Puentes carreteros chilenos

Puente sobre el Rio Teno en Vista Hermosa. Está situado en el camino denominado La Frontera a 5 Km de la Estacion de Teno i 16 de Curicó.

Lonjitud. 256 metros. 16 tramos de 16 metros cada uno. Ancho 4,25 m.

Superstructura 2 vigas de fierro armado en sistema Fink con tirantes de fierro redondo i dos pendolones. Travesaños de fierro; una longuerina; dos entablados, guardarnedas i barandillas de madera.

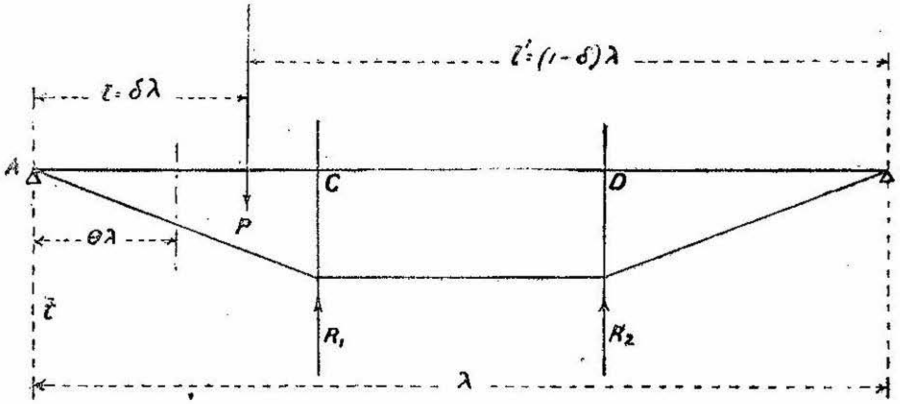
Infrastructura. Cepas de tres pilotes de seccion cruz amarradas con cantoneras.

Accesorios, caminos de acceso con fuertes terraplenes en lonjitud aproximada de 800 m, tres pasos de agua; casa para guardapuente i una defensa en la rivera norte de 100 m lonjitud.

Costo $ 131 000 segun el contrato celebrado con el injeniero señor Alberto Goldemberg, resulta para el metro lineal de puente incluso obras accesorias $ 512 00

En la Direccion de Obras Públicas se ha empleado con mui buen éxito un tipo bastante económico de puente denominado «puente de vigas Finck». Consiste en colocarle a una viga en sus tercios dos pendolones, unir los dos estremos de vigas con los pendolones formando triángulos; en el espacio central, donde quedan los tirantes horizontales se les coloca una tuerca de tension para regular convenientemente la contraflecha necesaria de la viga.

El presente estudio tiene por objeto contribuir modestamente al cálculo sencillo i rápido de dicho puente, llegar a un método cuya exactitud satisfaga completamente en la práctica.



$$\delta = \frac{l}{\lambda}$$

Consideremos a esta viga cargada con una sola fuerza P. i apoyada en sus estremos *A* i *B*.

Las reacciones t i T tomando las notaciones de la figura serian

$$t=\frac{Pl'}{\lambda}=P\left(1\text{-}\delta\right) \qquad i\ T=\frac{Pl}{\lambda}=P\delta.$$

Consideremos la espresion del momento μ en una seccion situada a una distancia $\theta\lambda$ del orijen A. que es: $\mu=t\theta\lambda=P\lambda\theta(1-\delta)$

La espresion del momento para una seccion cualquiera a la derecha de P. es $\mu=T\lambda(1-\theta)=P\lambda\delta(1-\theta)$.

Para encontrar las evacuaciones que representan la curva de la fibra neutra deformada, podemos poner que el radio de curvatura f es sensiblemente

$$=\left(\frac{1}{\frac{d^2 y}{d x^2}}\right) \text{ i reemplazar } \mu \text{ por } \frac{E\,I}{f}=EI\times\frac{d^2 y}{d x^2} \text{ i se tiene}$$

$$E\,I\times\frac{d^2 y}{d x^2}=P\,\lambda\,\theta\,(1-\delta.)$$

$$E\,I\times\frac{d^2 y}{d x^2}=P\,\lambda\,\delta\,(1-\theta.)$$

segun se considere la parte de curva a la izquierda o derecha de P. Integrando, de tal manera que las tanjentes a plomo P. en que se unen las dos ramas de la curva sean iguales i de tal manera que las ordenadas en los puntos de apoyo sean cero, se encuentra:

$$\text{a Izquierda de P.} \qquad E\,I\,y=\frac{P\lambda^3}{6}\,\theta\,(1-\delta)\times[\theta^2+\delta\,(\delta-2)$$

$$\text{a Derecha de P.} \qquad E\,I\,y=\frac{P\lambda^3}{6}\,\delta\,(1-\theta)\times[\delta^2+\theta\,(\theta-2)$$

(Véase Mécanique appliquée por Planat, páj. 167-170-301-303). Con las fórmulas anteriores podemos calcular la flecha que tomaria la fibra neutra deformada, en el pendolon C i en D.

