

los intermedios entre las costas y el horizonte, sin disminuir por eso su utilidad en las condiciones atmosféricas ordinarias. Este *desideratum* había sido ya expresado en 1881 por M. T. Stevenson en su memoria acerca de la construcción y alumbrado de los faros.

En su forma más perfeccionada la modificación consiste en reducir el peso de la cúpula, incluso los prismas y bastidores metálicos, hasta igualarlo con el del tambor de los prismas de refracción, y en hacer que el primero haga contrapeso al segundo por medio de cadenas y de poleas, cuyos soportes de acero descansan sobre los prismas inferiores catadióptricos. De esta manera la cúpula y el tambor pueden moverse verticalmente, subiendo el uno cuando el otro baja.

Los prismas inferiores catadióptricos y la luz son fijos. El movimiento de las otras partes no requiere más esfuerzo que el necesario para vencer los rozamientos, puesto que los pesos están equilibrados (figuras 1, 2 y 3).

(Se concluirá.)

FRANCISCO LIZÁRRAGA.

PUENTES METALICOS

(Continuación.)

De las ecuaciones (1) y (2) se deduce que entre los pesos P y P' de dos vigas semejantes geométricamente consideradas, cuyas luces respectivas son L y L' , y cuyas cargas respectivas por metro lineal son c y c' , existe esta otra relación:

$$\frac{P'}{P} = \frac{c' L'^2}{c L^2} \dots \dots \dots (3).$$

ACLARACIONES.

1.^a Los anteriores razonamientos suponen que las cargas c y c' se concentran en las articulaciones de las vigas, formando fuerzas aisladas, lo cual se verifica en todo puente bien estudiado por medio de las viguetas transversales que deberán corresponder á dichas articulaciones, constituyendo lo contrario que se ve en algunos puentes un defecto grave, pues los esfuerzos calculados no corresponden á los reales en las cabezas de la viga, que están sometidas además de los esfuerzos longitudinales á otros de flexión.

2.^a Los pesos P y P' que figuran en las fórmulas anteriores, son los pesos teóricos, que no comprenden el peso de las cubrejuntas y cabezas de roblón; pero es evidente que el peso de estos accesorios es próximamente

proporcional al de la viga, y por consiguiente las ecuaciones (1), (2) y (3) pueden considerarse exactas para los pesos prácticos de las vigas, es decir, representando P y P' el peso total (incluso el de las cubrejuntas y rollos).

3.^a Las deducciones hechas suponen también que se trata de vigas de triangulación sencilla; pero dado el sistema de cálculo que se emplea para los sistemas de triangulación doble, triple, etc., es evidente que los pesos teóricos han de permanecer iguales, y próximamente también los prácticos, en vigas de triangulaciones de diversa multiplicidad, con tal que su figura geométrica exterior sea la misma.

4.^a Los razonamientos anteriores son independientes de la forma de la viga, siendo por consiguiente las fórmulas expuestas aplicables á las vigas rectas, parabólicas ó de cualquiera otra forma, y también á los arcos triangulados.

5.^a Por último, pueden también aplicarse á dos vigas de figura exterior semejante y de celosía dispuesta de distinta manera, ó sea con distinta inclinación sobre la horizontal de las diagonales y montantes, pues se comprende fácilmente que las variaciones de peso de una á otra forma de celosía son muy pequeñas respecto al peso total del cuchillo, cuya masa está principalmente acumulada en las cabezas.

6.^a Las fórmulas expuestas tienen, pues, todo el carácter posible de generalidad práctica.

III

En las fórmulas anteriores c y c' representan la carga total que obra por metro lineal de viga, y comprenden el peso de la carga permanente (piso, largueros y viguetas), la sobrecarga accidental ó de prueba y el peso propio de la viga.

