

CAPÍTULO X

BOVEDAS DE HORMIGON EN MASA

(hasta 40 metros de luz)

Antecedentes. — Sus ventajas. — Sus inconvenientes. — Espesores. — Dosisificaciones. — Decoración. — Puentes sobre el Zújar. — Puentes de Cehégín sobre el Argos. — Puentes sobre el Nora. — Puentes de Torre-Montalvo. — Puentes de Barcheta y Montesa Menor. — Otros puentes de las Compañías de Ferrocarriles. — Conclusiones.

Antecedentes. — Desde hace sesenta años, los Ingenieros españoles empezaron a construir bóvedas de hormigón en masa para sustituir a las de sillería, ya entonces costosas, y en bóvedas oblicuas, para evitar los despieces complicados de la piedra (1).

Sus excelentes resultados generalizaron su empleo, familiarizándose técnicos y obreros con este material, que se aplicó no sólo a las bóvedas, sino a las pilas y estribos.

Con el hormigón en masa, y en 1895, resolvimos el problema de varios puentes muy oblicuos (fig. 195).



Fig. 195. Paso superior para la carretera de Gijón a Musel.

(1) El año 1866, sobre los ríos Lavalé e Iregua, para la carretera de Logroño a Soria, se construyeron dos puentes con tres bóvedas escarzanas de 10 m. de luz con hormigón en masa.

Asimismo, en los canales particulares y en los del Estado se aplicó en gran escala este material para los puentes y acueductos (figuras 196 y 197) de 15 a 25 m. de luz (1).

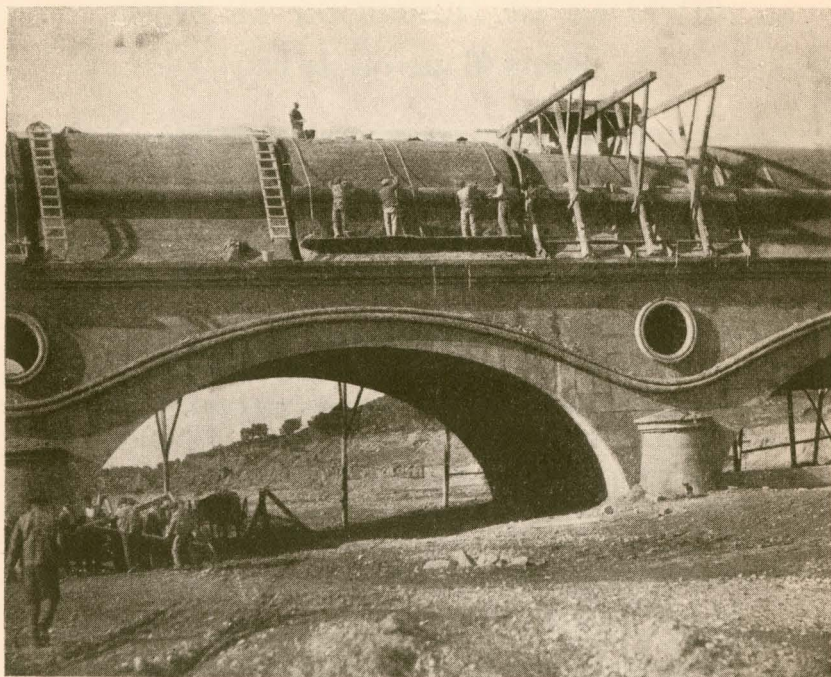


Fig. 196. Puente-sifón sobre el río Sosá.

Sin embargo, las Compañías de Ferrocarriles siguieron recelosas, por el temor de la catástrofe que produciría el hundimiento de una bóveda bajo el paso del tren.

Pero ante los resultados evidentes de las muchas bóvedas construídas de hormigón en masa, no vacilan ya en sustituir casi todos sus tramos metálicos (endebles para las nuevas locomotoras) por arcos de aquel material.

La Gran Guerra, con su secuela de aumentos de jornales y reducción de rendimiento de los obreros, ha intensificado con más

(1) Estos puentes fueron proyectados y dirigidos por el Ingeniero D. Rafael López Sandino para el Canal de Aragón y Cataluña, y construídos en 1903 y 1906, y son de hormigón en masa en su totalidad

pujanza la evolución constructiva en favor de los puentes de este tipo.

