

# PROYECTO DE PUENTE SOBRE EL RIO ITATA

(Continuación)

Como se trata de cizalle doble, tendremos seis secciones resistentes i podemos establecer la ecuacion

$$3162 = 6 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta$$
$$\theta = 1,68 \text{ k. p. mm.}^2$$

## § II.—ENSAMBLES DE LAS VIGAS

a). *Diagonales.*—Todas las diagonales tienen una misma seccion trasversal de 2,600 mm.<sup>2</sup>, descontando los agujeros para los remaches; la remachadura es una misma para todas ellas.

Al hacer el cálculo de la viga, hemos encontrado como esfuerzo máximo que actúa sobre la diagonal 34, bajo las acciones del peso muerto, de la sobrecarga completa i de un descenso de 15° en la temperatura.

$$20.630 \text{ k.}$$

El ensamble consta de 5 remaches de 20 mm. de diámetro, sometidos al cizalle doble, (fig. 23); luego:

$$2 \times 5 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta = 20.630$$
$$\theta = 6,57 \text{ k/mm.}^2$$

b). *Montantes.*—El montante mas cargado es el 27, que, bajo la accion del peso muerto i de la media sobrecarga, combinados con un descenso de 15° en la temperatura, es solicitado a la compresion por un esfuerzo de

$$13.700 \text{ k}$$

Este esfuerzo es resistido por 6 remaches de 20 mm.

$$2 \times 6 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta = 13.700$$
$$\theta = 3,63 \text{ k/mm.}^2$$

En realidad los remaches del lado interior trabajarán a mayor tasa, porque sirven para el ensamble del travesaño i hemos visto ántes que, en el caso mas desfavorable, las fatigas que les corresponde por esta causa es de 1,68 k/mm.<sup>2</sup>

Para el estado de sollicitacion del arco que nos ha permitido calcular el trabajo máximo del montante, la fatiga que el travesaño determina en los remaches interiores del montante será menor que aquella. Podemos, pues, concluir que dichos remaches trabajarán, en las circunstancias mas desfavorables, a una tasa inferior a

$$3,63 + 1,68 = 5,31 \text{ k. mm}^2$$

c) *Brida superior.*—Para establecer la solidaridad entre el alma i el conjunto de tabla i cantoneras, debemos ensamblar éstas a aquella por medio de una remachadura capaz de resistir al esfuerzo para que han sido calculadas la tabla i las cantoneras.

Ya hemos visto que en la cabeza superior el esfuerzo máximo que se desarrolla es de estension. Este esfuerzo, que corresponde a la brida 1 i que se produce bajo la accion del peso muerto i de la sobrecarga completa, combinados con un descenso de 15° en la temperatura, vale

$$68.405 \text{ k.}$$

El se reparte entre los elementos de la cabeza proporcionalmente a sus secciones trasversales:

alma, 320 × 8. . . . .	2.560 mm. <sup>21</sup>
2 cantoneras de $\frac{80 \times 80}{8} - 2 \times 20 \times 8$ . . . . .	2.112 «
tabla, 300 × 10—2 × 20 × 10. . . . .	2.600 «
superficie total. . . . .	7.272 «

Hemos descontado para las cantoneras i la tabla los agujeros de la remachadura. Entónces, los esfuerzos que corresponden a cada pieza son:

$$\begin{aligned} \text{alma} & \quad \frac{68.405 \times 2.560}{7.272} = 24.080 \text{ k.} \\ \text{una cantonera} & \quad \frac{68.405 \times 2.560}{7.272} = 19.867 \text{ «} \\ \text{tabla} & \quad \frac{68.405 \times 2.600}{7.272} = \frac{24.458 \text{ «}}{68.405 \text{ «}} \end{aligned}$$

Luego el esfuerzo solicitante de la remachadura del alma a las cantoneras valdrá:

$$19.867 + 24.458 = 44.325 \text{ k.}$$

Como la práctica aconseja colocar los remaches de este ensamble a una distancia intermedia que no esceda de 120 mm., hemos debido hacer uso de 18 remaches de 20 mm:

$$\begin{aligned} 44,325 &= 2 \times 18 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta \\ \theta &= 3,92 \text{ k./mm.}^{217} \end{aligned}$$

Ahora bien, el esfuerzo que solicita la remachadura de las cantoneras con la tabla superior es igual al que obra sobre ésta, o sea 24,458 k.

Hemos colocado dos filas de 20 remaches de 20 mm., i por consiguiente

$$2 \times 20 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta = 24,458$$

$$\theta = 1,95 \text{ k./mm.}^2$$

Los cálculos anteriores se refieren al primer paño de la viga. La remachadura de los restantes es la misma i se encuentran en mejores condiciones de solicitacion.

d) *Brida inferior.* — En la brida inferior el trabajo máximo por compresion se desarrolla en la barra 18, bajo la accion del peso muerto i de la sobrecarga completa, combinados con el viento i una sobreelevacion de 30° en la temperatura, i vale

$$-83,573 \text{ k.}$$

Las secciones transversales de los diversos elementos de la cabeza son

alma	320 × 8	2.560 mm. <sup>2</sup>
2 cantoneras de	$\frac{80 \times 80}{8}$	2.432 »
2 tablas de	300 × 10	6.000 »
	Superficie total	10.992 »

I el esfuerzo solicitante se distribuye entre ellos en la forma siguiente

alma	$\frac{83,573 \times 2,560}{10,992}$	= 19,464 k.
cantoneras	$\frac{83,573 \times 2,432}{10,992}$	= 18,491 »
tablas	$\frac{83,573 \times 6,000}{10,992}$	= 45,618 »
		83,573 »

El esfuerzo solicitante de la remachadura del alma o las cantoneras vale

$$18,491 \times 45,618 = 64,109 \text{ k.}$$

i debe ser equilibrado por 20 machones de 20 mm. de diámetro, sometidos al cizalle-doble:

$$2 \times 20 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta = 64,109$$

$$\theta = 5,10 \text{ k./mm.}^2$$

La remachadura que une las tablas a las cantoneras trabaja por simple cizalle, i es formada por 40 remaches de 20 mm.

$$40 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta = 45.618$$

$$\theta = 3,63 \text{ k./mm}^2$$

Para los demas paños adoptaremos idéntica remachadura.

