

PUENTES PROVISORIOS

PARA FERROCARRILES DE TROCHA ANCHA

ESTUDIO JENERAL I APLICACION A UN TIPO DE 48.00 M. DE LUZ TEÓRICA

POR

RAUL CLARO SOLAR

(Continuacion)

§ II. Sistema de cálculo

Las vigas maestras del puente son enrejados sistema Howe doble. Para el estudio de los esfuerzos interiores que se desarrollan en sus diversos elementos bajo la influencia de las acciones solicitantes, vamos a descomponer cada viga en dos enrejados Howe sencillos, cuyos esquemas serán los que se indican en la figura 13.

Admitiremos ademas en el cálculo que los esfuerzos exteriores se reparten por mitad entre ambos enrejados.

Por fin consideraremos que las cabezas resisten a los momentos de flexion i los montantes i diagonales a los esfuerzos de corte.

§ III. Cálculo de las cabezas

I. OBSERVACION.—Antes de entrar al desarrollo de este cálculo, observaremos que las cabezas de los dos enrejados sencillos en que hemos descompuesto cada viga van a ser respectivamente iguales entre sí, prismáticas i de seccion constante en toda su longitud; al mismo tiempo las cabezas inferiores tienen mayor seccion que las superiores, para resistir a la flexion secundaria que sufren por efecto de los travesaños intermedios.

Observando los esquemas anteriores (fig. 13) podemos ver que el cálculo de la cabeza superior del enrejado número 1, se hará por medio de la ecuacion

$$M_{1s} = t \omega h$$

De la misma manera, la ecuacion que nos dará la seccion ω de la cabeza superior del enrejado número 2 será:

$$M_{21} = t \omega h$$

Pero como:

$$M_{1s} < M_{21}$$

i como ademas vamos a hacer iguales las secciones ω , no hai interes en hacer uso de la primera ecuacion i por consiguiente en conocer el momento M_{1s} .

Por otra parte, para calcular las cabezas inferiores, cuyas secciones son tambien iguales, nos bastará por una razon análoga conocer el momento M_{24} .

En definitiva las ecuaciones que nos van a permitir determinar las secciones ω i ω' de las cabezas de ámbos enrejados son:

$$M_{21} = t h \omega \quad (1)$$

$$M_{24} = t' \omega' h \quad (2)$$

Los valores de M_{21} i M_{24} que debemos reemplazar en ellas serán los que corresponden a la mitad de cada una de las acciones solicitantes, o sea la mitad de los momentos correspondientes a dichos esfuerzos i que vamos a calcular:

2. CÁLCULO DE M_{24} .—a) *Peso muerto*.—El peso muerto es una carga fija que consideramos uniformemente repartida, i que vale

$$1500 \text{ k/m. c. de viga.}$$

El momento máximo en el medio, será:

$$\frac{1}{8} \times 15 \times 4800^2 = 43.200.000 \text{ k. cms.}$$

b) *Sobrecarga rodante*.—Para determinar el momento máximo en el medio debido a la carga rodante hemos construido el depurado de la viga móvil, que puede consultarse en los planos adjuntos, i fijado en él la posicion mas desfavorable de dicha sobrecarga. Ella nos da para el valor del momento máximo en el punto medio del tramo:

$$82.900.000 \text{ k. cms.}$$

c) *Viento*.—Al estudiar los esfuerzos solicitantes de las vigas del puente, hemos visto que la accion del viento sobre el tren tiene por efecto recargar la viga del lado opuesto al viento con una carga uniformemente repartida de

$$180 \text{ k|m. c.}$$

que obra de la misma manera que lo hace el tren.

Sabemos que, en el caso de una sobrecarga uniformemente repartida móvil, el momento máximo se produce cuando ella cubre todo el puente. Segun esto dicho momento máximo vale en el medio:

$$\frac{1}{8} \times 1,80 \times 4800^2 = 5.184.000 \text{ k. cms.}$$

d) *Resumen.*—Resumiendo lo anteriormente espuesto tendremos para los valores de los momentos en el medio de la viga:

peso muerto.....	43.200.000 k. cms.
sobrecarga rodante.....	82.900.000 »
viento (ac. vertical).....	5.184.000 »

Debemos observar aquí que el momento que tomamos para el viento es algo exajerado por cuanto, cuando se produce el momento máximo debido a la carga rodante, el tren no cubre todo el puente; pero no hemos querido detenernos en un cálculo exacto, vista la poca importancia relativa del error cometido.

