

MADRID, 15 DE ABRIL DE 1876.

TOMO XXIV.

NÚM. 8.º

SUMARIO.

Puente de San Luis sobre el Misisipi (conclusion), por D. Evaristo de Churrua.—El Tunel de San Gotardo.—Parte oficial.—Subastas.—Noticias varias: Personal, Recepciones de obras y aprobaciones de proyectos.—Erratas.

PUENTE DE SAN LUIS SOBRE EL MISISIPÍ.

(*Conclusim.*)

4.º—DEFECTOS

QUE PRESENTA EL PUENTE DE SAN LUIS PARA RESISTIR Á LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA, Y NUEVO SISTEMA QUE SU AUTOR PRESENTA PARA EVITARLOS.

En una Memoria leída en Junio de 1874 por el Capitan Eads, en la Sociedad Americana de Ingenieros civiles, época en la cual se acababa de montar el puente de San Luis, da á conocer los defectos que tiene el sistema que adoptó para dicho puente, y propone para lo sucesivo otro que los evite, cuya memoria hemos creído conveniente extractar como apéndice de la descripcion del puente.

Manifiesta que cuando proyectó el puente de San Luis adoptó el sistema mejor que entónces se conocia, pero que al tiempo de construirlo y particularmente al montarlo, tropezó con varias dificultades provenientes de los defectos del sistema, y en su consecuencia estudió el medio de evitarlos, viniendo á parar al nuevo que propone.

Expone que si la temperatura fuera constante y se adoptára para la forma de los arcos una parábola, de la cual, dicho sea de paso, difieren muy poco los arcos de círculo del puente de San Luis, una carga uniformemente repartida obraria igualmente sobre los dos tubos que forman cada cercha, es decir, que cada tubo soportaria la mitad de ella, y el único esfuerzo en las riostras que entrelazan los arcos superior é inferior seria el necesario para trasmitir al arco inferior la mitad de la carga. En este caso seria exactamente lo mismo para la resistencia el colocar yuxtapuestos uno sobre otro los dos arcos que componen una cercha, que en el puente de San Luis se hallan sepa-

rados 5^m,66, evitando así el arriostrado, con la consiguiente economía de material. Pero como el puente, ademas de la carga permanente, que casi puede decirse se reparte con uniformidad, tiene que resistir la carga móvil ó accidental, de ahí la necesidad de aumentar su rigidez colocando los dos arcos que forman cada cercha separados uno de otro, habiéndose adoptado en el caso actual, como más conveniente para la resistencia, la distancia indicada de 12 piés (5^m,66) de eje á eje.

Los cálculos de resistencia se hicieron suponiendo una temperatura constante igual á la media al aire libre en San Luis, que es de 60 grados Fahrenheit (15°,5 centígrados), pero como aquella varia entre -20 grados y 140° Fahrenheit ó sea 160 grados, equivalentes á 88°,8 centígrados, se producen en la estructura fenómenos moleculares que alteran por completo los esfuerzos calculados en dicha hipótesis, y se comprende que así sea con advertir que entre los expresados limites la longitud del arco varia 0^m,15. Como los extremos de los tubos están fijos, resulta de la dilatacion que se elevan ó peraltan en su medio, aminorando ó anulando la fuerza de compresion en los arranques del tubo inferior y haciendo como consecuencia que dicho arco no soporte en los arranques la parte correspondiente de la carga, la cual obrará en su mayor parte ó en totalidad sobre el arco superior en sus arranques, y de aquí la necesidad de aumentar en ellos la seccion del tubo superior. En el medio de los tubos sucede lo contrario, pues la flexion hácia arriba de la cercha, producida por la dilatacion, anulára al llegar á cierto limite la compresion del tubo superior, teniendo que soportar entónces el inferior la carga correspondiente á ambos, y de aquí la necesidad de aumentar la seccion del tubo inferior en el medio del arco para hacer frente á este mayor esfuerzo. Se ve, pues, que cuando la temperatura llega á cierto limite, el tubo superior en los arranques y el inferior en el medio tienen que soportar todo el peso de la cercha y de la carga que sobre ella obra. Los esfuerzos que obran en los tubos respectivos disminuyen desde los citados puntos donde son máximos hácia los riñones del arco, en los cuales la curva

de presión de la cercha pasa á igual distancia de los dos tubos, de modo que las presiones se reparten en ellos casi igualmente entre ambos tubos.