### § III.—CUBREJUNTAS

#### A) *Brida superior*

Existen seis cubrejuntas, correspondiendo la solicitacion mas desfavorable a la del noveno paño.

El esfuerzo máximo solicitante de este elemento de la brida es una compresion, que se desarrolla, cuando obran sobre el puente el peso muerto i la sobrecarga completa, combinados con una sobreelevacion de 30° en la temperatura, i que vale

$$-68.167 \text{ k.}$$

Las secciones resistentes de las cabezas son:

alma.....	320 × 8	2.560 mm. <sup>2</sup>
2 cantoneras de...	$\frac{80 \times 80}{8}$	2.432 »
tabla.....	300 × 10	3.000 »
superficie total...		7.992 »

obteniendo, en consecuencia, la siguiente distribucion del esfuerzo:

alma.....	$\frac{68167 \times 2560}{7992} = 21.835 \text{ k.}$
cantoneras.....	$\frac{68167 \times 2432}{7992} = 20.744 \text{ "}$
tabla.....	$\frac{68167 \times 3000}{7992} = 25.588 \text{ "}$
	68.167 "

a) *Cubrejuntas del alma.*—Para resistir al esfuerzo solicitante, hemos colocado 6 remaches de 20 mm., que quedan sometidos al cizalle doble:

$$2 \times 6 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta = 21.835$$

$$\theta = 5,79 \text{ k./mm}^2$$

b) *Cubrejuntas de las cantoneras.* — Se han empleado 5 remaches de 20 mm. Repartiéndose el esfuerzo por mitad entre ámbas cantoneras, se tiene

$$5 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta = \frac{1}{2} \times 20.744$$

$$\theta = 6,60 \text{ k/mm.}^2$$

c) *Cubrejuntas de la tabla.* — El ensamble tiene dos filas de 6 remaches de 20 mm.

$$2 \times 6 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta = 25,588$$

$$\theta = 6,78 \text{ k/mm.}^2$$

### B) *Brida inferior*

La cubrejunta que se encuentra en condiciones mas desfavorables de sollicitacion es la del tercer paño; ella se encontrará solicitada por un esfuerzo de compresion igual a

$$- 82.809 \text{ k.}$$

i que corresponde al peso muerto i a la sobrecarga completa, combinados con la accion del viento i un aumento de 30° en la temperatura.

Las secciones resistentes de la cabeza son:

alma . . . . .	320 × 8	2,560 mm. <sup>2</sup>
3 cantoneras de..	$\frac{80 \times 80}{8}$	2,432 »
2 tablas de . . . . .	300 × 10	6,000 »
superficie total . .		<u>10,992 »</u>

i el esfuerzo se repartirá entre estos elementos del modo siguiente:

alma . . . . .	$\frac{82.809 \times 2560}{10.992} = 19.286 \text{ k}$
cantoneras . . . . .	$\frac{82.809 \times 2432}{10.992} = 18.322 \text{ »}$
tabla . . . . .	$\frac{82.809 \times 6000}{10.992} = 45.201 \text{ »}$
	82.809 »

a) *Cubrejuntas del alma.* — Hemos empleado 6 remaches que trabajan por doble cizalle:

$$2 \times 6 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta = 19,286 \text{ k.}$$

$$\theta = 5,12 \text{ k/mm.}^2$$

b) *Cubrejunta de las cantoneras.*

$$5 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta = \frac{1}{2} \times 18.322 \text{ k.}$$

$$\theta = 5,83 \text{ k/mm.}^2$$

c) *Cubrejuntas de la tabla.*

$$2 \times 11 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta = 45.201 \text{ k.}$$

$$\theta = 6,54 \text{ k/mm.}^2$$

#### § IV Ensamblajes de los contravientos

##### A).—ARRIOSTRAMIENTO VERTICAL

Hemos visto que el esfuerzo máximo que actúa sobre una diagonal vale

$$906 \text{ k.}$$

Lo hemos equilibrado con dos remaches de 15 mm. de diámetro.

$$2 \times \frac{3,14 \times 15^2}{4} \times \theta = 906$$

$$\theta = 2,56 \text{ k/mm.}^2$$

##### B) ARRIOSTRAMIENTO HORIZONTAL

a). *Montantes.*—El montante más cansado es el 41, que recibe una compresión igual a

$$- 9.630 \text{ k.}$$

La resisten 5 remaches de 15 mm.

$$2 \times 5 \times \frac{3,14 \times 15^2}{4} \times \theta = 9.630$$

$$\theta = 5,45 \text{ k/mm.}^2$$

b). *Diagonales.*—El esfuerzo máximo, que corresponde a la diagonal 52, vale

$$+ 10.200 \text{ k.}$$

Como se ha hecho el ensamble con 9 remaches

$$9 \times \frac{3,14 \times 15^2}{4} \times \theta = 10.200$$

$$\theta = 6,41 \text{ k/mm.}^2$$

## CAPÍTULO IX

### Cálculo de los estribos

Las reacciones que el puente determina sobre los estribos varían con el estado de sollicitación que se considera; pero es fácil darse cuenta de que existen dos casos mas desfavorables que todos los demas que puedan presentarse. Estos casos se producen cuando el extremo de la brida superior de cada arco trabaja a una fatiga máxima, sea por compresion, sea por estension.