Sus ventajas. — Se suprimen así en gran parte los obreros canteros, difíciles de reclutar, opuestos casi siempre al empleo de útiles mecánicos (1); se adelantan los trabajos, reduciendo los peligros de la ruina de cimbras por las crecidas y, en fin, se obtienen economías que frecuentemente exceden del 50 por 100.

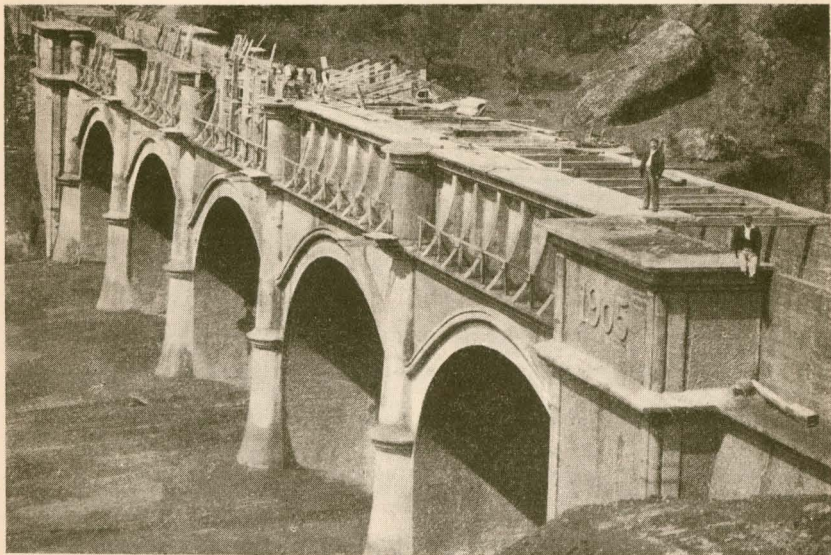


Fig. 197. Puente-acueducto de Perera.

Existen hormigones romanos; no hay razón para que los nuestros duren menos.

Los hormigones pueden resistir tanto como los mejores sillares: es cuestión de cemento y de ejecución; hasta puede aumentarse su resistencia, forzando la dosificación del cemento, en aquellas zonas de la bóveda en que se produzcan mayores presiones.

Mecánica y constructivamente, casi estamos por afirmar que

(1) En las obras de reconstrucción del Palacio de Justicia, de Madrid, las Sociedades de Canteros impidieron el empleo de la labra mecánica de la sillería granítica, ocasionando a la contrata, sólo por este concepto, una pérdida de más de un millón de pesetas.

puede ser mejor una bóveda de hormigón que muchas de sillería; en todo caso, puede siempre ser de igual resistencia y duración que aquéllas.

Como en las bóvedas de hormigón el trasdós es continuo, no necesitan contrarrosas. Por último, pesan menos que las de piedra; sus empujes son menores, por lo que exigen menos apoyos y cimientos.

Es, pues, el material por excelencia del Ingeniero, que fabrica a su gusto, con braceros del campo y maquinaria sencilla de gran producción; deben todos los técnicos familiarizarse con su empleo y darle la preferencia en la mayor parte de las obras públicas.

Sus inconvenientes. — Queda la tradicional resistencia a su aspecto monótono, por su color uniforme, y la supresión de las juntas, que algunos echan tan de menos, ¡ que llegan a imitarlas!

Respecto a su color, feo y manchoso, es cuestión de costumbre; en la sillería patinada por el tiempo, o enmohecida por el musgo, no se percibe la clase ni el color de la piedra más selecta, ni de los mármoles que fueron esplendorosos. Díganlo si no los puentes de Londres, París y Venecia; no falta quien prefiera la piedra patinada y proscriba como delito artístico la limpieza de los monumentos.

Se observan a veces grietas, porque éstas se localizan; pero también las tienen los puentes de sillería, y en los romanos cada junta es una grieta, y llevan veinte siglos de existencia.

