

co, el cual sostiene una capa de balastre próximamente de 0,70, las dos vías del ferro-carril y dos andenes de losas. Las cornisas y barandillas, también de hierro fundido, están enteramente sostenidas por las enjutas de los frentes, y dejan encima del puente un espacio libre de más de 9 m. Las ensambladuras de todas las piezas de hierro fundido, están ajustadas con la mayor precisión, perneadas, acuñadas y guarnecidas de mastico de fundidor, de suerte, que el arco completo forma una masa rígida, y en la que todas las partes que la componen se encuentran perfectamente sujetas.

La decoración de los arcos es muy sencilla y debida casi exclusivamente al relieve que presenta cada pieza para marcar bien su objeto en la construcción y su union con las piezas inmediatas. Esta disposición, que parece se ha procurado evitar en la mayor parte de los viaductos y puentes de hierro construidos en Francia, da á la arquitectura del que nos ocupa un carácter severo y grandioso. Cada arco ha costado, término medio, 1.558.000 rs., y han entrado 4.070.000 kilogramos de hierro, de los cuales se han necesitado 774.000 solo para los cuchillos y riostras.

Las pilas son de mampostería y han tenido que cimentarse á una profundidad variable entre 8 y 10 metros debajo del nivel de las aguas bajas, lo que las da una altura media de 24 m: la base del cimiento es un macizo de hormigon rodeado de dos filas de pilotes que retienen una escollera de piedras de sillería regularizadas, del peso cada una de 6000 kilogramos, y que están resguardadas esteriormente por otra escollera irregular formando talud. Este sistema de fundación en el que ha sido indispensable emplear poderosas máquinas de vapor para el pilotaje y dragado, en cuya ejecución se han encontrado grandes dificultades de todas clases, ha producido muy buenos resultados, siendo digno de notarse que la defensa de las pilas no ha originado ningun escollo para la navegación, y no exigirá quizás gasto alguno para su conservación, á pesar de que en el emplazamiento del puente se forman con frecuencia, en una sola avenida, socavaciones de 14 metros de profundidad. Las pilas están terminadas por tajamares senicirculares en toda su altura; sufren la presión de los arcos de hierro por el intermedio de salmeres de granito, aparejados como las bóvedas, y tienen el suficiente espesor para formar estribo, si á consecuencia de accidentes imprevistos alguno de los arcos se destruyera.

Además de las escolleras concertadas é irregulares, han entrado en cada pila 2400 metros cúbicos de hormigon, 1775 metros cúbicos de sillería, 1160 metros cúbicos de mampostería de sillarejos, y 8000 kilogramos de armaduras de hierro; solo la pila produce en la arena sobre que está cimentada un peso de 11000 toneladas de 1000 kilogramos, añadiendo 1700 toneladas, peso del arco con el balastre, 300 toneladas, peso de dos trenes de mercancías sobre el puente, y observando que la base de la pila presenta una superficie de 260 metros cuadrados, se halla que la arena del cimiento está cargada con 5 kilogramos por centímetro cuadrado; se ve, pues, que el peso de los trenes apenas tiene importancia en esta cantidad. La decoración de las pilas es sumamente sencilla: consiste únicamente en la buena elección de los materiales y el esmero que se ha tenido en la ejecución; solamente en los muros en vuelta, se ha colocado un escudo de sillería con la cifra de la compañía de Marsella y Avignon. Cada pila ha costado, término medio, 1.330.000 rs. Los estribos del puente afectan la misma forma que las pilas establecidas en el río, y las avenidas de aquel se han construido con muros de sostenimiento, aligerados por medio de bóvedas.

La primera prueba á que se ha sometido esta construcción, ha consistido en el paso con gran velocidad de un convoy compuesto de 50 wagoes cargados de carbon de piedra. Esta prueba era mas que suficiente para la seguridad del público, porque semejante carga no es de creer exista nunca con los trenes ordinarios del servicio. Ha producido excelente resultado, sin que en el momento de pasar el convoy se haya notado el menor movimiento en el tablero.