El estudio del primer estado de sollicitación será materia del presente capítulo; el siguiente tratará el caso en que la brida antedicha trabaje al máximum por estension.

#### PRIMER CASO

##### *La brida superior trabaja por compresion*

El único estado de sollicitación para el cual se verifica esta circunstancia es el que corresponde a una sobreelevación de 30° en la temperatura. La reaccion máxima del extremo superior del arco sobre el estribo se obtendrá entónces, combinando ese aumento de temperatura con la accion del solo peso muerto.

En el capítulo VI hemos calculado los esfuerzos que actúan sobre las distintas piezas de las vigas; podemos ahora obtener las reacciones que corresponden al caso en estudio.

En efecto, los depurados 9 i 10 se refieren, el primero al extremo superior i el segundo al extremo inferior del arco.

Para el extremo superior:

brida	$A B = -$	63.829 k.
diagonal	$B C = -$	1.204 »
montante	$C D = +$	405 »
carga exterior	$E A = +$	678 »
reaccion	$E D =$	64.200 »

Para el extremo inferior:

brida	$A B = -$	40.509 k.
montante	$B C = +$	405 »
reaccion	$A C =$	40.400 »
componente horizontal	$A D =$	38.100 »
» vertical	$D C =$	13.400 »

La reaccion superior se trasmite al estribo por intermedio de una pieza de acero I que va ensamblada por sus extremos a las bridas del arco.

Dicha pieza no cargará a la albañilería de una manera uniforme; por el contrario, la presion que le transmitirá irá aumentando de su extremo inferior al superior. Admitiremos que las tensiones elásticas desarrolladas en la superficie de contacto siguen una lei triangular.

Para obtener una reaccion de 64.200 k., es necesario que la resultante de las presiones elásticas sea igual a

$$\frac{3}{2} \times 64.200 = 96.300 \text{ k.}$$

como lo hace ver el diagrama de la figura 11.

Pero, considerando a la pieza de empotramiento como apoyada en sus extremos i solicitada a la flexion por una fuerza aislada de 96.300 k., aplicada a un tercio de su longitud, se tendrá sobre su apoyo inferior una reaccion

$$\frac{1}{3} \times 96.300 = 32.100 \text{ k.}$$

Resulta de lo anterior que en el extremo inferior del arco se transmitirá en definitiva al estribo una reaccion cuyas componentes valdrán:

$$\begin{aligned} \text{componente vertical} &= 13.400 \text{ k.} \\ \text{» horizontal} &= 38.100 - 32.100 = 6.000 \text{ k.} \end{aligned}$$

La intensidad i la direccion de esta resultante final nos son dadas por el depurado 12:

$$\begin{aligned} \text{componente horizontal } AB &= 6.000 \text{ k.} \\ \text{» vertical } BC &= 13.400 \text{ »} \\ \text{reaccion } AC &= 14.700 \text{ »} \end{aligned}$$

El esfuerzo de 14.700 k. se transmite al estribo por intermedio de una plancha de fundicion, cuyo plano se ha colocado perpendicularmente a la direccion AC. El empotramiento se obtiene con dos cuñas de acero interpuestas entre la plancha i el extremo del arco.

## § I.—CÁLCULO DE LOS ÓRGANOS DE EMPOTRAMIENTO

### a) Montante I

Esta pieza tiene 3,80 m. de largo útil. (\*) Admitimos que se encuentre simplemente apoyada en sus extremos.

Principiemos por calcular la presion máxima  $p$ , que transmitirá a la albañilería en su extremo superior.

Como la pieza tiene 40 centímetros de ancho i como las presiones siguen por hipótesis una lei triangular

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \times p \times 40 \times 380 &= 96.300 \\ p &= 12,67 \text{ k./cm.}^2 \end{aligned}$$

La resistencia de la pieza misma deberá comprobarse por cizalle i por flexion.

El esfuerzo de su corte máximo se produce en su extremo superior, i vale

$$64.200 \text{ k.}$$

(\*) Este largo útil se ha fijado tomando en consideracion la porcion del I que ejercerá en la práctica presion sobre la albañilería.

La seccion resistente en ese punto se compone de:

2 almas de 480 × 10 . . . . .	9.600 mm. <sup>2</sup>
4 cantoneras de $\frac{100 \times 100}{10}$ . . . . .	7.600 »
TOTAL . . . . .	17.200 mm. <sup>2</sup>

Se obtiene así una tasa de trabajo por cizalle de:

$$\theta = \frac{1,5 \times 64.200}{17.200} \quad (*)$$

$$\theta = 5,60 \text{ k. mm.}^2$$

Para calcular la resistencia a la flexion de la pieza que nos ocupa, necesitamos ante todo conocer el momento máximo i el punto en que se produce.

El valor del momento en un punto cualquiera es:

$$M_x = 32.100 \times x - \frac{1}{2} \frac{p x^2}{l} \times 400 \times \frac{1}{3} x$$

$p$  = presion máxima por milímetro cuadrado sobre la albañilería = 0,1267  
 $l$  = largo útil de la pieza flexionada = 3.800

$$M_x = 32.100 x - 66,67 \frac{p x^3}{l}$$

Para conocer la abcisa del punto en que  $M$  es máximo, bastará igualar a cero la derivada de la espresion anterior.

$$32.100 - 200 \frac{p x^2}{l} = 0$$

$$\frac{p}{l} = \frac{0,1267}{3.800} = 0,0000333$$

$$32.100 - 0,00666x^2 = 0$$

$$x = 2.198 \text{ mm.}$$

Introduciendo este valor de  $x$  en la ecuacion que nos da  $M$ , tenemos:

$$M_{\text{máx.}} = 32.100 \times 2.198 - 66,67 \times 0,0000333 \times 2.198^3$$

$$M_{\text{máx.}} = 46.971.650 \text{ k. mm.}$$

La pieza de acero cuyo momento resistente equilibra al anterior tiene como módulo de flexion (fig. 13):

(\*) Este coeficiente 1,5, que toma en cuenta la variacion de las tensiones  $\theta$  en una misma seccion transversal, es sólo aproximado.



