

CAPÍTULO V

ARCOS ARTICULADOS

§ I.—Consideraciones generales.

Tipos de articulación en bóvedas de fábrica.—Sus modificaciones en arcos de hormigón armado.—Tipo Mesnager.—Tipo Freyssinet.—Tipo Emperger.—Tipo Sánchez del Río.—Número de articulaciones.—Disposiciones de arcos y armaduras.

§ II.—Ejemplos de arcos articulados españoles.

Sobre el río Isuela (Huesca).—En San Juan de las Abadesas (Gerona).—En Besalú (Gerona).—En Requejo (Asturias).—Pasarela de Gerona.—En Mequinenza (Zaragoza).—En Gelsa (Zaragoza).

§ III.—Ejemplos de arcos articulados del extranjero.

En Pinzano (Italia).—En Sequals (Italia).—Sobre el Valdassa (Italia).—En Gmunden (Austria).—Sobre el canal Donau, en Viena.—En Montauban (Francia).—Puente Candelier (Bélgica).—En Port d'Agrés (Francia).—En Echelsbach (Baviera).

§ IV.—Conclusiones.

§ I.—CONSIDERACIONES GENERALES

Tipos de articulación en bóvedas de fábrica.—En el capítulo XIV del tomo III justificamos las ventajas de la triple articulación de las bóvedas y enumeramos los tipos de articulación, que se resumen en:

a) *Con hojas de plomo* intercaladas en la parte central de la bóveda, en sus dos arranques y en la clave.

b) *Por rodadura*, cortando la bóveda en claves y arranques, con juntas cuyos paramentos en contacto sean cóncavos y convexos, para que puedan rodar uno sobre otro. Los bloques de juntas pueden ser: de piedra dura, de acero, de hormigón armado o sin armar.

c) *Por giro*.—Las dos semibóvedas giran alrededor de un eje de hierro fundido o de acero.

d) *Por giro y rodadura*.—Es la articulación de *rodilla*, en la que la rótula convexa gira y rueda dentro del bloque cóncavo.

e) *Con semiarticulación*, es decir, articulando temporalmente las bóvedas durante la construcción, y enclavando después las rótulas, para transformar la bóveda en inarticulada, a los efectos de las sobrecargas móviles.

Sus modificaciones en arcos de H. A.—Todos estos tipos de articulación pueden aplicarse a los arcos de H. A.: pero conviene entonces reforzar las armaduras en las inmediaciones de las rótulas, como se observa en los ejemplos siguientes:

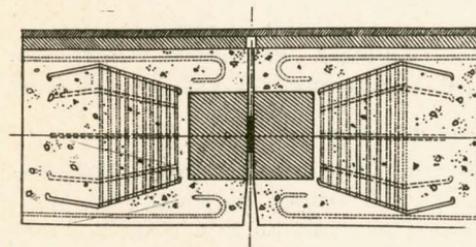


Fig. 155.

Fig. 155. Articulación de plomo del puente sobre el Aar, en Olten (Suiza). Se intercala la chapa de plomo entre dos sillares de piedra escogida, sobre los que se concentran las presiones del arco con armaduras suplementarias.

Fig. 156. Articulaciones en arranque y clave del puente de Belluno, sobre el Piave (Italia), para un arco inferior de 71,60 m. rebajado al 1/10. Las rótulas son de acero y los cojinetes de fundición, ambos en cinco piezas de 1 m. de longitud, que se extienden en todo el ancho de 5,05 m. de la bóveda (1).

(1) Detalles en el libro *Ponti in cemento armato*, de Santarella. Láminas 38 y 39.

cos se producirán forzosamente grietas en el mortero o masticos elásticos con que se recubran las barras, penetrará la humedad y las oxidará en mayor o menor grado de profundidad y extensión, *sin que haya medios de corregirlo ni de sustituirlas.*

Es, pues, inevitable que los arcos así articulados morirán repentinamente por sus rótulas el día en que la sección de las barras haya menguado lo suficiente para que no resista la presión en ellas concentrada (1).

Tipo Freyssinet (fig. 158).—Imaginada por este ilustre ingeniero constructor para el puente de Veudre (en Vichy) y aplicada en el puente Candelier, que luego describiremos, y por nuestro compañero Sr. Gamón en los puentes de Mequinenza y Gelsa.

