

MADRID 15 DE AGOSTO DE 1868.

TOMO XVI.

NÚM. 16.

PUENTE SOBRE EL LAGO KEN, EN ESCOCIA.

El ferro-carril de Castle-Douglas á Portpatrick, atraviesa en el condado de Kirkcudbright, en Escocia, á unas dos leguas al Norte de la primera ciudad, el lago de Ken; salvándole por un viaducto de hierro, de tres tramos, del sistema de arcos atirantados, conocido en Inglaterra con el nombre de Bow-and-Strings.

El lago tiene unos 14 y medio kilómetros de longitud por uno de anchura máxima. Desembocan en él, aguas arriba del emplazamiento del puente, dos rios de consideracion; el rio Ken, á la cabeza del lago en su extremidad Norte, y el Blackwater, inmediato á dicho emplazamiento. Estos dos rios son de importancia, y á causa del carácter montañoso del país que recorren, están sujetos á grandes crecidas, que hacen subir á veces las aguas del lago á más de 5 metros de altura sobre el nivel ordinario de estiaje. El emplazamiento escogido para la obra ha sido en su parte más angosta, donde solo mide 80 metros; pero como el puente lo corta oblicuamente, ha resultado la línea de agua, en la direccion del mismo, de una longitud de 109 metros. En este sitio la profundidad es de 9 metros; se hubieran podido obtener menores cotas corriéndole algo, tanto aguas arriba, como aguas abajo; pero el terreno se encuentra en tal disposicion por ambas orillas, que el emplazamiento escogido, como igualmente la oblicuidad que se le ha dado, ha resultado forzada, á no aumentar considerablemente el coste de la obra.

La seccion de desagüe señalada era sobrada, como hubo lugar á observar por comparacion; pues en el mismo lago, en su extremo Sur, habia otro puente, el de Glenlochar, que con menor seccion daba paso á todas las aguas que vierten en el lago, cuando el puente de Ken solo tenia que darlas á una mitad de ellas por encontrarse situado más agua arriba de sus confluencias.

Con tales circunstancias, no ha habido ne-

cesidad de establecer las pilas paralelamente á la longitud del lago, y se las ha colocado en sentido normal á la curva del viaducto, que mide 800 metros de radio. Las formas ó vigas del puente forma la de cada tramo, con la inmediata, un pequeño ángulo.

Tres tramos del sistema indicado de arcos atirantados, de 150 piés (59,^m520) de luz cada uno, constituyen el viaducto. Ambos estribos se han aligerado, aumentando la seccion de desagüe, para casos de avenidas, por un arco de medio punto en cada uno, de 20 piés (6,^m080) de luz; y además, para el servicio de las orillas y caminos de sirga, se han establecido otros dos pasos de igual luz, con tramos rectos de hierro.

Nada de particular ofrecen los muros de sostenimiento, estribos y bóvedas de los mismos. Están contruidos de sillería en tosco ó sin labrar, en paramentos y mampostería de relleno en el interior; habiéndose obtenido buenas fundaciones sobre grava, á excepcion del estribo Oeste, que descansa en una capa de arena movediza, y cuya cimentacion tuvo que hacerse construyendo ataguías y operando agotamientos. Dicho estribo descansa en un lecho de hormigon hidráulico de medio metro de espesor.

Las pilas están fundadas á 9 y 10 metros respectivamente, la del Este y la del Oeste, bajo las más bajas aguas de estiaje. Consiste cada una en dos torres ó columnas de fábrica de 2,^m432 (8 piés) de diámetro, con otro tanto de separacion, y enlazadas por una bóveda que volteja entre ambas torres y cuyo arco tiene un ancho de cerca de un metro. Cada torre ó columna de estas se halla envuelta por un tubo de fundicion del mismo diámetro, que han servido de ataguía para su edificacion. El tubo de la pila Este mide una profundidad de unos 11 metros, y el de la pila Oeste unos 13. Tienen 28 milímetros de espesor y constan de anillos ó trozos de á dos metros, provistos de bridas, por medio de las cuales se enlazaron unos á otros, interponiendo un mastic ferruginoso que los hacia completamente impermeables. Solo el último anillo era el desprovisto de reborde en su parte inferior, con el objeto de que

se pudiera introducir en el terreno con suma facilidad, y al mismo fin dicho último anillo llevaba su brida superior al interior. Las demás bridas estaban todas al exterior. El último anillo se desmontó cuando ya la fábrica se elevaba sobre el nivel de las aguas.