Así es que desde luego podemos confirmar que sólo en casos excepcionales podrán justificarse las bóvedas de sillería y hasta las de sillarejo.

De aquí en adelante, la mayor parte de los arcos de puente se ejecutarán de hormigón en masa o armado.

Espesores. — Los espesores de sus bóvedas en luces menores de 40 m. son iguales, y hasta pueden ser menores que los de fábrica ordinaria, pues pesan menos que la sillería y tienen una homogeneidad y monolitismo superior al de las demás fábricas, lo que permite reducir los coeficientes de seguridad.

Como no hay juntas, no hay que preocuparse de aparejos.

Dosificaciones. — Las dosificaciones varían con las luces y presiones.

En Alemania e Inglaterra, y sobre todo en los Estados Unidos, donde se aplican ya en gran escala, es corriente la dosificación en volúmenes de 1, 2,5 y 5, que equivale por metro cúbico de arena a 2 m.³ de grava y 480 kg. de cemento (suponiendo para éste un peso específico de 1,200).

En España, las dosificaciones suelen ser más ricas, de 250 a 300 kg. cemento por 0,400 de arena y 0,800 de grava, equivalentes, próximamente, a 1 m.³ de hormigón.

Pero en los puentes importantes se deben estudiar las dosificaciones más convenientes según las arenas y gravas de que se disponga (1).

Se abarata la fábrica con el hormigón ciclópeo, intercalando piedras en la masa, pero deben éstas colocarse con sus mayores caras normales a la fibra media. En América se hace mucho; en España, bastante.

Bien ejecutado, el hormigón ciclópeo es más resistente que el ordinario; ofrece además la ventaja, apreciable en las grandes bóvedas, de ser menos sensible a los efectos de temperatura y de retracción de fraguado. Tendrá menos grietas que el hormigón rico.

Decoración. — Respecto a su decoración, ya nos ocuparemos de ella en el capítulo último de este tomo; no hay motivo para que no sepamos conseguirla, sin imitar los puentes antiguos.

El hormigón no debe disimularse con guarnecidos precarios; es un material que debe tratarse artísticamente con su estilo propio.

* * *

Describiremos algunos de los puentes ejecutados recientemente en España, principalmente para ferrocarriles.

(1) Conviene en los puentes importantes, como en los de hormigón armado, estudiar la dosificación más compacta y resistente.

Puente sobre el Zújar. — Línea de Madrid a Badajoz (Red de M. Z. A.). — Construido en 1927. — Ingenieros: D. Domingo Mendizábal y D. Rafael Ceballos.

Se sustituyeron tres tramos metálicos continuos, de 53,73 m. para el vano central y 48,34 para los adyacentes, por seis arcos de hormigón en masa de 23,20 m. de luz los centrales, y de 21,60 los cuatro laterales (figuras 198 y 199).

Para ello se intercalaron otras tres pilas nuevas de 3,60 m. de grueso entre los estribos y pilas del puente metálico, y se reforzaron los estribos (1).

Las nuevas pilas, que son bastante oblicuas, se construyeron

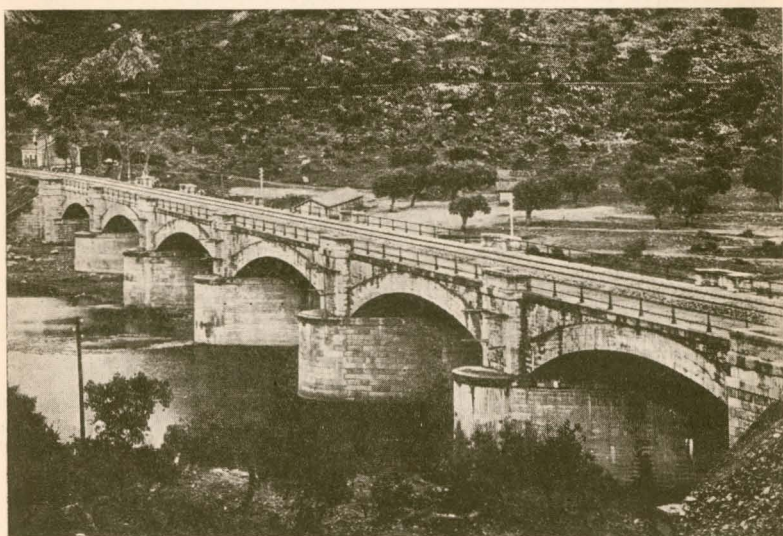


Fig. 198. Puente sobre el Zújar.

