

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 29 DE FEBRERO DE 1888.

4.ª Serie.

Tomo 6.º

Número 4.º

AÑO XXXVI DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

Estudio de las hipótesis que sirven de base al cálculo de los elementos de los puentes colgados rígidos y de piezas amovibles, por D. Luis Gaztelu y D. A. Fernández de Navarrete, Ingenieros de Caminos (conclusión).—*Puerto de Barcelona*: Pruebas practicadas con los carriles y contracarriles destinados al montaje de sus vías férreas, por D. Julio Valdés, Ingeniero de Caminos. —Dictamen presentado á la Comisión encargada de estudiar la crisis agrícola y pecuaria, por el ponente D. Amós Salvador, Ingeniero de Caminos.

ESTUDIO DE LAS HIPÓTESIS

QUE SIRVEN DE BASE AL CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS DE LOS PUENTES COLGADOS RÍGIDOS Y DE PIEZAS AMOVIBLES.

(Conclusión.)

Mr. Arnodín, coincidiendo en esto con Mr. Lévy, considera la viga como destinada á repartir las cargas aisladas convirtiéndolas en cargas continuas, lo que es indispensable para que se realice la hipótesis de que el cable conserve sensiblemente su forma parabólica, no incurriendo en la anomalía de los antiguos puentes colgados para cargas uniformes, y que en realidad están sometidos á cargas aisladas.

Mr. Arnodín calcula la viga según hemos visto bajo este criterio, encargando á la suspensión todos los pesos uniformemente repartidos, incluso el peso propio de la viga; resulta ésta, en consecuencia, independiente de su luz. Si fuese posible asignar á la suspensión y á la viga los pesos que realmente han de sostener por medio de disposiciones adecuadas á este objeto, podría tratarse el problema examinando si conviene que el peso propio de la viga lo resista, ésta ó la suspensión, no siendo difícil presentir que, para determinadas luces, podría convenir esta segunda solución. Pero como repetidas veces hemos indicado, aunque se calcule la viga sin contar con su peso propio, no por eso puede asegurarse que lo lleve la suspensión, pudiendo muy bien suceder que en ciertos casos resista la viga su propio peso, excediendo los esfuerzos por milímetro cuadrado del límite de resistencia que se le ha asignado. Para evitar este grave inconveniente

niente, parece muy natural calcular la viga, de modo que, además de la carga considerada, pueda resistir su propio peso, consiguiéndose al mismo tiempo aliviar el cable; lo cual, si es siempre conveniente, aun en un puente de nueva construcción, puede ser indispensable tratándose de una reparación.

Al verificar el cálculo con arreglo á estos principios, se observa que conduce, para las luces usuales, á dimensiones mucho más aceptables, y se prestan mejor á la disposición de las uniones articuladas.

De tal modo imponen las necesidades de la práctica un límite inferior á las dimensiones de las piezas, que en la barandilla del puente de Lamothe ha sido preciso admitir coeficientes de resistencia muy inferiores á los que ordinariamente se adoptan para las piezas metálicas. Así los montantes resisten á 1,71 kilogramos por milímetro cuadrado, la cabeza superior á 1,018 kilogramos, la inferior á 1,617 y los tirantes á 9,371 kilogramos.

A pesar de haberse empleado coeficientes tan pequeños, Mr. Nicou, que ha estudiado detenidamente el puente de Lamothe, afirma que la viga-barandilla no llena por completo el objeto á que se destina. Esto prueba con evidencia que la carga que se ha considerado conduce á dimensiones demasiado pequeñas.

Es, pues, preferible, modificar la hipótesis contando con el peso propio, y conservar los coeficientes de resistencia usuales, lo cual da para la viga-barandilla un peso por metro lineal próximamente igual al de la del puente de Lamothe, pudiéndose prescindir de este peso en el cálculo de los cables y péndolas.