La centración de este esfuerzo se obtiene por medio de dos cuñas de acero de

100 mm. de ancho  
400 mm. de largo útil.

Segun esto, la fatiga de la plancha de fundicion se deducirá de la relacion siguiente:

$$\frac{14.700}{2 \times 100 \times 400} = 0,16 \text{ k. /mm}^2$$

Las dimensiones de la plancha son

60 cm. de ancho

80 cm. de largo.

Ella va colocada sobre una piedra sillar que trasmitirá la presion a la albañilería del estribo, i que trabajará a

$$\frac{14.700}{60 \times 80} = 3,06 \text{ k. /cm}^2$$

## § II. VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DEL ESTRIBO

Los esfuerzos solicitantes son:

*las reacciones de los arcos,*

*el peso propio,*

*el empuje de las tierras.*

En el caso que se considera ahora será mas desfavorable no tomar en cuenta el empuje de las tierras.

*a) Reacciones de los arcos.*—Del estudio hecho anteriormente se deduce que las reacciones definitivas de cada arco sobre el estribo son:

un esfuerzo horizontal aplicado a 2,60 m. de su arista superior, i que vale 96.300 k.;

un esfuerzo inclinado, aplicado a 5,70 m. de su arista superior, i cuyos componentes valen:

componente vertical . . . . .	13.400 k.
» horizontal . . . . .	6.000 »

Estas reacciones obran sobre el estribo por intermedio de los órganos de empotramiento, cuyas superficies de contacto con la albañilería han sido calculadas de manera que las presiones que desarrollen sobre ella sean aceptables. Por otra parte, es imposible que el maciso se cizalle bajo la accion de esas mismas piezas.

Resulta de aquí que, si bien las reacciones del puente se trasmiten al estribo segun tajadas de ancho limitado, la totalidad del macizo quedará interesada para resistir al volcamiento.

Siendo su ancho 6,00 m., las reacciones de cada arco se repartirán entre 3,00 m. de estribo. Será éste el ancho del macizo cuya estabilidad comprobaremos.

*b) Peso propio.*—El estribo mas alto, al cual se referirán nuestros cálculos, tiene las

dimensiones indicadas en los planos. El peso de un trozo de 3,00 m. de ancho se establecerá como sigue (\*):

Seccion trapezial superior:

$$\frac{3 + 8,16}{2} \times 5,16 \times 2,300 = 198,670 \text{ k.}$$

2.300 k. = peso del metro cúbico de albanilería.

Seccion rectangular inferior:

$$8,35 \times 4,30 \times 3 \times 2,300 = 247,750 \text{ k.}$$

Debemos además considerar que la galería abierta en la base del estribo va a disminuir su peso en

$$\left[ 1 \times 1,50 + \frac{1}{2} \times \frac{3,14 \times 1^2}{4} \right] 3 \times 2,300 = 13,100 \text{ k.}$$

#### DEPURADO

Con los datos anteriores, hemos construido los depurados 42, 43 i 44, comprobando la estabilidad del estribo en las secciones *AB* i *CD*.

*Seccion AB.*—La resultante de los esfuerzos cae dentro del tercio central (fig. 43). La presión en la arista *A* vale:

$$\frac{2 \times 198,670}{816 \times 300} \left( 2 - \frac{3 \times 393}{816} \right) = 0,89 \text{ k/cm.}^2$$

*Seccion CD.*—La resultante cae dentro del tercio central (fig. 44).

La presión en *C* vale:

$$\frac{2 \times 446,720}{835 \times 300} \left( 2 - \frac{3 \times 325}{835} \right) = 2,95 \text{ k/cm.}^2$$

*Observacion.*—No nos ocupamos del deslizamiento que queda asegurado *a priori*.

## CAPÍTULO X

### Cálculo de los estribos

#### SEGUNDO CASO

##### *La brida superior del arco trabaja por estension*

El esfuerzo máximo de estension en el extremo de la brida superior se realiza cuando el puente se encuentra sometido a las acciones del peso muerto i de la sobrecarga completa, combinados con un descenso de 15° en la temperatura.

En conformidad con los resultados obtenidos en el capítulo VI, hemos construido los depurados 14 i 15.

(\*) No se toman en cuenta los muros de vuelta ni la parte del estribo que les sirve de traba inferior; con esto se tendrá un exceso de resistencia.

Para el extremo superior (fig. 14):

brida	$AB = +68,405$ k.
diagonal	$BC = +10,230$ »
montante	$CD = -10,710$ »
carga exterior	$EA = 1529$ »
reaccion	$ED = 72,800$ »

Para el extremo inferior (fig. 15):

brida	$AB = -57,663$ k.
montante	$BC = -10,710$ »
reaccion	$AC = 62,000$ »
componente horizontal	$CD = 54,000$ »
» vertical	$DA = 30,400$ »

La reaccion superior se trasmite al estribo por intermedio de la brida correspondiente, prolongada primero horizontalmente i luego despues bajo un ángulo de 45° i convenientemente reforzada. La brida se continúa hácia abajo por medio de dos tirantes de 85 mm. de diámetro, los cuales van a apernarse por su extremo inferior sobre una pieza colocada contra el cielo de una galería que atraviesa el estribo i que servirá para las visitas.

En el punto en que la brida se dobla a 45° se ha colocado un montante vertical, que no es otro que la pieza de acero I que sirve para transmitir al estribo la reaccion del extremo superior del arco, cuando la brida correspondiente trabaja por compresion.

