

CAPÍTULO IX

ACUEDUCTOS

§ I.—Acueductos de fábrica.

Su historia.—Disposiciones modernas.—Cajeros de H. A. (Ejemplo: Perera.)

§ II.—Acueductos de H. A.

Con tramos rectos. Ejemplos: acueducto del Araxes y del Nou.—*Con tubos.* Ejemplos: de Miraflores.—*Con semitubos* (de Tardienta).—*Con arcos.* Ejemplos: del Chorro; de Valdespares; de la Adelfa; de Almonaza; del Júcar; de Mollaso.

§ iii.—Conclusiones.

§ I.—ACUEDUCTOS DE FABRICA

Su historia.—Ya en nuestro tomo I, capítulo IV, expusimos en aquella *Reseña histórica* cómo fueron los Romanos los primeros que transportaron el agua por medio de acueductos de fábrica, con los que sus canales salvaban a grandes alturas las depresiones de terreno que a su paso encontraban. Dimos entonces fotografías de los hermosos acueductos de Segovia, Tarragona y Mérida, en España, y del Gard, en Francia, que evidencian el gigantesco espíritu constructivo de aquellos antepasados.

Todos ellos están contruídos con sillares en seco y en varios pisos, cuyas pilas arriostraron con arcadas, y sobre la imposta del piso superior ponían el cajero del canal, también de sillería, pero rejuntado con mortero hidráulico.

Durante la Edad Media, la Humanidad se mantuvo embrutecida, y durante quince siglos únicamente los Arabes, con sus canales de riego y de abastecimiento a poblaciones, persiguieron el bienestar agrícola y la higiene.

Sólo en el siglo XVII se recordó la ingeniería romana en algunos acueductos de Italia y Portugal.

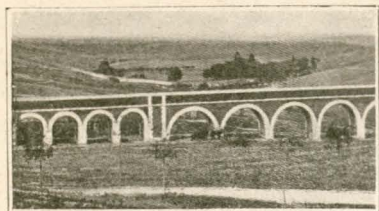


Fig. 284.—De Amaniél.

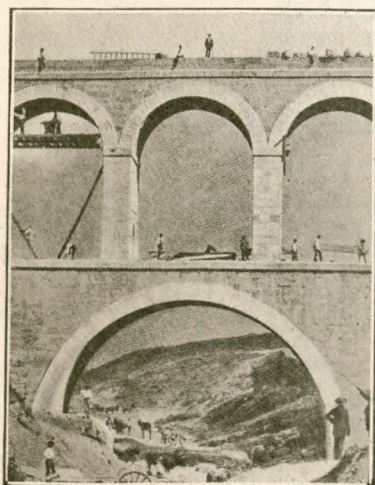


Fig. 285.—De la Sierra

De parecidos tipos fueron los construídos en el Extranjero, por lo que sólo citamos el más notable en Roquefavour (fig. 286), con arcos de 16 m. y altura de 75 m., que se construyó con la suntuosidad, el refinamiento y buen gusto característicos de las Obras públicas francesas de aquella época.

Disposiciones modernas.— Pero ya a mediados del siglo XIX se preocuparon las poblaciones de surtir de agua abundante a sus habitantes, utilizando canales y tuberías forzadas de hierro fundido.

Se construyeron entonces nuevos acueductos, en los que siguiendo la disposición general y proporciones de los Romanos, se afinaron las dimensiones de pilas y arcos merced al empleo de morteros hidráulicos.

Entre 1851. y 1853 se construyeron un gran número de acueductos para el Canal de Isabel II, que abastece a Madrid (1), con fábricas de granito o de ladrillo, o mezclas de ambos materiales, de los que presentamos dos ejemplos (figs. 284 y 285).

(1) Cuya solemne inauguración el 24 de junio de 1858, recuerda nuestro compañero D. Carlos de Orduña en la *Revista de Obras Públicas* de 1.º de enero de 1925.

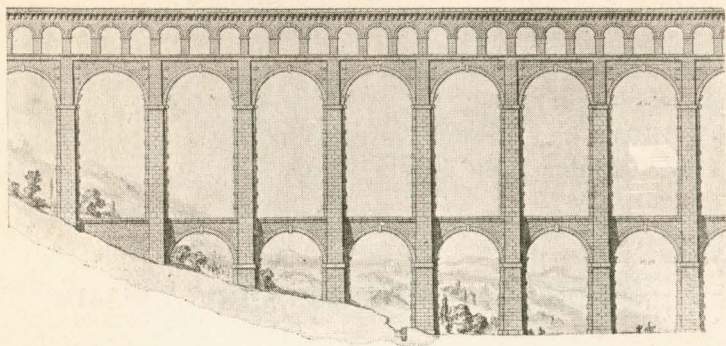


Fig. 286.—De Roquefavour (Francia).

Cajeros de hormigón armado.—La aparición del H. A. hizo pensar en utilizarlo, por lo menos para sus cajeros, disponiéndolos sobre viaductos de fábrica, con lo que se reduce el ancho de éstos.



Fig. 287.

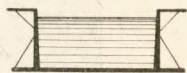


Fig. 288.

Las paredes verticales pueden atirantarse por viguetas transversales, sobre las que se disponen andenes (figu-

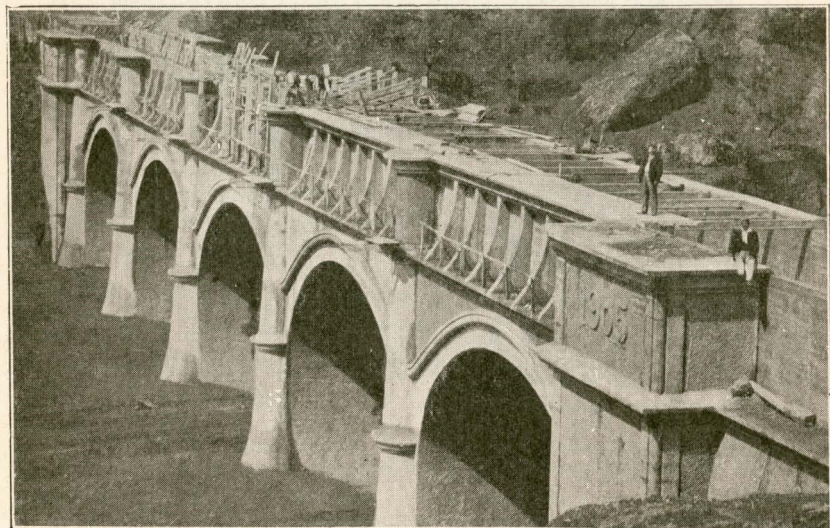


Fig. 289.—Puente acueducto de Perera.

ra 287), o con ménsulas exteriores, que permiten entonces la navegación por el canal (fig. 288).