La adopción de coeficientes elevados no tiene inconvenientes, porque para el cálculo se tiene en cuenta la carga de prueba que puede considerarse como el límite superior, y porque puede emplearse el acero en las piezas más cargadas, puesto que este material no resulta hoy á un precio excesivo, y se emplea en otros elementos de estas construcciones, especialmente en las viguetas armadas de Mr. Arnodin, que tienden á generalizarse.

Para aclarar las ideas anteriores, terminaremos con un ejemplo numérico.

Supongamos una barandilla de 82 metros de luz (distancia entre los puntos sostenidos por los cables oblicuos más largos), compuesta de montantes separados 1,25, y cuya altura de eje á eje de las articulaciones es también de 1,25. Supongamos que el peso propio por metro lineal sea de 100 kilogramos y la carga aislada sea un carruaje de 6 toneladas en dos ruedas. La carga se compondrá como sigue:

Peso propio.	$82 \times 100 = 8.200$ kilogramos.
Carga accidental.	6.000 — 6.000

Total.	<u>14.200</u> kilogramos.
----------------	---------------------------

Aplicando las fórmulas (1') (2') (3'), tendremos:

$$A = 10.071 \text{ kilogramos.}$$

$$C_h = 7.100$$

$$C_v = 7.100$$

y las secciones serán $S_t = \frac{10.071}{15} = 672 \text{ mil.}^2$, que da una sección de 0,030 metros de diámetro, suponiendo que los tirantes se construyan de acero, y R sea 15 kilogramos.

$$S_v = S_h = \frac{7.100}{6} = 1.184 \text{ mil.}^2 \text{ siendo } R = 6 \text{ kilog. por mil.}^2$$

Las cabezas pueden formarse con dos hierros de ángulo $\frac{70 \times 40}{8}$.

Los montantes de forma de cruz tendrán 60 milímetros de ala y 10 milímetros de espesor. Como se ve, estas dimensiones difieren poco de las de la barandilla del puente de Lamothe, y esto sin necesidad de emplear el acero más que en los tirantes, en los que generalmente habría de emplearse, aun admitiendo las cargas que aconseja Mr. Arnodín.

En cuanto á la disposición, creemos conveniente modificarla dando mayor resistencia á las articulaciones, en armonía con las reglas de los Ingenieros americanos. En consecuencia, deberá variarse el ensamblaje de los tirantes en la articulación superior empleada en el puente de Lamothe que debilita al perno, la cual se hará igual á la inferior, colocando un manguito templador en cualquier punto del tirante. Esta disposición facilita mucho los ensamblajes en la parte no suspendida del cable parabólico, permitiendo suspender las viguetas de las articulaciones por medio de estribos, lo cual está conforme con la teoría que supone las fuerzas concentradas en las articulaciones. Los cables oblicuos pueden unirse también por medio de estribos á las articulaciones superiores, lo cual tiene las mismas ventajas que acabamos de indicar y no ofrecen inconveniente, puesto que, según la condición tercera, la viga puede resistir igualmente á los esfuerzos ascendentes que á los descendentes.

V

APOYOS, TORNILLOS DE UNIÓN DE LOS CABLES, Y CONSIDERACIONES ACERCA DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES DE TEMPERATURA.

Réstanos, para terminar, hacer algunas indicaciones acerca del cálculo de los apoyos de los tornillos de unión de los cables, y algunas consideraciones acerca de la influencia de las variaciones de temperatura.

Los apoyos pueden ser de fábrica ó metálicos.

El cálculo de los primeros se reduce á la determinación de las dimensiones de un macizo sometido á un esfuerzo conocido. En efecto; hemos dado los medios para calcular la competente horizontal de las tensiones de todos los cables que concurren en el eje del carretón, que será la que obra-rá sobre el apoyo; la componente vertical será la suma del peso que sostiene la mitad del cable, del que sostienen los cables oblicuos, y del propio del apoyo. Bastará determinar el punto en que la resultante corta á la base del apoyo, y fijar sus dimensiones con la condición de que este punto se halle dentro del núcleo central, ó de que la presión máxima por unidad de superficie no exceda en la arista más cargada del límite práctico de resistencia que corresponda al material empleado.

