

cubrir las atenciones del Estado. Pero esta objecion nos parece de escasa importancia, porque ademas de referirse á cantidades relativamente pequeñas comparadas con el presupuesto general de la nacion, es preciso no olvidar que este es un gasto reproductivo que en nada influye en las contribuciones que paga el pueblo. Ademas que este no se alarma tanto porque la cifra del presupuesto sea un poco mas ó menos elevada, como por la inversion que se proponga de los caudales públicos. Asi creemos que no será esto obstáculo para que se adopte lo que proponemos, y que los diputados se convencerán de que todo está reducido á poner de manifiesto en los presupuestos cantidades que ahora existen solo latentes.

Tambien se nos ha objetado, que si por un lado el gobierno daba á las empresas una asignacion fija por kilómetro de camino de hierro construido ó explotado, y por otro las empresas adquiririan en el pais, todo ó parte de los efectos que necesitan, faltando las importaciones, el tesoro no hallaria compensacion á sus desembolsos, y sufriría un quebranto. Lo contrario tendria lugar en nuestro juicio: pues en el caso mas desfavorable, el paso por los portazgos, pontazgos y barcajes, no se alteraria porque los efectos se construyeran en el pais, y aun acaso acreceria algo por la mayor frecuentacion de las carreteras á que dá lugar todo incremento en la industria. Y en cuanto á los rendimientos de aduanas, puertos y faros, si la importacion de efectos no se verificaba, y si se construian en el pais, habria en cambio que introducir todos los hierros y combustibles, y como los que se necesitan para fabricar por ejemplo una locomotora pagarian unos derechos mucho mas crecidos que los que adeudaria la máquina ya construida, como es fácil ver por el arancel y por lo que arriba hemos dicho, resulta que el tesoro en vez de perder ganaria con que los efectos se fabricaran en los talleres nacionales, ademas de los mayores ingresos para el erario que siempre lleva consigo todo aumento en cualquiera de los ramos de la riqueza pública.

Hemos concluido nuestro pequeño trabajo, desprovisto de todo mérito: únicamente nos hemos propuesto en él emplear algunos ratos de ocio de que *inesperadamente* hemos podido disponer, consagrándolos á un objeto de utilidad notoria y nacional: si con ello hemos logrado llamar la atencion hácia un punto tan interesante como el que hemos tratado, el nuestro queda cumplido, y abandonamos el pensamiento á personas mas competentes, sobre todo al gobierno y á la Asamblea, para que si es aceptable lo purifiquen, y si no lo consideren solo como hijo de nuestro buen deseo para la prosperidad de la patria.—Barcelona 22 de enero de 1855. J. ALVAREZ.

PUENTES DE VIGAS TUBULARES (1).

por William Fairbairn, M. Inst. C. E.

Las dudas concebidas acerca de la seguridad del puente de Torksey, construido para el paso del rio

(1) El presente trabajo, que traducimos del *Civil En-*

Trent, han obligado al autor á esponer con la mayor claridad y precision posibles sus ideas sobre este sistema de puentes, y á contestar á cuantas objeciones se le han puesto. Ha habido diversidad de opiniones; *primero*, sobre la aplicacion de la fórmula que sirve para calcular la resistencia de las vigas tubulares; *segundo*, sobre el exceso de resistencia que ha de darse á los puentes construidos con esta clase de vigas, teniendo en cuenta la carga máxima á que deban hallarse espuestos; y *tercero*, sobre los efectos que en ellos producen los choques, y modo mejor de verificar la prueba de su resistencia y convencerse de la seguridad que el sistema ofrece.

Tales son los principales puntos en litigio, y el autor, deseando dejar satisfechas á las personas que le han consultado, procura manifestar cuanto cree que puede servir para establecer la cuestion, y probar satisfactoriamente todo lo relativo á la resistencia y demas propiedades de tan importantes construcciones. Pero antes de entrar en este estudio, será conveniente hacer algunas observaciones convenientes al sistema y á la estabilidad y seguridad que ofrecen los puentes de vigas tubulares.

