) LAS OTRAS PARTES DEL PUENTE

(Estribos, muros de vuelta, tímpanos, etc.)

Estribos. (Fig. 11 i lámina.)

Ambos son iguales.

Como descansan sobre una capa de tosca de regular dureza, a la cual trasmitirán las presiones de la bóveda i su propio peso sin sobrepasar la resistencia que le conviene—que estimamos en 5 kg. por $\overline{\text{cm.}}^2$—necesitan una base estensa i arreglada de modo que la presion final quede lo mejor centrada posible. Luego, serán macizos de fuertes dimensiones, que convendrá hacerlos lo mas económicamente tanto por los materiales de su confeccion como por una apropiada i misma tasa de trabajo en todos sus puntos, si fuera dable conseguir. Creemos haber resuelto el problema, en las mejores condiciones, con la disposicion que indican la (fig. 11) i la lámina.

Se han calculado, suponiendo que la sobrecarga móvil cubra toda la bóveda i el estribo, por ser la solicitacion mas desfavorable al terreno. Empezamos por hacer bajar la presion 15,8 kg. del arranque a $\frac{198{,}000}{400 \times 100} = 4{,}9$ kg. en el estribo, por la interposicion de un dado trapezoidal de igual concreto que la bóveda, cuya base inferior tiene 4 m. en seccion trasversal; despues, por medio de zarpas i tanteos, realizamos una base de fundacion de 11,60 m. en direccion lonjitudinal al puente, i con esta base, mas la ayuda de una presion inclinada opuestamente a la de la bóveda suministrada por la bovedita del es-

tribo, i mas el peso propio de éste, se consiguió una resultante final sobre el terreno, bien centrada, casi vertical (800), i haciéndolo trabajar a:

$$\frac{550{,}000}{116{,}000} = 4{,}7 \text{ kg.}$$

La presion total absoluta que el estribo trasmite al terreno es de 550,000 kg., que se ha supuesto vertical para el cálculo anterior.

Bovedita del estribo.—(Medio punto; luz 5 m.)

Tiene por objeto economizar albañilería i servir de amarra a los muros de vuelta. Ya se ha visto tambien que su empuje contribuye en algo a enderezar la inclinacion que trae la presion del arranque de la bóveda principal. Por su objeto i por razon de estética del conjunto se fijó su luz en 5 m. i, consiguientemente a esta pequeña dimension, será empotrada. Se la calculó por las fórmulas empíricas de *Croizette-Desnoyer:*

$$e = 0{,}15 + 0{,}15\sqrt{l} = 0{,}485 = 0{,}50 \text{ m.} \qquad \text{(clave)}$$
$$e' = 2e = 1{,}00 \text{ m.} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad \text{(junta de ruptura)}$$

Para su estribo se empleó la de *Lesguiller:*

$$E = (0{,}60 + 0{,}04\,h)\sqrt{l} = 1{,}61 = 1{,}80 \text{ m.}$$

La verificacion se hizo por el método de *Mery*, resultando una tasa de trabajo inferior a 4 kg.

Muros de vuelta. – (Fig. 12).

El haberlos preferido a los muros en ala casi no necesita decirse, pues, se sabe que para las grandes alturas son mucho mas económicos i constituyen verdaderos refuerzos del estribo.

Cuando ellos, por razon de la altura del estribo, se juntan en su nacimiento, constituyen un caso incierto de muros de sostenimiento en que el criterio puede fallar, i si es verdad que hai un procedimiento de cálculo que le es propio (1), forman a veces un vacío tan estrecho i elevado, que se haria engorroso el aplicarlo. En nuestro caso nos hemos conformado con una aproximacion que juzgamos del todo suficiente i es, que suponiéndolos aislados i soportando cada uno un terraplen horizontal i sobrecarga móvil indefinidos, como simples muros de sostenimiento, se obtiene el prisma de máximo empuje casi igual al vacío que los separa; en consecuencia, los calculamos para soportar este prisma.

Como su forma es en escalones, se supuso a éstos rellenados con la tierra, convirtiéndose así la pared interior en un plano inclinado recto; de modo que en esta pared hai rozamiento de tierra sobre tierra, i $\phi = \phi'$; pero, como la recta OB quedaria debajo de la horizontal si se toma $\phi = 40°$, que es lo conveniente para esas tierras, supondremos para salvar el inconveniente que $\phi' = \frac{1}{2}\phi$. De este modo, Q será un poco mayor que el verdadero.

(1) BOUDIN.—*Leçons de Stabilité.*
KONING.—*Curso de Resistencia de la Universidad de Chile.*

Resulta que el plano de derrumbe no alcanza a desarrollarse dentro del hueco; pero no siendo mucho lo que sobresale, dará un valor un poco mayor para Q.

La sobrecarga móvil por m² la calculamos así:

4 ejes, c/u de 14,000 kg. = 56,000 kg., repartidos en 6 durmientes = 4,80 m
Ancho del terraplen = 3,40 m.
Superficie cargada = 16,30 m².
Carga uniforme por m² = 3,440 kg.
Peso del lastre por m² = 950 »

$$\pi'' = 4{,}390 \text{ kg.} = 4{,}400 \text{ kg.}$$

La fórmula que da el empuje es:

$$Q = \left(\frac{1}{2}\pi'\delta + \pi''\right)\frac{OB}{OM}\frac{(L-\sqrt{aL})(\sqrt{aL}-a)}{\sqrt{aL}};$$

e introduciendo los valores numéricos

$$\pi' = 1{,}500 \text{ kg.}$$
$$\delta = 6{,}50 \text{ m.}$$
$$\pi'' = 4{,}400 \text{ kg.}$$
$$OB = 22{,}85 \text{ m.}$$
$$OM = 10{,}20 \text{ »}$$
$$L = 29{,}70 \text{ »}$$
$$a = 20{,}35 \text{ »}$$

se tiene

$$Q = 18{,}270 \text{ kg.}$$

Como hemos tomado un prisma algo exajerado i se ha supuesto menor rozamiento que el verdadero, adoptaremos

$$Q = 1{,}500 \text{ kg.}$$

i su direccion la haremos perpendicular a la línea que forma con la pared ficticia el ángulo $\phi = 40°$, puesto que esta pared es de tierra.