Si los apoyos son metálicos, se pueden considerar como una serie de cuchillos verticales paralelos al esfuerzo que deben resistir, siendo fácil, una vez conocida la composición de estos cuchillos, determinar los esfuerzos que ha de resistir cada una de sus piezas. Esta composición es sumamente variable, pero en ningún caso puede haber dificultad para su cálculo empleando los métodos conocidos de la Mecánica aplicada.

En las uniones de los cables se emplea el sistema de ensamblaje cónico ideado por Roebbling, uniéndose la pieza de fundición en que se empotra el cable á dos estribos que la atraviesan, y sujetándose las cuatro extremidades de estos estribos, que están fileteadas por medio de tuercas (fig. 8.ª) Resulta que los tornillos están sometidos á una tensión, según su eje, que ejerce sobre ellos la tuerca.

Los medios que comunmente se usan para determinar las dimensiones de los tornillos, como las reglas de Withivorth, conducen á dimensiones exageradas é inaceptables en el caso que estudiamos, como puede comprobarse por el examen de los puentes colgados ó articulados, en que tanto se emplean los tornillos en estas condiciones y sujetos á grandes esfuerzos. Por esta razón conviene usar tornillos de filete cuadrangular. La deficiencia de los métodos usuales nos ha conducido á emplear el siguiente, que es el cálculo directo.

Sea d el diámetro exterior del tornillo, md el resalto ó diferencia de los radios del cilindro exterior y del núcleo, igual al paso, por ser el filete de sección cuadrada.

El diámetro del círculo medio será $d(1 - m)$.

Sea P el esfuerzo según el eje. El área que resiste á dicho esfuerzo es sensiblemente la que corresponde al círculo medio, y la presión por milímetro cuadrado será:

$$R = \frac{P}{\frac{\pi}{4} d^2 (1 - m)^2} = \frac{4P}{\pi d^2 (1 - m)^2} \quad (1)$$

Para calcular la resistencia del filete, puede considerarse como una pieza empotrada por un extremo y libre por el otro. Dividiendo el esfuerzo total por el desarrollo de la hélice media proyectado sobre la sección recta del cilindro, tendremos el esfuerzo que corresponde á un milímetro de filete medido según la hélice correspondiente al cilindro medio.

La longitud de una circunferencia es

$$\pi d (1 - m).$$

La total de la proyección de la hélice será, siendo h la altura del tornillo, y por lo tanto $\frac{h}{md}$ el número de vueltas:

$$\frac{h}{md} \times \pi d (1 - m) = \pi h \left(\frac{1}{m} - 1 \right).$$

Y el esfuerzo por milímetro cuadrado de desarrollo de la hélice media

$$\frac{P}{\pi h \left(\frac{1}{m} - 1 \right)}.$$

La fórmula general de las vigas empotradas, suponiendo el peso repartido uniformemente, es

$$R = \frac{3pl^2}{ab^2}.$$

En el caso actual tenemos:

$$pl = \frac{P}{\pi h \left(\frac{1}{m} - 1 \right)};$$

$$l = md;$$

$$a = 1;$$

$$b = md;$$

de donde resulta

$$R = \frac{3P}{\pi h d (1 - m)} \quad (2);$$

p deberá expresarse en kilogramos; h y d en milímetros; m es una fracción, y R representará kilogramos por milímetro cuadrado.

En este cálculo hemos admitido que obren separadamente los trozos de filete de un milímetro de espesor, cuando en realidad se hallan enlazados de una manera continua, proporcionando esto una nueva garantía de resistencia.

Para un puente de 124 metros de luz y del ancho estrictamente necesario para el cruce de dos vehículos, resulta en la unión de los cables de sus-

pensión con el carretón, encima de los apoyos, que es el esfuerzo que obra según el eje de un tornillo, es de 9.700 kilogramos.

