

“Embarcadero de hormigón armado en el Guadalquivir”

Juan Manuel de Zafra

Revista de Obras Públicas vol. 53, tomo I,
noviembre de 1905, pp. 381-382

EMBARCADERO DE HORMIGÓN ARMADO EN EL GUADALQUIVIR (1)

Para la explotación del rico yacimiento de hierro de Cala, provincia de Huelva, se ha construido un ferrocarril de vía de un metro y de 97 kilómetros de longitud, que termina en el Guadalquivir, 5 kilómetros agua abajo de Sevilla y á 95 del Atlántico.

El cauce mayor de la ría ofrece allí un ancho de 5 kilómetros: el ordinario, en régimen de marea, tiene 130 metros, con calado de 6,50 en bajamar escorada, y su margen derecha dista unos 500 de la ladera por la que se desarrolla el trazado.

El terreno está formado por diversas capas de fango, á veces entremezclado con arena, en espesores de muchos metros y apoyadas sobre gravas y cantos rodados.

El programa de la obra está reducido á establecer:

1.º Una plataforma á 15 metros sobre bajamar, dispuesta para recibir un basculador de vagones de 15 toneladas de carga y una grúa rodante de 10 de potencia.

2.º Dos vías en viaducto, para vagones cargados y vacíos, cuyo movimiento se haga, como de ordinario, por la gravedad.

La gran altura de rasante, la escasa resistencia del terreno y, sobre todo, la necesidad de reducir al mínimo los obstáculos para el paso de las aguas durante las avenidas, imponían hacer el cruce del cauce mayor casi todo en viaducto, relegando el terraplén á la parte contigua á la ladera. Por economía, sin embargo, se prescindió de tal condición, proyectando en lugar de un solo viaducto dos con un terraplén intermedio, y ya se hallaba éste construido cuando la Sociedad Minas de Cala decidió, á propuesta nuestra, sustituir el material aprobado, madera, por el hormigón armado.

Pedidas proposiciones á las casas Henebique, Ribera y Compañía, de Sestao, y resultando más favorable en coste y en plazo nuestra oferta primitiva, la Sociedad nos encargó de la redacción y ejecución del nuevo proyecto, conservando siempre las especiales condiciones impuestas por la existencia del terraplén intermedio.

La sobrecarga normal en los viaductos es un tren de 20 vagones de 20 toneladas cada uno, sobre dos ejes separados 1,60 metros y empujados por una locomotora de 22 toneladas sobre dos ejes distanciados 1,80 metros.

Para mayor facilidad en la explotación se sustituye á dicha locomotora de maniobras la de tracción en la línea, hermosa máquina de 48 toneladas, con tres ejes acoplados (56 toneladas en 2,85 metros) y un carretón (12 toneladas en 1,60 metros). Como los vagones son muy cortos, 4,40 metros entre topes, el así constituido resulta en realidad muy pesado para vía de un metro.

Todos los tramos de los viaductos son iguales, de 9,00 metros de luz entre ejes de pilas, sección en forma de II, de 1,20 metros de altura y 3,50 de ancho, con dos nervios de 0,25 de espesor. Los seis primeros pares de tramos corresponden á una curva de 190 metros de radio, sustituida por un polígono pseudo-regular de lazos alternativamente iguales de 2 y 6 metros, los primeros dispuestos según las tangentes á la curva en los ejes de las pilas. La existencia del terraplén intermedio, ya construido, hizo inevitable esa viciosa disposición del trazado.

Los pilares, enlazados con los nervios por grandes chafanés, son de sección rectangular, de $0,67 \times 0,23$ metros, en lugar de cuadrada, gracias á lo cual el aspecto de la obra no es tan raro ni poco grato á la vista como por la excesiva delgadez de los apoyos resulta en general en las construcciones de hormigón armado.

Los pilares que componen una doble pila van los cuatro arriostrados á las alturas 8,00 y 11,00 metros sobre bajamar: la del terreno es, como promedio, 6,00. Los dos pilares correspondientes á la vía más alta, la de vagones cargados, llevan otra riostra á la altitud 13,00.

Como el ancho de vía es menor que la separación entre ejes de nervios y pilares, 1,50 metros, se producen en aquéllos esfuerzos de tracción que originarían otros de flexión individual en cada pilar, á no existir las riostras de coronación que los unían. Con la separación 1,00 metro, más lógica á primera vista, las pilas de la vía alta, que se levantan hasta 5,83 metros por cima del último arriostramiento general, hubieran resultado excesivamente atrevidas.