Los fenómenos que se han indicado se refieren á los producidos por la dilatación; si ahora suponemos que la temperatura desciende de la media, serán aquellos inversos completamente. El medio de la cercha bajará y aumentará la compresión en el tubo superior, en términos que en algún caso tendrá que resistir por sí solo en dicho punto el esfuerzo que en la temperatura media se repartía entre los dos tubos, por lo cual habrá que aumentar su sección en dicho punto, mientras que en los arranques todo el esfuerzo obrará en el tubo inferior. Como consecuencia de esto habrá que aumentar la sección en los arranques del tubo inferior y en el medio del superior, al contrario precisamente de lo que sucedía en el caso de la dilatación, resultando como ántes en los riñones una repartición casi igual de los esfuerzos entre ambos tubos.

Combinando lo que hemos dicho para ambos casos de dilatación y contracción, resulta que la sección adicional necesaria en los tubos para hacer frente á los esfuerzos que se desarrollan por los cambios de temperatura tiene que ir disminuyendo desde los arranques y punto medio hácia los riñones.

En los límites extremos de temperatura sucederá probablemente que, no solamente se anulará la presión en los arranques de uno de los tubos, sino que se convertirá en tensión, cuya tendencia será á desprender dicho tubo de los estribos. Para contrarrestar este efecto en el puente de San Luis, las piezas de hierro que forman los salmeres de donde arrancan los tubos, y á las cuales están éstos atornillados, mediante las bases que llevan los primeros trozos de los diversos tubos, se sujetan á la fábrica de las pilas y estribos por unos fuertes pernos ó pasadores de acero de 0^m,15 de diámetro, según se ha dicho al describir los arcos, si bien es de advertir que más que para contrarrestar los efectos de temperatura, se pusieron teniendo en cuenta las alteraciones que se producirían en los esfuerzos de los arcos por efecto de la repartición desigual de la sobrecarga. Es de advertir que en los casos que la presión de un arco en los arranques cambie en tensión se transmitirá parte de ésta al otro tubo por medio de las riostras, aumentando la compresión á que se halla sujeto, lo cual, según M. Eads, obliga también á aumentar la sección en

los dos ó tres primeros trozos de este tubo á contar desde los arranques.

Continúa exponiendo el autor que si se hubiera aumentado la distancia entre los dos tubos de una cercha, hubieran también aumentado las irregularidades citadas en los esfuerzos, producidas por los cambios de temperatura, lo que obligaría á aumentar más todavía la sección de los tubos en los arranques y puntos medios. Si, por el contrario, dicha distancia que constituye la profundidad ó espesor de la cercha disminuyera, serían menores aquellas irregularidades, pero se obtendría en cambio una cercha más flexible y ménos propia por lo tanto para hacer frente á una repartición desigual de la sobrecarga. Entre estos dos males, después de varios cálculos, se decidió el autor por la distancia de 12 pies (3^m,66) entre los ejes de los tubos que componen una cercha, la cual daba los resultados más satisfactorios y económicos. En la Memoria de M. Eads se acompaña un diagrama de los esfuerzos en el arco central producidos por los cambios de temperatura, que confirma lo que se ha dicho respecto de ellos.

Entra después en una larga serie de consideraciones sobre los diversos sistemas de puentes, y particularmente acerca de los colgados y de arcos, que los compara tanto en el caso de resistir á cargas uniformemente repartidas, como cuando su distribución es desigual.