(1) Detalles en la *Revista de O. P.* de 1.º de febrero y 15 de octubre de 1927, en dos artículos del Ingeniero D. Rafael Ceballos Pavón; el primer artículo describe la ejecución de las bóvedas; el segundo detalla su conjunto y el resultado de las pruebas.

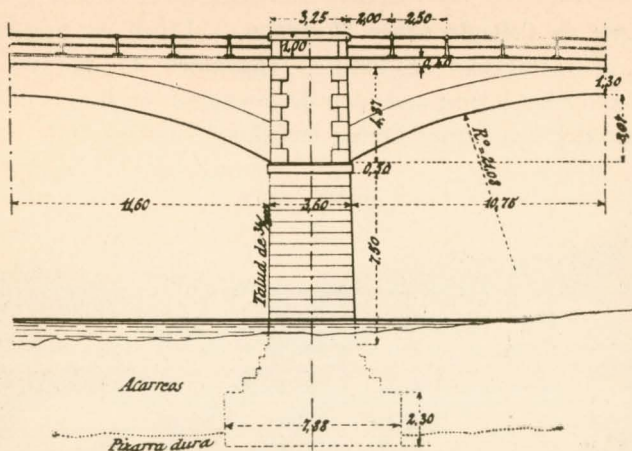


Fig. 199.

con hormigón moldeado a 200 kg. en tajamares y pilastras, y con mampostería careada en los entrepaños; los muros de tímpanos, de mampostería careada.

La imposta de coronación es también de hormigón moldeado, dotándose a dicha imposta de juntas de dilatación cada 20 m.; para ello se intercalaron en el moldeo (que se hizo *in situ*) unas hojas de cartón fuerte alquitranado, que hasta el presente dan los mejores resultados.

Las bóvedas, que tienen igual oblicuidad que las pilas (36°), se han ejecutado en tres roscas, pero por trozos aislados, con hormigón de 400 kg. en los arranques, y de 300 kg. en el resto.

Las obras, ejecutadas por administración, en trece meses, costaron 435.000 pesetas.

En las pruebas minuciosas que se efectuaron, los flexímetros Barthelemy y los aparatos Manet no acusaron ni flechas ni oscilaciones.

La Compañía de Madrid a Zaragoza y Alicante tiene proyectado sustituir en igual forma otros doce puentes metálicos, entre ellos uno importante en la línea de Mérida a Sevilla.

Puente de Cehégín sobre el Argos. — Línea de Fortuna a Caravaca. — Terminado en 1924. — Ingeniero: D. Manuel Bellido.

Las bóvedas y tímpanos son de hormigón en masa; únicamente se armaron los tabiques de los tímpanos (figuras 200 y 201).

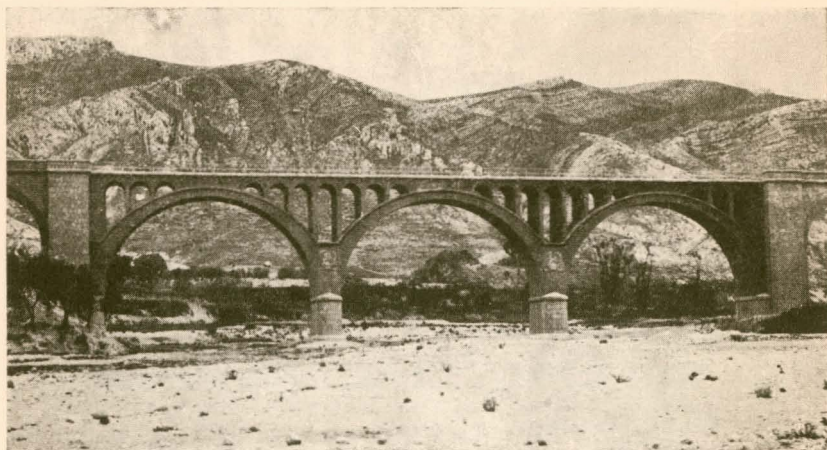


Fig. 200. Puente de Cehégín, sobre el Argos.

