

der señalar en el tipo de Sirena de Barbier, á saber: la posibilidad de variar la intensidad del sonido sin alterar su tono.

En efecto, la intensidad del sonido depende de la velocidad de salida del aire por las hendiduras, y aumenta, aunque lentamente, cuando aumenta la presión. El tono del sonido depende del número de hendiduras de los discos y de la velocidad de su rotación.

Ahora bien; en la Sirena de Barbier es posible aumentar ó disminuir la presión del aire sin alterar la velocidad de rotación del disco y recíprocamente.

Este resultado no puede conseguirse con la Sirena automática de Sautter, en la cual, al aumentar ó disminuir la presión del aire, para variar en el mismo sentido la intensidad del sonido, se modifica de igual manera la velocidad de rotación del disco de la Sirena, alterando, por consiguiente, su tono.

(Se continuará)

F. LIZARRAGA.

ESTUDIO DE LAS HIPÓTESIS

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

I. — Generalidades.

Los primeros puentes colgados en que se iniciaron las reformas encaminadas á comunicarles rigidez, cuya carencia era el principal inconveniente del sistema, fueron, según Mr. Malézieux, los construidos por Roebling en los Estados Unidos por los años de 1845 á 1855. En la misma época se hallaban ya muy generalizados en Europa, pero cayeron en completo descrédito del público á consecuencia de los siniestros que ocasionaron. Sin embargo, es muy de notar que ninguna de aquellas catástrofes puede imputarse al sistema, siendo fácil comprobarlo en numerosos ejemplos, en que se señala claramente la causa de la rotura, que provino siempre de defectos de construcción, de descuidos ó de un empleo del material mal entendido. En apoyo de esta afirmación podemos citar la ruina de los puentes de Broughton, en Inglaterra; los de Longues-sur- l' Allier, de Basse-Chaîne, de Augers, arruinado en 1838, y posteriormente en 1850, el de la Roche-Bernard y el de Mirabel en Francia; el de Burceña y tres de los cuatro construidos por la sociedad de puentes colgados, de los que sólo queda el de Santa Isabel en España.

Pero lo que con más evidencia demuestra que no deben atribuirse al

sistema los fracasos mencionados, es el resultado obtenido en las gigantes cas construcciones americanas, en las que mediante la adición de algunos elementos se ha conseguido salvar luces inaccesibles por ningún otro medio (1) y en condiciones completamente satisfactorias. Así lo han entendido todos los Ingenieros europeos que han estudiado aquellas construcciones, siendo dignos de mención el Ingeniero francés Mr. Malézieux, que en 1870 dió cuenta del resultado de sus estudios, iniciando la reacción favorable á los puentes colgados, y el italiano Comolli que más recientemente ha publicado datos de gran interés acerca de las construcciones modernas de este género establecidas en el Norte de América.

El resultado del estudio de Mr. Malézieux se halla condensado en la siguiente conclusión, que literalmente traducimos de su informe: «Los órganos adicionales complican evidentemente el sistema y pueden, aumentando el gasto, disminuir en ciertos casos su valor relativo. Pero esto no es razón para olvidar que, excediendo la luz de 150 metros, puede decirse que este sistema no tiene rival, y aun la cuestión del aumento de coste merece examinarse maduradamente. Opinamos, pues, en consecuencia, que procede reaccionar contra el descrédito á que la opinión pública ha relegado en nuestro país los puentes colgados.»

Puede decirse que esta conclusión de Mr. Malézieux fué efectivamente el punto de partida del renacimiento en Francia de los puentes colgados y de numerosos perfeccionamientos, tanto en sus disposiciones esenciales como en los detalles de construcción. Los primeros, inspirados en las construcciones americanas, han sido objeto de diversas modificaciones, que se han impuesto á causa de las condiciones de los puentes europeos, muy distintos de los americanos; pero no puede ponerse en duda que, al imitar los Ingenieros franceses las disposiciones americanas, han introducido en ellas variaciones esenciales, y algunas muy acertadas á nuestro juicio. Todas estas modificaciones se han llevado á cabo gradualmente, habiéndose construido y reparado varios puentes en los que se han advertido algunos defectos, aunque en ellos se hayan corregido los inherentes al antiguo sistema; pero en los recientemente construidos se ha llegado á un grado tal de perfección, que puede afirmarse que no son ya imputables al sistema ninguno de los inconvenientes esenciales que se le atribuían.