El valor de λ se calcula por la fórmula:

$$\lambda = \frac{l}{3} \cdot \frac{2\pi'\delta + 3\pi''}{\pi'\delta + 2\pi''};$$

$$\lambda = \frac{6{,}65}{3}\,\frac{2\times 1{,}500\times 6{,}5 + 3\times 4{,}400}{1{,}500\times 6{,}5 + 2\times 4{,}400} = 3{,}91 \text{ m.}$$

La pequeña bóveda de 5 m. sirve de union a los dos muros, i les da, por consguiente, un suplemento de rijidez.

El espesor de los muros al nivel de la rasante puede tomarse como un dato empírico relacionado con la estética del puente; lo fijamos en 1,30 m. i así, con una buena distri-

bucion de zarpas, se llega en su nacimiento al grueso necesario 2,50 m. i en cuanto a la estética, se tiene un paramento visto de los estribos saliente de 0,60 m. respecto al del tímpano i produciendo un efecto mui recomendado en arquitectura de puentes. Los paramentos interiores de los tímpanos i muros de vuelta forman un mismo plano vertical al nivel de la rasante.

Si hacemos hincapié en estos detalles, es porque responden a una norma de criterio establecida i dictada por la idea de belleza que el injeniero debe apropiar a la obra sin perjuicio de su economía i técnica.

La altura de los muros resultó de 6,50 m. Viene en seguida un macizo contínuo de fundacion, con zarpas laterales dispuestas de manera que la curva de presion no salga del tercio central, considerando cada muro de vuelta prolongado hasta el plano de fundacion i atribuyéndoles como basamento una mitad del macizo contínuo. Así resulta que en ningun punto alcanza la presion a 5 kg, aun no tomando en cuenta la accion sensiblemente favorable de los cuarto-de-conos a la estabilidad trasversal del estribo; i si la tomamos bajan de 4 kg.

Tímpanos i accesorios

Es cuestion de criterio empírico fijar sus dimensiones, desde que la altura de ellos varía contínuamente. Las dedujimos teniendo en vista el espesor de los muros de vuelta i el no pecar por esceso de albañilería.

Como en una pequeña lonjitud, cerca de los arranques, la altura es grande, hemos ausiliado su espesor uniéndolos con un tirante metálico de 50 mm. de diámetro.

Siendo el puente propiamente dicho (bóveda i partes que la cargan, del todo independiente de los estribos en este sistema, i a fin de que se realicen los pequeños movimientos de deformacion, el plano de contacto entre los tímpanos i los muros de vuelta será una juntura libre. I por la misma razon, se hará otro tanto con los tímpanos en la punta vertical de la clave.

Los tímpanos penetrarán de 0,40 m. en los muros de vuelta; i para hacerlos solidarios, a éstos se les unirá con el tirante de que hemos hablado. Estos no impedirán la separacion efectiva de los muros, en cuanto a los movimientos imperceptibles de la deformacion. Escusado es decir, por lo demas, que para la estabilidad de los muros en nada influye su separacion, calculados como estan para resistir independientes.

Las *molduras* i *parapetos* serán del mismo concreto, como se ha hecho en otros puentes.

Las *bóvedas* de la vista de frente del arco i los demas adornos serán solo superficiales, es decir, de simple apariencia.

El paramento visto de los tímpanos se adornará con junturas de apariencia tambien, que formen mosaico irregular, teniendo por objeto, lo mismo que los huecos del parapeto, destacar la bóveda de los estribos. Es regla de estética.

En cuanto al arco, hemos preferido darle su forma de estabilidad, adornada con las bóvedas de apariencia, i nos parece que su efecto estético nada deja que desear dentro de la sencillez del conjunto.

La chapa tendrá 0,05 m. de espesor sobre las superficies curvas i 0,03 m. en el resto, i la proporcion será: *600 kg. de cem.* × *1 m³ de arena.*

Los accesorios para recojer el agua filtrada son los corrientes.

Finalmente, se revocarán todos los paramentos con estuco en la proporcion de *1 de cem* × *3 de arena*, tanto para protejer el concreto como para quitarle su fea desnudez.

Proporcion del concreto en las partes que no son bóveda —Hemos pasado en rápida revista estas partes i deducido las presiones que soportarán, inferiores a 5 kg. en cualquier punto, sin descender mucho de 4 kg., lo que nos autoriza para decir que el tipo de estribo adoptado es racional i responde a las condiciones de economía que le impusimos, porque esta presion, baja i casi uniforme, permitirá emplear en la confeccion del concreto, el cascajo partido de los mismos esteros, sin tener que recurrir a canteras lejanas.

La proporcion mas aceptable nos parece ser, por prudencia: 1 *de cem.* × *4 de arena* × *8 de cascajo partido,* pues en Europa, en parecidas circunstancias—mas bien peores que mejores,—se ha usado la proporcion *1* × *5* × *10*, con buenos resultados.

La proporcion de mezcla, huecos i esceso de ella sobre estos, se encontrará tratada en detalle en un anexo especial.

Dimensiones principales del puente

El ancho entre parapetos es de 4,60 m., entre paramentos vistos de los tímpanos, 5,20 m.; i entre paramentos vistos de los estribos, 6,00 m. El ancho total de la bóveda es de 5,40 m. por destacarse de 0,10 m. en cada fachada, la rosca aparente.

La lonjitud de las articulaciones es de 5,00 m. dejando espacios de 0.20 m. entre sus estremos i las roscas que se rellenarán con concreto.