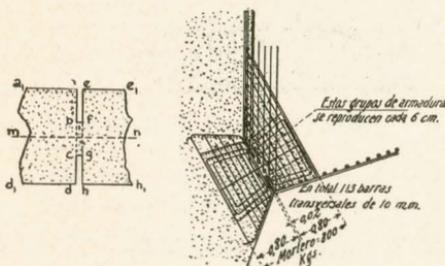


Fig. 158.—Articulaciones Freyssinet.

salmeres $a_1 add_1-e_1 ehh_1$, ejecutados con mortero de 800 kilogramos y con nutrida armadura transversal, dispuestas como se ve en su aplicación en el puente Candelier, descrito más adelante.

Los experimentos previos realizados por Freyssinet y comprobados después por el mismo en varios puentes, demuestran que no se presentan grietas en ninguno de los ángulos b, f, c, g ; es decir, que esta zona, que actúa como rótula, parece comportarse como si fuera una masa líquida contenida en una envolvente inextensible; se puede fácilmente obtener con estos morteros presiones de rotura excediendo 1.000 kg/cm^2 .

Es, por lo tanto, esta articulación fundamentalmente distinta del tipo Mesnager; en ésta la transmisión de las presiones se realiza

(1) No debemos ocultar, sin embargo, que nuestro compañero D. Federico Moreno, que ha aplicado las articulaciones Mesnager en sus puentes de San Juan de las Abadesas (construido en 1914) y Besalú, que luego describiremos, no ha observado en ellos la menor señal de oxidación. Verdad es que no son muchos años los que llevan de existencia.

exclusivamente por las armaduras longitudinales; en la rótula Freyssinet, es únicamente el hormigón el que transmite las presiones (1).

Tipo Emperger.—Este reputado ingeniero, aplicando sus preferencias por el hierro fundido, emplea este material para las armaduras de los arcos, que vienen a apoyarse directamente sobre las rótulas de acero fundido (fig. 159).

Pero, a pesar de la justificada autoridad de su autor, este tipo de articulación no se ha extendido (2).

Tipo Sánchez del Río.—Este aventajado discípulo nuestro ha imaginado y propuesto para un puente sobre el Nalón, en las Caldas (Oviedo), de 80 m. de luz, unas articulaciones de *uralita*, que, como

es sabido, es una mezcla de cemento y amianto que resiste presiones superiores a 1.000 kg/cm^2 (fig. 160).

En la solución 1, la articulación se realiza mediante la interposición de un tubo de uralita de 50 cm. de diámetro exterior, con paredes de 20 cm. entre dos segmentos de tubo, de algo mayor curvatura y de 20 cm. de espesor.

La solución 2 es más sencilla: consiste en dos medios tubos, con los que se obtiene la figura del dibujo.

En ambas, la uralita trabaja a compresión del modo más favorable, *por presiones radiales*, es decir, comprimiendo las capas elementales y concéntricas que integran el tubo, del mismo modo que cuando su fabricación.

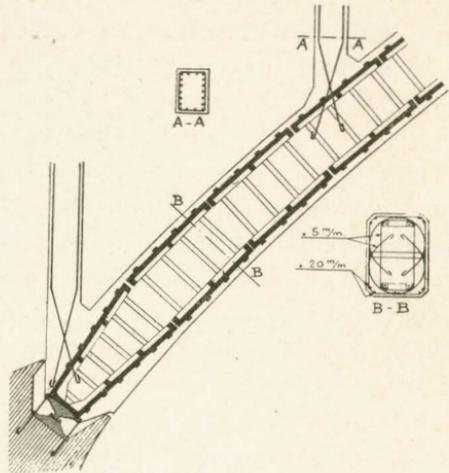


Fig. 159.—Secciones del arco de Gmunden (Austria).

(1) Deben leerse muy interesantes justificaciones de este sistema en la nota de M. Freyssinet sobre el puente Candelier *Annales des Ponts et Chaussées*. Marzo-abril, 1923, pág. 170.

(2) En este mismo capítulo describiremos los puentes de Gmunden (construido) y canal Donau (proyecto) con el tipo Emperger de articulación.

