Puente colgante con viga de rigidez

por

F. Escobar

(Continuación)

Esfuerzos de corte

Sabemos ya que el valor de p es de 1 000 Kgs. p. m. l.

$$\tfrac{1}{2}\text{p l} = \tfrac{1}{2}1\,000 \times 60 = 30\,000 \text{ Kgs.}$$

Estando totalmente cargado el tramo los esfuerzos de corte en cada sección X son dados por

$$\text{Total V} = \frac{1}{2}\,p\left(L-2x\right)\left(1-\frac{8}{5N}\right)$$

$$= \frac{1}{2}\,p\left(L-2x\right)0{,}11$$

$$= \frac{1}{2}\,pL\left(1-\frac{2X}{L}\right)0{,}11$$

$$= 3\,300\left(1-\frac{2X}{L}\right)$$

En el cuadro siguiente va el resultado del cálculo.

Secciones	$1-\frac{2\times}{L}$	Total V en gs.
0	1	3 300
0,1	0,8	2 640
0,2	0,6	1 980
0,3	0,4	1 320
0,4	0,2	660
0,5	0	0

Los esfuerzos de corte máximas son dadas por la fórmula:

$$\text{Max V} = \frac{1}{2}\, pL \left(1-\frac{x}{L}\right)^2 \left[1-\frac{8}{N}\left(\frac{1}{2}-\frac{x}{L}\right).G\frac{x}{L}\right]$$

Los valores de $G\left(\frac{x}{L}\right)$ se han tomado de la tabla I.

El resultado del cálculo va en la tabla siguiente:

Secciones $\frac{x}{L}$	$\left(1-\frac{x}{L}\right)^2$	$\frac{8}{N}\left(\frac{1}{2}-\frac{x}{L}\right)$	$G\left(\frac{x}{L}\right)$	$[\ ]$	Max V
0	1	2,22	0,400	0,112	+ 3 360+6 613
0,1	0,81	1,776	0,482	0,144	+ 3 500+3 225
0,2	0,64	1.332	0,565	0,248	+ 4 762+744
0,3	0,49	0,888	0,647	0,426	+ 6 262
0,4	0,36	0,444	0,726	0,678	+ 7 322
0,5	0,25	0	0,800	1	+ 7 500

Para las secciones $\times < \frac{L}{2}\left(1-\frac{N}{4}\right) = 0{,}275$ L la carga que da el V max debe entenderse desde la sección $\times$ hasta el punto crítico K L definido por:

$$C(K) = \frac{N}{4}\,\frac{L}{L-2\times} = \frac{0{,}45}{1-\frac{2\times}{L}}$$

Los valores de K se han obtenido con ayuda del gráfico (fig. 7).

En el cuadro siguiente van los valores.

Secciones	$1 - \frac{2\times}{L}$	C (K)	K.
0	1	0,450	0,365
0,1	0,8	0,5625	0,450
0,2	0,6	0,750	0,607

Para estas secciones hay que corregir los valores de V ya encontrados agregando un V adicional. Este esfuerzo de corte adicional es dado por.

$$\text{Add V} = \frac{1}{2} p_L \left(1 - K\right)^2 \left[\frac{8}{N}\left(\frac{1}{2} - \frac{X}{L}\right) G(K) - 1\right]$$

Secciones $\frac{X}{L}$	K	$(1-K)^2$	$\frac{8}{N}\left(\frac{1}{2} - \frac{X}{L}\right)$	(G (K)	[ ]	Add V
0	0,365	0,403	2,22	0,697	0,547	+ 6 613
0,1	0,450	0,302	1,776	0,764	0,356	+ 3 225
0,2	0,607	0,154	1,332	0,872	0,161	+ 744

El gráfico de la (fig. 7) nos da G (K) de los valores de C (K).

Los esfuerzos de corte mínimos son dados por:

$$\text{Min V} = \text{Total V} - \text{Max V}$$

En el cuadro siguiente va el resultado del cálculo.