Ha contribuido eficazmente á esta transformación el Ingeniero Mr. Aznodin, especialista en la clase de construcciones que nos ocupa, y al que se deben la mayor parte de las mejoras en la fabricación de los elementos que las constituyen y en la disposición de todos los detalles.

(1) No ignoramos que actualmente se construye sobre el Firth of Forth en Queensferry (Escocia) un puente metálico con dos tramos de 518,25 metros de luz. Pero esto no pasa hasta ahora de un ensayo, que muy probablemente resultará más costoso que los puentes que nos ocupan, y de ningún modo altera la exactitud de las consideraciones que se consignan en el texto.

Por otra parte, un gran número de puentes colgados construidos por vía de concesión temporal han pasado á ser propiedad del Estado por incautación ó caducidad de las concesiones, llegando á 500 el número de los que en breve plazo debon quedar á cargo de la Administración francesa, y viéndose ésta precisada á pensar seriamente en el problema de su reparación y mejora. Esto ha motivado la creación de una comisión especial de Ingenieros de puentes y calzadas, de la que fundadamente pueden esperarse trabajos que resuelvan este difícil problema, de verdadera importancia en todos los países en que se han establecido puentes colgados, puesto que precisamente se construyeron, por regla general, en aquellos casos en que los otros sistemas no eran económicamente aceptables y en idénticas condiciones que los que acabamos de mencionar. Su solución se ha de imponer necesariamente en nuestro país, como se ha impuesto ya en el caso particular del puente de Santa Isabel sobre el río Gállego, en la carretera de Madrid á Francia por La Junquera.

Pero no solamente tiene importancia el problema de la reparación de los puentes existentes que se impone, según queda dicho, sino que la tiene también muy grande su construcción, toda vez que los modernos perfeccionamientos suprimen sus antiguos inconvenientes, y es el único sistema que permite salvar, en condiciones económicas, luces superiores á 80 metros.

Cierto es que con los nuevos perfeccionamientos aumenta algo su coste de construcción; pero quedando siempre muy inferior al de los puentes metálicos, que es con los que deben compararse, puesto que entre estos dos sistemas puede surgir la duda al determinarse en un proyecto qué clase de puente conviene. Según Mr. Aznodin, la relación entre el coste de un puente metálico y uno colgado es 1,7, suponiendo que este último se construya todo de hierro exceptuando el entablonado.

Por otra parte, los resultados obtenidos en los puentes de Lamothe-sur-l'Allier y Verdun-sur-Garonne prueban plenamente que pueden admitirse sin ningún inconveniente en nuestras carreteras, por ser muy suficiente la rigidez obtenida, á pesar de que en ninguno de los dos se ha sacado todo el partido posible de los medios de que actualmente se dispone para conseguirlo; no siendo esto extraño, puesto que se trata de los primeros ensayos. En el primero se llegó á hacer pasar al trote y al galope un pesado carruaje de dos ruedas sin que se observase oscilación alguna de amplitud notable, pudiéndose suprimir en él, según el Ingeniero Mr. Nicou, la prohibición ordinaria de trotar en los puentes colgados, al menos para los carruajes ligeros. Sin embargo, este puente no alcanza la rigidez de que el sistema es susceptible, por no haberso extendido los cables oblicuos á la distancia conveniente de los estribos, ni se han conseguido todas las ven-

tajas que se pueden esperar de las vigas-barandillas, según afirma el Ingeniero ya citado.

En el puente de Verdun sur-Garonne se ha conseguido duplicar la rigidez (1) con la adición de cables oblicuos y de una barandilla de la que tampoco se ha sacado todo el partido que hoy se puede obtener.

Estos resultados confirman, á nuestro juicio, la opinión de Mr. Aznodin, que admite *á priori* la conveniencia de un puente colgado, siempre que la luz exceda de 80 metros y las dificultades de fundación de apoyos intermedios sean grandes; y cuando con luces menores sea grande la altura de la rasante sobre el thalweg.

La circunstancia de hallarnos encargados de dos proyectos, uno de obra nueva y otro de reparación, en que la aplicación de las ideas que preceden es necesaria, nos ha obligado á buscar cuantos datos hemos podido obtener acerca de esta importante cuestión. Hemos consultado al efecto las obras de Malézieux, Comolli y Croizette-Desnoyers y varias publicaciones extranjeras; pero debemos las noticias más interesantes que poseemos al Ingeniero francés Mr. Arnodin, quien nos ha honrado con su fina atención, de la cual, así como de su competencia, teníamos conocimiento por cuantas publicaciones francesas hemos podido consultar.