Las pilas han sido consolidadas por su exterior con una escollera á piedra perdida en que se han empleado unos 3.500 metros cúbicos, y que se eleva sobre el fondo 7 y 8 metros respectivamente en cada pila.

Los tubos fueron empalmados fuera de obra y puestos luego de una vez, para lo que se estableció un puente volante á través del lago y un andamiaje con pilotes-guías en el emplazamiento de cada uno para su colocación.

El peso de cada tubo era de 4 toneladas, con el que se introducían por sí solos más de medio metro en el fango ó en la arcilla del fondo, alcanzándose después la capa de grava y arena que sondeos previos habían acusado. Llegados á la grava, los tubos rechazaban á la hincada lo suficiente para probar una buena fundación, pues la presión en el borde inferior del tubo por su solo peso equivalía á tonelada y media por cada centímetro cuadrado, cuando el peso total de la obra, después de terminada é incluyendo la carga dinámica, había de ser solamente de una tonelada por centímetro cuadrado en los cimientos.

El método seguido para la hincada de los tubos, aunque nada nuevo en principio, lo es en su aplicación; y el buen éxito alcanzado en el caso que se describe, como igualmente la economía con que se efectuó, lo hacen muy recomendable para aquellos casos análogos en que pueda reproducirse el medio usado con ventajas.

Consistía en extraer de su interior la grava y arena, introduciéndose ellos por su propio peso. Para dicha extracción se usaron unas campanas de forma cónica, es decir, unos conos invertidos de hierro de 24 milímetros de espesor, terminados en el vértice en una vara de hierro, en rosca, que facilitaba su penetración en el terreno.

Estos cubos llevaban aberturas laterales, cerradas por el interior con válvulas de cuero que permitían la entrada de los materiales y no su salida, y se manejaban desde lo alto por medio de una pértiga de hierro, enlazada á los cubos, y que terminando en una cruz horizontal de cuatro brazos permitía trabajasen cuatro obreros á la vez. Dos tamaños de cubos se emplearon, uno que media 0,60 de

base en su parte superior, por 0,30 de alto, y el otro que media 0,30 de diámetro y otro tanto de altura; esta última se empleaba solamente en las últimas porciones de la excavación por la mayor facilidad con que se la manejaba. La operación se reducía á introducir el cubo cónico en el terreno, á guisa de útil de sonda, para que los materiales, abriendo las válvulas de que estaban provistos, se fuesen depositando en su interior: después de llenas se elevaban al exterior por medio de una grúa, que á su vez facilitaba el manejo y se vaciaban, para lo cual la tapa superior podía abrirse.

De esta manera se iban introduciendo los tubos por porciones, cuyo máximo fué de 0,45 al día, y el mínimo de 0,05 que ocurrió al fundar el tubo Norte de la pila del Oeste. Durante la hincada de los tubos se encontró gran número de piedras, hasta de peso algunas de 20 kilogramos, y para su arranque se construyó una especie de batidera, consistente en una barra de hierro de un metro de longitud, provista de brazos de 0,30 en todo su alrededor, que removían el terreno y desprendían las piedras, que eran luego elevadas por los útiles-cubos. Todos estos aparatos fueron de coste muy insignificante, y las operaciones todas se llevaron á término con suma comodidad y economía.

Introducidos los tubos por completo, se macizó su interior con hormigón hasta una altura de tres y medio metros, y en uno ó dos casos hasta la de seis y medio metros, porque habiendo entrado el agua, se creyó conveniente el agotar de nuevo y aumentar el hormigón para que reposase y se endureciese bien antes de cimentar sobre él. El hormigón que se empleó estaba compuesto en las proporciones de dos partes de grava por una de cemento hidráulico de Portland, y se depositaba por medio de capas de fondo movable. Se le dejó endurecer por espacio de 10 á 14 días, transcurridos los cuales se agotó y se procedió á la elevación de la fábrica.

Las cuatro últimas hiladas de piedras, tanto en las pilas como en los estribos, están fortalecidas por barras de hierro de 1 decímetro de ancho y 12 milímetros de grueso, introducidas á 0,30 del paramento, cuyas barras van aseguradas entre sí por pasadores que se afianzan con tuercas en sus extremidades. La última hilada está compuesta de grandes mampuestos de granito; en ella van empotradas unas barras planas de hierro de 0,025, sujetando una

fuerte plancha de caoutchouc vulcanizado, en el que vienen á apoyarse los extremos de las formas del puente, y cuyo objeto es disminuir el efecto de las vibraciones.