Mediante la disposicion anterior, el esfuerzo de 72.800 k. se descompone en el punto de ensamble de la brida con el montante vertical, en una componente vertical, que comprimirá al montante i cuyo valor es 72.800 k. i una componente inclinada a 45°, que estenderá a la porcion correspondiente de la brida i a los tirantes que la prolongan, i que vale

$$\sqrt{2 \times 72.800^2} = 102.955 \text{ k.}$$

Resulta de lo anterior que en el extremo inferior del arco se trasmitirá en definitiva al estribo una reaccion cuyos componentes valdran:

componente horizontal	$= 54,000$ k
» vertical	$= 30,400 + 72,800 = 103,200$ »

La intensidad i la direccion de esta resultante final nos son dadas por el depurado 16:

componente horizontal	$AD = 54,000$ k.
» vertical	$BC = 103,200$ »
reaccion	$AC = 116,800$ »

El esfuerzo de 116.800 k. se trasmite de estribo por medio de la plancha de fundicion de que se ha hablado en el capítulo anterior.

### § I. Cálculo de los órganos de empotramiento

a) *Brida superior, seccion inclinada.*—Esta pieza se compone de

2 tablas de $300 \times 10$ .....	6.000 mm. <sup>2</sup>
4 cantoneras de $\frac{80 \times 80}{8}$ .....	4.864 »
1 alma de $320 \times 8$ .....	2.560 »
	13.424 »

En la seccion mas debilitada debemos descontar los agujeros para dos remaches que unen el alma con las cantoneras i cuatro remaches que unen las tablas con las planchas exteriores

$$2 \times 20 \times 24 + 4 \times 20 \times 10 = 1760 \text{ mm.}^2$$

Segun esto la seccion útil valdrá

$$13.424 - 1760 = 11.664 \text{ mm.}^2$$

El esfuerzo solicitante es de

$$102.955 \text{ k.}$$

Se tendrá entónces una tasa de trabajo igual a

$$\frac{102.955}{11.664} = 8,83 \text{ k/mm.}^2$$

*Remachadura.*—Las cantoneras i la tabla de la brida superior del arco se continúan sin interrupcion en la porcion inclinada; no sucede lo mismo con el alma, que se ha debido cortar i ensamblar por medio de una cubrejunta doble.

El cálculo de esa cubrejunta se hará en la seccion de orígen de la cabeza i cantoneras inferiores de la brida en la cual, para resistir al esfuerzo solicitante, solo se dispone de

1 cabeza de $300 \times 10$ .....	3.000 mm. <sup>2</sup>
2 cantoneras de $\frac{80 \times 80}{8}$ .....	2.432 »
2 cubrejuntas de $320 \times 15$ .....	9.600 »
	15.032 »

Hai que descontar para los agujeros de los remaches

en el alma...	$9 \times 2 \times 20 \times 15 =$	600 mm. <sup>2</sup>
» la cabeza..	$2 \times 20 \times 18 =$	720 »
		1.320 »

Se obtiene así una seccion útil igual a

$$15.032 - 1.320 = 13.712 \text{ mm.}^2$$

i una tasa de trabajo de

$$\frac{102.955}{13.712} = 7,50 \text{ k/mm.}^2$$

La remachadura que une la seccion inclinada de la brida con las cubrejuntas de que acabamos de hablar es formada por

9 remaches de 20 mm. en el alma (cizalle doble).

18 remaches en las cantoneras.

La tasa de trabajo será entónces

$$\frac{102.955}{2 \times 27 \times \frac{3.14 \times 20^2}{4}} = 6,07 \text{ k/mm.}^2$$

b) *Tirantes.*

El esfuerzo de estension de la ida se trasmite a dos tirantes de 85 mm. de diámetro, que se lo repartirán por mitad, trabajando a

$$\frac{102.955}{2 \times \frac{3.14 \times 85^2}{4}} = 9,00 \text{ k/mm.}^2$$

*Remachadura.*

El ensamble de los tirantes con la porcion inclinada de la brida se hace por intermedio de tres planchas de acero de 350 x 12 mm. La seccion útil de estas planchas se obtendrá descontando los agujeros para los dos tirantes

$$(350 - 170) 12 \times 3 = 6480 \text{ mm.}^2$$

En consecuencia, la fatiga máxima que estas planchas soportan valdrá

$$\frac{1}{2} \times \frac{102.955}{6480} = 7,90 \text{ k./mm.}^2$$

Las piezas calculadas anteriormente se unen a las cabezas de la brida por 56 remaches de 20 mm. colocados sobre cada cabeza en 4 filas de a 7

$$\frac{102.955}{56 \times \frac{3.14 \times 20^2}{4}} = 5,85 \text{ k/mm}^2$$

Las cabezas de los tirantes descansan sobre las planchas de ensamble por intermedio de una pieza de fundicion de seccion semicircular que tiene por objeto conseguir la reparticion uniforme de las presiones.

Cada cabeza, de seccion cuadrada, tiene 140 mm. por lado, i como el esfuerzo que actúa sobre el tirante vale

$$\frac{102.955}{2} = 51.477 \text{ k.}$$

se tendrá una presión de

$$\frac{51,477}{140 - \frac{3,14 \times 85^2}{4}} = 3,69 \text{ k./mm}^2$$

Por fin, debemos calcular aquí el alto de la cabeza del perno, estudiando su tendencia al arrancamiento con relación al cuerpo del mismo.

La sección de rasgamiento tiene por base la circunferencia del tirante  $i$  por altura  $la$  de la cabeza (85 mm.).

$$3,14 \times 85 \times 85 = 22,686$$

$$\frac{51,477}{22,686} = 2,27 \text{ k./mm.}^2$$

*c) Anclaje.*

Los tirantes provocan en la albañilería reacciones que se repartirán mediante una plancha de fundición, la que a su vez recibirá la acción de los tirantes por intermedio de un cabezal de acero cuya disposición se ve en los planos.