Cada doble pila arranca de una basa ó zapata de 0,20 metros de espesor y $1,75 \times 6,75$, con robustos nervios que le prestan gran rigidez. Una falsa zapata de hormigón sin armar, de $2,00 \times 7,00$ metros y 0,50 de espesor, transmite al terreno una presión uniforme de 0,55 kilogramos por centímetro cuadrado, que sube hasta 1,21 cuando se suponen los dos tramos adyacentes á la pila y en las dos vías cargados con locomotoras, caso irrealizable en la explotación.

La vía, muy robusta, de carriles americanos de 32,2 kilos por metro, está sentada sobre largueros de pino tea, sujetos á la plataforma con bridas y pasadores empotrados en el hormigón.

La obra está formada, en conjunto, por: el primer viaducto, de 13 tramos y 117 metros de longitud entre ejes extremos; el terraplén intermedio, en curva, de 86,50 metros de largo y coronado en parte por un muro de piedra en seco para sostener la vía alta; el segundo viaducto, de 9 tramos y 72 metros, y el embarcadero que tiene 18.

Esta parte, la más importante y la más difícil de la construcción, está constituida por 14 pilares, cuya altura total alcanza en algunos 27 metros, sólidamente ligados por dos planos de arriostramiento y por dos fuertes pisos con nerviazones.

La parte inferior de cada pilar es un pilote de hormigón armado de 0,32 metros de escuadría, hincado á los dos meses de hecho, con martinete de maza de 1.250 kilos y con inyección auxiliar de agua á fuerte presión.

El espaciamento de los pilares es de 3,50 metros paralelamente á la ría y 4,50 en sentido normal. Los dos planos de arriostramiento van á las alturas 1 y 9 metros sobre bajamar; las riostras, toñas de 0,32 de escuadría, están dispuestas ortogonalmente, sin triangulación alguna.

El piso inferior consta de un forjado de 0,12 metros de espesor, sobre nervios de $0,52 \times 0,32$; ensambla rigidamente los 14 pilares, y sirve para establecer fácil comunicación entre tierra y el buque á la carga; puede, además, soportar sobrecargas de 900 kilos por metro cuadrado.

El piso superior está calculado para permitir la circulación de la grúa rodante de 10 toneladas de potencia, sobrecarga que equivale á la de la locomotora de 48 de peso, ó á una uniforme de 3.600 kilos por metro superficial. El forjado tiene 0,20 metros de espesor; los nervios tienen, por la contrapendiente dada al final de la plataforma, alturas variables hasta de 0,82.

Los dos órdenes de pilares que comprenden el basculador y su vía, están reforzados por diagonales de 0,32 de escuadría. Esta triangulación del sistema refiere á los pilares de cola parte de los esfuerzos que sobre los de cabeza se producen durante el vuelco del vagón, y la marcha del mineral por la vertedera.

Los nervios que soportan el basculador están reforzados especialmente, por sufrir en sus medios grandes esfuerzos de torsión. La maniobra del aparato se hace sin grandes sacudidas y con facilidad, mediante un freno doble, con el que un solo hombre detiene el vagón en cualquier punto de su carrera. Una ligera armazón metálica corona el cuadro del basculador, y desde ella, por medio de tres tornos, se maniobra fácilmente la vertedera.

El conjunto de aparatos para el vertido del mineral, construídos por el Sr. Corral, de Bilbao, funciona muy satisfactoriamente; en el primer cargamento se ha llegado á verter un vagón cada

(1) Véase las tres láminas adjuntas.

dos y medio minutos, lo que representa 360 toneladas por hora. Claro es que el rendimiento por jornada no puede corresponder á ese guarismo, por la multitud de tiempos perdidos en las faenas independientes del basculador; pero cuando todo el personal está bien ejercitado no ha de bajar de 18 á 20 vagones, es decir, de 225 á 300 toneladas por hora y 2.000 á 2.500 por día.

La línea de atraque de los buques está dada por cuatro castilletes de pilotes de pino de tea, sólidamente encepados y arriostados, con un piso y noray para amarras de codera. El frente del embarcadero está protegido por una fuerte defensa de madera, establecida con absoluta independencia de la obra de hormigón armado y con rigidez y elasticidad suficientemente para absorber los esfuerzos que una errada maniobra del buque, al atracar ó desatracar sobre sus amarras, pueda originar.