Partiendo de una observacion ya formulada, los valores de M_{24} que debemos reemplazar en la fórmula (2) serán:

peso muerto:	$\frac{1}{2} \times 43.200.000 = 21.600.000$ k. cms.
sobrecarga rodante:	$\frac{1}{2} \times 82.900.000 = 41.450.000$ »
viento (ac. vertical):	$\frac{1}{2} \times 5.184.000 = 2.592.000$ »

3. CÁLCULO DE M_{21} .—a) *Peso muerto.*—El momento correspondiente vale, observando que el peso muerto es igual a 15 k/cm. c., que la luz del puente es de 4.800 cms. i que el punto en que se toma el momento dista 2.100 cms. del apoyo:

$$15 \times 2400 \times 2100 - \frac{1}{2} \times 15 \times 2100^2 = 42.525.000 \text{ k. cms.}$$

b) *Sobrecarga rodante.*—El depurado de la viga móvil nos da para el momento máximo en el nudo de que se trata:

$$81.900000 \text{ k. cms.}$$

c) *Viento.*—Cuando el tren cubre todo el puente, el momento que buscamos vale:

$$1,80 \times 2400 \times 2100 - \frac{1}{2} \times 1,80 \times 2100^2 = 5.103.000 \text{ k. cms.}$$

d) *Resumen.*—En resumen, tenemos como valores del momento en el nudo 21 para las diversas acciones solicitantes:

peso muerto.....	42.525.000 k. cms.
sobrecarga rodante.....	81.900.000 »
viento (ac. vertical).....	5.103.000 »

Como ántes, el momento que tomamos para el viento es algo exajerado.

En vista de estas cifras, los valores de M_{21} que debemos reemplazar en la fórmula (1) serán:

$$\text{peso muerto: } \frac{1}{2} \times 42.525.000 = 21.262.500 \text{ k. cms.}$$

$$\text{sobrecarga rodante: } \frac{1}{2} \times 81.900.000 = 40.950.000 \quad \gg$$

$$\text{viento (ac. vertical): } \frac{1}{2} \times 5.103.000 = 2.551.500 \quad \gg$$

4. TASAS DE TRABAJO. a) *Cabeza superior.* — Tenemos la fórmula

$$M_{21} = t \omega h \quad (1).$$

De donde:

$$t = \frac{M_{21}}{\omega h}$$

Vamos a proceder por comprobación, calculando la tensión t para una sección ω fijada a priori. Como la cabeza superior se compone de cuatro piezas de $15 \times 32,5$ cms.

$$\omega = 2 \times 15 \times 32,5 = 975 \text{ cm}^2$$

$$h = 600 \text{ cms.}$$

Tendremos:

$$\text{peso muerto: } t = \frac{21.262.500}{975 \times 600} = 36,35 \text{ k/cm.}^2$$

$$\text{sobrecarga rodante: } t = \frac{40.950.000}{975 \times 600} = 70,00 \quad \gg$$

$$\text{viento (ac. vertical): } t = \frac{2.551.500}{975 \times 600} = 4,36 \quad \gg$$

b) *Cabeza inferior.* — Se compone de cuatro piezas de $15 \times 42,5$, pero hai que descontar en una de ellas tres agujeros para pernos de 3,2 cms. de diámetro. En la fórmula (2):

$$t' = \frac{M_{24}}{\omega' h}$$

$$\omega' = \frac{1}{2} (4 \times 15 \times 42,5 - 3 \times 3,2 \times 15) = 1203 \text{ cm.}^2$$

$$h = 600 \text{ cms.}$$

Tendremos

$$\text{peso muerto: } t' = \frac{21.600.000}{1203 \times 600} = 29,92 \text{ k/cm}^2$$

$$\text{sobrecarga rodante: } t' = \frac{41.450.000}{1203 \times 600} = 57,42 \text{ »}$$

$$\text{viento (ac. vertical) } t' = \frac{2.592.000}{1203 \times 600} = 3,59$$

Pero esta cabeza se encuentra solicitada localmente por la flexion secundaria debida al travesaño entre nudos. No nos ocuparemos del trabajo por cizalle, debido a este mismo travesaño, porque queda asegurado a priori.