Secciones	Total V Kgs.	Max V Kgs.	Min V Kgs.
0	+ 3 300	+ 9 973	— 6 673
0,1	+ 2 640	+ 6 725	— 4 085
0,2	+ 1 980	+ 5 536	— 3 556
0,3	+ 1 320	+ 6 262	— 4 942
0,4	+ 660	+ 7 322	— 6 662
0,5	0	+ 7 500	— 7 500

La componente vertical del viento produce también esfuerzos de corte que debemos considerar.

Sabemos que:

$$p = 86 \text{ Kg. p. m. !}$$

Siguiendo el camino indicado anteriormente se ha llegado a los siguientes valores:

Secciones	Total V Kg.	Max V Kg.	Min V Kg.
0	+ 284	+ 858	— 574
0,1	+ 227	+ 578	— 351
0,2	+ 170	+ 473	— 303
0,3	+ 113	+ 538	— 425
0,4	+ 57	+ 630	— 573
0,5	0	+ 645	— 645

Esfuerzos de corte producidos por la temperatura

Están dados por:

$$V_t = -H_t \, (\mathrm{tg}\ \phi - \mathrm{tg}\ \alpha)$$

En nuestro caso $\mathrm{tg}\ \alpha = 0$

$Ht \quad \underline{+} = 4000$ Kgs.

En la pila $\mathrm{tg}\ \rho = \dfrac{4f}{l} = 0{,}4$

Sección	tg ρ	V t
0	0,4	$\underline{+}$ 1 600
0,1	0,32	$\underline{+}$ 1 280
0,2	0,24	$\underline{+}$ 960
0,3	0,16	$\underline{+}$ 640
0,4	0,08	$\underline{+}$ 320
0,5	0	0

Resumiento tenemos:

Seccion	V	$F = \dfrac{V}{\cos\alpha}$	Coeficiente de seguridad	Diagonales comprimidas Perfiles	Diagonales tendidas Perfiles	Remaches
0	12431	22826	3,7	⅂Γ 100×10	⅂Γ 75×10	4 de 23 m/m
0,1	8583	15760	3,1	⅂Γ 80×8	⅂Γ 70×9	4 de 20 "
0,2	6969	12797	3,4	⅂Γ 75×8	⅂Γ 60×8	3 de 20 "
0,3	7440	13662	3,2	⅂Γ 75×8	⅂Γ 60×8	3 de 20 "
0,4	8272	15789	3,2	⅂Γ 80×8	⅂Γ 70×9	3 de 20 "
0,5	6145	12636	3,4	⅂Γ 75×8	⅂Γ 60×8	3 de 20 "

$\cos\alpha = 0{,}5446$ $\qquad l = 238$ cm.

Nota: En el cuadro anterior va incluído el resultado del cálculo de las diagonales de la viga.

Los montantes sufren todos la misma fatiga y estarán constituídos por 2 cantoneras de $\dfrac{70\times 70}{7}$ llevarán dos remaches de 20 m|m.

Péndolas

El mayor esfuerzo en los péndolas es:

$$F = \frac{H\ max\ 8f\ \lambda}{L^2} = \frac{107\times 8\times 6\times 2}{60^2} \overset{tn}{} = 2{,}9 \text{ tn.}$$

Se usará fierro redondo de 1″ o 25 m|m.

Flecha

La flecha del puente con la carga uniformemente repartida es aproximadamente:

$$\delta p = \frac{5}{384}\ \frac{p^{L^4}}{E\,I}\left(\frac{1-\beta}{0{,}11}\right) =$$

$$= \frac{5}{384}\ \frac{1000\times 12960000}{20000000000\times 0{,}0055}\times 0{,}11 = \overset{mt.}{0{,}168}$$

La temperatura produce una flecha de:

$$d_t = \pm\frac{5}{384}\left(\frac{8H_t\,f}{L^2}\right)\frac{L^4}{E\,I}$$

$$= \pm\frac{5}{384}\left(\frac{8\times 4000\times 6}{\overline{60}^{\,2}}\right)\frac{\overline{60}^{\,4}}{20000000000\times 0{,}0055}$$