Consideremos siempre la viga apoyada en A i B, i procuremos encontrar dos fuerzas R_1 i R_2 capaces de anular las flechas en C i D. producidas por la fuerza P. Para conseguirlo demos un valor cualquiera a la reaccion R_1 que obra en el pendolon de la viga; calculamos aplicando las fórmulas anteriores la flecha f_1 en C i F_1 en D.

Admitiendo ahora que obrase solo en el apoyo D una fuerza $R_2=R_1$ que ya calculamos, obtendríamos en C por ejemplo una ordenada f_2 i en D una F_2. (Valores recíprocos a los anteriores).

Si el punto R_1 queda encima ó debajo de la recta A. B. de una cantidad a_1 será necesario tambien que la suma aljebraica que corresponden a R_1 sea igual a $\pm a_1$.

El valor de R_1 adoptado arbitrariamente no representa la reaccion verdadera, sino que ella será $K_1 R_1$ coeficiente que vamos a determinar.

Sabemos que las ordenadas de las flechas, son proporcionales a las fuerzas que las producen, tendríamos entonces las dos condiciones por satisfacer:

$$K_1 f_1 + K_1 F_1 = \pm a_1 \qquad \text{para el pendolon } R_1$$
$$K_2 f_2 + K_2 F_2 = \pm a_2 \qquad \text{para el pendolon } R_2$$

En este sistema de ecuaciones los valores f—F i a son cantidades conocidas; resuelto el sistema tendríamos los valores correspondientes de R_1 i R_2 que obrando simultáneamente anularian la flecha en C i D. producida por la fuerza P.

Quedaria por calcular las reacciones t i T, i ello es sumamente fácil, tomando una ecuacion de traslacion vertical i sabiendo que $t + T$ debe ser igual a la suma aljebraica de todos los pesos i reacciones que obran sobre la viga.

Siguiendo el desarrollo teórico para encontrar el valor mas directamente de las reacciones t—R_1—R_2—T en los distintos casos, valiéndose de las ecuaciones de la curva elástica, i haciendo cero la flecha sucesivamente en el apoyo C i despues en el D. se encontrará que:

$$t = -\left(\frac{\delta}{15} - \frac{\delta^3}{15}\right) \qquad R_1 = \frac{6\delta - 6\delta^3}{15}$$

$$R_2 = -\frac{24\delta + 9\delta^3}{15} \qquad T = -1 + \frac{19\delta - 4\delta^2}{15}$$

Para el tramo del medio: fuerza P. en este tramo

$$t = \frac{7\delta - 12\delta^2 + 5\delta^3}{15} \qquad R_1 = -\frac{12\delta - 18\delta^2}{15} + \delta^3$$

$$R_2 = -1 + \frac{3\delta + 27\delta^2}{15} \delta^3 \qquad T = \frac{2\delta + 3\delta^2\, 5\delta^3}{15}$$

Para el tramo de la izquierda: fuerza P en este tramo.

$$t = \frac{7\delta - 12\delta^2 + 4\delta^3}{15} \qquad R_1 = -1 - \frac{3\delta + 27\delta^2 - 9\delta^3}{15}$$

$$R_2 = \frac{12\delta - 18\delta^2 + 6\delta^3}{15} \qquad T = -\frac{2\delta + 3\delta^2 - \delta^3}{15}$$

Tal es la série de fórmulas que dan el valor de las reacciones cuando una carga aislada obra sobre la viga.

Para hacer bien espedito encontrar los valores de las reacciones, con una exactitud suficiente, el que suscribe ha calculado estos, de dos en dos centésimos de cada tramo. Estas i otras tablas mui interesantes serán materia de alguna publicacion posterior; i para completar esta idea, el infrascrito ha encontrado entusiasta cooperacion en su compañero de oficina, injeniero señor Eujenio Barros P.

Los valores de las reacciones debidas al peso muerto del tramo son bien conocidos $t = T = 0,4$ pl $R_1 = R_2 = 1,1$ pl.