Con la sucinta descripción que antecede, completada con las fotografías y plano adjuntos, basta para formar idea de la obra. En estos últimos se consignan la composición y dimensiones de las principales piezas y armaduras, y se supone, para mayor claridad, que el basculador está colocado en un plano anterior al paramento del embarcadero.

El proyecto abarca la construcción, que en breve plazo emprenderemos, de un segundo embarcadero, que será idéntico al primero, salvo carecer de terraplén intermedio y tener un solo viaducto de 23 tramos dobles, dispuestos en curva de 400 metros de radio.

Las pruebas á que particularmente ha sido sometida la obra han sido numerosas y severas; el carácter atrevido de la construcción, por una parte, y, por otra, la desconfianza en el hormigón armado, injustamente desarrollada después de la catástrofe del tercer depósito de Madrid, hacían aquéllas más necesarias que nunca.

Cargado un tramo con carriles, dispuestos de modo que realizaran exactamente el mismo efecto que la locomotora de 48 toneladas en su posición más desfavorable, la flecha fué de 26, diez milímetros, lo mismo al concluir la carga que al cabo de setenta y dos horas.

En el mismo tramo se mantuvo durante tres meses una sobrecarga equivalente á la locomotora ordinaria de 22 toneladas, sin que se acusara el menor descenso por efecto de tan larga y constante permanencia.

Ese mismo tramo, elegido desde el principio por presentar algunos defectos de construcción, siendo al mismo tiempo uno de los en curva y de máxima altura de pilas, se cargó con 72 toneladas, vez y media el peso de la locomotora grande, que sólo excepcionalmente debe circular por la obra. La flecha no pasó de 40, diez milímetros, al cabo de treinta y seis horas de permanencia. El coeficiente de elasticidad resultó, por tanto, el mismo que para la primera prueba.

El tren de vagones de 20 toneladas con locomotora de 48, fué estacionado, puesto en marcha, enfrenado, etc., etc., multitud de veces, algunas con fuerte patinado de las ruedas motrices. La flecha, en las condiciones y puntos más desfavorables, no llegó á 26, diez milímetros bajo la locomotora ni á 15 bajo los vagones.

El primer guarismo corresponde á 1/3.460 de la luz; el relativo á la sobrecarga de 72 toneladas, al 1/2.250.

No se observó, durante las pruebas dinámicas, oscilación al-

guna ni aun en la parte en curva donde las pilas alcanzan su mayor altura. Cada una de los dos grandes partes de la obra forma una sola pieza, perfectamente elástica, que entra en vibración toda á un tiempo, poniendo bien en evidencia la cualidad característica del hormigón armado, la solidaridad.

Los cálculos se han hecho basándose principalmente en los estudios de M. Considère. La disposición de las armaduras es, en general, disimétrica, en algunas piezas simétrica; todas son de acero Martín Siemens, con barras rectas y curvas y celosías de alambre ó estribos de pletina. La riqueza en cemento del hormigón varía, según las piezas, entre 250 y 350 kilos por metro cúbico medido en obra.

Es de observar que la mayor parte de la construcción se llevó á cabo durante el verano, que en el valle del Guadalquivir es extremadamente caluroso, alcanzándose todos los años temperaturas de 56° y 58° al sol, y, á veces, excepcionalmente, hasta 65°. Aunque el trabajo se hacía siempre á la sombra de toldos, aun así las temperaturas de 40° á 45° eran muy corrientes. No hay que decir que durante los primeros días se continuaba protegiendo el hormigón del sol directo y regándolo con abundancia.

Por otra parte, los primeros días de Enero del año actual fueron extremadamente fríos, bajando el termómetro hasta—5°, temperatura extraordinaria en esta región. No se ha podido observar efecto alguno debido á la contracción, ni á la dilatación subsiguiente, al llegar el verano: la elasticidad de los largos pilares ha bastado para que se presten á las variaciones de longitud del conjunto de tramos, conforme suponíamos.