Si llamamos p y p' la carga por metro lineal, sin incluir en estas cantidades los pesos propios P y P' de las vigas de luces L y L' , tendremos, suponiendo el peso propio repartido uniformemente en toda la longitud de viga, lo cual es próximamente exacto,

$$c = p + \frac{P}{L} ; c' = p' + \frac{P'}{L'}$$

Sustituyendo estos valores de c y c' en la fórmula (3), tendremos

$$\frac{P'}{P} = \frac{\left(p' + \frac{P'}{L'}\right) L'^2}{\left(p + \frac{P}{L}\right) L^2},$$

ó lo que es lo mismo

$$\frac{P'}{P} = \frac{(p' L' + P') L'}{(p L + P) L};$$

de donde

$$(4). \quad P = \frac{P' p L^2}{p' L'^2 + P' L' - P' L} = \frac{p L^2}{\left(\frac{p' L'^2}{P'} + L'\right) - L};$$

Por medio de esta fórmula, conocidos los elementos L' , p' y P' para una viga dada, se podrá calcular el peso P de cualquiera otra viga *semejante* de luz L y carga p .

Si, pues, deducimos los anteriores datos de un puente ya construido, lo cual es fácil, obtendremos una fórmula para calcular el peso de todas las vigas de figura geométrica *semejante* á la que ha servido de base.

Si en la fórmula (4) representamos el valor práctico $\frac{p' L'^2}{P'} + L'$ por C , obtenemos la fórmula buscada:

$$P = \frac{p L^2}{C - L} \quad (5)$$

en la que C es una constante ó coeficiente numérico distinto para cada tipo de vigas ó cerchas.

Habiendo tenido el autor de este artículo que proyectar y construir varios puentes de hierro laminado de diversos sistemas para las carreteras de la provincia de Huesca, de estos mismos vamos á deducir el valor de la constante C para cada tipo.

1.º *Vigas parabólicas*.—En la carretera de Barbastro á la frontera francesa proyecté y construí un puente parabólico sobre el Esera en Graus. Tiene 41,80 metros de luz y piso afirmado de piedra machacada sobre hierros de Zorés, sostenidos por largueros y viguetas de hierro.

En estas vigas parabólicas se tiene, siendo H la altura de la viga en el centro del tramo

$L = 41,80$ metros; $P = 26^{\text{ton}}, 29$ peso de ejecución.

$H = 5,984$ ó sea $\frac{1}{4}$ de L muy aproximadamente.

El valor de p se compone del peso del firme, hierros Zorés, largueros, viguetas, arriostramientos de los cuchillos, barandilla y de sobrecarga á razón de 400 kilogramos por metro cuadrado, y es $p = 3^{\text{ton}}, 128$.

Con estos datos, se deduce

$$C = \frac{p L^2}{P} + L = 250.$$

El puente parabólico que sobre el río Cinca, en Monzón, está en construcción, en la carretera de segundo orden de Huesca á Monzón, consta de tres grandes tramos parabólicos de 62^m,40 de luz con afirmado de piedra y un pequeño tramo recto de 16 metros.

Se tiene $L = 62,40$; $P = 65^{\text{ton}},50$; $p = 3^{\text{ton}},404$

$H = 8,60$

y se deduce $C = 265$.

Como no puede menos de suceder, varían algún tanto los valores obtenidos para C de los datos de diversos puentes. Esto se explica por la variación que hay en los detalles de construcción, por la distinta forma de la triangulación de la celosía, que obedece á tipos distintos en los dos puentes citados, y también porque las proporciones relativas varían algo; pues aunque la relación entre H y L se aproxima al $1/7$, no es igual exactamente en los dos.

Como término medio para todas las vigas parabólicas en que la altura es igual á $1/7$ de la luz, podemos tomar

$$C = 258.$$

2.º *Vigas rectas independientes.*—De igual manera deduciremos el valor de C para las vigas rectas de tramos independientes.