Se hicieron además otras pruebas con diez locomotoras unidas á sus respectivos tenders y formadas en dos filas, las cuales recorrieron el puente, unas veces con la mayor velocidad que podían adquirir, y otras con lentitud, ha-

biéndose siempre obtenido resultados muy satisfactorios. Las diez locomotoras equivalen á un peso diez veces mayor que el de las pruebas á que, según los reglamentos vigentes, deben someterse los puentes colgados.

Durante las pruebas se colocaron instrumentos de gran precisión, referidos á puntos fijos sobre el terreno, con el objeto de apreciar los movimientos que experimentar el puente, vertical y horizontalmente. La ciencia y el arte, han hecho tales progresos, que estos instrumentos indican en el día los movimientos menos perceptibles. Se ha podido constatar que las vibraciones eran insensibles, y aun menores en este puente de hierro que las que tienen lugar en los de piedra.

El primer pilote de los cimientos se clavó el 1.º de agosto de 1845, y la obra quedó concluida el 1.º de julio de 1852; de manera, que se ha llevado á cabo en siete años menos un mes; pero como los trabajos han estado enteramente paralizados desde el 1.º de marzo de 1848 al 1.º de abril de 1849, el tiempo empleado en la construcción no ha sido en realidad mas que de cinco años y diez meses. No es ciertamente muy considerable este tiempo, si se atiende que por causa de las crecidas, los vientos, los hielos, los retrasos indispensables para cumplir con las formalidades administrativas, la apertura de canteras, aprobacion de los proyectos detallados, etc., no ha sido posible trabajar, término medio, durante este tiempo mas que un solo día de cada tres, y que, por la dificultad de las obras, las exigencias de la navegación y el coste de las máquinas, no ha sido posible construir simultáneamente mas que dos pilas ó dos arcos.

El total coste del puente, comprendiendo los muelles construidos delante de los estribos para los caminos de sirga, las avenidas, cimbras, puentes de servicio, etc., ha sido de 22.800.00 rs. De esta suma, mas de 1.140.000 rs. se ha invertido en obras que han exigido los accidentes imprevistos, tales como las grandes crecidas, deshielos repentinos, etc.

El proyecto y dirección de las obras han estado á cargo de Mr. Talabot, ingeniero jefe del cuerpo de caminos de Francia y director del ferro-carril de Marsella á Avignon, auxiliado por Mr. Desplaces, ingeniero del mismo cuerpo.

Esta obra formará época en el arte de las construcciones, tanto por su utilidad y grandeza, como por el gran número de hechos nuevos que en su ejecución ha presentado á los ingenieros, y principalmente porque los constructores encontrarán en ella la justificación mas cumplida del empleo del hierro fundido, metal considerado por la generalidad hasta hace poco tiempo como peligroso, quebradizo, sin elasticidad, que se trataba de posponer al hierro forjado y el palastro, y que, por el contrario, se presenta en el puente sobre el Ródano en las mejores condiciones de solidez y duracion, y con grande elasticidad para repartir las presiones que producen las cargas y cambios de temperatura, á pesar de la gran rigidez de todas las ensambladuras y del conjunto.

#### BREVE RESEÑA DE LOS APAREJOS DE PUENTES OBLICUOS Y DE LAS PRINCIPALES MEMORIAS QUE DE ELLOS TRATAN.

La construcción de puentes oblicuos de fábrica exige un estudio detenido de la clase de aparejo que en ellos debe emplearse; porque haciéndolos complicados, sin necesidad se ocasionarian gastos inútiles y pérdida de tiempo. Por otra parte, no es prudente aplicar los aparejos de arcos rectos bajo ciertas oblicuidades en que los ángulos de los cortes son muy agudos y los empujes al vacío considerables.