La lonjitud total del puente es de 67,00 m. debia haber resultado de 68,50, pero un olvido en el dibujo nos hizo colocar el pié del chaflan del cuarto-de-cono a 0,75 m. de la vertical del centro de la articulacion del arranque hácia el estero, en lugar de colocarlo en dicha vertical, quedando afectadas con ello todas las dimensiones del corte lonjitudinal i de la planta.

En realidad, esto no tiene importancia desfavorable alguna, sea que se coloque dicho pié de chaflan a aquella distancia, o que colocándolo en la vertical de la articulacion se reduzca la inclinacion de las tierras a $1{,}44/_1$ en vez de $1{,}5/_1$, que es una simple apreciacion admitida.

La superficie total libre de via sobre el puente es: $4{,}60 \times 67{,}50 = 310{,}50$ m².

PUENTE «CHIVATO»

Con el propósito de acortar lo mas posible este trabajo, solo daremos los cuadros de las tasas de trabajo en la bóveda.

(b) Tasas de trabajo de la bóveda

Como para el otro puente, se puede formar el cuadro siguiente:

X	Curvas de presion de las cargas perm. totales	Id. id. cuando el tren cubre toda la bóveda	Id. id. cuando el tren cubre una semi-bóveda	Id. id. cuando el tren cubre la otra semi-bóveda	OBSERVACIONES
0,00 m.	(u) 6,45 kg.	(u) 8,9 kg	(u) 7,7 kg.	(u) 7,7 kg.	Articulacion
1,00	(u) 3,7	.....	(t) 6,7	(i) 7,6	
2,00	(u) 3,4	(i) 4,8	(t) 7,9	(i) 8,9	
3,00	(u) 3,2	(i) 4,5	(t) 7,9	(i) 8,3	
4,00	(t) 4,2	(i) 4,4	(t) 7,6	(i) 7,3	
5,00	(t) 4,9	(i) 4,8	(t) 7,9	(i) 6,9	
6,00	(t) 5,2	(i) 5,9	(t) 7,6	(i) 8,2	
7,50	(u) 10,9	(u) 14,1	(u) 13,0	(u) 11,9	Articulacion

PASO SUPERIOR

Por la misma consideracion que para el puente «Chivato», solo damos las

(b) Tasas de trabajo en la bóveda

X	Curvas de presion de las cargas perm. totales	Id. id. cuando el tren cubre toda la bóveda	Id. id. cuando el tren cubre la semi-bóveda considerada	Id. id. cuando el tren cubre la otra semi-bóveda	OBSERVACIONES
0,00 m.	(u) 10,5 kg.	(u) 11,9 kg.	(u) 11,1 kg.	(u) 11,1 kg.	Art. de la clave
2,00	(u) 7,6	(u) 8,5	(t) 9,7	(i) 10,6	
4,00	(u) 6,8	(i) 7,8	(t) 10,6	(i) 10,6	
6,00	(u) 6,5	(i) 8,6	(t) 8,8	(i) 9,9	
8,00	(u) 7,7	(u) 8,6	.....	(i) 9,6	
9,00	(u) 11,1	(u) 12,4	(u)	(u) 11,6	Art. del arranque

ANEXO I

PROPORCIONES DEL CONCRETO

Dada la gran cantidad de cemento que entrará en estas obras (unos 6,300 barriles), creemos de utilidad fijar las cantidades de cemento, arena i piedra partida que corresponden a las proporciones elejidas, pues no siempre se aprecia como es debido la cantidad de cemento a emplear; así, hemos visto que algunos injenieros toman el volúmen i peso por lo que se deduce del volúmen i peso del barril, que lo contiene fuertemente comprimido (tassé), i le fijan como peso normal, en la confeccion de la mezcla, 1,500 kg. i mas por m^3, lo que es absolutamente erróneo.

El cemento en polvo, es una sustancia mui comprimible, i por consiguiente, debe apreciarse su peso a su volúmen, para las aplicaciones, por el verdadero grado de compacidad que tiene en la mezcla, en razon de su objeto i del modo práctico de confeccion, que está mui léjos del estado enérjicamente compacto del barril, que obedece a consideraciones de trasporte i de buena conservacion. Esperiencias hechas sobre los cementos mas pesados, no aprisionados forzadamente, que es su forma de empleo, i a lo cual conducen las manipulaciones mismas, han dado a lo mas 1,000 a 1,100 kg. por m^3; dato recomendado tambien por los constructores, para servir de base a los precios unitarios. Resulta, así, que entre el estado violento de compacidad i el natural de empleo hai una diferencia relativa de

$$\frac{1{,}500 - 1{,}050}{1{,}500} = 30\,\%,$$

suficiente para hacer fracasar una contrata justa, por el solo error de apreciacion a que nos referimos. Por otra parte, es mui lójico estimar el cemento para la mezcla en peso, a fin de tener un dato preciso, independiente de sus diversos grados de compresibilidad i de densidad, bastando recordar respecto a esta última, que es mui variable de una marca a otra i que hai relacion directa entre ella i la calidad del cemento. Así, habiendo libertad para elejir entre las diversas buenas clases en uso, el coeficiente 1,000 a 1,100 kg. por m^3 compensará la menor o mayor densidad de la masa con un mayor o menor volúmen, dando siempre un cemento equivalente.

Concreto de clase superior para las bóvedas

1 (cem.) × 2,5 (arena) × 5 (piedra partida)

La piedra debe pasar al anillo de 5 cm., i se admite que los huecos ocupan el 48% de su volúmen total. Admitiremos tambien que la suma de los volúmenes de cemento i arena se reduce a los tres cuartos en la mezcla. Estos son datos comunmente aceptados.