Al hacer el cálculo del travesaño, hemos visto que las reacciones máximas que transmite a las cabezas inferiores de las vigas valen:

peso muerto:	719,41	}	1.495,00 k.
a lo que debemos agregar el peso propio de un trozo de cabeza de 3,00 m. de largo:	775,59		
sobrecarga rodante:			11.400,00 »
viento (ac. vertical):			270,00 »

Observando que la cabeza inferior puede considerarse como una pieza sobre varios apoyos i, por consiguiente, parcialmente empotrada en sus extremos, creemos lójico evaluar el momento máximo tomando en cuenta esta circunstancia.

En vista de que la sollicitacion de que nos ocupamos se acerca mas al empotramiento que al apoyo, i refiriéndonos a las consideraciones formuladas al hacer el cálculo del travesaño, creemos prudente reducir en un 40 % el momento máximo que corresponderia al caso de una pieza apoyada, lo que se obtendrá multiplicando esos momentos por $\frac{3}{5}$. Se tendrá así para cada una de las fuerzas solicitantes:

$$\text{peso muerto: } \frac{3}{5} \times \frac{1}{4} \times 1495 \times 300 = 67.275 \text{ k. cm.}$$

$$\text{sobrecarga rodante: } \frac{3}{5} \times \frac{1}{4} \times 11400 \times 300 = 513.000 \text{ »}$$

$$\text{viento (ac. vertical): } \frac{3}{5} \times \frac{1}{4} \times 270 \times 300 = 12.150 \text{ »}$$

Como el módulo de flexion de la cabeza inferior vale

$$\frac{60 \times 42,5^2}{6} = 18.062 \text{ cm}^3$$

las fatigas máximas por estension serán:

$$\begin{aligned} \text{peso muerto:} & \quad \frac{67.275}{18.062} = 3,72 \text{ k/cm.} \\ \text{sobrecarga rodante:} & \quad \frac{513.000}{18.062} = 28,40 \text{ »} \\ \text{viento (ac. vertical):} & \quad \frac{12.150}{18.062} = 0,67 \text{ »} \end{aligned}$$

Agregando este trabajo suplementario al que sufre la cabeza como parte de las vigas principales, tendremos para las fatigas máximas por estension:

$$\begin{aligned} \text{peso muerto:} & \quad 28,26 + 3,72 = 31,98 \text{ k/cm.} \\ \text{sobrecarga rodante:} & \quad 54,18 + 28,40 = 82,58 \text{ «} \\ \text{viento (ac. vertical):} & \quad 3,39 + 0,67 = 4,06 \text{ »} \end{aligned}$$

c) *Resúmen.*—En el cuadro siguiente, hemos colocado las tasas de trabajo máximas correspondientes a las cabezas de las vigas principales.

ESFUERZOS	TRABAJO EN K/CM ²	
	CABEZA SUP.	CABEZA INF.
Peso muerto i sobre carga rodante.....	106,35	119,46
Viento (ac. vertical).....	4,36	4,26
TOTALES.....	110,71	123,72

§ IV. Cálculo del enrejado

1. OBSERVACION.—El enrejado, es decir los montantes i diagonales, está destinado a resistir a los esfuerzos de corte que corresponden a las diversas acciones solicitantes. En consecuencia, debemos calcular el esfuerzo de corte máximo en cada nudo.

2. CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS DE CORTE MÁXIMOS EN LOS NUDOS.—a) *Peso muerto.*—Hemos visto que el peso muerto es una sobrecarga uniforme de 750 k. por metro corrido de enrejado simple. Esta carga obra parte por accion directa i parte por accion indirecta; pero, para no complicar el cálculo, admitiremos que toda ella obra por accion indirecta.

En el depurado correspondiente hemos trazado la envolvente de los esfuerzos de corte.

b) *Sobrecarga rodante.*—Hemos construido la envolvente de los esfuerzos de corte máximos para la sobrecarga rodante; ella aparece dibujada en el tercero de los depurados adjuntos.