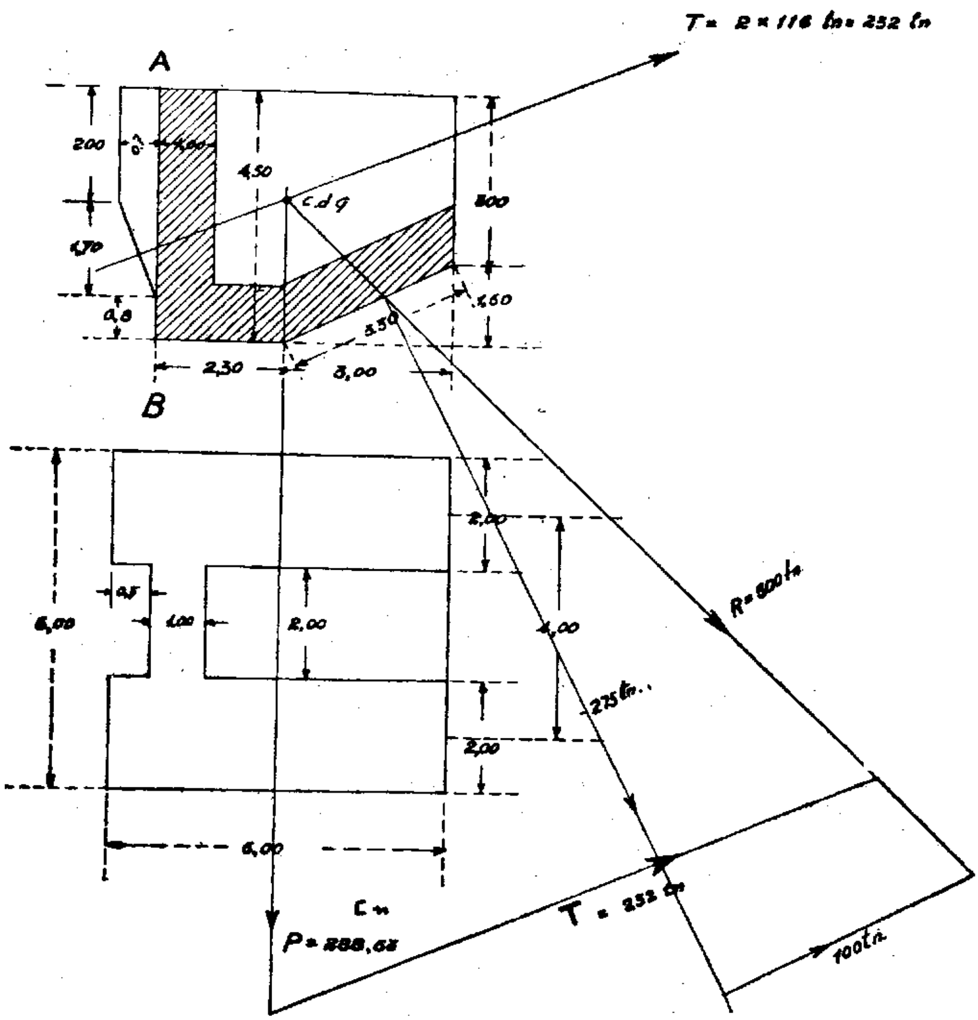
$$= \pm\ \overset{mt.}{0{,}0817}$$

Podríamos darle al puente una contraflecha de $\overset{m}{0{,}20}$

Cálculo de los anclajes.

En las páginas siguientes va detallado el cálculo de los anclajes.

Se han hecho huecos en parte para utilizar el peso de las tierras y economizar albañilería. La forma que se ha dado al macizo tiende a evitar el deslizamiento. Debe procurarse mantener en seco los anclajes a fin de contrarrestar el deslizamiento, para lo cual deberá estudiarse el desagüe del terreno.



Cálculo de la pila

Cubo total = 112,58 m³ × 2,2 = = 247,67

" *relleno* = 25,6 m³ × 1,6 = 40,96

Peso total 288,63 tn

2(2,3 × 2 × 4,5)	41,40 m³ × 2,2	91,08 × 1,15 = 104,74 tn.m	*Se ha tomado momentos con respecto a A B*
$2\left(\frac{4,5+3}{2}\ 3,2\right)$	45,00 " × 2,2	99,00 × 3,7 366,3 "	
2 × 1 × 4,5	9,00 " × 2,2	19,8 × 0,5 = 9,9 "	
1,3 × 2 × 1	2,6 " × 2,2	5,72 × 1,65 9,438 "	
3,3 × 2 × 1	6,6 " × 2,2	14,52 × 3,70 = 53,72 "	
2(2,85 × 0,7 × 2)	7,98 " × 2,2	17,55 × (−0,35) = −6,14	
	112,58 × 2,2	247,67 tn 544,098 − 6,14	537,958 tnm digamos 538 tnm