Para ver mas claro, la ventaja de emplear tablas, quiero traer como ejemplo el cálculo hecho para el puente Teno en Curicó.

El tipo de viga es del sistema Finck ya descrito, la luz igual 16 m dividida en $\frac{1}{3}$ de 5.33 cada claro.

Hecho el avalúo del peso muerto con la debida prolijidad se llega a 525 kilos por metro lineal; lo que da un peso por tramo de 5,33 m² de 2798 Kg.

Tenemos: Reaccion $t = T = 0,4 \times 2\,798 = 1\,119$ Kg

Reaccion $R_1 = R_2 = 1,1 \times 2\,798 = 3\,078$ Kg

Momento apoyo $C = 1\,119 \times 5,33 - 2\,798 \times 2.67 = 1\,507$ Kgm

Momento $\frac{1}{2}$ tramo $AC = 1\,119 \times 2.67 - \frac{2798}{2} \times 1.33 = 1\,127$ Kgm

Momento $\frac{1}{2}$ tramo $CD = 1\,119 \times 8 + 3\,078 \times 267 - 5.25 \times 8 \times 4 = 370$ Kgm

1) *Caso.*—Considerando ahora una carreta de 6 toneladas de peso, colocada en $\frac{1}{2}$ tramo AC, pesará por rueda 3 toneladas.

Con la ayuda de las tablas se obtiene ahora con suma facilidad el valor de las reacciones.

$t = 0.4 \times 3\,000 = 1\,200$ Kg $R_2 = 0\,150 \times 3\,000 = -450$

$R_1 = 0\,725 \times 3\,000 = 2\,165$ Kg $T = 0\,025 \times 3\,000 = 75$

El momento en medio tramo $AC = 1\,200 \times 267 = 1\,614$ Kgm.

El momento en el apoyo $C = 1\,200 \times 5.33 - 3\,000 \times 2,67 = 1\,614$ Kgm.

2) *Caso.*—Consideremos ahora una carreta de 6 toneladas colocada al $\frac{1}{2}$ tramo CD.

Se tiene: Reaccion $t = T - 0\,075 \times 3\,000 = -225$ Kg

Reaccion $R_1 = R_2 = 0.575 \times 3000 = 1725$ Kg

El momento en el apoyo $C = -225 \times 5,33 = 1\,199$ Kgm.

El momento en el $\frac{1}{2}$ tramo $CD = 225 \times 8 + 1\,725 \times 2.67 = 2\,806$.

Para el cálculo de los esfuerzos que sufren los tirantes de la viga, se ha hecho el gráfico de Cremona i se obtuvo:

Cuando la rueda está en $\frac{1}{2}$ tramo AC:

Estension debido al peso muerto p =	—	8 600
Estension debido al peso carreta p =	—	6 300
Estension total =		14 900

Compresion debido al peso p =	8 000
Compresion debido a p =	5 900
Compresion total	13 900

Se vé que en este caso el tirante debe resistir a una estension de 14 900 kilos i la viga una compresion de 13 900.

2) Rueda de la carreta sobre el pendolon en C. Se tiene:

Estension de p =	— 8 600	Compresion p =	8 000
Id. » P =	— 8 800	Id. P =	8 200
Sumas: Estension =	— 17 400	Compresion =	16 200

En este caso el tirante debe resistir a 17 400 kilos i la viga sufrir una compresion de 16 200 kilos.

3) Rueda de la carreta en el medio tramo CD:

Estension de p =	— 8 600	Compresion p =	8 000
Id. » P =	— 5 000	Id. P =	4 700
Sumas: Estension =	— 13 600	Compresion =	12 700

Resta por resumir los resultados anteriores obtenidos para verificar las dimensiones de la viga.

1) Carreta de 6 toneladas en el $\frac{1}{2}$ tramo AC:

Momento debido al peso muerto =	1 127 Kg.
Momento debido a la carreta =	3 204 Kg.
Suma =	4 331 Kg.

El perfil de la viga es dobleté laminado, tipo normal aleman, cuyo $\frac{I}{V} = 652$ cm³ peso m lineal = 53.8 i su seccion = 69 cm²

Resulta una tasa a la flexion de	= 4 331:652=6.6 Kg mm²
i una compresion de	= 13 900: 69=2.0 » »
Se tiene ϱ	=8.6 Kg mm²

2) Carreta en el apoyo C.

Momento debido al peso p	=	1 507 Kgm
Momento debido a la carreta P	=	0 »
Suma	=	1 507 Kg.