Así, hemos construído en 1903 el acueducto de Perera, para el canal de Aragón y Cataluña, proyectado por el ingeniero D. Rafael López Sandino, con pilas y bóvedas de hormigón en masa (figura 289).

§ II.—ACUEDUCTOS DE HORMIGON ARMADO

Pero aplicado el H. A. con éxito a los cajeros, era obligado que su empleo se extendiera al acueducto propiamente dicho.

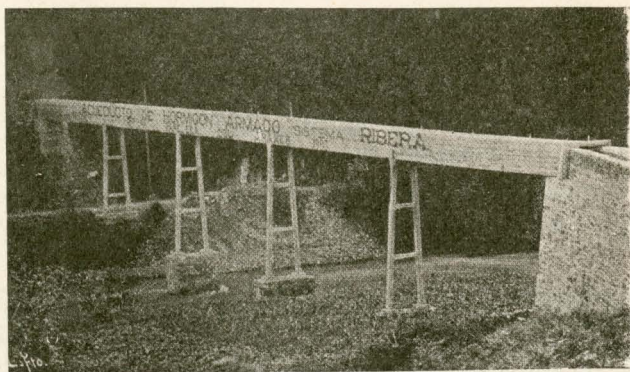
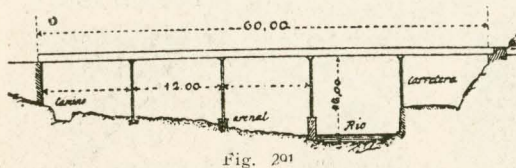


Fig. 290.—Acueducto del Araxes.

Sobre tramos rectos.—Ya en 1898 construimos para la Papelera del Araxes (Tolosa) el acueducto representado por las figuras 290 a 292.



Utilizamos las paredes del cajero para constituir con ellas los nervios de las vigas, y el andén superior

para su cabeza de compresión; los apoyos son palizadas sencillas, cuyos pilares tienen talud de 1/10, sobre pequeñas bases de mampostería. La disposición resultó muy económica, y sorprendió mucho en aquella época.

Puede utilizarse igual disposición no sólo para pasarelas, sino para dar paso a una carretera (fig. 293).

En el canal de Aragón y Cataluña construimos en 1905 dos acueductos para 36 m^3 por segundo, por encargo del ingeniero D. José Sans Soler. Como el cajero necesitaba gran anchura, lo apoyamos sobre un robusto tablero y palizadas sencillas (fig. 294).

Disposiciones semejantes se construyeron después en aquel mismo canal, y posteriormente en el del Guadalquivir y en las demás Confederaciones hidráulicas.

En ellos se aplicaron los tipos de tramos y palizadas empleados en los puentes, modificándolos con arreglo a las sobrecargas especiales de los acueductos, que si bien pueden ser muy considerables cuando la altura de agua y la anchura del canal son grandes, en cambio son *siempre uniformemente repartidas, circunstancia muy favorable y exclusiva de los acueductos.*

Las luces de estos tramos varían de 4 a 8 m., según la altura

*Sección de los tramos de
12 metros.*

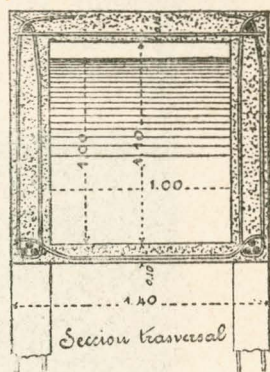


Fig. 292.—Del Araxes.

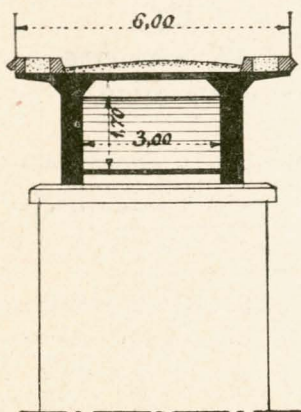


Fig. 293.

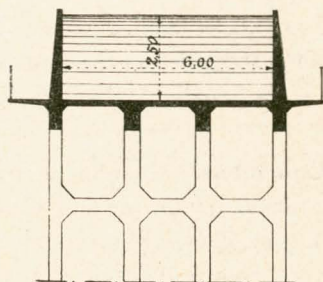


Fig. 294.

de las palizadas y sobre todo el coste de sus cimientos. Téngase en cuenta que la mayor parte de estos acueductos se construyen sobre valles no socavables; así es que los cimientos de las paliza-

das pueden casi siempre constituirse con unas placas de H. A. a flor de tierra.

Describiremos algunos ejemplos.

Acueducto del Nou, para el Canal de Aragón y Cataluña (1). Situado entre Tamarite y el Sifón de Albelda, que describiremos en el siguiente capítulo.

Todo el acueducto está en curva (figs. 295 y 296) y tiene una

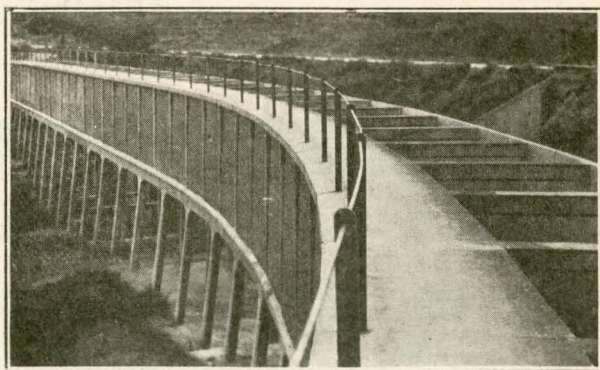


Fig. 295.—Acueducto del Nou.

longitud de 95 metros. La disposición de las armaduras es sencillísima y lleva muchos años en servicio sin exigir la menor conservación.