Proporcion de volúmen:—(*)

$$1\ m^3 = \begin{cases} x \text{ de cemento} \\ 2{,}5\ x \text{ » arena} \\ 5\ x \text{ » piedra partida} \end{cases}$$

$$\text{Volúmen de mortero} = \frac{3}{4}\ (x + 2{,}5\ x) = 2{,}625\ x$$

$$\text{» » los huecos} = 0{,}48 \times 5\ x = 2{,}400\ x$$

$$\text{Mezcla sobrante respecto a » » } = 2{,}625\ x - 2{,}400\ x = 0{,}225\ x$$

Luego, se puede establecer la siguiente igualdad:

$$5\ x + 0{,}225\ x = 1\ m^3$$

de la cual se deducen las proporciones buscadas:

$$1\ m^3 \text{ de concreto} = \begin{cases} x = 0{,}191\ m^3 = 1 \text{ de cemento} \\ 2{,}5\ x = 0{,}477\ \text{» } = 2{,}5\ \text{» arena} \\ 5\ x = 0{,}955\ \text{» } = 5\ \text{» piedra partida} \end{cases}$$

$$1{,}623\ m^3 \text{ de los componentes.}$$

Exeso de mezcla sobre huecos $= 0{,}225\ x = 0{,}225 \times 0{,}191 = 4\ \%$

Proporcion con el cemento en peso.

Debiendo ser el cemento de mui buena clase, fijaremos el peso del m^3, no apretado, en 1,100 kg. Con este dato la proporcion anterior en volúmen se convierte en la siguiente:

$$1\ m^3 \text{ de concreto} = \begin{cases} 210 \text{ kg. de cemento} \\ 0{,}477\ m^3 \text{ » arena} \\ 0{,}955\ \text{» » piedra partida} \end{cases}$$

O en esta otra que, prácticamente, es igual a la anterior i mas fácil de confeccionar:

$$2{,}1\ m^3 \text{ de concreto, con } 4\ \% \text{ de exeso sobre huecos} \begin{cases} 425 \text{ kg. cemento (2,5 barriles de 170 kg. c/u)} \\ 1\ m^3 \text{ arena} \\ 2\ \text{» piedra partida} \end{cases}$$

Esta será la proporcion que adoptaremos.

Concreto de clase inferior para las otras partes

1 (cem.) × 4 (arena) × 8 (cascajo partido)

(*) Procedimiento ideado por Mr. Francisco John Preston, C. E., segun traduccion del Sr. Domingo Casanova; *Anales del Instituto de Injenieros*, Diciembre de 1899.

Proporcion en volúmen:

Admitiremos que el cascajo partido da 38% de huecos.

$$1\ m^3\ \text{concreto} = \begin{cases} x \text{ de cemento} \\ 4\ x \text{ » arena} \\ 8\ x \text{ » cascajo partido} \end{cases}$$

$$\text{volúmen de mortero} = \frac{3}{4}(x + 4\ x) = 3{,}75\ x$$

$$\text{» » huecos} = 0{,}38 \times 8\ x = 3{,}04\ x$$

$$\text{exeso de mezcla sobre » } = 3{,}75\ x - 3{,}04x = 0{,}71\ x$$

luego,

$$8\ x + 0{,}71\ x = 1 m^3$$

$$1\ m^3\ \text{concreto} = \begin{cases} x = 0{,}115\ m^3 = 1 \text{ de cemento} \\ 4\ x = 0{,}460\ \text{» } = 4 \text{ » arena} \\ 8\ x = 0{,}920\ \text{» } = 8 \text{ » cascajo partido} \end{cases}$$

1,495 m^3 de los componentes.

Exeso de mezcla sobre huecos $= 0{,}71\ x = 0{,}71 \times 0{,}115 = 8\%$

Proporcion, figurando el cemento en peso:

Tomaremos 1 m^3 cemento no apretado = 1,100 kg.

I la proporcion en volúmen se convierte en:

$$1\ m^3\ \text{concreto} \begin{cases} 126 \text{ kg. de cemento} \\ 0{,}460\ m^3 \text{ » arena} \\ 0{,}920 \text{ » cascajo partido} \end{cases}$$

O en la siguiente, que le es suficientemente aproximada, i que adoptaremos:

$$2{,}1\ m^3 \text{ concreto, con } 8\% \text{ de exeso de mezcla sobre huecos} \begin{cases} 255 \text{ kg. cemento (1,5 barriles de 170 kg. c/u)} \\ 1\ m^3 \text{ arena} \\ 2\ m^3 \text{ cascajo partido} \end{cases}$$

NOTA.—La aproximacion de las proporciones prácticas no alteraria el valor real del concreto, porque se ha partido del peso 1,100 kg. para el cemento no apretado, que es una estimacion **máxima**, i hai un esceso de mezcla sobre los huecos.

ANEXO II

PRECIOS UNITARIOS, CUBICACION I PRESUPUESTO

Escavaciones. $\left(\frac{2}{3}\right.$ con agotamiento.$\left.\right)$

Se puede suponer esa proporcion con agotamiento tanto para el puente San Miguel como para el Chivato, equiparando los terrenos.

Supondremos que trabajan 20 hombres en un herido, haciendo un total diario de 15 m³, a razon de 0,75 m³ por hombre. (*)

1 dia = 15 m³	20 hombres, c/u a $ 1.50	$	30.00
	Arriendo de motor i bomba		8.00
	Carbon, aceite, etc.		8.00
	Mecánico i ayudante		6.00
	Enmaderacion, a $ 0.20 por m³		3.00
			55.—
	10 % por ensanche de escavacion		5.50
			60.50
	15 % imprevistos i ganancias		9.10
	15 m³ = suma	$	69.60
	1 m³ con agotamiento total =		4.64
	$\frac{2}{3}$ » » » =		3.10
mas	$\frac{1}{3}$ » de escavacion en seco =		0.30
	1 m³ =	$	3.40

Concreto de 1 × 2,5 × 5.