Nada hay todavía fijo respecto del ángulo de esviage, que deba decidir en la elección de aparejo; créese, sin embargo, que pueden emplearse generalmente los de puentes rectos, hasta 30 grados, y aun hasta 40,º haciendo los cortes de las cabezas de juntas normales. Deben en cada caso calcularse los empujes, teniendo en cuenta la luz del arco, flecha, etc., para decidirse completamente.

Los aparejos que se han empleado en los puentes oblicuos son los siguientes:

1.º Aparejo de puentes rectos, sirviendo para líneas de junta las de máxima y mínima curvatura, que como se

sabe, son las curvas producidas por las secciones rectas y las generatrices. Este sistema solo puede emplearse cuando es muy pequeño el ángulo de esviaje. A las secciones rectas se sustituyen tambien las paralelas á los planos de cabeza del puente.

2.º Aparejos por planos paralelos á las cabezas para los de junta; y para superficies de lecho, planos perpendiculares á los de cabeza. Este método modifica los ángulos agudos, pero no cumple con las condiciones necesarias respecto de los empujes.

3.º Aparejo paralelo de trayectorias, ó sea para líneas de lecho, las trazadas con la condicion de ser normales á las diversas posiciones de las curvas, producidas por secciones paralelas á los planos de cabeza. Las superficies de lecho serán las engendradas por normales al cilindro que se apoyen en las trayectorias, y para las juntas se emplearán las secciones enunciadas. Este aparejo presenta notables ventajas bajo el punto de vista de la disminución del empuje al vacío, evitando al mismo tiempo los ángulos agudos. Tiene el inconveniente de producir un aparejo desigual, complicando la monea y la mano de obra.

4.º Aparejo convergente de trayectorias, que consiste en aparejar los espacios próximos á las cabezas por trayectorias, y el resto como arcos rectos. Este puede emplearse cuando tiene considerable longitud la bóveda. Tiene las ventajas del anterior, pero es tambien muy complicado en su ejecucion.

5.º Aparejo parabólico que se emplea en los mismos casos que el anterior para mayor sencillez.

6.º Aparejo helizoidal. Este es mucho mas conveniente que los anteriores para la monea y mano de obra, pues las hélices se convierten en líneas rectas en el desarrollo del intradós, pero no es tan bueno para contrarrestar el empuje al vacío.

7.º El de zonas de arcos rectos adosados ó aislados. Este último es del que mas aplicacion se hace en los caminos de hierro. Tiene la ventaja de evitar los aparejos complicados, destruyendo totalmente los empujes al vacío, y el inconveniente de aumentar las caras de labra, lo que hasta cierto punto se compensa con la economia de material. En los caminos de hierro se coloca cada zona debajo de un carril, tabicando los huecos intermedios. En las carreteras habria que procurar mas solidez á esta parte, porque la presion producida por los carruages, los cuales no marchan con la sujecion de líneas fijas, puede ejercerse en todos los puntos del pavimento del puente.

Largo sería, y propio solo de un tratado especial, explicar detalladamente cada uno de los enunciados sistemas. Nuestro objeto es únicamente indicar los principales escritos que sobre esta materia pueden consultarse. Ganthey en su tratado de puentes indica la construcción de los aparejos de trayectorias, y Leffort en una memoria inserta en los anales de puentes y calzadas de Francia, año de 1839, estudia teóricamente este sistema para el caso de una seccion particular. En la tercera edicion del tratado de corte de piedras de Adhemar, puede verse tambien el trazado de los aparejos de trayectorias; pero donde se trata muy detalladamente la teoria y la construcción de los mismos, es en una memoria del ingeniero Graeff, publicada en los mencionados Anales, 4.ª entrega de 1852.

En esta memoria se establecen las ecuaciones generales de las trayectorias, deduciéndolas de consideraciones mas generales que las de Leffort. Este no se ocupa mas que de las bóvedas de medio punto, y Graeff deduce tambien los principios para arcos rebajados y carpaneles, estudiándose ademas en la práctica de construcción para cada caso.