Una obra de pública utilidad y destinada á dar paso á una comunicacion pública, debe poseer en sí misma las condiciones de una irrecusable seguridad. Los puentes y los viaductos han de reunir mas particularmente tales condiciones por hallarse mas espuestos que otra cualquier obra á deteriorarse y arruinarse; y como pueden ser muchas las causas que motiven estos efectos, el interés general exige que dichas construcciones se ejecuten con la resistencia y duracion necesarias. La introduccion de un nuevo sistema, que requiera el empleo de un material no experimentado en las condiciones en que ha de establecerse, obliga á su autor á fijar todo lo posible su atencion sobre las mas insignificantes circunstancias, que directa ó indirectamente puedan afectar la seguridad de la obra. Estas consideraciones son de suma importancia en los puentes de vigas tubulares, como que dependen en gran manera no solo del principio constitutivo del sistema, sino tambien del material empleado, que siempre debe ser del de mejor calidad, y de la mano de obra, que en todos casos debe ser la mas esmerada posible.

El autor ha tratado de aplicar al construirlos las anteriores consideraciones, y firmemente convencido de que su sistema presentaba sobre los demas una mayor resistencia, y mucha mas duracion y baratura, para atravesar grandes espacios, no ha titubeado en abogar por su introduccion. Conviene, sin embargo, someterlos de tiempo en tiempo á escrupulosos reconocimientos, y antes de abrirlos al tránsito público, á pruebas que sean completamente satisfactorias. Todos los ejecutados hasta la fecha han sido objeto de frecuentes reconocimientos y sufrido diversas pruebas, lo que hace pueda afirmarse con seguridad que cuando las vigas tubulares tenian las proporciones convenientes y estaban bien ejecutadas, no ha habido la menor razon para dudar de su seguridad.

La primera idea de los puentes de este sistema

gineer and Architect's Journal, correspondiente al mes de febrero de 1852, lo hemos dividido en tres artículos para darle cabida en nuestro periódico: irá acompañado de una lámina con la planta, alzado y secciones del puente de Torksey, la que repartiremos á nuestros suscritores con uno de los próximos números.

Todas las medidas que se citan son inglesas, y su relacion con las métricas se consigna en las notas que le acompañan. N. de la R.

tuvo origen en una larga serie de investigaciones prácticas, y cuando se aplicaron por primera vez á las obras de los ferro-carriles, se puso el mayor cuidado en ejecutar sus diferentes partes con arreglo á las proporciones convenientes. Estas proporciones se dedujeron de las esperiencias hechas en Millwall, sobre el modelo del puente tubular Britannia; y despues de practicados ensayos repetidos en gran tamaño se llegó á establecer con suma exactitud su resistencia y demas propiedades. Dichas esperiencias dieron ademas por resultado una fórmula cuyo objeto era calcular la máxima resistencia de puentes de diferentes luces, desde 30 pies hasta 300 y aui hasta 1000; y esta fórmula tal cual está ya publicada, creemos que debe considerarse como completamente exacta. Para librarla, no obstante, de las dudas que puedan ocurrir en su aplicacion, nos ha parecido oportuno aclarar ciertos puntos que deben tenerse en cuenta al efecto.

Está ya demostrado por la esperiencia que para equilibrar las dos fuerzas de tension y de compresion en una viga tubular de hierro forjado, cuya parte superior es celular, era preciso que la seccion transversal de la parte inferior estuviere con la de la superior en la relacion de 11 á 12; siguese de aqui, que siendo esta la relacion que debe existir entre ambas partes, un aumento cualquiera en la una, sin aumentar proporcionalmente la otra, dará lugar á que la obra sea menos resistente: en efecto, claro es que se le añade una cantidad de material completamente inútil, y cuyo peso debe disminuirse de la máxima carga para obtener la que pueda soportar el puente. Es, pues, de la mayor importancia que estas partes tengan entre sí la proporecion mencionada, con lo cual conseguiremos obtener el maximum de resistencia en las fuerzas de tension y de compresion que la viga sufre; y dicha relacion no solo debe tenerse en cuenta en la construccion de las vigas, sino tambien al aplicar la fórmula que determina su máxima resistencia. Asi, por ejemplo, si se aumentase el material de la parte inferior, la fórmula

$W = \frac{adc}{l}$ (1) no deberia aplicarse porque las secciones transversales de la parte superior é inferior no se hallaban en la relacion debida; seria, pues, preciso al determinar la resistencia del puente, no tener en cuenta en la fórmula el exceso de material mencionado. El mismo razonamiento se aplicaria, cuando el aumento de seccion transversal tuviese lugar en la parte superior (que es celular), puesto que en este caso puede aplicarse la fórmula despreciando como anteriormente la cantidad de material adicionada. Cuando esta relacion es constante, la fórmula $W = \frac{adc}{l}$ nos determina de consiguiente la resistencia de los tubos de hierro forjado, cualquiera que sea la altura de ellos y sus dimensiones relativas (2).