Los pilares podían haber sido verticales por su pequeña altura y los cimientos no pueden ser más sencillos y económicos, según acabamos de señalar.

Con tubos.—Cuando el canal va en tubería puede utilizarse la resistencia propia de los tubos de hormigón armado, para constituir con ellos las vigas de los acueductos. Su resistencia a la flexión permite disponerlos como tramos rectos, simplemente apoyados sobre pilas o palizadas. Las varillas generatrices del cilindro anular, que para los tubos sólo sirven como barras de repar-

(1) Proyectado por el ingeniero D. Manuel Morales Tello.

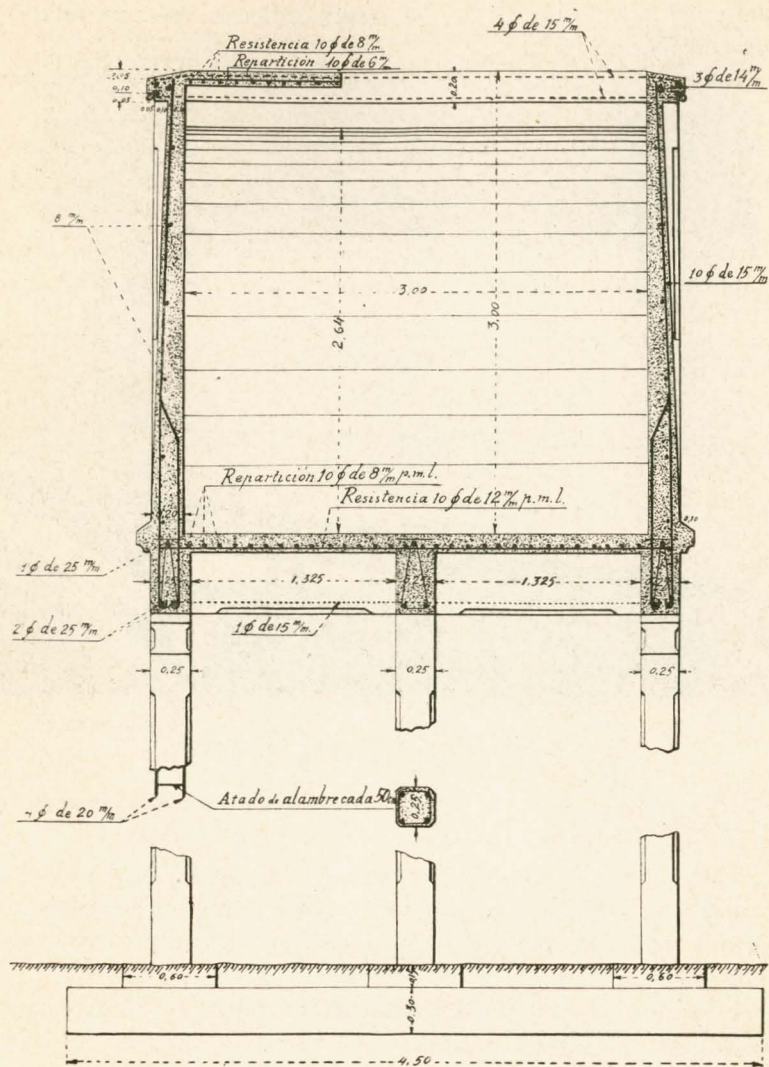


Fig. 296.—Acueducto del Nou.

tición de las barras directrices, trabajan y sirven en estos acueductos para resistir los momentos flectores de los tramos rectos, según vemos en el siguiente ejemplo.

Acueducto sobre el arroyo Miraflores (Sevilla), en el trozo

cuarto del canal de Riego del Valle inferior del Guadalquivir (figura 297).

Conduce un caudal de 2.895 litros por segundo con una pendiente de 0,0015.

Está constituido por un tubo de 1,50 m. de diámetro interior que, resistiendo como viga, se apoya sobre palizadas espaciadas 15 metros.

Cada tres tramos hay una palizada doble que permite disponer una junta de dilatación. Queda, por tanto, constituido el acue-

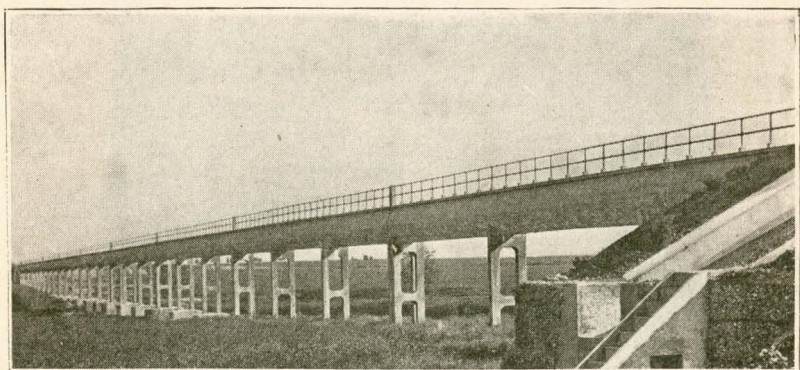


Fig. 297.—De Miraflores.

ducto por nueve pórticos triples, independientes entre sí y en los que la viga constituye el mismo tubo que sirve de cajero.

Tiene como elementos accesorios un aliviadero de superficie a la entrada y compuertas de cierre y de desagüe a la salida. La longitud total del acueducto, con aliviadero y compuertas, es de 441,35 metros.

Se ejecutó por administración con destajos y su coste aproximado fué de 190.000 pesetas.

Con semitubos.—Pueden substituirse los tubos antes descritos por semitubos de hormigón armado, según se justifica y aprecia en el originalísimo ejemplo que sigue.

Acueducto de Tardienta, para el canal de Monegros, en la Confederación del Ebro (figs. 298, 299 y 300).