Nadie puede negar, dice, que el modo más económico en que puede emplearse el acero ó hierro para salvar una luz dada y resistir una carga uniformemente repartida, es, en forma de catenaria; y que es igualmente evidente que si un arco inverso de aquella forma tiene la misma luz, peso y curvatura de una catenaria dada, los esfuerzos que obrarán en uno y otro serán exactamente iguales, siendo de compresión en el arco y de tensión en la catenaria. En esta última se empleará el metal en forma sólida, y en el arco convendrá sea en forma tubular ú otra forma conveniente, para mejor resistir á la compresión, sin que en este caso haya necesidad de emplear más metal que en el otro. Como se supone que sólo obra una carga uniforme, no habrá necesidad de riostras para conservar su curvatura inicial; pero en el caso que esté repartida desigualmente tendrá necesidad de ellas, y la diferencia de metal necesaria en uno y otro sistema provendrá solamente de la diferencia entre las riostras. Todo esto se refiere solamente al material comprendido entre

los estribos y en el supuesto que el hierro y acero resistan igualmente á la extension y á la compresion, lo cual es exacto entre ciertos límites de la longitud de la pieza comprimida, que no ha de exceder de ocho á diez veces el diámetro de la seccion transversal; en el puente de San Luis la longitud de cada trozo de tubo de los que forman los arcos es ocho veces el diámetro. Pero hay que observar que en los puentes colgados necesita conservar la catenaria toda su seccion, hasta asegurarse en los pozos de amarra, lo que exige una cantidad adicional de material que no necesita un puente de arco, cuyo empuje se contraresta por la inercia de los estribos.

Continúa la comparacion con otros sistemas de puentes, y expone luego algunos medios que se adoptan en la práctica para dar rigidez á los puentes de arco y colgados, con objeto de contrarrestar la desigual reparticion de las cargas y los cambios de temperatura, en cuyas consideraciones no seguiremos al autor, limitándonos á dar á conocer el sistema de puentes de arco á que llega como término de sus investigaciones, para con la menor cantidad de metal posible salvar una luz dada y resistir mejor á las cargas desiguales, evitando á la vez los efectos que producen los cambios de temperatura en la distribucion de los esfuerzos.

Las figuras 1.^a, 2.^a y 3.^a de la lámina 55, que son relativas á un proyecto de puente de 5 tramos de 250 piés (76^m,20) de luz cada uno, representan el sistema propuesto que, segun se ve, se compone principalmente de un arco superior que resiste por compresion, y de dos contra-arcos que, partiendo de los arranques, van á parar al medio del arco, cuyo objeto es contrarrestar los efectos que las cargas desigualmente repartidas produzcan en el arco superior á cuyo efecto están arriostrados entre sí. Por la forma y articulaciones que tiene el arco en su mitad y arranques, la cual es semejante á la invertida propuesta por Mr. Claxton Fidler para los puentes colgados rígidos, para contrarrestar los efectos de las cargas desiguales y las producidas por las alteraciones de temperatura, segun puede verse en la Memoria publicada en el núm. 4 del año corriente de la REVISTA, se evitan los efectos ya explicados, que se producen en el sistema adoptado para el puente de San Luis por las variaciones de temperatura.

Los diagramas de distribucion de esfuerzos que el autor presenta para un puente de 500 piés de luz (152^m,40) en los nueve casos de distribucion

de la carga que considera, muestran que los esfuerzos en los diversos puntos de una cualquiera de las piezas que constituyen el puente, sea el arco superior, contra-arcos, riostras y tirante inferior, son poco diferentes en cada caso, de modo que la seccion de cada una de dichas piezas puede hacerse uniforme, circunstancia que favorece mucho á la construccion. De ellos resulta tambien el importante resultado que para salvar una luz de 500 piés (152^m,40) con dicho sistema, teniendo que resistir por pié lineal, ademas de su propio peso una carga móvil de 2.500 libras, que equivale á 5.707 kilógs. por metro lineal, basta emplear 1.500 libras de acero y hierro por pié lineal, ó sea 2.250 kilógs. por metro lineal, incluyendo en dichas 1.500 libras, no solamente el peso de todas las piezas principales del arco, sino tambien el peso de los rails, viguetas, planchas del piso, riostras, etc., y advirtiéndose que el acero se emplea sólo en el arco superior, siendo de hierro todas las partes restantes, y que la máxima compresion del acero ha de ser 20.000 libras por pulgada cuadrada, ó sea unos 14 kilógs. por milimetro cuadrado, y que los esfuerzos en el hierro no han de pasar de 10.000 libras por pié lineal, ó sea 7 kilógs. por milimetro cuadrado, con la circunstancia, ademas, que se ha tenido en cuenta un 10 por 100 del peso total para juntas y empalmes.