	Un barril de cemento (170 kg.) en Valparaiso	$ 18 p.	8.00
	Premio del oro, 10 %		0.80
	Trasporte de un barril de Valparaiso a Alcones		2.50
	» » » Alcones a pié de obra		0.40
	Galpones de abrigo, por barril		0.30
	Un barril a pié de obra =	$	12.00
2.1 m³ concreto	425 kg. cemento (2,5 barriles, a $ 12 cada uno)	$	30.00
	1 m³ arena escojida		3.00
	2 m³ piedra chancada (cantera «Arbol»)		12.00
			45.00
	Concretadoras i obras de mano		3.15
	Fabricacion de 2,1 m³		48.15

(*) Ese dato lo dedujimos de los pozos de reconocimiento, de 2m. × 2m, en los cuales cada hombre hacia término medio 0,5 m³, trabajando en condiciones mui desfavorables.

Fabricacion de 1 m³		22.93
Colocacion i apisonado		2.50
Cimbra i moldes		5.00
	$	30.43
15 % imprevistos i ganancias		4.56
1 m³ colocado =	$	34.99
Tomaremos, 1 m³ =	$	35.00

Observacion: Los precios de cimbra, colocacion i apisonado los hemos apreciado teniendo en cuenta las bóvedas de los puentes i pasos superiores, a todas las cuales se aplicará el precio de $ 35.

Concreto de 1×4×8.

2,1 m³ concreto	255 kg. cm. (1,5 barriles de 170 k., a $ 12 c/u)	$	18.00
	1 m³ arena		1.50
	2 m³ cascajo partido a máquina		5.00
			24.50
Concretadoras i obra de mano			2.10
Fabricacion de 2,1 m³			26,60
Fabricacion de 1 m³		$	12.70
Colocacion i apisonado			1.10
Moldes i andamiaje por m³			0.10
		$	13.90
15% imprevistos i ganancias			2.08
		$	15.98
Tomaremos 1 m³ =			16.00

PRECIO DEL M² DE CHAPA (600 kg. cem. × 1 m³ arena)

1, 2 m³ de mezcla	600 kg. cem. (3, 5 barriles, a $ 12 cada uno)	$	42.00
	1 m³ arena especial		2.50
		$	44.50
Mano de obra de la mezcla			2.50
Fabricacion de 1,2 m³ de mezcla		$	47.00

Fabricacion de 1 m		$ 39.20
Colocacion i aplanchado		11.00
		$ 50.20
15% de imprevistos i ganancias		7.53
1 m³ de chapa		$ 57.73
Escepto para la bóveda, el espesor de la chapa es 0,03 m., i como la superficie de esa parte es mui pequeña en el total, se puede estimar que 1 m³ de mezcla da 33 m² de chapa. Luego, 1 m² de chapa		$ 1.75

PRECIO DEL M² DE ESTUCO (340 kg. cem. × 1 m³ arena)

1 m³ de mezcla...	340 kg. cem. (2 barriles a $ 12 cada uno)	$ 24.00
	1 m³ arena escojida	2.00
		$ 26.00
Mano de obra de la mezcla		2.00
Fabricacion de 1 m³ de la mezcla		$ 28.00
Mano de obra de 1 m³ de estuco		20.00
		$ 48.00
15% de imprevistos i ganancias		7.20
1 m³ de estuco		$ 55.20
Aceptando que el espesor del estuco sea de 0,01, término medio 1 m³ dará 100 m.² Luego, 1 m² de estuco		$ 0.55

PRECIO DE 1 KILÓGRAMO DE FUNDICION

100 kg. en Valparaiso		$ 28.00
» » trasporte a Alcones		1.25
» » » » pié de obra		0.25
» » colocacion en obra		1.00
100 kg. colocados		$ 30.50
15% imprevistos i ganancias		4.57
100 kg. valen		$ 35.07
Luego, precio de 1 kg.		$ 0.35

CUBICACION I PRESUPUESTO

PUENTE «SAN MIGUEL»

CLASIFICACION	Cantidades parciales	Cantidades totales	Precio por unidad	Precios totales
Escavaciones ($\frac{2}{3}$ con agotamiento).	m³ 3,100.—	m³ 3,100.—	$ 3.40	$ 10,540.00
Relleno con tierra apisoneada. ...	» 600.—	» 600 —	0.50	300.00
Cuarto-de-conos	» 5,000.—	» 5,000.—	0.30	1,500.00
ALBAÑILERIA				
Concreto de 1×2,5×5 { Bóveda: 2×136,440m³	» 272.880			
Concreto de 1×2,5×5 { Dados: 2×31,710 » .	» 63.420	» 336,300	35.00	11,770.50
Concreto de 1×4×8 { Estribos: 4×810.....	» 3,240.—			
Concreto de 1×4×8 { M. de v.: 4×202,600..	» 810.400			
Concreto de 1×4×8 { Tímpanos: 4×49,800 .	» 199.200			
Concreto de 1×4×8 { Parap., molduras i demas adornos.....	» 119.000	» 4,368.600	16.00	69,897.60
Chapa	m² 651.—	m² 651 —	1.75	1,139.25
Estuco.....	» 1,500 —	» 1,500.—	0.55	825.00
METAL				
Tubos de desagüe.....	kg. 400.—			
Articulaciones { Fundicion..	» 19,577.—	kg. 19,977.—	0.35	6,991.95
Articulaciones { Acero laminado....	» 1,035.300	» 1,035.300	0.40	414.12
Articulaciones { Hojas de plomo (espesor de 5 m. m.).	» 3,650.—	» 3,650.—	0.40	1,460.00
				$104,838,42

Siendo de 310.50 m² la superficie libre de via sobre el puente, resulta a $ 337.64 el m².

Este dato elevado es debido a las grandes dimensiones de los estribos, o bien, a la gran altura del puente.