Resulta una tasa a la flexion de	= 1 507:652=2.31 Kg mm²
i una compresion de	= 16 200: 69=2.34 » »
Se tiene α	=4.65 Kg mm²

3) Carreta en el medio tramo CD:

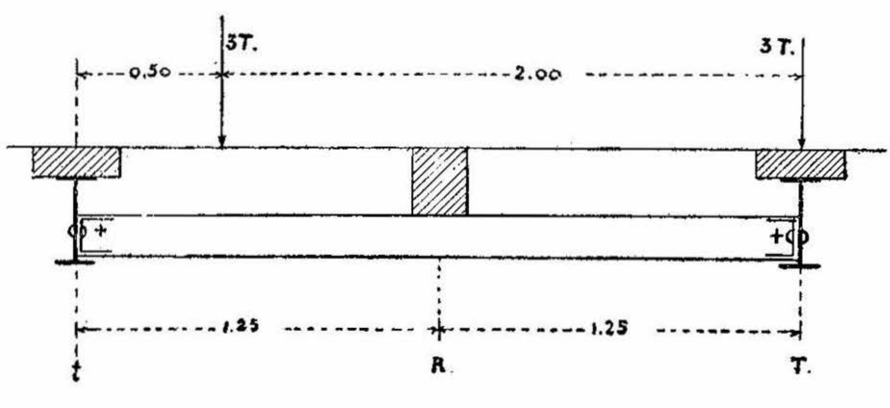
Momento debido al peso p	=	370 Kg m
Momento debido a la carreta P	=	2 806 » »
Suma	=	3 176 Kg m

Resulta una tasa a la flexion	3 176:652=4.72 Kg mm²
i una compresion de	12 700: 69=1.84 » »
Se tiene α	=6.56 Kg mm²

Por lo que antecede se ve que en el caso en que trabaja la viga a mayor tasa α, en el caso 1) en que resulta 8.6 K por milímetro cuadrado.

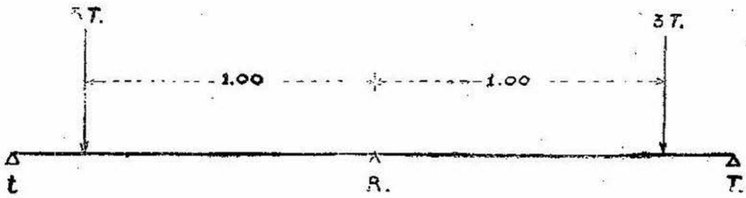
La mayor estension que debe sufrir el tirante es de 17 400:2=8 700 kilos; adoptando como tirantes carros de $1\frac{3}{4}''$=44,4 mm² se obtiene un esfuerzo unitario de 8 700:1 548=5.6 K por mm². El esfuerzo que se admite por el hilo de la tarrajadura es 600 kilos por centímetro cuadrado.

Cálculo de los travezaños entre vigas principales:



I. Se ha elejido para la carreta la posicion de la figura i por las tablas se obtiene el valor de las reacciones:

$t=0.5\times 3\,000=1\,500$ Kg $R_1=0,56\times 3\,000=1\,680$ $T=2\,820$



II. En este caso se tiene para reaccion los valores siguientes:

$$t=0.73-0.05=0,68\times 3\,000=2\,040 \text{ Kg}$$
$$R=0.31+0.31=0.62\times 3\,000=1\,860 \text{ Kg}$$

La posicion mas desfavorable para el travezaño es el II en que debe soportar 1 860 Kg. Es evidente que el tablonado inferior del puente reducirá mucho este valor.

El momento flexionante de este travezaño es: $930\times 1.25=108\,300$ Kg cm^2

Tomando para travezaño un DT laminado de 0,15 altura que tiene un $\frac{I}{V}=98$ cm^3 se tiene

$$\alpha=108\,300:98=11,05 \text{ Kg } mm^2$$

La viga de madera R, descansa sobre estos travezaños, pieza que puede considerársela apoyada en 3 apoyos a 3,20 uno de otro.

El momento mas desfavorable que trasmite la carga 1 860 Kg sobre esta, se encuentra a 0,4 l.

La reaccion $t=0,4\,l\times 1\,860=763$ Kg.

Momento máximo $=763\times 1.6=11\,880$ Kg cm.

El $\frac{I}{V}$ de la viga $R=2\,080$.

Resulta entónses $\alpha=\frac{11\,880}{2\,080}=57$ Kg por cm^2

Algunos de los cálculos anteriores han sido comprobados tomando en cuenta las líneas influencia de Kart i Portes.

JERMAN HOLTHEUER.