En el tramo recto del puente citado de Monzón, se tiene

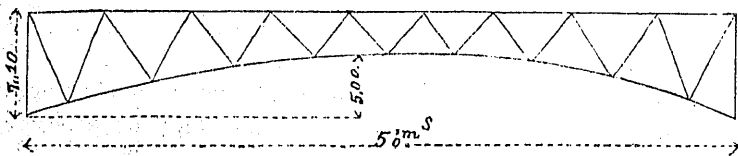
$$L = 16,00; H = \frac{1}{10}; L = 1,60; P = 4^{\text{ton}},80; p = 3^{\text{ton}},60.$$

Se deduce $C = 210$.

De otro puente de vigas rectas independientes de mayor luz proyectado por el que suscribe, se deduce $C = 224$.

Adoptamos $C = 220$ porque el segundo puente se aproxima más al tipo habitual por su luz y disposiciones.

3.º *Puentes en arco.*—No hemos construido ningún puente de esta clase; pero para deducir el valor de c para estas cerchas, hemos hecho el proyecto detallado de una cuyo esqueleto es el siguiente:



en el cual se considera como formando un todo resistente el conjunto del arco propiamente dicho, ó mejor polígono ab , de la horizontal ó cabeza superior cd y de la triangulación que á ambos une.

El arco proyectado tiene 50 metros de luz, y evitamos la dificultad que tratamos de resolver en este artículo del modo siguiente. Hicimos los cálculos de resistencia para una carga de cuatro toneladas por metro lineal, y determinadas las dimensiones de todas las partes de la cercha, y detalla-

do el proyecto con todos los accesorios de cubrejuntas, roblones y piezas de unión de todas clases, hicimos una cubicación detallada, de la que resultó el peso de la cercha igual á 25ton.,60, ó por metro lineal 0ton.,512. Resulta, por tanto, que este arco puede soportar, además de su propio peso, una carga de

$$4\text{ton.} - 0\text{ton.},512 = 3\text{ton.},488; \text{ por metro lineal.}$$

Tenemos, pues,

$$L = 50; p = 3\text{ton.},495; P = 25\text{ton.},60;$$

y se deduce $C = 390$,

valor que será aplicable á todos los arcos semejantes, en que la flecha del arco sea $\frac{1}{10}$ de luz, y la altura total de la cercha $\frac{1}{7}$ de la luz.

Este sistema de arcos armados presenta grandes ventajas sobre los arcos en que la triangulación solo se considera como medio de transmitir las cargas al arco propiamente dicho. En ellos puede hacerse la distribución de material según los esfuerzos que obran en cada barra, como se hace en las vigas rectas trianguladas ó en celosía.

4.º *Vigas rectas continuas sobre varios tramos.*—Suponiendo que el peso de una viga recta continua de varios tramos, siendo éstos de la misma luz, se reparte por igual entre todos ellos (lo cual no es exacto, porque los de orilla pesarán siempre más, pero si aproximado), podremos encontrar el valor de C para uno.

Lo deducimos del puente que sobre el río Cinca, en Fraga, proyectamos y quedó terminado hace cinco años.

Sus vigas son rectas, continuas, sobre cinco claros de 46 metros de luz cada uno, su altura es igual al $\frac{1}{10}$ de la luz.

$$L = 46; P = 25\text{ton.},600; p = 2\text{ton.},87$$

y resulta $C = 283$. Adoptamos $C = 280$.

En resumen, para calcular el peso de los puentes de hierro laminado previamente á la redacción detallada del proyecto, tenemos las cuatro fórmulas siguientes:

$$(1) \quad P = \frac{p L^2}{258 - L} \left\{ \begin{array}{l} \text{para vigas parabólicas en que la} \\ \text{relación } \frac{H}{L} = \frac{1}{7} \end{array} \right.$$

$$(2) \quad P = \frac{p L^2}{220 - L} \left\{ \begin{array}{l} \text{para vigas rectas en que} \\ \frac{H}{L} = \frac{1}{10} \end{array} \right.$$

$$(3) \quad P = \frac{p L^2}{390 - L} \left\{ \begin{array}{l} \text{para arcos armados en que se tie-} \\ \text{ne } \frac{f}{L} = \frac{1}{10} \text{ y } \frac{H}{L} = \frac{1}{7} \end{array} \right.$$

$$(4) \quad P = \frac{P L^2}{280 - L} \left\{ \begin{array}{l} \text{para las vigas continuas en que} \\ \frac{H}{L} = \frac{1}{10} \end{array} \right.$$