Hemos hecho el cálculo de este cabezal, partiendo de la hipótesis de que carga a la plancha de fundición de una manera uniforme en la extensión  $BC$  (fig. 17) comprendida bajo las tuercas de los tirantes,  $i$  de que la carga según una ley triangular en las porciones laterales.

La presión total que los dos tirantes transmiten vale

$$102,955 \text{ k.}$$

Esta presión debe ser igualada por la suma de las fuerzas elásticas que se desarrollan. Llamando  $p$  la presión por milímetro cuadrado en la zona  $BC$ , la resultante de que se trata valdrá:

$$\left( 350 p + \frac{1}{2} \times 800 \times p + \frac{1}{2} \times 1850 \times p \right) 440 = 102,955$$

$$440 = \text{ancho del cabezal en mm.}$$

$$p = 0,1397 \text{ k./mm.}^2$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \times 800 \times 0,1397 \times 440 = 24,585 \text{ k.}$$

$$Q = 350 \times 0,1397 \times 440 = 21,514 \text{ »}$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \times 1850 \times 0,1397 \times 440 = 56,856 \text{ »}$$

$$\overline{102,955 \text{ »}}$$

Según esto,  $i$  considerando el cabezal como apoyado en los puntos  $B$   $i$   $C$   $i$  solicitado a la flexión por una carga repartida según la ley del diagrama, el momento máximo se produce en  $C$   $i$  vale

$$56,856 \times \frac{1}{3} \times 1850 = 35,061,200 \text{ kmm.}$$

El cabezal tiene como módulo de flexion en ese punto

$$\frac{I}{V} = 4.365.884 \text{ mm.}^3 \text{ (*)}$$

luego soportará una fatiga máxima de

$$\frac{35.061.200}{4.365.884} = 8,03 \text{ k./mm.}^2$$

d).—*Montante vertical.*—El I, colocado verticalmente en el punto en que se dobla la prolongacion de la brida superior del arco, está sometido a un esfuerzo de compresion de

$$72.800 \text{ k.}$$

La seccion resistente mínima de la pieza se compone de

$$\begin{array}{r} 2 \text{ almas de } 480 \times 10 = 9.600 \text{ mm.}^2 \\ 4 \text{ cantoneras de } \frac{100 \times 100}{10} = 7.600 \text{ »} \\ \hline 17.200 \text{ mm.}^2 \end{array}$$

Se tendrá entónces una tasa de trabajo igual a

$$\frac{72.800}{17.200} = 4,23 \text{ k./mm.}^2$$

La superficie de la seccion total del montante se compone de

$$\begin{array}{r} 4 \text{ tablas de } 400 \times 12 = 19.200 \text{ mm.}^2 \\ 2 \text{ almas » } 480 \times 10 = 9.600 \text{ »} \\ 4 \text{ cantoneras » } \frac{100 \times 100}{10} = 7.600 \text{ »} \\ \hline 36.400 \text{ mm.}^2 \end{array}$$

Se tiene entónces allí una fatiga de

$$\frac{72.800}{36.400} = 2 \text{ k./mm.}^2$$

(\*)

$$(440-120) \overset{-3}{550} = 53.240.000.000$$

$$100 \times \overset{-3}{530} = 14.887.700.000$$

$$180 \times \overset{-3}{510} = 23.877.180.000$$

$$20 \times \overset{-3}{330} = 718.740.000$$

$$\text{Remaches } 40 \left( \overset{-3}{550} - \overset{-3}{510} \right) = \frac{1.348.960.000}{40.832.580.000}$$

$$\frac{I}{V} = \frac{53.240.000.000 - 40.832.580.000}{6 \times 550} = 4.365.884 \text{ mm.}^3$$

*Remachadura.*—La remachadura que une el montante al alma de la brida superior se compone de 17 remaches de 20 mm., que trabajan por cizalle doble:

$$2 \times 17 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \times \theta = 72.800$$

$$\theta = 6,82 \text{ k./mm.}^2$$

En el extremo inferior del montante, la remachadura que une a éste la brida del arco (8 remaches de 20 mm. que trabajan por cizalle simple) debe resistir a la reaccion vertical de

$$30.400 \text{ ks.}$$

Admitiendo ademas que entren a resistir este esfuerzo de corte las dos tablas del I (400 × 19 mm.), se tendrá:

$$\left( 2 \times 400 \times 12 + 8 \times \frac{3,14 \times 20^2}{4} \right) \theta = 30400$$

$$\theta = 2,51 \text{ k./mm.}^2$$

*e) —Planchas de fundicion.*—La reaccion final, que se desarrolla en el apoyo inferior del arco, vale

$$116.800 \text{ ks.}$$

Ella es algo inclinada con relacion a la normal de la plancha de fundicion. Descompongámosla en (fig. 16)

$$\begin{array}{ll} \text{una componente normal} & CD = 116.360 \text{ ks.} \\ \text{»} & \text{»} \text{ tanjencial } AD = 7.000 \text{ »} \end{array}$$

Esta última es equilibrada por el rozamiento de las cuñas. La primera fatiga a la plancha de fundicion en

$$\frac{116.360}{2 \times 100 \times 400} = 1,43 \text{ k./mm}^2$$

La presion de la plancha sobre la piedra sillar valdrá

$$\frac{116.360}{60 \times 80} = 24,24 \text{ k./cm}^2$$

## § II. VERIFICACION DE LA ESTABILIDAD DEL ESTRIBO

Principiemos por calcular el valor de los esfuerzos solicitantes.