$$C \text{ de } G \text{ de la mamposteria} = \frac{538}{247,67} = 2,17$$

1,3 × 2 × 3,5	9,1 × 1,6	14,56 × 1,65	= 24,02 tn
$\frac{2,5+3}{2} \times 3 \times 2$	16,5 × 1,6	26,40 × 3,70	= 97,68 "
	25,6 × 1,6	40,96	121,70 "

C de G del conjunto

$$\frac{538 + 121,7}{247,67 + 40,96} = \frac{659,7}{288,63} = 2,28^{m}$$

Coeficiente de rozamiento.—

La componente normal a la base vale 275 tn.

i la paralela a la base vale 100 tn

el coeficiente de rozamiento es $tg\ f = \frac{100}{275} = 0,363$

La pila será de concreto armado y se calculará como un marco rígido que descansa sobre rótulas o sea articulado en la base.

El esfuerzo vertical vale:

$$F = 2\ H\ tg.\ \alpha = 2 \times 107 \times 0,4 = 85,6 \text{ tn.}$$

Peso propio del pilar	2
	87,6 tn.

digamos 88 tn.

No deduciremos la reacción de la viga de rigidez y con esto quedaremos con mayor seguridad. El esfuerzo del viento, sobre la viga es recibido por el contraviento, y se transmite al estrilo. Sobre la pila obra la acción del viento en los cables y tirantes o péndolas y sobre sí misma.

Supongamos que el diámetro opuesto al viento por los cables sea de 0,10.

Tenemos entonces que la superficie opuesta al viento es:

Cables $30 \times 0{,}10$	$= 3$ m^2.
15 péndolas	$= 0{,}50$ m^2.
Total	$3{,}50$ m^2.

digamos 4 m^2.

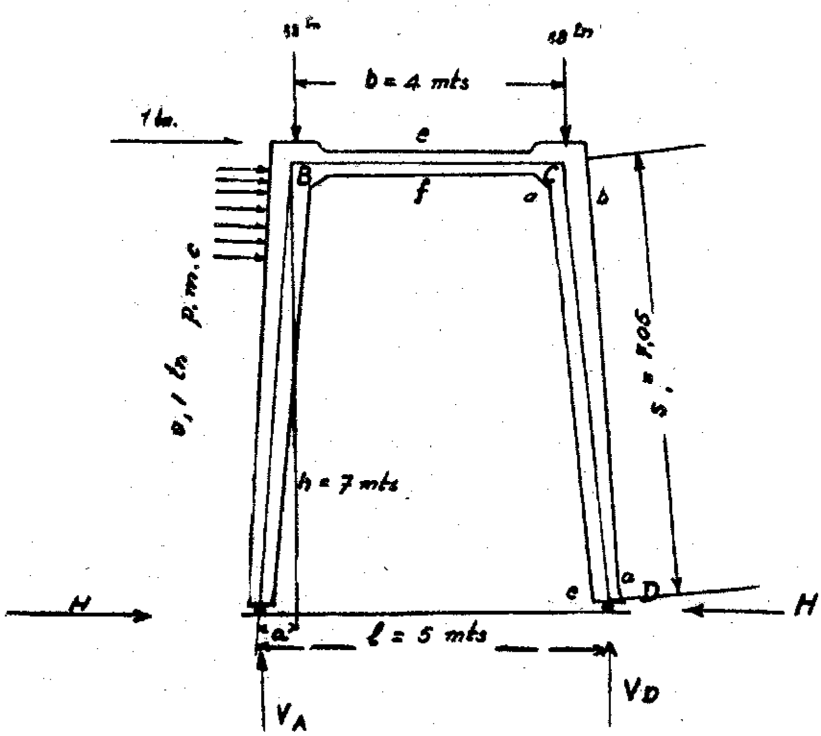
Con viento de 250 Kgs. por m^2. tenemos un esfuerzo de:

$$4 \times 0{,}250 = 1 \text{ ton.}$$

Suponiendo que la pila tenga un ancho opuesto al viento de 0,40, el empuje del viento será:

$$0{,}4 \times 0{,}250 = 0{,}1 \text{ ton. p. m. c.}$$

La solicitación de la pila será entonces la indicada en la fig. adjunta a continuación.