Los arcos grandes se dosificaron a 300 kg. por 0,800 y 0,400 m.³ de grava y arena. En los de tímpanos se rebajó a 200 kg. la proporción de portland.

Se ejecutaron las bóvedas de 25 m. en dos roscas, en la parte central de los arcos, entre las juntas a 60°; la primera tiene el 40 por 100 del espesor en la clave. Desde arranques hasta las juntas a 60°, se llevó a todo espesor.

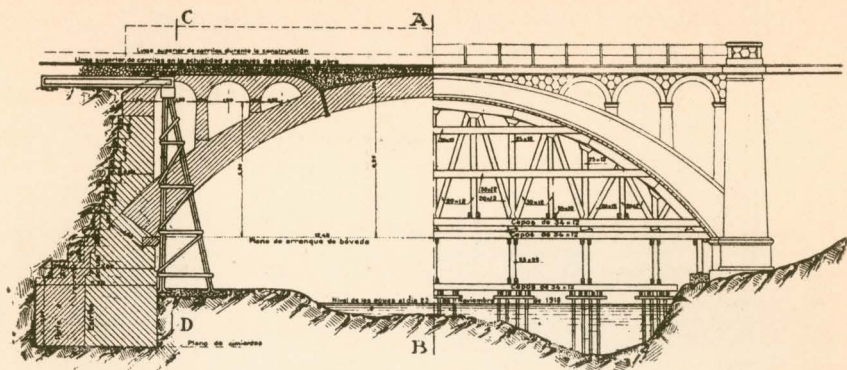


Fig. 202. Puente sobre el Nora.

Puente sobre el Nora. — Línea de León a Gijón (1).

Igualmente la Compañía de Ferrocarriles del Norte está sustituyendo un gran número de sus tramos metálicos, insuficientes de resistencia, por arcos de hormigón en masa, por resultarle éstos más baratos que las reformas o sustitución de aquéllos.

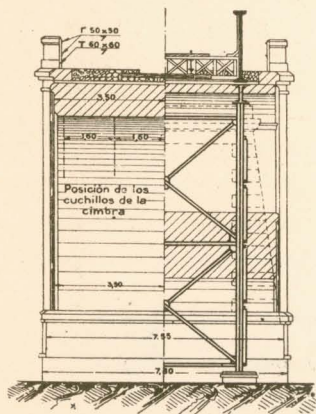


Fig. 202 bis.

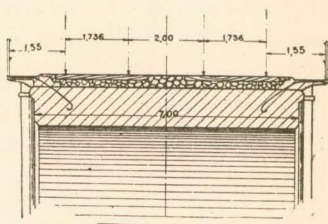


Fig. 203. Corte por CD.

(1) Detalles en la *Revista de O. P.* de 1.º de febrero de 1924, del Ingeniero Jefe de Vías y Obras de la Compañía del Norte, D. Francisco Castellón.

El puente sobre el río Nora era un tramo metálico recto de 25 metros de luz.

Había que construir el arco de hormigón sin interrumpir la circulación, para utilizar los estribos existentes, aunque reforzados por su interior (fig. 202 y 202 bis).

Para ello se apeó el tramo metálico con cuatro caballetes formados con carriles.

La bóveda y sus tímpanos aligerados tuvieron que construirse por debajo de las cabezas inferiores del tramo metálico.

Durante la construcción se decidió ensanchar la longitud del cañón a 7 m. (en vez de los 5,70 m. con que se había proyectado, figura 203). De esta manera, y con pequeños andenes volados de hormigón armado, se podrá en su día utilizar el nuevo puente para doble vía.

El coste de esta sustitución fué de 69.000 pesetas, en vez de 81.500 pesetas que hubiese costado un nuevo tramo metálico.