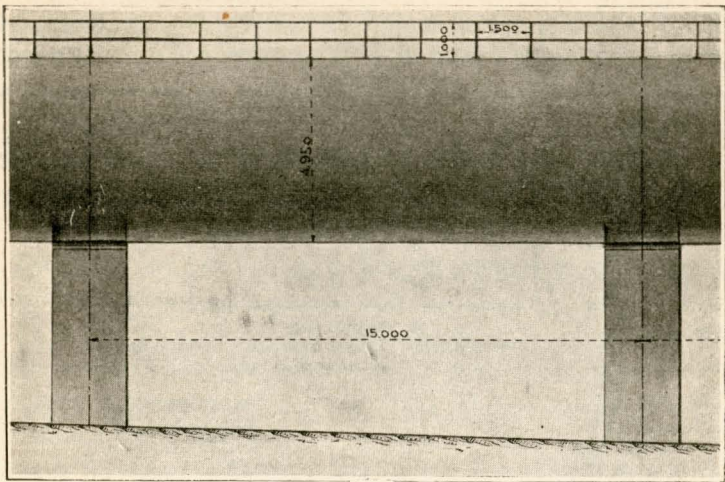


Fig. 298.—Acueducto de Tardienta.

SECCION MEDIA DE UN TRAMO DE 15 m

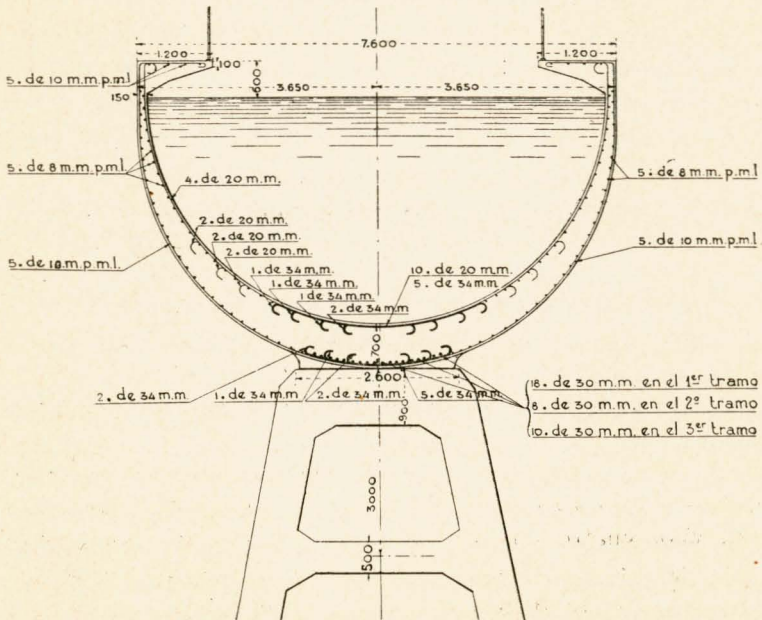


Fig. 299.—Tardienta.

Este acueducto, cuya construcción comenzará en breve, constituye un ejemplo bien patente de la economía que puede obtenerse cuando se persigue la máxima sencillez en la composición de

SECCION MEDIA DEL TRAMO SOBRE EL FERROCARRIL

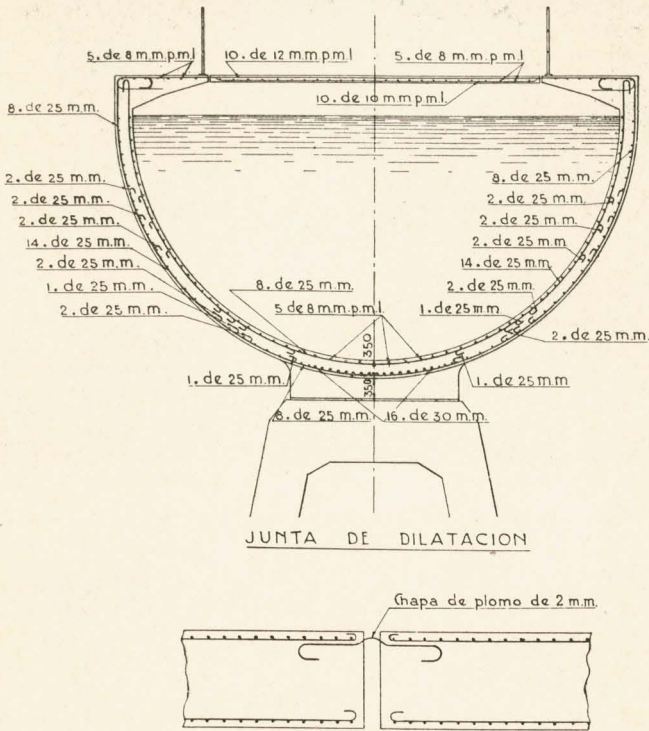


Fig. 300.—Tardienta.

la estructura, aunque sea prescindiendo de experimentadas disposiciones.

Habiase redactado el primer proyecto de esta obra con el tipo corriente de cajero rectangular, pero la cuantía de su presupuesto, de unos cuatro millones de pesetas, aconsejó encomendar el estudio de más económicas soluciones al profesor de la Escuela, nuestro muy distinguido compañero D. Alfonso Peña.

Comprendiendo este ingeniero que la economía se obtiene

principalmente, y como repetidamente decimos, no por forzar los coeficientes reduciéndose masa, sino por una más acertada disposición del trabajo de los elementos, que produzca su mayor rendimiento, estudió el problema con el criterio de simplificar la estructura dentro de la misma moderación en el trabajo elástico, lo que le condujo a la muy feliz idea de adoptar para los tramos del acueducto unos semitubos de H. A. (figs. 298 a 300). Resultó una economía superior a un millón de pesetas en el presupuesto, con iguales precios unitarios, siendo aprobado el nuevo proyecto, que es el que va a realizarse. Se compone la obra de tres trozos: uno de 495 metros, con tramos de 15 metros; otro de 12,34 metros para paso sobre el ferrocarril, y el tercero de 370 metros, con tramos de 9 metros.

Estas diferencias de luces en los tramos es debida a la distinta altura del terreno firme para cimientos, sobre el que se apoyan los caballetes de apoyo por una placa armada de repartición.

La sección transversal es semicircular, calculada para dar el enorme gasto de 71 m^3 . por segundo, que es el del primitivo proyecto y con igual pendiente de 0,001.

Las secciones transversales son iguales en los tramos de 15 y de 9 metros, pero longitudinalmente varían sus armaduras por haberse calculado para las respectivas luces como piezas de cinco tramos, estableciéndose una junta completa entre cada uno de los trozos de cinco tramos.