*a). Reacciones de los arcos.*—Hemos visto que, en el caso en estudio, las reacciones definitivas de cada arco sobre el estribo son: (fig. 45)

Un esfuerzo inclinado de 116.800 aplicado a 5,70 m. de su arista superior i cuyas componentes valen:

$$\begin{array}{ll} \text{componente vertical} & = 103.200 \text{ k.} \\ \text{»} & \text{horizontal} = 54.000 \text{ k.} \end{array}$$

Un esfuerzo inclinado de 102.955 k., aplicado contra el cielo de la galería de anclaje, dirigido según los tirantes de empotramiento i cuyos componentes valen:

$$\begin{aligned} \text{componente vertical} &= 72.800 \text{ k.} \\ \text{» horizontal} &= 72.800 \text{ k.} \end{aligned}$$

b) *Peso propio.*—Considerando un trozo de estribo de 3,00 m. de ancho, se tendrán los pesos ya obtenidos:

$$\begin{aligned} \text{seccion trapezoidal superior} &= 198.670 \text{ k.} \\ \text{» rectangular inferior} &= 247.750 \text{ »} \\ \text{peso negativo de la galería} &= 13.100 \text{ »} \end{aligned}$$

c) *Empuje de las tierras.*—El cálculo del empuje de las tierras ha sido hecho adoptando para el rozamiento de las tierras sobre el muro un ángulo de  $35^\circ$  igual al de tierras sobre tierras.

Se ha reconocido así que dicho empuje viene a favorecer a la resistencia del muro i, en consecuencia, se ha concluido que no debe tomarse en cuenta en el cálculo.

### *Depurados*

a.) El depurado 46 ha servido para verificar la estabilidad de la seccion trapezoidal superior del muro.

El tirante tiende a arrancar un trozo de albañilería, rompiendo a ésta según caras tales como *FE* i *HB*. Resulta de aquí que se opondrá al volcamiento no solo el peso del prisma trapezoidal superior, sino tambien el del prisma trapezoidal *AFE HB*, que vale

$$\frac{1}{2} \times 1,50 (8,16 + 1)3 \times 2300 = 47.403 \text{ k.}$$

Para mayor sencillez, tomaremos como cara de ruptura la *HB* prolongada hasta *F*. La resultante cae muy poco hácia afuera del tercio central i la presión en la arista *B* valdrá:

$$\frac{2}{3} \frac{183.000}{265 \times 300} = 1,54 \text{ k./cm.}^2$$

b.) En el depurado 47 hemos tomado en cuenta la totalidad del macizo.

La resultante cae fuera del tercio central, valiendo la presión en *D*:

$$\frac{2}{3} \frac{465.720}{250 \times 300} = 4,12 \text{ k./cm.}^2$$

## CAPÍTULO XI

## Tasas de trabajo

## § I. ROBLE-PELLIN

No sabemos que se hayan practicado en Chile esperiencias para determinar la resistencia del roble; debemos, en consecuencia, estudiar esta cuestion por comparacion con los resultados obtenidos en Europa sobre materiales análogos.

Las cualidades del roble-pellin, especialmente cuando es de superior clase, como el que exigimos, permiten clasificarlo entre las mejores maderas de construccion; no tememos pecar de exajerados al equiparlo a la encina en las consideraciones que siguen.

Claudcl, cuyos resultados estan de acuerdo con las esperiencias de Ponccle i Michel, admite para la encina, como carga de ruptura por flexion, 550 a 750 k. /cm.<sup>2</sup> En consecuencia, aceptaremos para la resistencia absoluta del roble a la ruptura

$$700 \text{ k. /cm.}^2$$

En cuanto al trabajo límite admisible, Claudcl aconseja fijarlo en una fraccion comprendida entre  $\frac{1}{7}$  i  $\frac{1}{10}$  de aquella cifra. Nosotros adoptaremos  $\frac{1}{10}$  para las piezas mayores de la superestructura, cuyo reemplazo es dificultoso, i  $\frac{1}{8}$  para las piezas aparentes que por las condiciones de su colocacion, estan llamadas a deteriorarse rápidamente.

En vista de estas consideraciones, podemos llegar a los cuadros que siguen:

a.) *Entablado*

Trabajo límite admisible.....	$\frac{1}{8} \times 700 = 87,5 \text{ k. /cm.}^2$
» máximo calculado.....	84,04 »

b.) *Longuerinas*

Trabajo límite admisible.....	$\frac{1}{10} \times 700 = 70$ »
» máximo calculado.....	64 »

## § II. FIERRO

Este material ha sido empleado en los travesaños, es decir, en piezas sometidas a esfuerzos de flexion de intensidad variable i de un mismo signo.

Para fijar la tasa práctica de fatiga hemos creído conveniente atenernos a la «Circular ministerial francesa de 29 de Agosto de 1891», que en su artículo 2.º dice:

«Para los trabajos de estension, compresion i flexion del fierro i del acero, se fijarán los límites siguientes, expresados en k. por mm.<sup>2</sup>:

para el fierro.....	6,5 k. /mm. <sup>2</sup>
para el acero.....	8,5 »

No obstante, estos límites se rebajarán respectivamente

para el fierro a.....	5,5 k. /mm. <sup>2</sup>
para el acero a.....	7,5 »

en los travesaños, longuerinas, etc.»

Podemos, en vista de estas cifras, establecer la comparacion que sigue:

*Travesaños*

Trabajo límite admisible.....	5,5 k. /mm. <sup>2</sup>
» máximo calculado.....	5,79 »

De esta última cifra corresponden 0,09 k. al esfuerzo del viento.

No vacilamos en admitir la fatiga de 5,79 k. aunque sea algo superior al límite fija- do anteriormente, por cuanto en el cálculo de los travesaños hemos considerado a éstos como piezas apoyadas en sus extremos, lo que evidentemente nos ha conducido a resulta- dos exajerados.