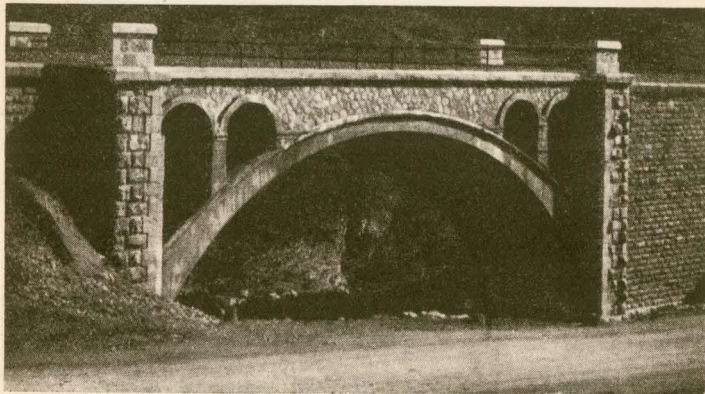


Fig. 204. Puente sobre el río Bernesgo.

Análogos procedimientos se emplearon para la construcción de un puente de hormigón sobre el río Bernesgo (fig. 204), en la misma línea de León a Gijón.

3.3 **Puente de Torre-Montalvo** sobre el río Najerilla. — Línea de Castejón a Bilbao (1). — Terminado en 1926. — Ingeniero: Don Francisco Castellón.

Es el más importante de los puentes de esta clase construídos por la Compañía del Norte.

Se construyó paralelo y a 10 m. del antiguo puente metálico.

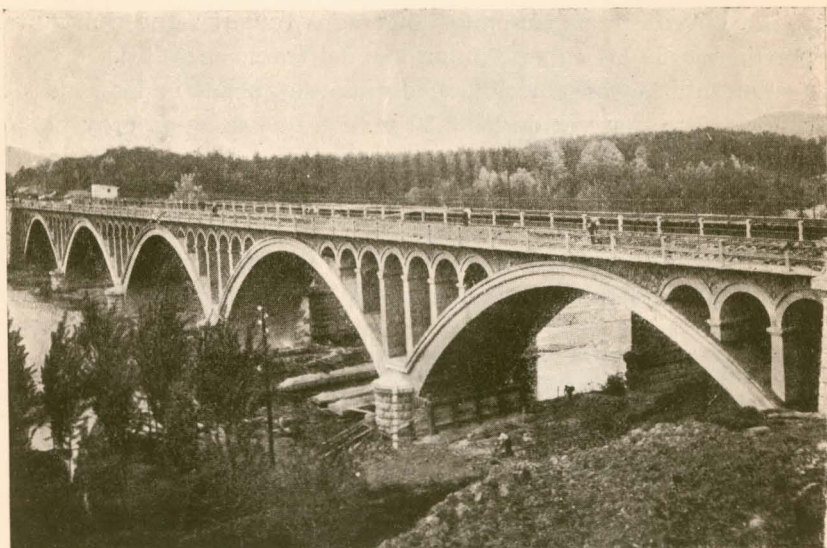


Fig. 207. Puente de Torre-Montalvo.

Consta de cinco arcos *parabólicos* de 30 m. rebajados al $1/4$, con ancho para doble vía (figuras 207 y 208).

(1) Detalles en la *Revista de O. P.* de 1.º y 15 de mayo de 1926, por D. José R. de Goitia

En el antiguo puente metálico, de infausta recordación, ocurrieron varios accidentes entre otros el catastrófico de 1903, en el que murieron más de cuarenta viajeros y cien heridos.