El piso se ha figurado colgado del arco, pero pudiera tambien estar encima; en el primer caso puede hacerse de modo que sirva de tirante del arco y destruya la diferencia de empuje entre los arcos contiguos, resultante de una reparticion desigual de la carga, pues en caso de una carga uniforme se destruyen entre sí; lo cual tiene tambien la ventaja, en algunos casos importante, que los estribos sólo tendrán que resistir la presion vertical y podrán hacerse más ligeros. Si el puente constara de dos ó más tramos, como en el caso de las figs. 1, 2 y 3, puede disponerse su asiento sobre las pilas, de modo que éstas no tengan que resistir, cualquiera que sea la distribucion de la carga y variaciones de temperatura, más que esfuerzos verticales, y por lo tanto podrán reducirse sus dimensiones para que sirvan sólo para este objeto. Se comprende, en efecto, que á pesar de los tirantes horizontales que forman parte del piso, puedan producirse empujes en los arcos, toda vez que no estarán siempre los tirantes, por efecto de la temperatura, á la tension conveniente; de modo que los empu-

jes de los arcos, si bien cuando estén con carga uniforme se destruirán mutuamente los de los arcos contiguos quedando sin contrarestar en los estribos, no sucederá lo propio cuando la carga esté repartida desigualmente, como cuando un tren de ferro-carril está pasando el puente, pues entónces se producirán empujes desiguales, transmitiéndose la diferencia de ellos á los arcos sin cargar, así como tambien á sus tirantes, que podrán de este modo resistir por compresion. Asi pues, sucederá en tal caso, que las pilas tendrán que resistir á fuerzas horizontales, lo cual conviene evitar, y para esto se dispondrán los arranques de los arcos y tirantes sobre las pilas en la forma que se indica en perspectiva en la fig. 4.^a En ella se ve una base de asiento que se sujeta por medio de pasadores á la pila, colocándose encima un juego de rodillos sobre los cuales descansan los arranques de los arcos, que pueden así tener movimiento sobre ellos por efecto de los empujes desiguales, evitándose así la trasmision de esfuerzos horizontales á las pilas. Se ve, ademas, en dicha figura que los arranques de los arcos descansan cada uno en una articulacion cilindrica que permite en ellos un juego que, juntamente con el correspondiente á la articulacion del medio del arco y á la forma de las cerchas evitan los esfuerzos extraordinarios que, segun se ha explicado para el puente de San Luis, se producen en los arcos por efecto de los cambios de temperatura. Ademas, para impedir que las dilataciones ó contracciones de los tirantes por efecto de la temperatura, puedan ejercer influencia en los arcos, se enlazan en cada pila los extremos de aquéllos por medio de unos eslabones, que se indican de trazos en la figura, á una pieza central compuesta de dos discos paralelos, entre los cuales se sujetan por medio de pernos los extremos de dichos eslabones, pero de modo que dichos pernos se hallen el uno arriba y el otro debajo, ó sea diametralmente opuesto respecto al eje imaginario que una los centros de los dos discos paralelos; con cuya disposicion cualquiera dilatacion ó contraccion de los tirantes produce un pequeño movimiento de rotacion de los discos, los cuales constituyen una palanca cuyo punto fijo es el eje y sus brazos el diámetro que une los ejes de los pernos, evitándose así la trasmision de sus efectos á los arcos. Puede adoptarse una disposicion análoga para el asiento y arranque de los arcos sobre los estribos para evitar los empujes debidos á la

desigual distribucion de la carga y las irregularidades que los cambios de temperatura puedan producir en los esfuerzos que obran en los arcos.

Al final de la Memoria del capitán Eads se presentan, en forma de tablas, los resúmenes detallados del peso de las diferentes partes que constituyen dos puentes de su sistema, uno de dos tramos de 400 piés (122^m) de luz cada uno, y otro de cinco tramos de 250 piés (76,20 metros) cada uno, ambos para doble vía, y en los supuestos siguientes: 1.º Que sean de acero los arcos superiores, y de hierro todas las piezas restantes del puente, incluso los contra-arcos. 2.º Que todo el puente, incluso los arcos superiores, sean de hierro. En ambos puentes ha tomado para flecha de los arcos $\frac{1}{8}$ de la luz correspondiente de los tramos, y ha supuesto y tenido en cuenta que se emplea el 10 por 100 del material en las juntas. El número de cerchas ó cuchillos en cada tramo en ambos puentes es tres, y se ha supuesto que ademas de su carga propia, tienen que resistir á un peso accidental de 2,50 toneladas americanas por pié lineal, que equivalen próximamente á 8,20 toneladas por metro lineal.