El apoyo sobre los caballetes de hormigón armado está dispuesto por medio de chapa de plomo, para que la reacción sea vertical e isostática.

El trozo intermedio cruza el ferrocarril y como la altura de rasante establecida no daba altura bastante para el gálibo normal, con objeto de no alterar las rasantes de la vía y acueducto, era indispensable reducir a 0,35 el grueso del semitubo en su sección inferior. A este fin se estudió este tramo con el mismo perfil interior, pero poniendo unos tirantes en la parte superior para distribuir los momentos flectores transversales en forma que den valor mucho más reducido en la parte inferior. Esos tirantes, para su mejor conservación, van hormigonados en losa continua, pero por la especial ventaja que tiene el tirante isostático, para materializarle, se ha hecho la armadura cruzada en un puuto, en cada

éxtremo, con junta seguida y colocando la armadura (en esas pequeñas zonas) dentro de tubos de plomo que evitan la oxidación.

Las juntas transversales cortan totalmente el acueducto en los caballetes de apoyo, de 5 en 5, y la impermeabilidad se consigue con chapa de plomo, de 2 mm. de grueso, en forma abombada, según indica la figura 300.

Con arcos.—Ya en 1906 (1) construimos el acueducto del Chorro (Málaga) sobre un arco de H. A. de 30 m. (fig. 301), que describimos en el capítulo II.

En esta obra fué donde por primera vez, que sepamos, se cons-

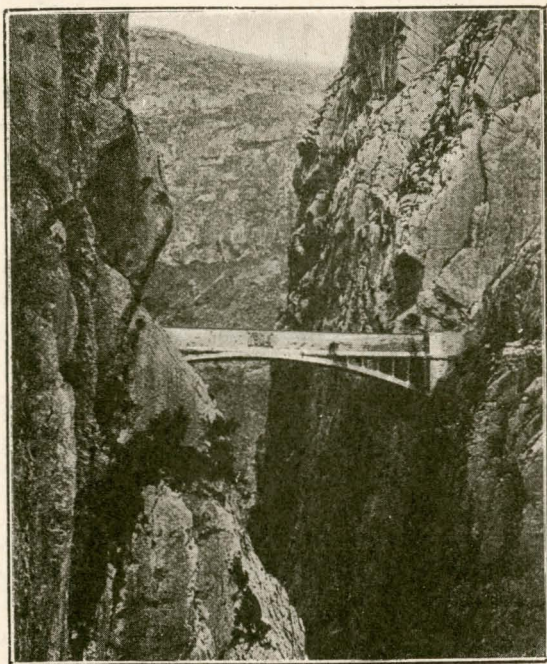


Fig. 301.—Acueducto del Chorro.

truyó un arco sin cimbras, utilizando para ello las armaduras rígidas constituidas por ocho viguetas del comercio de 24 cm.

(1) Lo ejecutamos por encargo de los ingenieros D. Leopoldo Werner y D. Rafael Benjumea, que fué después Ministro de Fomento.

De entonces acá se han construido muchos acueductos sobre arcos, que sobre todo convienen cuando al atravesar ríos exigen por sus cimientos emplear luces mayores de 15 m.

Teniendo presente la *uniformidad de las sobrecargas* y la ligereza que puede darse a los tímpanos, y trazando las curvas directrices de los arcos con parábolas de segundo grado, la funicular de sobrecargas no variará sensiblemente de posición, lo que permite la reducción de sus espesores a cifras que no pueden alcanzarse en los puentes ordinarios.

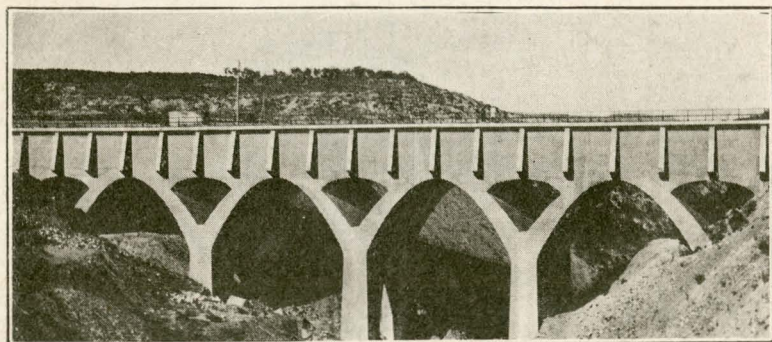


Fig. 302.—En Valdespartera. (Riegos del Alto Aragón.)

Aprovechando estos factores, los ingenieros de las Confederaciones del Ebro y Guadalquivir han construido varios acueductos con este tipo de arcos, que pasamos a describir.

Acueducto de Valdespartera (figs. 302 y 303).—Arcos de 12 m. de luz, de hormigón fuertemente armado para la carga de agua de 35 toneladas por metro lineal que puede llevar a cajero lleno (1).

Las paredes del cajero se apoyan sobre contrafuertes a 3,50 m. de distancia.

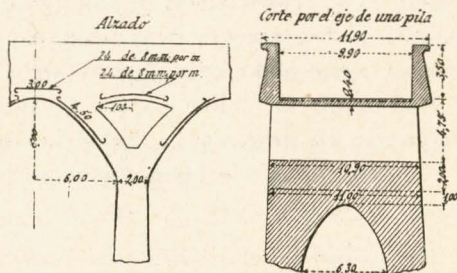


Fig. 303.

(1) Para los Riegos del Alto Aragón. Canal del Gállego. Ingeniero autor del proyecto: D. José Núñez Casquete. Contratista: Vías y Riegos, S. A.

Acueductos del Canal de riego del Valle inferior del Guadalquivir.—En este canal se han construido en los últimos veinte años todos los acueductos con hormigón armado, y debemos destacar sus muy originales características.