Suponiendo que el diámetro del tornillo sea de 34 milímetros. El peso *md* de 5 milímetros, ó sea $m = \frac{1}{7}$ próximamente, resulta aplicando la fórmula (1):

$$R = 14,70 \text{ kilogramos por milímetro cuadrado,}$$

coeficiente admisible para el acero.

Siendo $h = 50$ milímetros.

Y haciendo en la fórmula (2):

$$P = 9.700 \text{ kilogramos,}$$

$$m = \frac{1}{7}$$

$$h = 50$$

$$d = 34$$

resulta

$R = 6,34$ kilogramos por milímetro cuadrado, igualmente admisible.

Terminaremos con algunas ligeras observaciones acerca de la influencia de los cambios de temperatura en las condiciones del trabajo de los diversos órganos.

Supongamos que las longitudes de los elementos de la suspensión se hayan calculado para la temperatura t . Si la temperatura aumenta todos los cables se dilatarán. Los puntos de la parte parabólica FG (fig. 3.ª) descenderán, y otro tanto sucederá con los del tablero, cuyo descenso deberá ser aun mayor por efecto del alargamiento de las péndolas.

Los puntos fg , unidos á los cables oblicuos, experimentarán un descenso menor, puesto que aquéllos son independientes de los cables parabólicos, y si la viga-barandilla fuera rígida, quedaría desligada del cable y resistiendo como viga aislada entre los puntos f y g . La flexibilidad que le hemos impuesto como condición precisa, se opone á ello desde el momento en que obren sobre ella cargas superiores á las que debe resistir, permitiéndole que trasmita al cable las cargas que á éste corresponden, y restableciendo las condiciones hipotéticas para que ha sido calculada.

Si la temperatura disminuye, todos los elementos de la suspensión se acortarán. El cable tenderá á arrastrar á la viga, por la disminución de la longitud del mismo cable y de las péndolas. Aumentando las tensiones de suspensión, los puntos fg ascenderán por efecto de la contracción de los cables, y los puntos de apoyo de los carretones se acercarán, puesto que la contracción del cable será mayor que la de los fiadores por ser mayor

su longitud, y estas dos causas tenderán á disminuir el aumento de tensión de los cables y péndolas. Sin embargo, pudiera suceder que éstos tuvieran que resistir el peso de la viga-barandilla. Basta recordar el peso de ésta por metro lineal y las cargas admitidas para el cálculo de las péndolas, para darse cuenta de la poca importancia que puede tener este aumento en condiciones accidentales y pasajeras, como son los descensos extremos de temperatura en nuestros climas; pero puede evitarse este inconveniente con sólo determinar las longitudes de los elementos de suspensión para la temperatura mínima de la localidad, puesto que hemos visto que si se calcula la viga de modo que resista su propio peso, no cesa de funcionar en las condiciones teóricas por efecto de su aumento de temperatura.

En cambio, si admitimos con Mr. Arnodín que la viga no debe resistir su propio peso, convendría calcular las longitudes de aquellos elementos para las temperaturas máximas, puesto que importa que la viga se apoye constantemente en las péndolas.

Tales son las reglas sencillas mediante las cuales pueden evitarse que las variaciones de temperatura alteren las condiciones en que deben trabajar los órganos, según las hipótesis admitidas para su cálculo.

Creemos que con lo dicho pueden calcularse con facilidad todos los elementos de un puente colgado del moderno sistema francés, así como los necesarios para las reparaciones de los antiguos. Sin embargo, consignaremos nuevamente que esta cuestión no está definitivamente resuelta, y que existe en Francia una Comisión encargada de su estudio. La justa reputación de que gozan sus miembros, permite esperar la resolución completa de este problema; pero los métodos que hemos indicado en estos ligeros apuntes, no dejan, entre tanto, de tener alguna utilidad, puesto que han conducido á los excelentes resultados prácticos que hemos expuesto. De todos modos, quedarán satisfechas nuestras aspiraciones si con este trabajo conseguimos llamar la atención de nuestros compañeros hacia este interesante problema.

LUIS GAZTELU.—A. FERNANDEZ NAVARRETE.

Ingenieros de Caminos.