En el puente de dos tramos de 400 piés de abertura cada uno, y en el caso que los arcos sean de acero, resulta: que el peso por metro lineal de carga permanente que gravita en la luz de cada tramo, comprendiendo el peso de todo el sistema del puente con las viguetas del piso, rails, tablazon del suelo, etc., etc., es de 1,26 toneladas por pié lineal, ó sea 4,15 toneladas por metro lineal.

En el mismo puente y en el caso que los arcos sean de hierro en lugar de acero, resulta para el peso del pié lineal de puente entre paramentos de los apoyos opuestos, comprendiendo como ántes, ademas de las cerchas ó cuchillos, las viguetas de hierro del piso, rails, tablazon del suelo, etc., etc., ó sea la carga permanente por pié lineal 1,90 toneladas, que equivale á 6,25 por metro lineal, siendo debida la diferencia entre este caso y el anterior á la que existe entre los pesos de los arcos de acero y de hierro.

Los resultados anteriores que se obtienen para la carga permanente corresponden á la que obra en la luz ó abertura de los tramos y no á la que directamente gravita sobre los apoyos, tales como las piezas de fundicion de donde arrancan los arcos en pila y estribos, placas de asiento y rodillos. Teniendo en cuenta los pesos de dichas piezas resulta que el peso total de acero, hierro for-

jado y fundido necesario para el puente de dos tramos de 400 piés (122 metros) cada uno, que consideramos, es como sigue:

Arcos de acero en las cerchas de ambos tramos.	507.260 libras.
Acero en los pernos de las articulaciones de los arranques.	4.620 id.
Hierro forjado empleado en los contra-arcos, riostras que los enlazan con los arcos, tirantes horizontales, viguetas y riostras del piso, péndolas y demas piezas de enlace de los cuchillos, incluso las dos vías de carriles que pesan 60 libras por yarda.	1.513.174 id.
Hierro fundido empleado en las piezas de los arranques de los arcos, placas de asiento sobre los apoyos, rodillos y piezas de las articulaciones centrales de los arcos, comprendiendo además los faroles para el alumbrado.	137.500 id.

TOTAL PESO METÁLICO. 2.162.554 libras, ó sean 980.934 kilogramos.

El peso de la tabla para los pisos de ambos tramos es. 50.880 id.

Cuando los arcos son de hierro como el resto de las piezas del puente y no se emplea por tanto más acero que las 4.620 libras necesarias en las articulaciones, entónces el total peso metálico del puente es. 3.183.294 libras, ó sean 1.443.942 kilogramos.

La gran diferencia entre uno y otro caso es resultante de la diferencia de pesos de los arcos de acero y hierro, por tener aquel material una resistencia más del doble que éste.

En el otro proyecto, que como hemos dicho es de cinco tramos de 250 piés (76^m, 20) de abertura ó luz cada uno, cuyos dibujos se acompañan, según se ha dicho, en la lám. 53 (1), coloca el autor dos pilas sencillas y dos pilas estribos, siendo éstas las dos centrales, sin duda para resistir mejor al choque de los árboles y otros cuerpos flotantes en las avenidas. Por efecto de esta disposición el tramo central no tiene que estar atirantado, resistiendo su empuje dichas pilas-estribos, lo cual trae consigo economía de hierro en el expresado tramo. El número de cerchas en cada tramo es tres, lo mismo que en el otro proyecto, siendo igual también la carga móvil ó accidental de 2,5 toneladas por pié lineal, que ha servido para el cálculo. En cuanto á la carga permanente, resulta de los tanteos hechos previamente, que es de una tonelada por pié lineal cuando los arcos son de acero, y

1,20 toneladas cuando son de hierro. Detallamos en el cuadro que sigue los pesos de las diferentes partes de este segundo proyecto de puente, por ser más aplicable que el anterior, por la luz de sus tramos, á los rios de España, por cuyo motivo también acompañamos su dibujo.