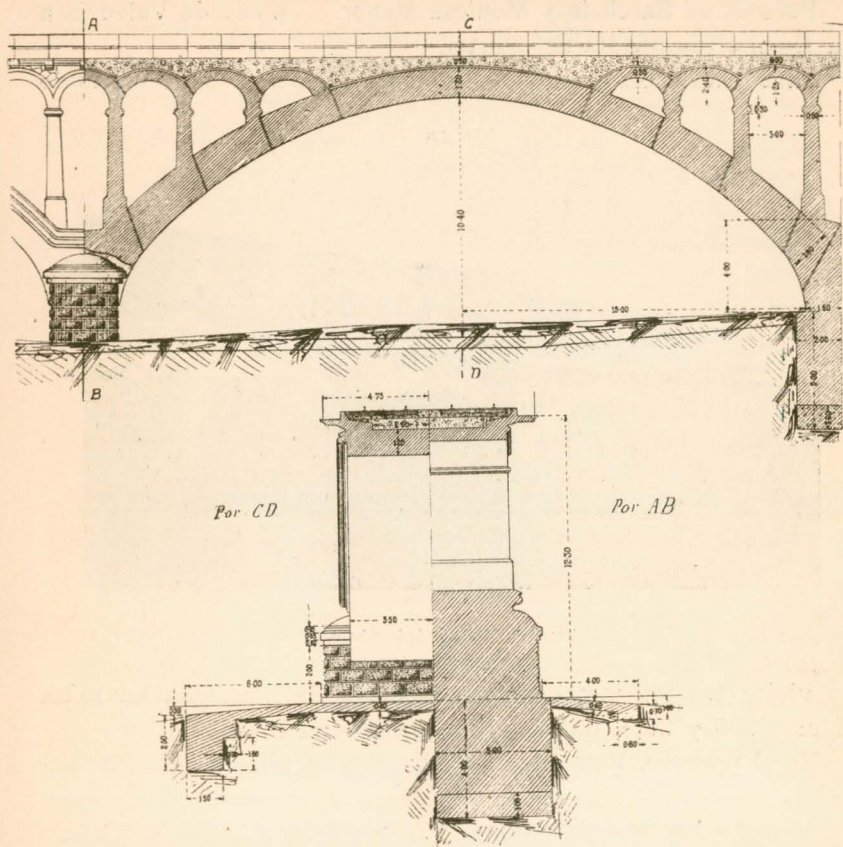


Fig. 208. Puente de Torre-Montalvo.

Todo el puente es de hormigón, menos los paramentos de tímpanos, que son de mampostería.

Los tajamares se paramentaron con piedra artificial.

El plazo de ejecución de las obras fué de catorce meses.

El gasto total de este puente fué de 686.000 pesetas, pero sus cimientos fueron fáciles, pues se ejecutaron por agotamiento directo, encontrándose el firme a una cota media de 4 m.

Puentes de Barcheta y Montesa Menor. — Línea de Valencia a La Encina (Compañía del Norte).

Para establecer la doble vía en esta línea se han sustituido

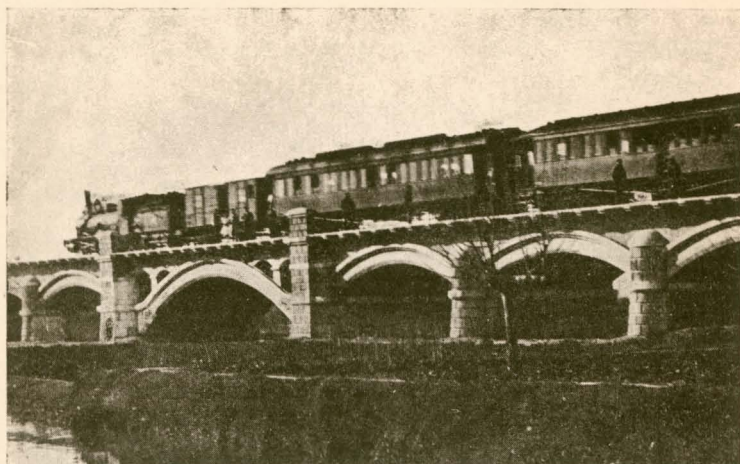


Fig. 205. Puente de Barcheta.

los viejos tramos metálicos por puentes de hormigón en masa (figuras 205 y 206), que acaban de terminarse (1).