(1) W = peso de rotura en el medio de la viga (*weight*.)

a = superficie de la parte de metal en la seccion transversal (*area*.)

d = altura del tubo (*depth*.)

c = constante (*constant*) dependiente de las proporciones del tubo.

l = longitud del tramo ó luz (*length*.) *N. de la R.*

(2) Mr. Tate, eminente matemático, hace sobre esta fórmula las siguientes observaciones:

En el puente tubular de Torksey, de 130 pies de luz, las dimensiones dadas por Mr. Fowler á las vigas en el medio, eran las siguientes:

SECCION TRASVERSAL DE LA PARTE SUPERIOR.

				Pulgadas.
Planchas longitudinales(1).	2	piés 8 $\frac{3}{8}$ pulg. \times 2	\times $\frac{5}{8}$ pulg.	= 24,47
Id. verticales.	1	1 $\frac{1}{4}$ \times 3	\times $\frac{5}{16}$	= 12,42
Escuadras de hierro.	0	4 $\frac{3}{4}$ \times 9	\times $\frac{5}{16}$	= 13,35
Area de la parte superior celular segun Mr. Fowler.				50,24
Id. id. id. segun Mr. Simmons.				51,72
Término medio.				50,98

SECCION TRASVERSAL DE LA PARTE INFERIOR.

				Pulgadas.
Planchas longitudinales.	2	piés 9 pulg. \times 2	\times $\frac{5}{8}$ pulg.	= 41,25
Bandas del centro.	1	0	\times $\frac{3}{4}$	= 9,00
Rebordes.	0	3 $\frac{3}{4}$ \times 2	\times $\frac{10}{16}$	= 4,68
Area de la parte inferior.				54,93

La parte inferior, siendo mucho mayor que la superior, hay evidentemente necesidad de reducirla á la proporecion debida; de consiguiente las 54,90 pulgadas cuadradas de seccion transversal, se convertirán en 46,76 que son las absolutamente necesarias. Se deducirá, pues, por la fórmula el peso que causa la rotura en el medio de la viga, el cual será de 287,7 toneladas (2) porque $W = \frac{adc}{l}$ nos da

$$W = \frac{46,76 \times 120 \times 80}{1560} = 287,7 \text{ toneladas, ó próximamente } 288.$$

Multiplicando este por 4, se obtiene la cifra de 1152 toneladas que es el peso que causaria la rotura, suponiéndolo igualmente distribuido sobre uno de los tramos del puente de Torksey, y despreciando el de las vigas, del balastre, de los carriles y cojinetes etc., etc., los cuales se aprecian de diferente modo, y deben deducirse del número de toneladas mencionado.

Mr. Fowler supone que se halla distribuida la

1.^a Cuando a es el área de la seccion transversal en la parte inferior, y $c = 80$ la constante deducida de esta suposicion, podrá aplicarse con muy corto error á todas las alturas de vigas tubulares, siempre que dicha dimension ó d sea muy grande en proporecion con la altura de las celdillas y el espesor del palastro. 2.^a Cuando a es el área de la seccion total y $c = 26,7$, entonces los tubos deberán ser semejantes bajo todos conceptos, aunque una pequeña variacion en la altura no producirá error considerable, especialmente siempre que esta dimension sea grande. Al mismo tiempo debe observarse que ambas fórmulas se aplicarán con entera exactitud, cuando los tubos sean semejantes.