Naturalmente hemos tomado para cada rueda la mitad de su peso efectivo, para aplicar al cálculo de cada uno de los enrejados simples.

c) *Viento.*—La accion vertical del viento equivale tambien a una sobrecarga móvil uniformemente repartida, que obra por accion indirecta i que vale para cada enrejado simple

$$\frac{180}{2} = 90 \text{ k/m. c.}$$

La envolvente de los esfuerzos de corte debida a esta accion aparece dibujada en el quinto de los depurados que se acompañan.

d) *Resúmen.*—Hemos construido la envolvente de los esfuerzos de corte máximos que se desarrollan en los nudos de ambos enrejados elementales bajo la accion simultánea del peso muerto i de la sobrecarga rodante, i hemos fijado así los paños en que las diagonales deben cruzarse. Por lo demas, en este depurado i en el que se refiere a la accion vertical del viento podemos medir los esfuerzos que obran sobre los montantes i diagonales i formar con ellos el cuadro que sigue:

Esfuerzos	ESFUERZOS EN LAS BARRAS								
	ENREJADO N.º 1				ENREJADO N.º 2				
	Montantes		Diagonales		Montantes		Diagonales		
Peso muerto i sobrecarga rodante.	m_1	45.333	d_1	73.167	μ_1	51.500	δ_1	57.833	
	m_2	33.667	d_2	55.833	μ_2	39.167	δ_2	64.667	
	m_3	22.333	d_3	39.667	μ_3	28.000	δ_3	47.833	
	m_4	11.667	d_4	24.167	μ_4	17.000	δ_4	31.667	
			d_5	9.833			δ_5	16.833	
							δ_6	3.667	
	Viento (accion vertical.)	m_1	1.783	d_1	2.900	μ_1	2.050	δ_1	2.300
		m_2	1.342	d_2	2.190	μ_2	1.558	δ_2	2.520
m_3		942	d_3	1.620	μ_3	1.142	δ_3	1.890	
m_4		610	d_4	1.083	μ_4	758	δ_4	1.390	
			d_5	683			δ_5	866	
							δ_6	500	

2. TASAS DE TRABAJO.—Valiéndonos de los datos consignados en el cuadro anterior i partiendo de las secciones transversales asignadas a las distintas piezas de los enrejados, podemos deducir las tasas de trabajo correspondientes.

Para hacer esta deducccion debemos observar que se puede considerar que los tirantes de fierro, montantes de los enrejados, no presentarán para resistir a la traccion otra seccion que la de su núcleo. Por este motivo hemos fijado en cada caso el diámetro del núcleo al lado del del perno.

En cuanto a las diagonales ellas son piezas cargadas de punta, lo que permite contar con la totalidad de su seccion para resistir a los esfuerzos que las comprimen.

Los resultados de estos cálculos los hemos consignado en los cuadros que siguen:

ENREJADO NÚM. 1

Esfuerzos exteriores	MONTANTES							DIAGONALES				
	Esfuerzo solicitante en k.	Diámetro en m. m.		Sección del núcleo en mm. ²	Sección útil de los 3 tirantes en mm. ²	Tasa de trabajo en k./mm. ²	Esfuerzo solicitante en k.	Escuadría de las diagonales en cms.	Sección útil de las diagonales en cms. ²	Tasa de trabajo en k./cm. ²		
		del tirante	del núcleo									
Peso muerto y sobrecarga rodante	m ₁	45.333	57,15	49,02	1.885	5.655	8,02	d ₁	73.167	2 × 15 × 35	1 050	69,68
	m ₂	33.667	50,82	43,43	1 479	4.437	7,59	d ₂	55.833	2 × 15 × 25	750	74,44
	m ₃	22.333	41,27	35,28	978	2.934	7,61	d ₃	39.667	2 × 15 × 17 _{1/2}	525	75,55
	m ₄	11.667	31,75	26,92	568	1 704	6,85	d ₄	24.167	2 × 15 × 15	450	53,71
								d ₅	9.833	2 × 15 × 15	450	21,85
Viento (ac. vertical)	m ₁	1.783	57,15	49,02	1.885	5.655	0,31	d ₁	2.900	2 × 15 × 35	1 050	2,76
	m ₂	1.342	50,82	43,43	1.479	4.437	0,30	d ₂	2 190	2 × 15 × 25	750	2,92
	m ₃	942	41,27	35,28	978	2.934	0,32	d ₃	1.620	2 × 15 × 17 _{1/2}	525	3,09
	m ₄	610	31,75	26,92	568	1.704	0,36	d ₄	1.083	2 × 15 × 15	450	2,41
								d ₅	683	2 × 15 × 15	450	1,52