PUENTE «CHIVATO»

CLASIFICACION	Cantidades parciales	Cantidades totales	Precios por unidad	Precios totales
Escavaciones ($\frac{2}{3}$ con agotamiento)...	m³ 1,300. —	m³ 1,300. —	$ 3.40	$ 4,420.00
Relleno con tierra apisoneada.....	» 170. —	» 170. —	0.50	85.00
Cuarto de conos.....	» 2,800. —	» 2,800. —	0.30	840.00
ALBAÑILERÍA				
Concreto de 1×2,5×5 { Bóveda: 2×43,345m³..	» 86.690			
Concreto de 1×2,5×5 { Dados: 2× 8,000 »	» 16. —	» 102,690	35.00	3,594.15
Concreto de 1×4×8 { Estribos: 4×361,110m³	» 1,444.440			
Concreto de 1×4×8 { M. de v.: 4×130,908 »	» 523.632			
Concreto de 1×4×8 { Tímpanos: 4×17,337	» 69.348			
Concreto de 1×4×8 { Parap., molduras, etc..	» 80. —	» 2,117.420	16.00	33,878.72
Chapa.....	m² 483. —	m² 483. —	1.75	845.25
Estuco.....	» 850. —	» 850. —	0.55	467.50
METAL				
Tubos de desagüe..	kg. 250. —			
Articulaciones { Fundicion.....	» 6,932. —	kg. 7,182. —	0.35	2,513.70
Articulaciones { Acero laminado.....	» 459.460	» 459.460	0.40	183.78
Articulaciones { Hojas de plomo (esp. de 5 m.m.).....	» 1,150. —	» 1,150. —	0.40	460.00
				$ 47,288.10

Siendo de 204.70 m² la superficie libre de via sobre el puente, resulta a $ 231.

Aunque en menor escala, se puede hacer la misma observacion que para el puente anterior sobre el precio del m² de via.

PASO SUPERIOR

CLASIFICACION	Cantidades parciales	Cantidades totales	Precios por unidad	Precios totales
Escavaciones..	m³ 350, —	m³ 350, —	$ 0.60	$ 210.00
Relleno con tierra.....	» 120, —	» 120, —	0.50	60.00
ALBAÑILERÍA				
Concreto de 1×2,5×5 — Bóveda: 2 × 20, 195m³	» 40,390			
Concreto de 1×2,5×5 — Dados de descanso: 2×7,200 m³	» 14,400	» 54,790	35.00	1,917.65
Concreto de 1×4×8 — Estribos: 2×52,60 m³	» 105,200			
Concreto de 1×4×8 — Muros de v. i tímpanos: 4×18,602 m³...	» 74,408			
Concreto de 1×4×8 — Parap. i molduras.....	» 28,980	» 208,588	16.00	3,337.41
Chapa: 4×48,80m.²	m² 195, 20	m² 195, 20	1.75	341.60
Estuco.....	» 320, —	» 320, —	0.55	176.00
METAL				
Articulaciones — Fundicion.....	kg. 5,350, —	kg. 5,350, —	0.35	1,872.50
Articulaciones — Acero.....	» 340, —	» 340, —	0.40	136.00
Articulaciones — Plomo (hojas de 5m. m.)	» 1,100, —	» 1,100, —	0.40	440.00
Calzada: 4,00×25,00.....	m² 100, —	m² 100 —	2.00	200.00
				$ 8,691.16

Siendo la superficie total de calzada sobre el puente 95,80 m², resulta el m² horizontal libre a $ 90.72.

ANEXO III

PLIEGO DE CONDICIONES PARA LA EJECUCION DE LOS PUENTES

Cemento.—Se emplearán de entre las marcas autorizadas por la Direccion de Obras Públicas, aquella o aquellas que por esperiencias autorizadas previas satisfagan mas, a juicio de la inspeccion técnica.

Deberá garantirse la procedencia de fábrica del cemento; i los barriles estarán herméticamente cerrados, colocándolos dentro de galpones que los resguarden del sol i de la humedad. Cuando abierto un barril aparezca el cemento con señales de humedad, o averiado por cualquier motivo, será rechazado i colocado en sitio aparte.

A fin de hacer espedita la fiscalizacion respecto al buen empleo del cemento, el contratista estará obligado a dar a la inspeccion técnica toda clase de facilidades i datos que permitan apreciar en cualquier momento la existencia de cemento en almacenes i el que se ha empleado en las obras. El injeniero i sus inspectores tendrán acceso al almacen, cada vez que lo estimen por conveniente, para las confrontaciones del caso, debiendo ser acatadas sus observaciones conducentes a este fin.

Arena.—Será de estero, cuarzosa, de grano medio i escenta de toda materia terrosa o estraña; será tambien lavada i cernida, si a juicio de la inspeccion técnica estas operaciones se hicieren necesarias.

Piedra partida.—Será de naturaleza granítica i bien sana, i se la hará pasar por los anillos de 5 cm. i 2 cm., debiendo emplearse solo las comprendidas entre estos dos límites.

Si la inspeccion técnica juzga necesario, se lavará la piedra ántes o despues de quebrada, para quitarle las materias estrañas.

Será prohibido en absoluto agregar cascajo o rodados de estero, aun partidos, a la piedra chancada granítica, que es la única que entrará en la confeccion del concreto en la proporcion de $1 \times 2{,}5 \times 5$. Se empleará la mejor piedra de la cantera del «Arbol», u otra que cumple con las condiciones requeridas, a juicio del injeniero inspector.

Cascajo partido.—Entrará en la confeccion del concreto en la proporcion de $1 \times 4 \times 8$.

Solo se emplearán los pedazos que pasen al anillo de 6 cm., escento de los detritus de dimensiones inferiores a 2 cm. Se desechará tambien el cascajo que haya salido de la chancadora sin sufrir trituracion.

Si es necesario se lavará la piedra para quitarle las materias terrosas.

La chancadura se hará a alguna distancia de la obra.

Fabricacion del mortero.—La arena se medirá cuidadosamente en cajas con capacidad exacta de decálitros, las que se someterán, préviamente, a la aprobacion del injeniero inspector.