§ III. ACERO PARA LAS VIGAS

Siendo la luz del puente de 40 m., tiene aplicacion lo dispuesto en el artículo 2.º ya citado de la circular ministerial francesa con relacion a los proyectos de obras metálicas de luces superiores a 30 m. Se fija ahí el límite máximo del trabajo por estension del acero de las vigas maestras en 11,5 k. /mm.<sup>2</sup>

Nosotros creemos que no existe inconveniente para aceptar el máximum apuntado por el hecho de que las mayores fatigas se desarrollan en nuestro puente bajo acciones diversas que dificilmente podran concurrir con toda su intensidad en la práctica. No seria entónces racional reducir aquella tasa límite, lo que conduciría en circunstancias normales a secciones exajeradas.

En conformidad, pues, con los artículos 2.º i 5.º de la circular de que se ha hablado, fijamos la fatiga máxima para el acceso de las vigas en

11,50 k. /mm. <sup>2</sup>	sin viento
12,50 »	con viento.

Se prescribe, ademas, que se debe tener en cuenta la tendencia a flexion lateral de las piezas comprimidas; pero la circular no establece a este respecto fórmula alguna

En un estudio reciente, (\*) von Leber analiza detenidamente las fórmulas usadas con este objeto, llegando por último a proponer una espresion lineal recomendable por su sencillez i que adoptaremos en nuestros cálculos

$$i_0 = \frac{i}{1 + 0,01 \frac{L}{r}}$$

(\*) «Bulletin de la Commission Internationale du Congrès des Chemins de Fer.» (1900, Se- tiembre).

$i_0$  = trabajo máximo admisible en la pieza cargada de punta;

$i$  = trabajo máximo admisible sin flexion lateral;

$L$  = longitud calculada de la pieza, que en el caso de que se trata será la longitud verdadera;

$$r = \sqrt{\frac{I}{\Omega}} = \text{radio de jiracion con relacion al eje neutro de la pieza;}$$

$I$  = momento de inercia mínimo;

$\Omega$  = seccion trasversal.

Solo nos preocuparemos de la flexion lateral, cuando la longitud de la pieza comprimida sobrepasa a cinco veces su mas pequeña dimension trasversal.

Las consideraciones anteriores i el estudio detallado de las fatigas que se desarrollan en las distintas barras de las vigas i de los trabajos máximos admisibles correspondientes nos permiten formar el cuadro siguiente, en el cual aparecen consignadas las piezas que se encuentran en condiciones de sollicitacion mas desfavorables.

CUADRO XI

5  
ABRIL

DESIGNACION	ESTENSION				COMPRESION (de punta)							
	Tasa máxima admisible $i$ en k. /mm. <sup>2</sup>		Fatiga máxima calculada en k. /mm. <sup>2</sup>		Longitud L en mm.	Momento de inercia I en mm. <sup>4</sup>	Seccion $\Omega$ en mm. <sup>2</sup>	Radio de jiracion $r = \sqrt{\frac{I}{\Omega}}$ en mm.	Tasa máxima admisible en k. /mm. <sup>2</sup>		Fatiga máxima calculada en k. /mm. <sup>2</sup>	
	sin viento	con viento	sin viento	con viento					$i_0 = \frac{L}{1 + 0,01 \frac{L}{r}}$		sin viento	con viento
Brida superior 1	+11,50		+9,39									
» » 9					2025	25.754.272	7992	57	-8,52		-8,52	
Brida inferior 12	+11,50	+12,50	+4,81	+6,82								
» » 18					2053	48.254.272	10.992	66	-8,77	-9,54	-6,42	-7,59
Diagonal 34	+11,50		+7,93									
» 22					3960	1.779.679	3.000	24	-4,34		-0,66	
Montante 25	+11,50		+0,47									
» 0					4260	7.465.368	5.472	37	-5,35		-2,08	
» 23					3600	3.506.666	6.000	24	-4,60		-2,12	

PROYECTO DE PUENTE SOBRE EL RIO ITATA

## § IV.—ACERO PARA LOS CONTRAVIENTOS

El acero empleado para estas piezas es idéntico al que constituye las vigas principales. Tratándose de elementos sometidos a la acción del viento, adoptaremos como tasa de trabajo a la estension

$$12,50 \text{ k./mm.}^2$$

En los montantes, sometidos a esfuerzos de compresion se atenderá a la fórmula

$$i_0 = \frac{12,50}{1 + 0,01 \frac{L}{r}}$$

Para los que son formados por 2 cantoneras de  $\frac{80 \times 80}{10}$

$$\begin{aligned} L &= 3.260 && \text{mm.} \\ I &= 1.779,679 && \text{mm.}^4 \\ \Omega &= 3.000 && \text{mm.}^2 \\ r &= 24 && \text{mm.} \\ i_0 &= \frac{12,50}{1 + 0,01 \times 136} = 5,25 \text{ k./mm.}^2 \end{aligned}$$

Para las 2 cantoneras de  $\frac{60 \times 60}{6}$

$$\begin{aligned} L &= 3.260 && \text{mm.} \\ I &= 466.632 && \text{mm.}^4 \\ \Omega &= 1.368 && \text{mm.}^2 \\ r &= 18,5 && \text{mm.} \\ i_0 &= \frac{12,50}{1 + 0,01 \times 176} = 4,53 \text{ k./mm.}^2 \end{aligned}$$

En vista de estas cifras, podemos concluir:

## a) diagonales verticales

trabajo límite admisible.....	+	15,50 k./mm. <sup>2</sup>
» máximo calculado.....	+	1,52 »

## b) diagonales horizontales

trabajo límite admisible.....	+	12,50 »
» máximo calculado.....	+	6,26 »

## c) montantes

tipo de 2 cantoneras de $\frac{60 \times 80}{60}$		
trabajo límite admisible.....	-	5,25 »
» máximo calculado.....	-	2,41 »
tipo de 2 cantoneras de $\frac{60 \times 60}{6}$		
trabajo límite admisible.....	-	4,53 »
» máximo calculado.....	-	4,58 »

(Continuará)