ENREJADO NÚM. 2

Peso muerto y sobrecarga rodante	μ ₁	51.500	63,50	55,37	2.410	7.230	7,12	δ ₁	57.833	2 × 15 × 35	1.050	55,08
	μ ₂	39.167	57,15	49,02	1.885	5.655	6,93	δ ₂	64.667	2 × 15 × 27,5	825	78,63
	μ ₃	28.000	47,62	40,38	1.282	3.846	7,28	δ ₃	47.833	2 × 15 × 22,5	675	70,86
	μ ₄	17.000	38,10	32,68	840	2.420	7,03	δ ₄	31.667	2 × 15 × 15	450	70,35
								δ ₅	16.833	2 × 15 × 15	450	37,40
δ ₆	3.667	2 × 15 × 15	450	8,15								
Viento (ac. vertical)	μ ₁	2.050	63,50	55,37	2.410	7.230	0,28	δ ₁	2.300	2 × 15 × 35	1.050	2,19
	μ ₂	1.558	57,15	49,02	1.885	5.655	0,27	δ ₂	2.520	2 × 15 × 27,5	825	3,05
	μ ₃	1.142	47,62	40,38	1.282	3.846	0,29	δ ₃	1.890	2 × 15 × 22,5	675	2,80
	μ ₄	758	38,10	32,68	840	2.420	0,31	δ ₄	1.390	2 × 15 × 15	450	3,09
								δ ₅	866	2 × 15 × 15	450	1,93
	δ ₆	500	2 × 15 × 15	450	1,11							

CAPÍTULO III

CÁLCULO DEL CONTRAVIENTO SUPERIOR

§ I. Esfuerzos solicitantes.

1. DESCRIPCIÓN.—El contraviento superior es una viga horizontal, sistema Howe sencillo. Se compone de 16 paños, 15 de 3,00 m. de largo i 1 de 4,00 m., disposición que hemos debido emplear a causa de las dificultades de construcción que impiden el empleo de una viga simétrica.

Las cabezas de las vigas principales hacen de cabezas del contraviento; los montantes son tirantes de fierro apernados a aquellas i las diagonales piezas de madera.

2. ESFUERZOS SOLICITANTES.—El único esfuerzo que solicita al contraviento superior es la acción del viento sobre las vigas. En consecuencia la sollicitación mas desfavorable corresponderá al caso del puente libre.

Hemos visto que entónces la acción del viento es igual a:

sobre las vigas.....	808 k/m. c.
» los travesaños.....	30 »

Este último esfuerzo se trasmitirá íntegramente al contraviento inferior.

La presión del viento sobre las vigas se distribuirá entre los dos contravientos, el superior i el inferior. La circunstancia de ser las cabezas inferiores de las vigas principales 0,10 m. mas altas que las superiores no permitiría rigurosamente considerar que dicha acción se divide por mitad entre ámbas; sin embargo, vamos a prescindir de esta observación, cuya pequeña importancia la hace despreciable.

Admitiremos, pues, que la acción del viento sobre las vigas se trasmite por mitad a ambos contravientos, hipótesis que tenemos derecho a hacer por cuanto los brazos estrechos dan firmeza suficiente a los nudos correspondientes del contraviento superior.

Segun esto, el contraviento en cuestión estará sollicitado por un carga fija, uniformemente repartida de

$$\frac{808}{2} = 404 \text{ k/m. c.}$$

§ II. Cálculo de las cabezas

1. OBSERVACIÓN.—El esquema de la viga que hace de contraviento superior es el que presenta la fig. 14.

Podemos observar, en vista de que las cabezas son de sección constante, que su cálculo se hará por la fórmula

$$M_A = t \omega h$$

Se ve por esto que el único momento que nos interesa es el momento máximo en el medio del tramo.