Nos complacemos en hacer público nuestro agradecimiento por el gran número de datos que nos ha suministrado, excitándonos al propio tiempo á su publicación en nuestras Revistas técnicas.

Persuadidos del interés que han de despertar en nuestros compañeros, tanto por su novedad como por la necesidad en que han de verse muchos de ellos de tratar estas cuestiones, no hemos vacilado en redactar algunos artículos acerca del cálculo de los elementos de los modernos puentes colgados, rígidos y amovibles, sin perjuicio de completarlos á medida que las atenciones del servicio nos lo consientan con otros acerca de la construcción y de las disposiciones que se han adoptado.

Gran número de problemas nuevos se presentan al redactar el proyecto de un puente de este género, y algunos de ellos están resueltos de una manera definitiva y sancionada por la experiencia. La necesidad de aplicar los

(1) En el puente de Verdun-sur-Garonne se verificaron dos series de experimentos, una antes y otra después de efectuada su reparación. Se subdividió el tablero en partes iguales de 10 metros próximamente, y colocando un carruaje de peso conocido en cada uno de los puntos de división, se obtenía el perfil exacto de la deformación del tablero; reducida el área comprendida entre el perfil de la deformación y la rasante primitiva á un rectángulo, el factor que multiplica á la luz representa la flecha media. Si en cada punto de división se toma como ordenada la flecha media, tendremos una curva cuya superficie puede tomarse como la medida de la rigidez. Obtenidas estas superficies antes y después de la reparación, el cociente de la primera por la segunda es próximamente 2, pudiéndose decir, por lo tanto, que se ha duplicado la rigidez del puente.

Se comprende que verificando experimentos análogos en gran número de puentes, puede adoptarse una unidad de rigidez y expresar ésta por un número para cada puente.

principios anteriores, nos ha obligado á estudiar todos estos problemas con el criterio práctico que exige la redacción de un proyecto, habiendo tenido que modificar algunas de las soluciones que se han propuesto, é idear otras nuevas, que no hemos encontrado en los trabajos consultados.

Antes de pasar al cálculo de cada uno de los elementos, será necesario examinar las principales disposiciones de los puentes americanos y la manera cómo se han adaptado éstas á los puentes franceses, á fin de conocer las condiciones en que deben considerarse los diversos elementos de los puentes colgados para el cálculo de sus dimensiones.

Es sabido que los puentes americanos difieren de los antiguos puentes europeos en que poseen algunos órganos destinados á aumentar su rigidez, á saber: 1.ª, vigas longitudinales en mayor ó menor número, según la importancia del puente; 2.ª, tirantes inclinados ó vientos, que se reúnen en la parte superior de los apoyos ó torres, y contribuyen á sostener el tablero hasta cierta distancia de los apoyos; 3.ª, vientos que se unen al tablero por un extremo y se amarran por el otro á las márgenes.

En el moderno sistema francés, las vigas se reducen á dos y se confunden con las barandillas, á las que se da con este objeto una disposición adecuada. Los tirantes inclinados sostienen por sí solos una parte del tablero, para lo cual se suprimen las péndolas en dicha parte. En cuanto á los cables, que unen el tablero á las márgenes, es sabido que se usaron, aunque de un modo rudimentario, en los antiguos puentes colgados. En los modernos no se les ha dado importancia, y esto se explica fácilmente. Los puentes americanos, por la gran superficie que presentan á la acción del viento, exigen estos órganos para contrarrestarla; pero en los recientemente construídos en Francia, la rigidez debida á las nuevas disposiciones, los ha hecho innecesarios.

Además de las diferencias indicadas, se notan algunas otras importantes. En los puentes americanos se ha tratado de concentrar el material con el doble objeto de disminuir las superficies expuestas á la oxidación, y de hacer más uniforme la repartición de los esfuerzos. En los franceses, por el contrario, se aumenta el número de cables disminuyendo sus dimensiones, y disponiéndolos de manera que puedan desmontarse sin interrumpir el servicio del puente, consiguiéndose una suspensión homogénea, merced al perfeccionamiento en la fabricación de los cables y á los tensores empleados en su colocación.

Estas diferencias están, como se ve, muy en armonía con las que se observan en las proporciones de las obras americanas y francesas, y es evidente que las que nos interesa imitar, por regla general, son estas últimas.