El empleo del caoutchouc se ha generalizado sobremano para apoyo de los puentes, con el objeto indicado, en Inglaterra; y hasta en la vía lo usan, interponiendo pequeñas porciones de aquella materia entre el carril y el coginete, con lo que se logra que, mitigando las vibraciones, se obtenga una vía sumamente suave, con gran beneficio para el material móvil y comodidad de los viajeros.

Los arcos del puente tienen 41,°50 (156 pies y 8 pulgadas), y como se apoyan en un metro por cada extremidad sobre las pilas, resulta para el vano salvado una longitud de 59 1/2 metros. La flecha mide 5 metros, así es que la curva del arco viene á ser una catenaria.

Son iguales las secciones del arco y del tirante, y consiste en una plancha de palastro de 0,°6 de ancho por 0,°018 de espesor, reforzada por dos hierros en canal de esta forma], cuyas dimensiones son 0,°20 y 0,10 con 0,°012 de grueso, á distancia una de otra de 0,°20. A estas piezas se enlazan y roblonan las aspas de la celosía, que juntamente con el arco y el tirante viene á constituir una viga de doble T de altura variable en toda su longitud. Las aspas son también piezas acanaladas, de forma análoga á la que acabamos de describir, y se les ha dado una sección constante que ha facilitado la construcción, á pesar de que son variables los esfuerzos á que están sometidas.

El ancho del puente, medido entre los centros de las vigas, es de 4,°76; por lo que resulta una distancia de 4,°15 entre las cabezas y de 4,°56 entre las capas de las aspas.

Las piezas trasversales que sostienen la vía tienen 0,°15 de altura en sus extremidades y 0,°375 en el centro, y están formadas por una plancha de palastro de 6 milímetros de espesor, ribeteada en todo su contorno, y por ambos frentes, con una escuadra de hierro de 0,°075 de lado y 0,°012 de grueso. Estas traviesas se apoyan en los hierros acanalados de la cabeza inferior de las vigas, y de sus extremos arrancan unas tornapuntas de doble T, que van á los puntos de intersección de las aspas de la celosía.

Las dos vigas del puente están enlazadas por el centro en cierta longitud unos 9 metros con el fin de mantenerlas invariablemente verticales. Los enlaces consisten en pequeñas vigas

de 0,°50 de alto y tirantes en diagonal entre ellas de doble T.

Las diagonales de la celosía van enlazadas unas á otras en sus puntos de intersección por dobles planchas al exterior y al interior roblonadas. Todas las puntas están recubiertas por piezas planas roblonadas. El diámetro de los roblones es de 0,°018 y están colocados á 0,10 de distancia.

Los largueros que sostienen los carriles miden una escuadría de 0,50 por 0,20 el del carril más bajo, y 0,50 por 0,27 el del exterior á la curva. Con objeto de prevenir el descarrilamiento de los carruajes se han colocado unos contracarriles de madera. Un entablado de 0,075 de grueso que cubre todo el puente y una varilla de hierro que sujeta á la celosía hace de pasamanos, facilita el paso por él á los peatones.

El peso del par de formas ó vigas, en cada tramo es. . .	49 ton. »	kilógs.
El de las traviesas es.	14	200
El de las traviesas superiores, tornapuntas y tirantes.	3	750
Total para un tramo. . .	66	950
Peso de la vía, madera, carriles, coginetes y clavazón. . .	27	»
Peso de las formas y de la vía, entre los puntos de apoyo.	88	»
Peso del balasto (0,05 de espesor).	14	»
Peso muerto total. . . .	102	»
Carga dinámica á razón de 3 toneladas por metro lineal. . .	130	»
Peso total de un tramo cargado.	232	»
El área de la sección de la cabeza superior de las formas es.	206 centíms. cuads.	
Id. de la inferior, con exclusión de roblones.	171	id.
Distancia entre los centros de gravedad de las cabezas superior é inferior de la viga. .	0,°425	
Esfuerzo de tensión en el tirante ó cabeza inferior. . . .	1 1/2 ton. por 0,°01	
Esfuerzo de compresión en el arco ó cabeza superior. . . .	1 1/2	id.

Como la totalidad de la carga actúa en las vigas no hay esfuerzo de compresión en ninguna de las aspas; pero sufren esfuerzos de

tension variables de 5,4 á 7,5 toneladas, ó sea una quinta parte de tonelada por centímetro cuadrado de seccion.