Cuando sus alturas de rasantes no exceden de 8 m., se adoptaban los tipos corrientes de tableros rectos sobre palizadas de H. A., análogos a los que iniciamos en el Canal de Aragón y Cata-

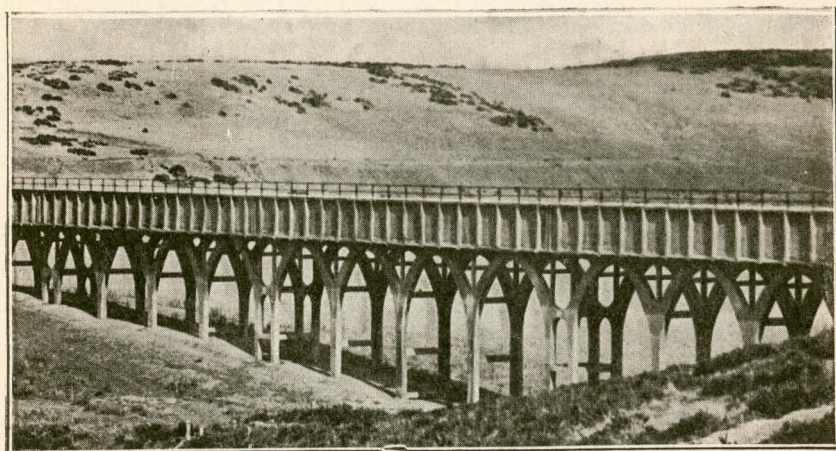


Fig. 304.—Acueducto de Adelfa. (Riegos del Guadalquivir.)

luña, o con tubos sobre palizadas, como vimos anteriormente en el acueducto de Miraflores.

Pero para alturas mayores de rasantes, los ingenieros de aquel Canal (1) aprovecharon la favorable circunstancia de las sobrecargas uniformemente repartidas para aumentar las luces de los tramos, empleando muy ligeros arcos parabólicos de H. A. entre 8 y 20 m. de luz, sobre los que se apoyaban los cajeros por medio de pilares en tímpanos, a distancias de 2 a 4 m.

Presentamos dos ejemplos entre los más interesantes.

(1) Actuaron principalmente en estos proyectos y obras los ingenieros jefes D. Antonio Hernández Bayarri y D. Eusebio Rojas Marcos, y como ingenieros: los Sres. D. José Luis Casso, D. Pedro Grajera, D. Juan Romera y D. Cristóbal Prieto. Casi todos estos acueductos se ejecutaron por administración.

Acueducto de la Adelfa (figs. 304 y 305).—Arcos de 8 m. entre ejes de pilares. Cada cuatro tramos se establece una palizada doble, en cuyo centro el cajero tiene una junta de dilatación, que por lo tanto están a 33,70 m. de distancia.

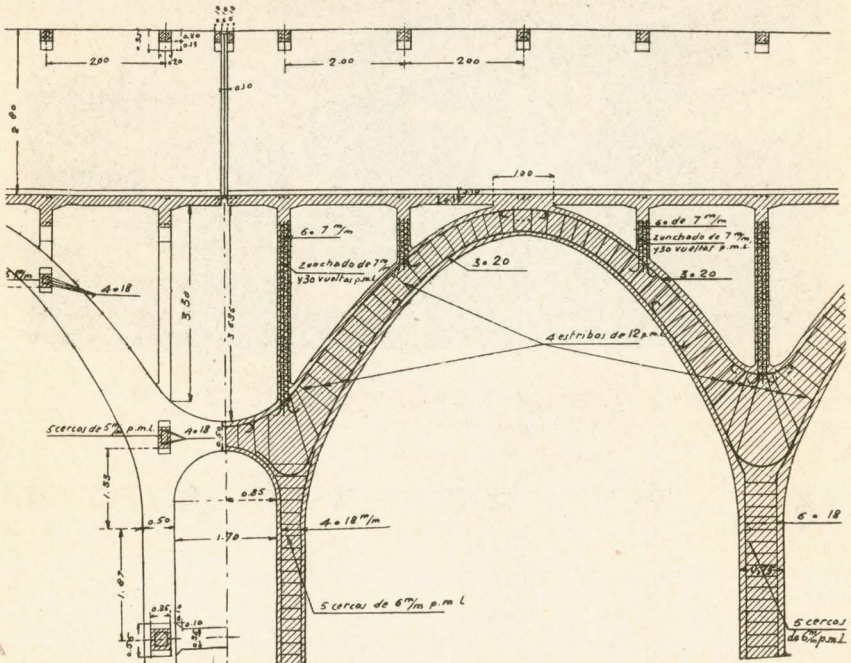


Fig. 305.—Acueducto de Adelfa.

Acueducto de Almonaza (figs. 306 a 308).—Su longitud total de 363 m. está dividida en tres partes: una central de 11 tramos, con arcos de 20 m. sobre pilas de hormigón en masa, y dos laterales de tramos rectos tipo corriente sobre palizadas a 4 m. de distancia.

La pendiente es de 0,0008 para un caudal de 6 m^3 . por segundo, y tiene juntas de dilatación cada 20 m.

Los arcos de 20 m. tienen taludes de 20° , quizá innecesarios.

Costó 355.000 pesetas, es decir, menos de 1.000 pesetas por metro, cifra muy económica.

Juntas de dilatación.—En todos estos acueductos de gran longitud, hubo que poner dispositivos especiales para contrarrestar

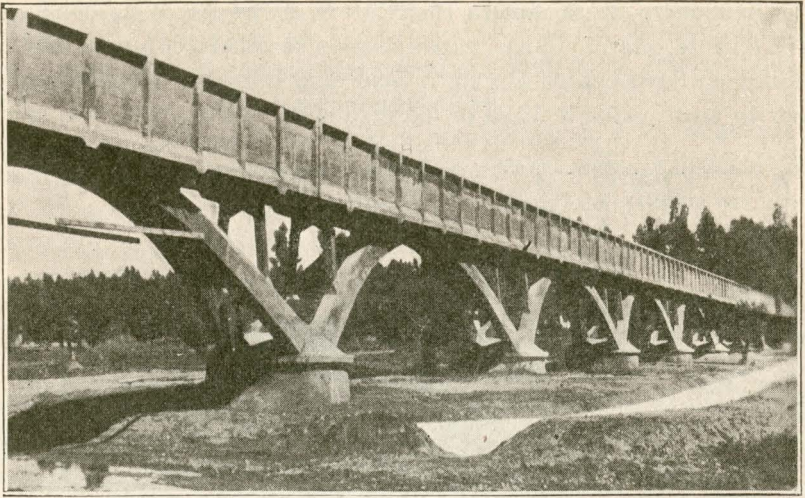


Fig. 306.—Acueducto de Almonaza.