2. CÁLCULO DE M_A .—Tratándose de una carga uniformemente repartida, el momento máximo en el medio vale:

$$\frac{1}{8} \times 4,04 \times \overline{4900}^2 = 12.125.050 \text{ k.cms.}$$

3. TASA DE TRABAJO.—Las cabezas son formadas por cuatro piezas de $15 \times 32,5$ cm cuyos ejes distan entre sí de 507 cms.:

$$\omega = 4 \times 15 \times 32,5 = 1.950$$

$$h = 507$$

De la fórmula anterior sacamos:

$$t = \frac{M_A}{\omega h}$$

$$t = \frac{12.125.050}{1.950 \times 507} = 12,26 \text{ k/cm.}^2$$

§ III. Cálculo del enrejado

1. CÁLCULO DE LOS ESFUERZO DE CORTE MÁXIMOS EN LOS NUDOS.—Como el único esfuerzo solicitante es la presión debida al viento, de 404 k/m. c. de viga, nos bastará construir el depurado correspondiente para tener esos esfuerzos.

De allí sacamos el cuadro que sigue:

ESFUERZOS ESTERIORES	ESFUERZOS SOBRE LAS BARRAS, EN K			
	Montantes	Diagonales	Montantes	Diagonales
Viento, sin sobrecarga	7900	11900	3050	5000
	6700	9300	1800	3500
	5500	7800	600	2100
	4250	6400	0	750

2. TASAS DE TRABAJO.—En el cuadro siguiente hemos colocado al lado de cada barra el esfuerzo que la solicita i la tasa de trabajo correspondiente.

Esfuerzos exteriores	MONTANTES					DIAGONALES			
	Esfuerzos solicitantes en k.	Diámetro en mm.		Sección útil del montante en mm. ²	Tasas de trabajo en k/mm. ²	Esfuerzos solicitantes en k.	Escuadria de las diagonales en cms.	Sección útil de las diagonales en cms. ²	Tasas de trabajo en k/cm. ²
		del tirante	del núcleo						
Viento, sin sobrecarga	7900	41,27	35,28	978	8,08	11900	15,0 × 12,5	187,5	63,47
	6700	41,27	35,28	978	6,85	9300	12,5 × 12,5	156,25	59,52
	5500	39,92	29,46	683	8,05	7800	12,5 × 12,5	156,25	49,92
	4250	34,92	29,46	683	6,22	6400	12,5 × 12,5	156,25	40,96
	3050	25,40	21,33	356	8,57	5000	12,5 × 12,5	156,25	32,00
	1800	25,40	21,33	356	5,06	3500	12,5 × 12,5	156,25	22,40
	600	25,40	21,33	356	1,69	2100	12,5 × 12,5	156,25	13,44
	0	25,40	21,33	356	0	750	12,5 × 12,5	156,25	4,80

§ IV. Cálculo de los brazos extremos

1. DESCRIPCIÓN.—El contraviento superior lleva en sus estremidades brazos de madera destinados a fijarlas.

En cada extremo i por cada lado del contraviento, se han dispuesto cuatro brazos, cada dos de los cuales se unen a uno de los montantes i de los travesaños de estre-
midad.

Las piezas que forman esos brazos tienen una escuadría de

$$35 \times 15 \text{ cms.}$$

2. ESFUERZOS SOLICITANTES.—En el peor de los casos, el esfuerzo transmitido a uno de los brazos extremos será igual a la reacción del contraviento superior.

Ese esfuerzo horizontal de 10.100 k. de intensidad se repartirá por cuartas partes entre cada una de las piezas que forman el brazo.

Para una de esas piezas, el depurado de la fig. 15 nos indica que la acción que sobre ella ejerce dicho esfuerzo horizontal, en el sentido de su eje, vale:

$$\frac{27.700}{4} = 6.925 \text{ k.}$$

esperimentando al mismo tiempo el montante una compresion de:

$$\frac{25.800}{2} = 12.900 \text{ k.}$$

3. TASAS DE TRABAJO.—En vista de los esfuerzos solicitantes tendremos como tasa de trabajo para los brazos extremos.

$$\frac{6.925}{15 \times 35} = 13,19 \text{ k/cm.}^2$$

En cuanto a los montantes extremos trabajan a una tasa ínfima.

(Continuará)