Este sistema de arcos atirantados posee grandes ventajas sobre el de Warren y demás de celosías de cabezas paralelas. Todos estos requieren teóricamente diferencias de espesor y dimensiones en las cabezas que no se pueden lograr con facilidad en la construccion, teniendo que ceñirse á las máximas dadas por la teoría, con mayor coste y pérdida de material que lo preciso. Esto no sucede en el de arcos atirantados donde la teoría indica una seccion uniforme, lográndose así facilidades en la práctica y el mínimo empleo de metal necesario. Las aspas, en el sistema Warren y otros, están sometidas á esfuerzos muy variables, que hacen necesario el empleo de secciones diferentes en ellas; en el de arcos atirantados estas variaciones son tan pequeñas que puede usarse sin inconveniente alguno una seccion uniforme, alcanzándose tambien la disminucion de peso en las aspas muy considerablemente.

En el puente que describimos el peso de las aspas solo asciende á 6 toneladas, cuando el peso total de la viga es de 24 $\frac{1}{2}$.

El puente fué montado sobre caballetes, á pocas pulgadas de altura de la posicion que debia ocupar, á la que se le hizo bajar, quitando los bloques de madera que lo acunaban. Al apoyarse las formas en las pilas se efectuó una nivelacion escrupulosa que, comparada con la efectuada anteriormente, acusó la flexion de las formas al hallarse sometidas á la accion de su propio peso. La flecha máxima de la flexion fué 0,0009.

Finalmente, se le sometió á diversas pruebas. Una máquina de 34 toneladas de peso estacionó en el centro de cada tramo; la misma recorrió todo el puente á velocidades que variaron de 16 á 40 kilómetros por hora. Las flechas de flexion oscilaron entre 0,0046 y 0,006 en cada viga, volviendo estas á su forma primitiva cuando dejaba de actuar la carga y sin quedar ninguna flexion permanente. Las pruebas oficiales á que sometió la obra el Ingeniero inspector del gobierno fueron practicadas con cuatro máquinas unidas, de las más pesadas, que daban una carga de 5 toneladas por metro lineal. Cada forma fué sometida á la prueba por tres ó cuatro veces, y las flechas acusadas variaron entre 0,012 y 0,015. Las piezas transversales solo dieron flexiones de 0,003. Se observaron tambien con sumo cui-

dado las vibraciones en las aspas y en los tirantes de cabeza, que se vieron ser insignificantes.

El coste total de esta obra fué 13.000 libras esterlinas, ó 1.255.000 reales. Se empezó por el contratista Mr. Thomas Nelson, de Carlisle, en Abril de 1859, dándose por completamente terminada en Octubre de 1860, á causa de que en este término era en el que el contratista debia dar todas las obras de su contrata, pues el puente podia haberse construido en un plazo de un año á lo más.

El autor del proyecto es Mr. Eduard L. Blyth, distinguido ingeniero civil de Edimburgo, y á cuya amabilidad debemos los presentes datos. Dicho ingeniero ha seguido aplicando este sistema de puentes en muchas de las líneas férreas, de cuya construccion ha estado encargado; y en la actualidad, en la línea de Callander á Oban, en la primera seccion en construccion, hemos tenido ocasion de examinar algunos de ellos montados.

La esbeltez y elegancia de estos puentes de arcos atirantados y su mayor economía respecto á los ordinarios de celosía de cabezas paralelas, por la reduccion de metal que se obtiene á igualdad de resistencia, los hace muy superiores, puesto que reunen esta ventaja á todas las que tienen los otros sistemas que le son comunes.

Estas consideraciones son las que nos han movido á presentar esta ligera reseña, con el único objeto de exponer la superioridad de este sistema de puentes que, aunque conocido en principio, no han llegado á generalizarse entre nosotros; debiendo advertir, para terminar, que las fábricas de Escocia llevan construido al presente muy gran número, y por lo tanto que están vencidas las dificultades prácticas, único inconveniente quizás que podria detener á nuestros Ingenieros á presentar proyectos de esta clase.

P. CLAIRAC.

FERRO-CARRILES ECONÓMICOS.

SISTEMA FELL.

Conclusion (1).

Observaciones sobre los experimentos referidos y juicio del sistema Fell.—Tales son en lo esencial los resultados observados por las comisiones francesa,

(1) Véanse los números 12, 13, 14 y 15 de la Revista.