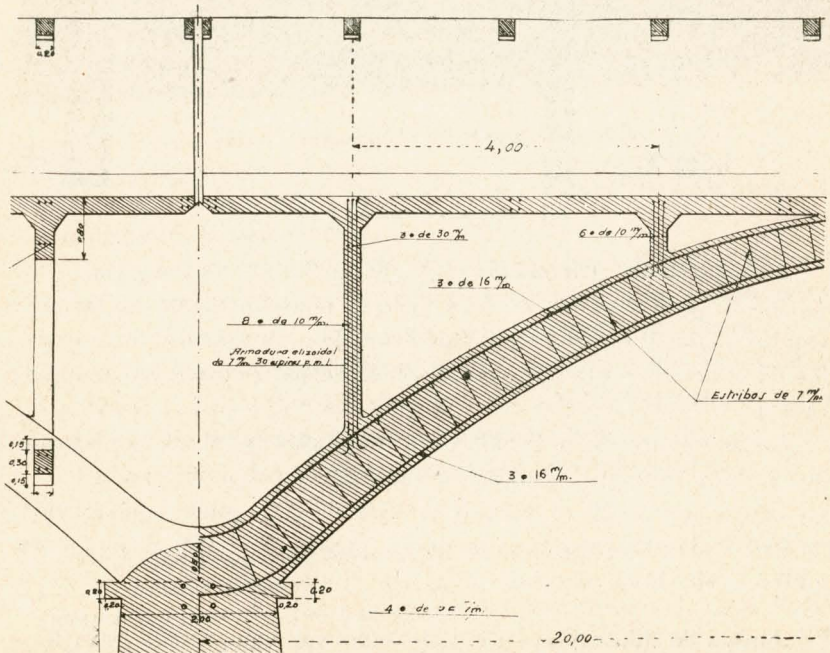


Fig. 307.—Tramos en arco de Almonaza.

las sensibles contracciones que en sus cajeros determinan los fríos invernales. Después de algunos ensayos, el tipo que ha dado

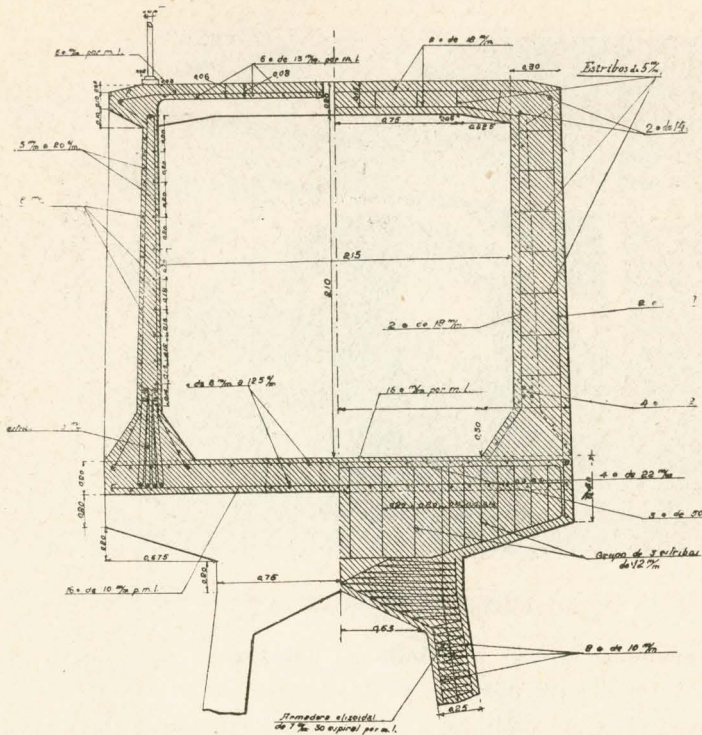


Fig. 308.—Tramos rectos de Almonaz

mejores resultados es el de la figura 309, colocándose en el centro de un tramo de cajero y en sus tres paredes.

El material empleado es el palastro, ensayándose ahora y muy satisfactoriamente una junta de bronce que evite la oxidación.

Acueducto sobre el Júcar, para la Sociedad Hidroeléctrica Española (fig. 310).—El canal tiene un gasto de 40 m³ por segundo.

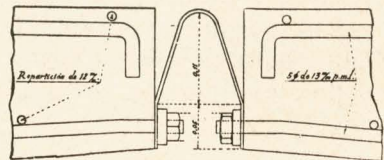


Fig. 309.

Los arcos de 1,50 m. de anchura, 1,50 m. en la clave y 2 m. en los arranques, tienen 42 m. de luz y 10 m. de flecha, con directriz parabólica.

Sus armaduras son rígidas, lo que ha permitido su ejecución sin cimbra.

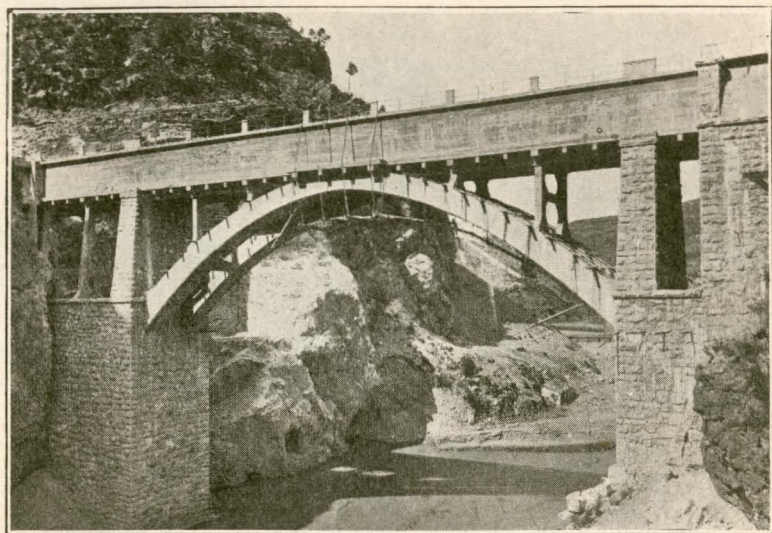


Fig. 310.—Acueducto sobre el Júcar.