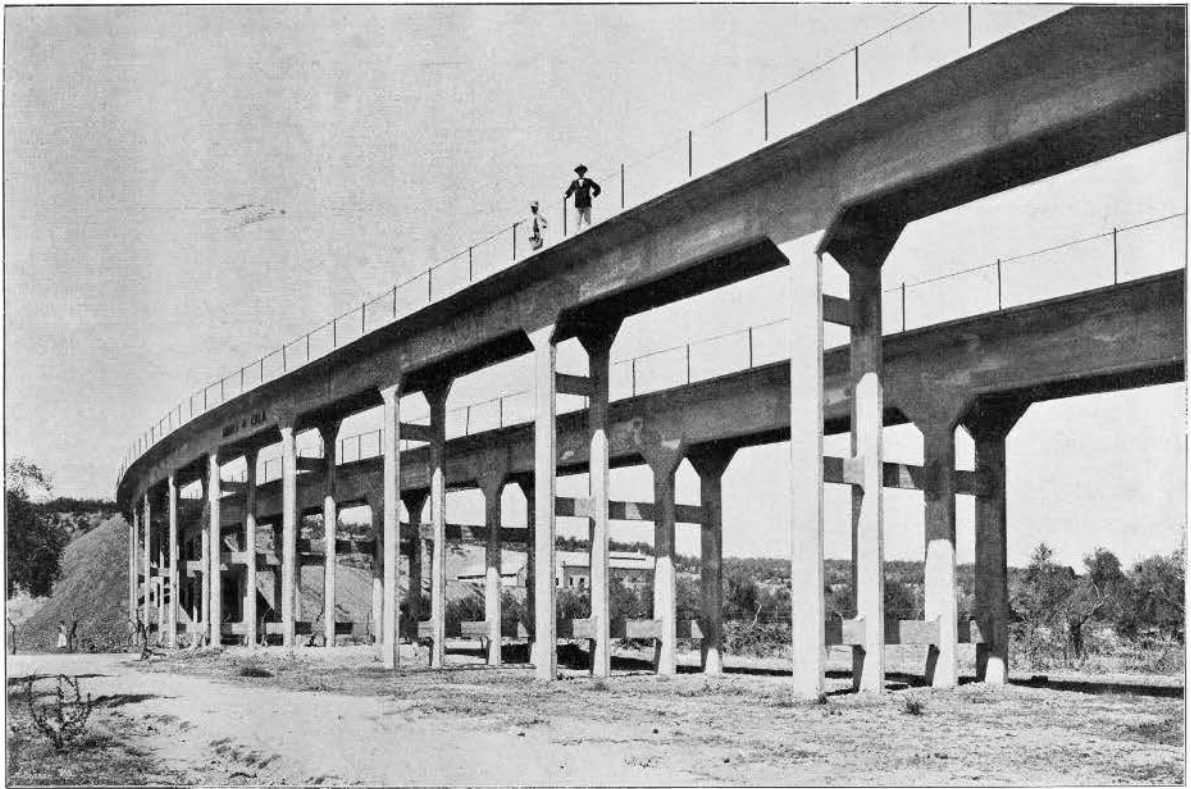
La variación total de longitud corresponde racional y experimentalmente no á la oscilación entre temperaturas extremas de invierno y verano, sino á la oscilación entre las temperaturas medias en dichas estaciones, la que en Sevilla no alcanza á 20°. El coeficiente de dilatación, según las últimas experiencias hechas en América sobre hormigones de composición idéntica á la usual en esta clase de obras, es 0,000 010 y no 0,000 012 á 0,000 014 como se consigna en muchos libros. El movimiento del vértice de una de las pilas extremas del viaducto de 117 metros, no debe, por tanto, haber pasado de 11,7 milímetros en total, puesto que ambas pilas extremas están libres en su coronación.

La construcción sólo ha durado ocho meses y medio. El coste de los viaductos, incluyendo las excavaciones, los largueros de vía y las barandillas, ha sido de 172.500 pesetas, que da para el metro lineal de doble viaducto 895. El embarcadero, sin el basculador ni demás aparatos accesorios, pero con largueros y barandillas, ha resultado en 60.000. El metro cuadrado de planta, medida entre ejes de pilares y prescindiendo de las partes en voladizo, ha costado, por tanto, 375 pesetas. El pilotaje, con longitudes de 10,50 á 12,00 metros, resulta, incluso hinca, á 75 por metro lineal.

La construcción de hormigón armado, con los accesorios ya dichos y prescindiendo de la defensa, castilletes de atraque, de madera, ha importado en total 232.500 pesetas. Conviene consignar que los precios de los aceros y cementos han sido en Sevilla de 0,31 pesetas y 70,00 el kilogramo y la tonelada, respectivamente.

JUAN MANUEL DE ZAFRA,
Ingeniero de Caminos.

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.



Embarcadero de hormigón armado en el Guadalquivir.—Primer viaducto.



Embarcadero de hormigón armado en el Guadalquivir.—Segundo viaducto y embarcadero.