En el primero, Barcheta, se utilizaron las pilas del puente me-

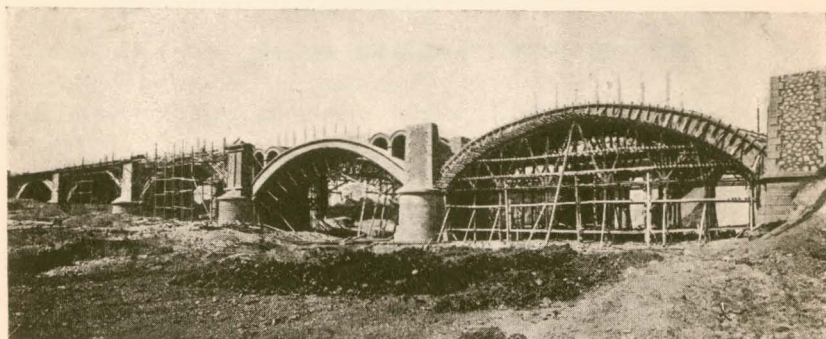


Fig. 206. Puente de Montesa Menor.

(1) Construidos por la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles. Ingeniero D. Enrique García Reyes; la inspección, por el Ingeniero D. Manuel Escudero.

tálico, pero prolongadas aguas abajo; sobre estas prolongaciones se construyeron las semibóvedas (la central tiene 15,75 y 6 arcos de 8,70 m. de luz), y sobre éstas se dió paso a una nueva vía, lo que permitió desmontar el tramo metálico y construir después las segundas semibóvedas.

Su presupuesto de construcción fué de 72.000 pesetas.

En el puente de Montesa, constituido por 5 arcos de 22 m. de luz, el nuevo puente de doble vía se construyó aguas abajo y casi paralelo al antiguo metálico.

Hubo que cimentar pilas y estribos por cajones de hormigón armado hincados por aire comprimido a unos 16 m. de profundidad (1).

Por esta razón, el coste de este puente alcanzó la cifra de 1.529.000 pesetas.

La dosificación de los hormigones fué de 300 kg. para las bóvedas y de 200 kg. para apoyos y tímpanos. Las bóvedas se ejecutaron en tres roscas sobre todos los arcos.

Otros puentes de las Compañías de Ferrocarriles. — En vista de los excelentes resultados en las pruebas de estas obras y su economía evidente sobre los tramos metálicos, las Compañías de Ferrocarriles han entrado francamente en el camino de sustituir casi todos sus puentes de hierro, de resistencia insuficiente, por bóvedas de hormigón en masa de 10 a 30 m. de luz, cuando la rasante lo consiente, o tramos de hormigón armado, si el desagüe lo exige, o arcos de hormigón armado, cuando las luces exceden de 30 metros.

A principios de 1928, tenían las Compañías de M. Z. A. y del Norte (2):

M. Z. A.	Norte.
14	40 arcos de hormigón en masa, construídos.
34	46 » » » » » , en proyecto.
»	4 » » » armado de 35 m. de luz, en proyecto.
»	23 tramos rectos de hormigón armado, construídos o en construcción.
»	4 » » » » » , en proyecto.

(1) Cuyo cálculo reproducimos en nuestro tomo II, pág. 353.

(2) Los proyectos de los puentes de la Compañía del Norte han sido calculados, con la hipótesis elástica, por los Ingenieros Sres. Marroquín, Goitia, Fernández Alvarez, Fontecha, Juanes, Echano, Prieto, Ugalde y Casares (Maximino), y en ellos no se han adoptado dispositivos especiales para las contracciones.

Conclusión. — Cuando los Ingenieros de estas grandes Compañías, tan justamente preocupados de sus responsabilidades por las trágicas consecuencias que puede tener la rotura de una bóveda, generalizan de tal manera el empleo de las bóvedas de hormigón, desaparecen las objeciones tradicionales que hasta ahora se han invocado.

El Consejo de Obras públicas, y la Dirección general de Ferrocarriles lo han entendido también así, salvo algunos casos especiales en que aceptan tramos metálicos para los puentes de vías férreas, aconsejan y hasta ordenan, muchas veces, que se construyan esas obras con hormigón en masa o armado (1).

Las bóvedas corrientes de sillería tienden a desaparecer, y desparecerán pronto.

Lo mismo ocurrirá con las *grandes bóvedas*, según luego veremos

(1) En el capítulo XVII describiremos los Modelos oficiales para estos tipos de puentes y allí se verá que pueden reducirse las dimensiones de las bóvedas antes descritas.