II. — *Cables de suspensión.*

Dos partes debemos de considerar en los cables de suspensión. La central, que sostiene directamente la porción de tablero correspondiente á su proyección horizontal, y las contiguas á los apoyos, que no sostienen la parte de tablero que les corresponde en proyección horizontal, puesto que ésta se halla suspendida de los cables oblicuos; la cual, por lo tanto, se halla sometida á la tensión que sobre ella ejerce la parte central y á su propio peso.

La parte central, hallándose solicitada por pesos uniformemente repartidos en proyección horizontal, afectará la forma de una parábola. Esta hipótesis se justifica perfectamente en los puentes modernos, merced á la acción de la viga-barandilla, como veremos al hacer su estudio, donde deberemos examinar la manera cómo se reparten las cargas entre este nuevo elemento y la suspensión; pero desde luego se comprende que se acerca á la verdad mucho más que en los puentes antiguos, toda vez que la viga reparte la acción de las cargas aisladas en un gran número de viguetas, mientras que en el sistema antiguo se trasmitían á un punto del cable, resultando errónea la hipótesis de la repartición uniforme para las cargas accidentales.

En cuanto á la parte del cable contiguo á los apoyos, afectará la forma de una catenaria, del mismo modo que los fiadores y los cables oblicuos; pero en la práctica puede admitirse que se reduce á una recta tangente á la parábola de la parte central, como á continuación lo comprobaremos.

Admitida esta hipótesis y fijada la parte de tablero que han de sostener los cables oblicuos, que llamaremos l (fig. 1), el problema queda reducido á determinar la ecuación de una parábola de eje vertical, cuyo vértice O se conoce, y que ha de ser tangente á una recta que pasa por el punto N en un punto M , cuya abscisa L es conocida.

Sea f la flecha, ó lo que es lo mismo, la ordenada del punto M , y H la altura del punto N sobre O . Según una propiedad conocida de la parábola, los triángulos $N M I$ $M K$ serán semejantes y darán la relación:

$$\frac{H - f}{l} = \frac{2f}{L}, \quad \text{de donde}$$

$$f = \frac{HL}{2l + L}; \quad (1)$$

y la ecuación de la parábola será:

$$y^2 = \frac{L^2}{f} x = \frac{L(2l + L)}{H} x. \quad (2)$$

La ecuación de la parte recta del cable será:

$$y = \frac{1}{2f} x + \frac{L}{2}. \quad (3)$$

La longitud del cable se calculará fácilmente; la expresión general de la parte parabólica es

$$D_p = \int_{-L}^{L} \left[1 + \left(\frac{2L^2}{f} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} dx;$$

desarrollando los cálculos

$$D_p = 2L \left[1 + \frac{2}{3} \frac{f^2}{L^2} - \frac{2}{5} \frac{f^4}{L^4} + \frac{4}{7} \frac{f^6}{L^6} \dots \right] \quad (4)$$

En general, bastará en la práctica tomar los dos primeros términos del desarrollo, que darán suficiente aproximación. Las partes rectilíneas tendrán por longitud

$$D_r = 2 \sqrt{l^2 + (H - f)^2}; \quad (5)$$

la suma de las expresiones (4) y (5) dará la longitud total buscada.

La tensión en el punto más bajo de la parábola, ó la proyección horizontal constante en un punto cualquiera, es

$$T_0 = \frac{pL^2}{2f}. \quad (4)$$

En efecto; siendo T_0 la tensión horizontal constante (según una propiedad fundamental de los sistemas funiculares), la ecuación diferencial del equilibrio es

$$\frac{dx}{dy} = \frac{py}{T_0}.$$

Integrando, resulta, $x = \frac{py^2}{2T_0}$, ecuación de la curva que afecta el cable, la cual, identificada con la (2), da la relación (4).

Se sabe que en un punto cualquiera la tensión es la resultante de esta componente constante horizontal y de todos los pesos que actúan desde el punto más bajo hasta el que se considera. Por lo tanto, la máxima se desarrollará en el punto M, y tendrá por expresión

$$T_m = \sqrt{T_0^2 + p^2 L^2} = pL \sqrt{\left(\frac{L^2}{4f^2} + 1 \right)} \quad (5)$$

(Se continuará.)

LUIS GAZTELU.—A. FERNANDEZ NAVARRETE.

MADRID: 1888.

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE GREGORIO JUSTE.

Calle de Pizarro, número 15, bajo.