(1) El pié inglés es igual á 0,3048; la pulgada equivale á 0,025. *N. de la R.*

(2) Una tonelada inglesa equivale á 1015,65 kilogramos. *N. de la R.*

carga en el puente de Torksey sobre un tramo de 130 pies de luz, del siguiente modo :

	Toneladas.	Toneladas.
Carriles y coginetes.	8	
Plataforma de madera.	15	
Vigas transversales.	27	
Balastre, 4 pulgadas de espesor.	35	
Mitad del peso de las 4 vigas, siendo el de cada una de 46 toneladas (este debe haber sido el peso total supuesto igualmente distribuido)..	92	177
Resta añadir la carga accidental, la cual segun convienen Mr. Fowler y el capitán Simmons, es de.		195
Carga total.		372

Ahora bien; como la carga de rotura del puente es de 1152 toneladas, y como de ellas 177 son constantes, siguese de aqui que la diferencia, ó sea 1152—177=975 toneladas, será la mayor carga accidental que pueda sostener, la cual se halla con la anteriormente espresada en la relacion de 975 á 195, ó lo que es lo mismo en la de 5 á 1 (1). Tales son los hechos en el caso que nos ocupa; y aunque las vigas principales no poseen toda la resistencia que el autor recomienda como limite, son sin embargo suficientemente resistentes para dar al puente toda la seguridad que es de desear. En los cálculos que sirven para determinar el peso de rotura, se supone no solamente que la parte superior é inferior de las vigas están en la relacion conveniente, sino tambien que sus costados tienen toda la rigidez necesaria para no alterar la forma del tubo. Supónese ademas, que todas las planchas se hallan en la direccion de las fuerzas, y que la mano de obra y sus remaches se hallan bien ejecutados.

No están conformes las opiniones sobre el exceso de resistencia que debe darse á las vigas que nos ocupan. El autor cree que una viga tubular no tendrá la seguridad debida, si no es capaz de resistir una carga cuatro veces mayor que la máxima que pueda pasar sobre ella; y en los puentes de vigas tubulares de hierro forjado, el peso de rotura se calcula en 12 toneladas por pié lineal, incluso el peso del puente, ó próximamente seis veces la carga máxima.

El puente de Torksey, siguiendo este cálculo, debería haber sido construido con arreglo á lo que indican las adjuntas tablas; ellas presentan la resistencia, proporciones y demas propiedades de las vigas tubulares, para tramos desde 30 pies hasta 300, las cuales deben observarse en construcciones de esta clase.

La segunda columna da la luz de cada tramo; la tercera el peso de rotura del puente en el medio; la cuarta el área de las planchas y escuadras de la parte inferior de la viga; la quinta el área de la parte superior, y la última la altura de los tubos en el centro del tramo.

(1) Muchos ingenieros consideran de grande importancia, á fin de que estos puentes ofrezcan mayor resistencia, que las vigas tubulares sean continuas, ó que se estienan á dos ó mas tramos. Esto es evidente, y sin embargo no se ha tomado en cuenta esta circunstancia en los cálculos, porque se ha creído, y con razon, que el sistema ofreceria mas seguridad, determinando el valor de su resistencia para el caso de vigas completamente independiente, y despreciando por consiguiente la fuerza auxiliar que obra á manera de contrapeso en las vigas continuas.

Tabla que demuestra las proporciones de los puentes de vigas tubulares.

Luz.	Peso de rotura en el centro.	Area de la parte inferior de la viga.	Area de la parte superior de la viga.	Altura en el centro.	
				Pies.	Pulg.
30	180	14,63	17,06	2	4
35	210	17,06	19,91	2	8
40	240	19,50	22,75	3	1
45	270	21,94	25,59	3	6
50	300	24,38	28,44	3	10
55	330	26,81	31,28	4	3
60	360	29,25	34,13	4	7
65	390	31,69	36,97	5	0
70	420	34,13	39,81	5	5
75	450	36,56	42,67	5	9
80	480	39,00	45,50	6	2
85	510	41,44	48,34	6	7
90	540	43,88	51,19	6	11
95	570	46,31	54,03	7	4
100	600	48,75	56,88	7	8
110	660	53,63	62,56	8	6
120	720	58,50	68,25	9	3
130	780	63,38	73,94	10	0
140	840	68,25	79,63	10	9
150	900	73,13	85,31	11	6
160	960	78,00	91,00	10	8
170	1020	82,87	96,69	11	4
180	1080	87,75	102,38	12	0
190	1140	92,63	108,07	12	8
200	1200	97,50	113,76	13	4
210	1260	102,38	119,45	14	0
220	1320	107,25	125,14	14	8
230	1380	112,13	130,83	15	4
240	1440	117,00	136,52	16	0
250	1500	121,88	142,21	16	8
260	1560	126,75	147,90	17	4
270	1620	131,63	153,59	18	0
280	1680	136,50	159,28	18	8
290	1740	141,38	164,97	19	4
300	1800	146,25	170,66	20	0