Consideremos primero las fuerzas verticales.

$$V_A = V_D = 88 \text{ tn.}$$

$$H = \frac{Pa}{h} = \frac{88 \times 0{,}5}{7} = 6{,}3 \text{ tn.}$$

$$M_B = M_C = 0$$

Para A B y C D, $N = \frac{88 \quad 7}{7} + \frac{6{,}3 \times 0{,}5}{7} = +88{,}44$ tn.

Para B C $\quad N = \qquad\qquad = +6{,}3$ tn.

Dada la pequeña inclinación de las piernas del marco hemos tomado el largo de una pierna igual a la altura.

Para la fuerza concentrada del viento igual a 1 tn. tenemos:

$$V = P\frac{h}{l} = 1\frac{7}{5} = 1{,}4 \text{ tn.}$$

$$H = \frac{P}{2} = \qquad = 0{,}5 \text{ tn.}$$

$$M_B = +V(l\text{-}a) - Hh = 1{,}4 \times 4{,}5 - 0{,}5 \times 7 = +2{,}8 \text{ tnm.}$$

$$M_C = +V_A - Hh = 1{,}4 \times 0{,}5 - 0{,}5 \times 7 \qquad = -2{,}8 \text{ tnm.}$$

Para A B, $N = -1{,}4\frac{7}{7} - \left(0{,}5 - \frac{0{,}5}{2}\right)\frac{0{,}5}{7} = -1{,}42$ tn.

Para B C, $N = +H \qquad\qquad = +0{,}5$

Para C D, $N = +1{,}4\frac{7}{7} + 0{,}5 \times \frac{05}{7} \qquad = +1{,}435$ tn.

Para la carga uniforme de 0,1 tn. p. m. c. tenemos:

$$V = \frac{q\,h^2}{2\,l} = \frac{0{,}1 \times 49}{10} = 0{,}49 \text{ tn.}$$

$$H = \frac{q\,h}{8}\,\frac{5\,K+6}{2\,K+3} = \frac{0{,}1 \times 7}{8}\,\frac{8{,}75+6}{3{,}5+3} = 0{,}198 \text{ tn.}$$

$$K = \frac{s.}{b} = \frac{7}{4} = 1{,}75$$

$$M_B = +V(l\text{-}a) - H\,h = +0{,}49 \times 4{,}5 - 0{,}198 \times 7 = +0{,}82 \text{ tn. m.}$$

$$M_C = +Va - H\,h = +0{,}245 - 1.386 = -1{,}14 \text{ tn. m.}$$

$$\text{Para A B, } N \times = -V\,\frac{h}{s,} - \left(q\,h - H - \frac{q\,h \times}{a}\right)\frac{a}{s.}$$

Siendo $\times = 0$

$$N = -0{,}49\frac{7}{7} - (0.1 \times 7 - 0{,}198)\,\frac{C5}{7} = -0{,}454 \text{ tn.}$$

$$\text{Para B C, } N = +H = \qquad = +0{,}198 \text{ tn.}$$

$$\text{Para C D, } N = +V\frac{h}{s} + H\frac{a}{s} = 0{,}49\,\frac{7}{7} + 0{,}198\,\frac{05}{7} = +0{,}504 \text{ tn.}$$

Resumiendo tenemos:

$$M_B = +2{,}8 + 0{,}82 = +3{,}62 \text{ tn. m.}$$
$$M_C = -2{,}8 - 1{,}14 = -3{,}94 \text{ tn. m.}$$

Para A B
$$\begin{cases} N = +88\;44 \text{ tn.} & \\ N = & -1\;42 \\ N = & -0\;454 \\ \hline +88\;44 & -1{,}874 = 87 \text{ tn.} \end{cases}$$

en número redondo:

Para B C
$$\begin{cases} N = +6{,}3 \text{ tn} \\ N = +0{,}5 \\ N = +0{,}198 \\ \hline 6{,}998 \text{ tn digamos 7 tn.} \end{cases}$$

$$\text{Para C D} \quad \left\{ \begin{array}{l} N = +88{,}44 \text{ tn.} \\ N = +1{,}435 \text{ tn.} \\ N = +0{,}504 \text{ tn.} \\ \hline \quad 90{,}379 \text{ tn.} \end{array} \right.$$

$$H \quad \left\{ \begin{array}{l} 6{,}3 \text{ tn.} \\ 0{,}5 \text{ ton.} \\ 0{,}198 \text{ tn.} \\ \hline 6{,}998 \text{ digamos } 7 \text{ tn.} \end{array} \right.$$

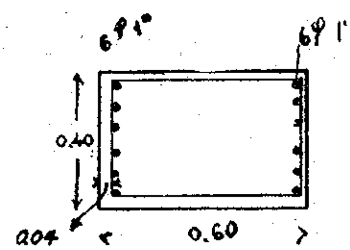
Cálculo de las secciones

Sección en C

$$Mc = 4 \text{ tn. m.}$$

$$Nc_{D} = 90{,}5 \text{ tn.}$$

Ensayemos la sección de la fig. adjrnta,



Corte a-b

$$I = \frac{1}{12} 40 + \overline{60}^3 + 2 \times 15 \times 30 \times \overline{26}^2$$

$$= 1328400 \text{ cm.}^4$$

$$\Omega = 2400 + 30 \times 30 = 3300 \text{ em.}^2$$

$$R = \frac{M\,V}{I} + \frac{N}{\Omega} = \frac{400000 \times 30}{1328400} + \frac{90500}{3300}$$

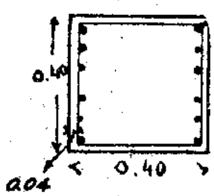
$$=36{,}45 \text{ Kgs. por cm.}^2$$

El valor $$\frac{M}{N\,d} = \frac{400000}{90500 \times 60} = 0{,}07$$

Se ve que podemos suponer que la sección entera trabaja a la compresión dada la pequeña excentricidad de la fuerza.

En la base la sección estará fijada por N. La sección del pilar irá disminuyendo hacia la base.

Supongamos en la base una sección como la de la fig. adjunta.



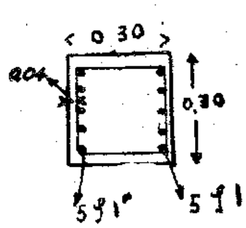
Corte c-d

$$\Omega = 2500 \text{ cm.}^2$$

$$\frac{N}{\Omega} = \frac{90500}{2500} = 36{,}2 \text{ Kg. p. cm.}^2$$

Cálculo del travesaño superior

Véase fig. adjunta.



Corte e-f

$$N = 7 \text{ tn.}$$

$$M = 4 \text{ tn. m.}$$

$$I = \frac{1}{12} 30 \times \overline{30}^3 + 2 \times 15 \times 25 \times \overline{11}^2 = 158250 \text{ cm.}^4$$

$$\Omega = 900 + 30 \times 25 = 1650 \text{ cm.}^2$$

$$R = \frac{M\,V}{I} + \frac{N}{\Omega} = \frac{400000 \times 15}{158250} + \frac{7000}{1650} = 42{,}15 \text{ Kgs. p. cm.}^2$$

Cálculo de la articulación.

Se usará articulación tipo Mesnager.

El peso que obra en la articulación es de 905 tn. Haciendo trabajar al acero o 800 Kgs. por cm.2 necesitaríamos una sección de :

$$\frac{90500}{800} = 114 \text{ cm.}^2$$

Usando banos de r'' cuyas secciones de 5,07 cm.2 necesitaríamos un número de banos igual a:

$$\frac{114}{5{,}07} = 23 \text{ barras.}$$

La profundidad de estas barras en el cemento está dada por

$$l = 44{,}6 \text{ d} = 44{,}6 \times 2{,}54 = 113{,}28 \text{ cm.}$$

(*Concluirá*)