Acueducto sobre el Mollasco (Italia).—Para un cajero de 1,95 m. de tirante de agua y 1,55 m. de ancho (1).

Dos arcos parabólicos de 50 m., con armaduras flexibles (figura 311).

En la clave del arco se ha dispuesto una junta de dilatación con una hoja de plomo plegada en semicírculo y empotrada en las paredes del canal, que al parecer se ha comportado bien.

Para un solo arco de 50 m. el autor hubiera preferido evitar la costosa cimbra y los moldes complicados que esa construcción exigió empleando las armaduras rígidas de los acueductos antes citados del Chorro y del Júcar, de 30 y 42 m. de luz, respectivamente.

(1) Detalles, en *Ponti in cemento armato*, Santarella. Lámina 83.

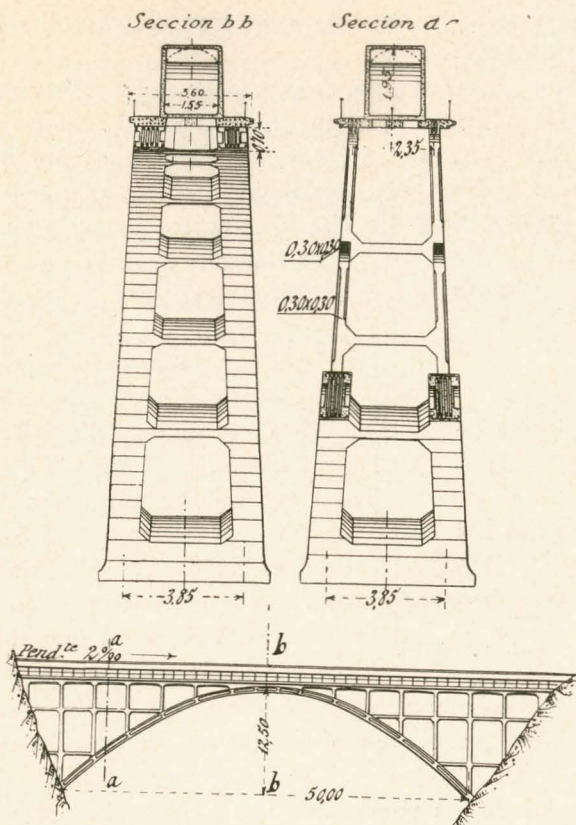


Fig. 311.—Acueducto sobre el Mollasco (Italia).

§ III.—CONCLUSIONES

Superioridad del hormigón armado.—La descripción de todos estos ejemplos demuestra que hoy día puede casi asegurarse que el hormigón armado es el material por excelencia para los acueductos, en cajeros, tramos rectos y arcos, por su evidente economía y rapidez de construcción, y que serán muy contados los casos en que pueda convenir construirlos con hormigón en masa y mamposterías.

Nos satisface además consignar que los ingenieros españoles no sólo fueron los primeros en aplicar el nuevo material a estas obras, sino que han concebido y realizado con gran éxito dispo-

siciones originales y muy baratas, que no hemos visto aplicar en el Extranjero.

No es, pues, extraño que al proyectar el autor hace pocos años los numerosos acueductos que necesitará el canal del Taivilla (Murcia), para 4 m^3 por segundo, y auxiliado con la entusiasta colaboración de nuestro joven compañero don José Barcala, haya propuesto tipos especiales, como resultante de nuestra experiencia.

De ellos sólo reproducimos aquí la sección por el centro de un tramo recto de 15 m. de luz (fig. 312), en el que persistimos en la idea de que las paredes del cajero constituyan los nervios de las vigas rectas y los andenes sus cabezas de compresión. Esta disposición nos resultó más económica para el caudal de 4 m^3 por segundo que los tipos corrientes de cajero sobre el tablero, con vigas inferiores, para las luces, las alturas de rasante y, sobre todo, las pendientes adoptadas en los acueductos.

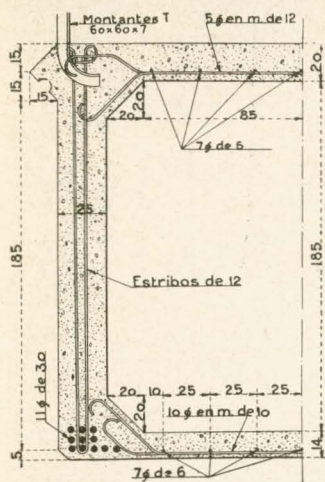


Fig. 312.—Canal de Taivilla.

ro, con vigas inferiores, para las luces, las alturas de rasante y, sobre todo, las pendientes adoptadas en los acueductos.

Influencias de las pendientes.—Porque no hay que olvidar lo que ya indicamos en el tomo III, página 81, al ocuparnos de las rasantes en los canales: *el factor pendiente permite modificar las dimensiones y hasta la disposición general y las luces de los tramos de acueductos.*

Como en los túneles.—En efecto: para un caudal determinado pueden adoptarse en los acueductos pendientes mayores que las del canal en ladera. En un gran número de casos conviene hacerlo así, por lo menos en los grandes túneles y en los acueductos largos, ya que al reducirse las secciones mojadas de unos y otros se ahorran cifras considerables en el coste de aquellas obras.

Pero estos aumentos de pendientes están limitados por otros dos factores:

a) Las velocidades del agua, que no deben exceder de unos 2 m. por segundo, para que puedan resistirlas sin deterioro las superficies de las paredes y solera de los cajeros.

b) Estos aumentos de pendiente llevan consigo una mayor pérdida de nivel, que en muchos canales de riego o de fuerza reducen: o la extensión de la zona regada, o el número de kilowatios que se obtengan, cuando se trata de aprovechamientos eléctricos.

Hay, pues, que capitalizar estas pérdidas de beneficio, para sustraerlas de las economías teóricas obtenidas en las obras con la reducción de sus anchos y sobrecargas.

Son, por tanto, tanteos de gran interés que debe establecer el ingeniero para conseguir la solución financiera óptima, que será la que en definitiva permita precisar la pendiente del acueducto y sus consiguientes tipos y disposiciones.