En estas tablas los pesos de rotura de todas las vigas están calculados por la fórmula $W = \frac{adc}{l}$; así

por ejemplo, tomando de la tabla los datos para un puente semejante al de Torksey, tendremos; la luz = 130 pies, W = peso de rotura; a = seccion transversal de la parte inferior, ó sean 63,38 pulgadas; d = 120 pulgadas, que es la altura de la viga; c = 80, valor de la constante deducida de los experimentos; l = 1560 pulgadas, que es la longitud entre los apoyos, y hallaremos $W = \frac{63,38 \times 120 \times 80}{1560} = 390$ y

el doble 780 será el peso de rotura en el medio, ó 1560 toneladas para este mismo peso supuesto igualmente distribuido sobre la superficie del piso del puente.

Observaremos, con respecto á este peso, que despues de deducir de él la carga permanente del puente de Torksey (177 toneladas), restan 1383 toneladas para la resistencia á la carga accidental (de 195

(1) El autor ha fijado generalmente la altura de las vigas en 1/15 de la luz; pero en los casos en que el claro no exceda de 150 pies, se ha considerado mas económico adoptar 1/15. Para aberturas de mas de 150 pies es mas conveniente, en atencion al gran peso de la viga, adoptar la relacion de 1/15 con el objeto de colocar el centro de gravedad de la misma, tan bajo como sea posible, y para evitar las oscilaciones producidas por las cargas accidentales. En los casos en que no sea conveniente el aumentar la altura de la viga, es esencial aumentar las secciones transversales de su parte inferior y de su parte superior celular, en razon de la altura.

toneladas), la cual es mas de siete veces mayor que el máximo peso que puede pasar por el puente (1); habiéndose supuesto que 12 toneladas por pie lineal es la medida de la resistencia de un puente de vigas tubulares para una doble via, y que satisface tanto al peso del puente y á la carga permanente como á las fuerzas á que puede someterse. Los efectos del choque y de las vibraciones son también asunto de grande importancia en los puentes que nos ocupan; y aunque es muy reciente la ventaja que ha obtenido el autor de referirse al interesante informe de la comision encargada de estudiar la aplicacion del hierro á las obras de los ferro-carriles, es de opinion, y está seguro, de que los principios bajo los cuales ha tratado de establecer la construccion de los puentes de este sistema, desde su primer ensayo pueden considerarse como si hubieran sido calculados para satisfacer á todas las exigencias y condiciones del tráfico de las mencionadas vias.

El autor no conviene con la comision, sin embargo, en algunos puntos de los que trata en el informe citado, porque muchos de los experimentos que en él se refieren no confirman la idea de que aumente la flexion por las grandes velocidades. Las esperiencias hechas con el mayor esmero sobre puentes de vigas tubulares, cuyos tramos variaban de 60 á 100 pies de luz, han hecho ver que la flexion era la misma bajo todas las velocidades, en cuanto es posible observar este fenómeno en la práctica; y aunque las esperiencias hechas en Portsmouth (de las cuales presencié el autor algunas) son de gran valor y de un interés excesivo, es no obstante de opinion, que debe haber una diferencia considerable entre los efectos de un peso cuando rueda sobre una barra de hierro fundido de 9 pies de longitud, ó cuando lo verifica sobre un puente de 60 pies de luz. Ciertamente la comision en su informe ha calificado los resultados obtenidos de estos experimentos, por otros hechos en puentes de vigas de hierro fundido que existian en ferro-carriles, donde la flexion producida sobre la flexion estática se redujo de $\frac{9}{10}$ de pulgada sobre las barras de 9 pies y á la velocidad de 30 millas por hora, á $\frac{1}{7}$ de pulgada sobre un puente de 48 pies de luz á la velocidad de 50 millas por hora: así claramente se demuestra que mientras mayor es la luz de los tramos de un puente y mayor también la rigidez é inercia de las vigas, menor será la flexion producida por las cargas accidentales. Y aqui debemos observar que la comision no ha hecho esperiencia alguna sobre los puentes de vigas tubulares compuestas de planchas remachadas, ni aun ha informado sobre la rigidez, resistencia y demas propiedades del sistema que nos ocupa. La flexion debida á las cargas accidentales parece, pues, ser la misma sea