La mezcla del cemento con la arena se hará en seco, sobre un piso abrigado de madera, estendiendo las proporciones en capas delgadas. Una vez bien homojénea la mezcla, se le agregará la menor cantidad posible de agua hasta que el mortero sea bien ligoso i adhiera a la herramienta.

Se fabricará el mortero momentos ántes de emplearlo; i por consiguiente, se rechazará el que tenga indicios de fragua.

Fabricacion del concreto.—Se fabricará i conservará bajo galpones que lo resguarden del sol i de la lluvia.

Se empezará por hacer el mortero de la manera que se acaba de esplicar. Despues, se le agregará la piedra, bien medida, sin adicion de agua. La operacion de mezclarlos se

hará en concretadoras, debiendo obtenerse como resultado, que la piedra quede bien envuelta por el mortero.

Las piedras o el cascajo se regarán con cuidado en el sitio en que esten depositados, i esta operacion se hará algun tiempo ántes de emplearlos en la confeccion del concreto. Este se empleará inmediatamente despues de fabricado.

Construccion de la albañilería.—Miéntras dure la construccion de las fundaciones i hasta que el concreto haya endurecido lo suficiente, se mantendrán en seco las escavaciones.

Hasta el nivel en que comienzan los muros de vuelta, el concreto de mezcla pobre se hará por capas de 0,20 m. a lo mas, apisonándolas hasta tener un macizo bien compacto i que el agua de la mezcla fluya a la superficie. A cada interrupcion en el trabajo de estender el concreto, se dejarán los bordes incompletos en talud estendido i áspero; i ántes de renovar la operacion se limpiará cuidadosamente el talud, se le lavará i enseguida se le cubrirá con una capa de mortero, para que el nuevo concreto adhiera efiazmente al precedente i formen ámbos un solo cuerpo.

Esta es una regla absoluta en la confeccion de los macizos de concreto.

Los muros de vuelta, tímpanos, parapetos i molduras se harán por capas de 0,10 m. de espesor, poniendo especial cuidado en que el concreto ocupe íntegramente la capacidad del molde.

Las bóvedas, i particularmente la principal se construirán por capas de 0,10 m. de espesor a lo mas, comprimiéndolas lo mas perpendicularmente posible a las secciones trasversales normales al intrados. Las prescripciones sobre fabricacion de la mezcla i del concreto i las relativas a la construccion del macizo, se estremarán en su cumplimiento, i a este fin, despues de una interrupcion i ántes de colocar el nuevo concreto, la superficie de union deberá ser examinada por el injeniero inspector.

Una prescripcion comun a toda albañilería nueva de concreto, es la de resguardarlas del sol i de la lluvia, por medio de un riego lijero pero frecuente en el primer caso, i cubriéndola con planchas o de otro modo eficaz en el segundo.

Las cimbras se harán conforme a los planos i especificaciones que la inspeccion técnica entregará al contratista. Los moldes quedan a la iniciativa de este, pero ántes de usarlos deberán ser aprobados.

La construccion de unas i otros será esmerada, tanto por los materiales como por los ajustes.

Durante la ejecucion, el contratista acatará las observaciones e instrucciones que la marcha de los trabajos sujiere al injeniero inspector, como ser, las relacionadas con la distribucion de pesos provisionales sobre las cimbras, refuerzos en los andamios i otras, sin que ello le dé derecho a reclamos ni indemnizaciones.

Chapa.—Se ejecutará conforme a las prescripciones corrientes para este trabajo en los puentes.

Reboque.—Las superficies vistas serán rebocadas con el objeto de recubrir las piedras del concreto i correjir las irregularidades que aparezcan despues de quitados los moldes.

Este reboque será esmerado sobre las molduras, parapetos, rosca de la bóveda i demas adornos del puente. Su espesor será, término medio, de 0,01 m.

Los paramentos esteriores de los tímpanos tendrán la apariencia de *opus incertum*. En el precio del reboque va incluido este trabajo i el labrado de la rosca de la bóveda i de los biscochos.

Metal.—El acero de los ejes será dulce i de buena calidad, conforme a las prescripciones corrientes para puentes.

La fundicion, deberá ser mui homojénea i bien moldeada.

Ambas clases de metal se alquitranarán o pintarán, segun lo resuelva el injeniero inspector.

El plomo será de clase superior i sometido préviamente a ensayos.

Prescripcion condicional.—Las escavaciones se profundizarán hasta llegar al terreno conveniente, a juicio del injeniero, para soportar la fundacion, sin que las consecuencias de una mayor o menor profundidad que la indicada por los planos den derecho al contratista para reclamar indemnizacion. Se hace esta aclaracion, porque podrian presentarse fallas que esten fuera del perímetro del pozo de reconocimiento, i direcciones del terreno resistente distintas de las supuestas por los datos del reconocimiento.

ANEXO IV

RESEÑA HISTÓRICA SOBRE EL EMPLEO DE LA TRIPLE ARTICULACION

En 1854, el injeniero J. Poirée propuso aplicar la triple articulacion a los puentes de fundicion, i atribuia la paternidad de la idea a Polonceau i a Stephenson.

En 1860, el injeniero Mantion, en una memoria sobre el puente metálico del canal Saint-Denis, demuestra las ventajas de ella, confirmada mas tarde por Darcel.

En 1868, Dallot construyó un puente mui atrevido, basado en los datos de los injenieros citados.

En 1889, la Compañía Fives-Lille construyó sobre el rio Saf-saf un puente con articulaciones, de 68 m. de luz i 6.70 m. de flecha.

En 1899, se inauguró el puente llamado «Franzensbruke», sobre el Danubio canalizado, en Viena, por el cual pasan 4,500 vehículos diariamente; es un puente metálico en arco a triple articulacion, prolongado de uno i otro lado por arcos de albañilería. La luz entre articulaciones es de 53 m. i el rebajo de $\frac{1}{16}$.

El nuevo puente carretero i rielero sobre el Niágara, tiene tambien un arco central metálico de 167.63 m. de luz.