Ocupase tambien Graeff en esta memoria de los aparejos convergentes de trayectorias y del parabólico. En estos, como en el primero, trata, tanto de los de seccion recta circular, como los de elíptica, siendo los arcos de frente de medio punto. Igualmente estudia los aparejos helizoidales y los comunes, que al principio de esta reseña consideramos con la misma estension que los anteriores, dando los métodos prácticos para la labra y asiento, y analizando por último los limites en que debe emplearse cada clase de aparejo.

Acerca de la construcción del helizoidal, puede verse tambien una memoria del ingeniero ingles Buck, que acompaña, traducida al frances, al Manual de puentes de la enciclopedia Roret, edicion de 1845. Hay varios er-

rores en ella, de los cuales se destruyeron algunos en una nota inserta en el periódico de la sociedad de ingenieros civiles y arquitectos de Londres, año de 1849. Tambien se hace á esta memoria algunas correcciones en una del ingeniero frances Fournierie, publicada en la 4.ª entrega de los Anales de puentes y calzadas de 1851, presentando un trazado mas sencillo que el que indica Buck para algunas líneas del aparejo.

Considera este ingeniero los puentes oblicuos de seccion recta elíptica como menos sólidos y mas complicados que los de seccion recta circular, y se limita á la esplicacion de este caso. En la memoria de Graeff, antes citada, puede verse lo que dice acerca de los primeros, así como la refutacion de esta idea de Buck en la memoria escrita por el ingeniero Praley, en el periódico frances *El ingeniero*, año de 1852, donde trata, ademas del aparejo helizoidal, de los otros indicados en esta nota.

Por último, la construcción de arcos oblicuos por zonas rectas, puede estudiarse en una memoria en que con bastante estension trata de ellos el ingeniero Boucher, Anales de puentes y calzadas de 1848.

P. C. ESPINOSA.

## FERRO-CARRILES DE ESPAÑA.

### BARRAS-CARRILES Y COJINETES.

La importancia indisputable de cuanto se refiere á las obras públicas, y en particular á los ferrocarriles españoles, nos mueve á dar principio en este número á la descripción del material fijo empleado en los mismos, por las barras-carriles y cojinetes, cuya representacion verán nuestros lectores en las láminas 5.ª y 4.ª

La figura 1.ª lámina 5.ª, representa una seccion de barra y proyeccion vertical de un cojinete intermedio del camino de hierro de Barcelona á Mataró. La figura 2.ª es la proyeccion horizontal del mismo; todo en escala  $\frac{1}{4}$  del natural. Las acotaciones están espesadas en fracciones de metro. El peso del metro lineal de barra es de 56 kilogramos, y de 12,5 el cojinete.

Figura 5.ª y 4.ª Proyecciones de cojinete intermedio y seccion de barra del camino del Grao de Valencia á Játiva. Escala  $\frac{1}{4}$ ; acotaciones como el anterior. El peso del metro lineal de barra 55 kilogramos. Cojinete intermedio 9 kilogramos. El de junta 17 kilogramos.

Figura 5.ª y 6.ª Proyecciones del cojinete intermedio y seccion de barra del camino de Sama de Langreo á Gijon. Escala  $\frac{1}{4}$ ; peso del metro lineal de barra 52 kilogramos. Cojinete intermedio 7,8 kilogramos. Cojinete de junta 9,7 kilogramos.

Figura 7.ª y 3.ª La misma representacion, acotaciones y escala de los anteriores. Dibujos del cojinete intermedio y barra del camino de Madrid á Aranjuez. Peso del metro lineal de barra 57,6 kilogramos. Cojinete intermedio, 9 kilogramos. Id de junta 14,4 kilogramos.

Figura 9.ª y 10. Seccion de barra del camino de Aranjuez á Almansa con la placa de asiento en la union de las barras. En este sistema no hay cojinetes, apoyándose la barra sobre traviesas. Escala  $\frac{1}{4}$ ; peso del metro lineal 54,6 kilogramos.

Este sistema se empezó á emplear en los Estados-Unidos sobre largueros, adoptándose tambien del mismo modo en Inglaterra en el Great-Western.