(1) Entretanto que la tabla mencionada anteriormente se completaba y se calculaban las resistencias y proporciones de los puentes de vigas tubulares durante los últimos diez y ocho meses, se tomó una tonelada por pie lineal como el peso permanente de los puentes, desde 40 hasta 100 pies de luz, y dos toneladas por pie lineal para la carga accidental; para tramos desde 100 á 300 pies de luz se estimó el peso permanente del puente en 1,5 toneladas por pie lineal, y la misma cifra para la carga accidental. En la práctica se ha hallado que estos supuestos ofrecen completa seguridad, aunque en tramos de mas de 300 pies de luz, en los cuales el peso permanente de la construccion llega á ser una fraccion considerable de la carga, es necesario introducir en los cálculos nuevos elementos para determinar su resistencia, como puede verse en los que han servido para los puentes tubulares de Britannia y de Conway.

cual fuere la velocidad (escepto donde existen desigualdades é irregularidades en los carriles, que causen una serie de choques), y puede en rigor concluirse que no sufre aumento sensible, sino á todas, por lo menos á las velocidades mas considerables.

Sobre los efectos del choque, el autor concuerda perfectamente con la comision: la flexion producida por la caída de un cuerpo sobre el hierro forjado es próximamente proporcional á la velocidad de caída, y sobre el hierro fundido es mayor (1). Estos experimentos é investigaciones merecen gran confluencia.

(Se continuará.)

CANAL DE ISABEL II.

Por acuerdo del consejo de administracion de esta importante obra, y siguiendo la marcha observada en los años anteriores, acaba de publicarse la Memoria sobre el estado de adelantamiento de los trabajos hasta el 31 de diciembre del año próximo pasado. En ella se incluye una ligera historia de este canal, desde el 11 de agosto en que se inauguró su construccion, hasta la fecha anteriormente mencionada. De este documento se desprende que, si bien luchando con la penuria de fondos y con la inoportunidad en las consignaciones, circunstancias anejas á todas nuestras obras públicas, no han experimentado las que nos ocupan una verdadera paralización hasta el mes de octubre último, paralización tanto mas sensible, cuanto que sin ella hubiéramos visto las aguas del Lozoya en el Campo de Guardias durante la primavera próxima.

En efecto, de las doce leguas que comprende el canal, se encuentran terminadas próximamente diez, faltando poco mas de dos para su completa conclusion. La presa, obra gigantesca y la mas importante de las que el canal exige, se encuentra con una altura de 65 pies, gracias á un presidio que perfectamente organizado y con una fuerza considerable ha trabajado con pasmosa actividad. Las minas se hallan casi todas terminadas, escepto la del Sargadillo, la del Patatero, y la del cerro del Otero, que tocan ya á su conclusion y han sido las que han presentado mayores dificultades por la naturaleza del terreno y abundancia de las aguas, y algunas otras que no ofrecerán grandes dificultades, segun se cree, á no ser la de Fuente Morena, próxima á Fuencarral. Los puentes sifones, acueductos y demas obras de fábrica han llegado al mismo estado de adelanto á no ser los de la cuarta seccion, en la cual han avanzado muy poco los trabajos, á causa de la insalubridad del terreno que solo permite trabajar en él cuatro ó cinco meses al año, y también por haber estado enteramente paralizada el año 52, en cuya época se sacó á remate y no hubo licitadores. El depósito no se encuentra felizmente en el mismo estado, sino que por el contrario, en el año próximo pasado ha recibido un considerable impulso; terminados los 56 000 metros cúbicos de escavacion á principios del 54, se ejecutaron las fundaciones sobre pilotage y emparillado; se construyeron los 484 pilares que han de sostener las bóvedas de la cubierta y el muro de recinto del primer compartimiento, quedando concluido en el segundo el zócalo general de silleria y á la misma altura el muro divisorio, y volteados arcos de fábrica sobre 5 liucas de pilares de las 22 que comprende. También se han ejecutado, durante el propio

(1) Véase el informe de la comision encargada de examinar las aplicaciones del hierro á las construcciones de los ferro-carriles. 1849.