I por último el puente mui conocido Alejandro III, sobre el Sena, año de 1900, es la aplicacion mas reciente de la triple articulacion. Su luz es de 107.50 m. i su flecha 6.50, entre articulaciones.

Todos estos puentes son metálicos. Se han construido tambien puentes de cemento armado a triple articulacion.

Respecto a los de albañilería, el inspector jeneral de puentes i calzadas, Dupuit, estudiaba teoricamente, en 1870, la triple articulacion.

En 1877, el inspector jeneral Brosselin proponia aproximarse a las condiciones de la triple articulacion, empleando en los arranques i en la clave piedras mui duras que permitieran reducir las juntas al mínimum. Calculaba que esta reduccion podia ser de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{5}$ del espesor de la bóveda.

Estas ideas respecto a los puentes de albañilería fueron acojidas, en principio, favorablemente en Francia; pero las primeras aplicaciones se hicieron en Alemania, por el director de caminos i de navegacion del estado de Wurtemberg, el injeniero Mac-Leibbrandt, quien ha perfeccionado gradualmente el sistema, desde las juntas reducidas de plomo hasta las verdaderas articulaciones empleadas hoi dia.

Desde 1885 hasta 1891, construyó siete puentes empleando la junta reducida de plomo, seis en piedra i uno en concreto, con luces de 15.60 a 33 m. i rebajos comprendidos entre $\frac{1}{4,8}$ i $\frac{1}{10}$. El puente de concreto, que tiene 0.45 m. en la clave i 1.00 m. en los arranques, trabaja a las siguientes presiones máximas:

en la clave	9.2 kg.
» » junta ruptura	14.7 »
» los nacimientos	6.1 »
» el terreno	7.2 »

El primer puente con verdaderas articulaciones que dicho injeniero construyó, está sobre el Danubio, cerca de la ciudad de Munderkinguen; es oblícuo, carretero, a estribos perdidos, de 50 m. de luz i 5 m. de flecha, entre articulaciones; el espesor de la bóveda en la clave es de 1.00 m., en los riñones de 1.40 m. i en los arranques de 1.10 m. Suponiendo la presion que trasmiten los descansos de las articulaciones repartida sobre toda la seccion de la bóveda, las tasas de trabajo son:

en la clave	35.3 kg.
» las juntas ruptura	37.9 i 39.3 kg.
» los arranques	35.4 i 36.1 »

Pero la presion en la superficie de descanso de las articulaciones alcanza a 58.9 kg. por $\frac{}{\text{cm.}^2}$, siendo esa superficie 40% menor que la seccion de la bóveda, lo que equivale, segun esperiencias de Durand Claye, a un aumento de resistencia por $\frac{}{\text{cm.}^2}$ de 14%. El concreto de esta bóveda es de $1 \times 2.5 \times 5$.

En 1895 construyó sobre el mismo rio, en Insigkofen, un puente de albañilería de 43 m. de luz i $\frac{1}{10}$ de rebajo, con rótulas de fundicion dispuestas análogamente a las que se emplean en los puentes metálicos.

En 1896, construyó otro puente de concreto sobre el rio Eyach, cerca de Imnan, de 30 m. de luz i $\frac{1}{10}$ de rebajo entre articulaciones, siendo éstas de piedra tallada. Las dimensiones del puente son:

en la clave	0.45 m.
» las juntas ruptura	0.80 »
» los arranques	0.50 »

i las mayores tasas de trabajo: 31.1 kg. a la compresion i *4.1 kg. a la estension.*

El sucesor de Leibbrandt construyó en 1899, sobre el Neckar, entre Kirchheim i Gemmrigheim, otro puente de concreto con 4 arcos, cada uno de 38 m. de luz i $\frac{1}{7}$ de rebajo, i espesores de 0.80 m. en la clave i 0.90 m. en los arranques. Las mayores presiones estando la bóveda completamente cargada, varian entre 20.6 i 22.7 kg. La proporcion del concreto es de $1 \times 2.5 \times 5$.

Fuera de Alemania, en Genève, sobre el Rhône, se construyó el puente en concreto, con rótulas metálicas, llamado Coulouvrenière.

En Inglaterra, el nuevo puente de Vaux-hall, Lóndres, es de concreto i a triple articulacion. Consta de 9 arcos, de los cuales 7 son de 44.20 m. de luz i 2 (los de orilla) de 40 m. Las bóvedas tienen 0.94 m. de espesor, tanto en la clave como en los arranques.

En España, en 1901, sobre el Salado, se construyó un puente de concreto, de un solo arco de 40 m. de luz i a triple articulacion.

Empleo del concreto en los puentes

Ademas de los anteriormente citados, hai muchos otros de este material, con bóvedas empotradas.

Asi, la línea férrea de Nurtinguen a Neuffen (Alemania), todos los puentes abovedados son de concreto, cuyos componentes se encuentran en abundancia por aquella rejion. El principal de ellos, sobre el Steinach, cuya bóveda a estribos perdidos tiene 19.60 m. de luz i 3.51 m. de flecha, ha dado los siguientes resultados de prueba, pasados dos meses de estar la bóveda sobre cimbra: el paso de una locomotora de 20 tn. produjo un descenso de la clave de 0.4 a 0.5 mm., que se redujo a 0.1 mm. una vez descargado. El espesor en la clave es de 0.60 m. i 1.08 m. en los arranques.

En Chile, se puede citar el puente sobre el Longaví, formado de una série de arcos en *beton Coignet*, cuyas bóvedas resistieron perfectamente hasta que las creces de 1900 socavaron las fundaciones i destruyeron la obra. Era uno de los puentes mejor concebidos i mas económicos del pais, i si no recordamos mal, su costo no alcanzó a 150.000 pesos, con una lonjitud de mas de 300 m.

Alcones, Setiembre 6 de 1902.

JERARDO ATEAGA A.