DETALLE DEL PESO DE UN TRAMO CUALQUIERA

FUERA DEL CENTRAL.

	Libras.		
Arcos de acero.	86.000	(acero)	86.000
Contra-arcos.	44.540	(hierro)	
Riostras que enlazan arcos y contra-arcos.	58.880	id.	
Tirantes horizontales que contrarestan el empuje, y viguetas longitudinales que se colocan en el piso debajo de los rails.	169.250	id.	379.924
Viguetas trasversales del piso.	41.700	id.	
Riostras del piso.	18.644	id.	
Riostras diversas que enlazan las tres cerchas.	17.068	id.	
Péndolas y placas de ojo para su enlace con el piso.	8.154	id.	
Pernos y pasadores.	688	id.	
Rails, á 60 libras por yarda.	21.000	id.	
Articulaciones centrales de los arcos.	6.000	(fundicion)	6.000
TOTAL peso metálico que gravita en la luz de un tramo.	471.924		471.924

Agregando á este peso el del pavimento de madera, resultan unas 500.000 libras próximamente, que dividido por 250 piés de luz de un tramo, resulta un peso de 2.000 libras, ó sea una tonelada americana por pié lineal de carga permanente, según hemos dicho ántes.

El tramo central, en virtud de no tener necesidad de tirantes que contraresten su empuje por hallarse entre dos pilas estribos, tiene el peso siguiente:

En su parte metálica.	{	Arcos de acero.	86.000	{	442.600
		Partes de hierro.	350.600		
		Id. de fundicion.	6.000		

De los resultados anteriores se deduce el peso metálico total del puente, que es como sigue:

	Libras.								
4 tramos á 471.924 libras uno.	1.887.696								
Tramo central.	442.600								
Piezas que por estar colocadas sobre los apoyos no se han tenido en cuenta en el cómputo anterior.	<table> <tr> <td>Placas de asiento y rodillos de fundicion.</td><td>150.000</td></tr> <tr> <td>Piezas de fundicion de donde arrancan los arcos.</td><td>30.000</td></tr> <tr> <td>Acero empleado en los pernos para asegurar las placas de asiento y para las articulaciones sobre los apoyos.</td><td>12.000</td></tr> <tr> <td>Candelabros.</td><td>3.000</td></tr> </table>	Placas de asiento y rodillos de fundicion.	150.000	Piezas de fundicion de donde arrancan los arcos.	30.000	Acero empleado en los pernos para asegurar las placas de asiento y para las articulaciones sobre los apoyos.	12.000	Candelabros.	3.000
Placas de asiento y rodillos de fundicion.	150.000								
Piezas de fundicion de donde arrancan los arcos.	30.000								
Acero empleado en los pernos para asegurar las placas de asiento y para las articulaciones sobre los apoyos.	12.000								
Candelabros.	3.000								
TOTAL GENERAL.	2525.296								

que equivalen á 1.145.474 kilogramos.

Si los arcos en lugar de acero fueran de hierro, el peso de ellos en vez de ser en cada tramo 86.000 libras, según se ha visto, sería 185.000, y como el peso de las piezas restantes sería el mismo, pue-

(1) En dicha lámina sólo aparecen dos tramos completos á partir de un estribo y el principio del central, que es semejante á los anteriores. Los tramos 4.º y 5.º y los apoyos correspondientes, son idénticos simétricamente, á los que aparecen en la figura.

de deducirse fácilmente el peso de un tramo y el total de los cinco tramos que forman el puente, que sería de 3.010.296 libras, ó sean 1.365.470 kilogramos.

Poco tiempo después de la publicación, en el *Engineering* de Londres, de la Memoria del Capitan Eads, de que hemos dado cuenta ligeramente, salió en el mismo periódico un comunicado del Ingeniero T. Claxton Fidler, en que manifiesta que, sin pretender disputar á aquel autor la originalidad de su invención, tiene que observar que el sistema propuesto por Eads tiene estrecha analogía con la forma que él propuso tanto para puentes de arco como colgado rígido, de la cual sacó privilegio de invención en 1872, habiendo presentado en la Exposición Internacional de Londres de 1873 un modelo de puente colgado rígido de dicho sistema, y leído á principios de 1874 en la Sociedad de Artes de Escocia una Memoria en la cual se demuestra la conveniencia del empleo del sistema suyo (1).