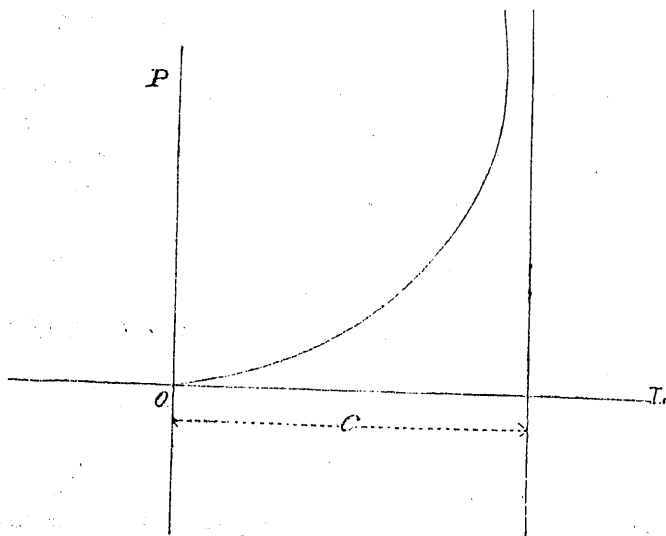
IV.

LÍMITE DE LA LUZ QUE PUEDE ALCANZARSE EN LOS DIVERSOS TIPOS DE PUENTES.

Si en la fórmula

$$P = \frac{pL^2}{C-L}$$

crece L , P crece también, según las ordenadas de una hipérbola de abscisas L que pasa por el origen de las coordenadas, y que tiene una asíntota paralela al eje de las P á la distancia C de él.



Para $L = C$ resulta $P = \infty$:

Luego la constante C representa el límite superior teórico de la luz que puede darse á las cerchas de cada tipo. Este límite superior teórico es, pues,

$C = 220$	...	para las vigas rectas
$C = 258$	...	» » » parabólicas
$C = 390$	...	» » arcos
$C = 280$	...	» » vigas continuas

suponiendo el coeficiente de resistencia de 6 kilogramos por milímetro cua-

drado, que he adoptado en todos los proyectos que han servido para calcular el valor de C.

V.

COMPARACIÓN DE LOS DIVERSOS TIPOS DE PUENTES BAJO EL PUNTO
DE VISTA DE SU PESO.

Las fórmulas anteriores permiten á primera vista juzgar de la cantidad de material que para igual luz y carga á soportar exigen los diversos tipos de vigas y arcos, y por consiguiente de su coste respectivo.

Así, pues, á igualdad de L y p, se ve que para salvar un solo tramo, el orden de preferencia de los puentes bajo el punto de vista de su peso será el siguiente:

arco.
viga parabólica.
viga recta.

La ventaja del arco podrá quedar compensada por el mayor gasto que exigen sus estribos; pero en todo lo expuesto no consideramos más que la super-estructura de los puentes.

Para los puentes de varios tramos, el orden de preferencia resulta el siguiente:

arcos.
vigas continuas.
ídem parabólicas.
ídem rectas independientes.

Como los arcos sólo son aplicables en casos muy especiales, la elección en cada caso deberá versar sobre los tipos restantes, examinando si las ventajas respectivas que aquí se enumeran quedan ó no compensadas por otras dificultades que aumenten el coste, como las condiciones del montaje, etcétera.

(Se concluirá.)

JOAQUIN PANO.

MADRID: 1888.

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE GREGORIO JUSTE.

Calle de Pizarro, número 15, bajo.