Existen sin embargo algunas diferencias entre uno y otro sistema, que se pueden ver desde luego de la comparación de las figuras 5.^a y 6.^a de la lámina 55. La figura 5.^a representa el sistema de Claxton Fidler y la figura 6.^a el del Capitan Eads, cuya diferencia consiste en que la curva continua cc' que forma el arco ó miembro superior en la figura 6.^a forma el eje cc' de la figura 5.^a, mientras que las rectas b y b' que forman los miembros inferiores de ésta constituyen los ejes b y b' de aquélla.

En ambos dibujos el arco está articulado en los arranques y en el medio, la profundidad ó altura variable de los arcos es igual en ambos, así como el arriostrado que enlaza el miembro superior con el inferior del arco. Expone, sin embargo, el Ingeniero citado que las pequeñas diferencias indicadas tienen cierta influencia en el modo de repartirse los esfuerzos, que es digna de observar. Con la misma luz EF y flecha KL el esfuerzo horizontal que obra en el arco, ó sea la suma algebraica de los esfuerzos horizontales en los dos miembros, es la misma en ambos sistemas, cualquiera que sea la carga que actúe; también son iguales los esfuerzos horizontales adicionales producidos por la flexión, resultantes de una desigual repartición de la carga: pero los máximos esfuerzos resultantes en los miembros que forman cada sistema son diferentes.

La tabla siguiente muestra los esfuerzos horizontales que obran en cada miembro bajo ciertas condiciones de la carga. Se supone que la luz es 400 piés, la flecha 40 piés, la carga permanente una tonelada por pié lineal, y la carga móvil ó accidental también de una tonelada por pié lineal. La profundidad ó altura vertical comprendida entre los dos miembros de cada semi-cercha en su punto medio es igual á la mitad de la flecha del arco total, y se supone que todas las curvas son parabólicas.

CARGAS.	Figura 5. ^a				Figura 6. ^a			
	a	b	a'	b'	c	d	c'	d'
Puente sin cargar...	250	250	250	250	500	0	500	0
Id. con la carga total.	500	500	500	500	1000	0	1000	0
Cargado en la mitad de la izquierda...	500	250	250	500	875	-125	625	+125

Cuando sobre el puente actúa una carga uniforme, que es lo que sucede en los dos primeros casos, el esfuerzo horizontal es soportado en su totalidad por el arco c, c' de la figura 6.^a, mientras que en la figura 5.^a está repartido igualmente entre los miembros a, a' y b, b' . Cuando la carga móvil actúa sólo en la mitad izquierda del arco los esfuerzos que obran en la figura 5.^a llegan en a y b' á ser iguales á cuando la carga obra en todo el puente, mientras que en b y a' son menores que en este caso; pero en la figura 6.^a los miembros d, d' que en los casos anteriores no resistían esfuerzo alguno, en el caso actual resiste el d un esfuerzo horizontal -125 y el d' otro igual y de signo positivo, siendo éste de compresión y aquél de tensión. De modo que en la figura 5.^a propuesta por Claxton Fidler no se necesita adicionar material alguno para contrarrestar los efectos de una repartición desigual de la carga, toda vez que estos no llegan á los que se producen por efecto de la carga total uniformemente repartida; pero no así en la figura 6.^a, que representa el sistema propuesto por Eads, pues los miembros inferiores que cuando el puente está con la carga total igualmente repartida nada tienen que resistir, están sometidos á esfuerzos de tensión ó compresión cuando la carga sólo actúa en una mitad. Es preciso fijarse además en que mientras en la figura 5.^a todas las piezas resisten por compresión, en la 6.^a los contra-arcos d, d' obran alternativamente por compresión ó tensión, lo cual constituye un defecto del sistema.

E. CH.

(1) Esta Memoria salió traducida en el número IV de la REVISTA de este año.