Se obtendrán con este tipo de articulación las siguientes ventajas:

- a) Que su material, a base de cemento, es de la misma calidad que el resto del puente.
- b) Suprime la oxidación de las rótulas metálicas, admitiendo como éstas un perfecto e inalterable pulimento.

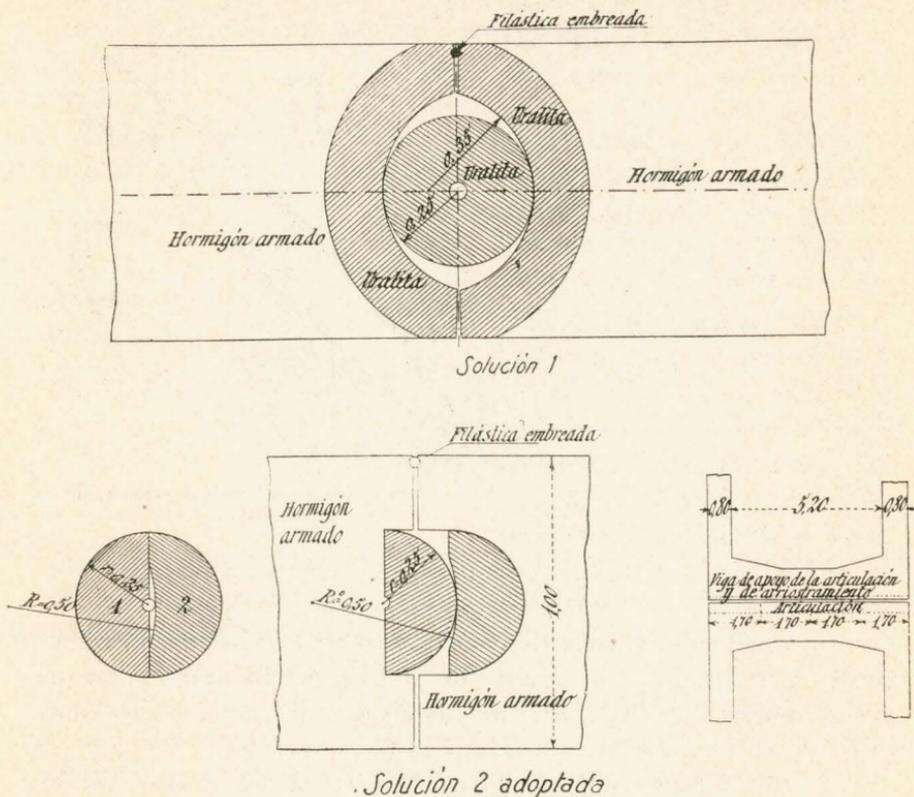


Fig. 160.—Tipo de articulación Sánchez del Río,

c) Una notable y comprobada flexibilidad, muy superior a la del hormigón.

d) Ser más económicos y más fácilmente colocables que los demás tipos.

No dudamos que la experiencia compruebe estas tan razonadas ventajas (1).

(1) Detallados en nuestro artículo de la *Revista de Obras Públicas*. Año 1931. 1.º de enero. (Pág. 2.)

Número de articulaciones.—La mayor parte de los ingenieros partidarios de la articulación han dado la preferencia a la triple rótula, en arranques y clave, en las bóvedas de hormigón o arcos de H. A., solución que evita toda indeterminación estática.

Sin embargo, en puentes metálicos y grandes cubiertas ha sido frecuente articular sólo los dos arranques: Eiffel en sus puentes de Oporto y Garabit, el autor en su viaducto de Pino, así lo han hecho y justificado (1), y también nuestro compañero Moreno en sus dos puentes articulados de H. A. de San Juan de las Abadesas y Besalú, que luego describiremos.

Por último, el ilustre profesor belga Vierendeel (2) preconiza el tipo de arco empotrado en los arranques y *solamente articulado en la clave*, y nuestro joven compañero Sánchez del Río aplicó esta articulación única en su puente de Requejo, descrito más adelante por los plausibles motivos que se detallan en el artículo que a dicho puente dedicó el autor (*Revista de Obras Públicas*, 1.º de enero de 1931).

Después de examinar los muchos ejemplos que se presentan a continuación, expondremos las conclusiones que pueden deducirse de su estudio y experiencia.

Disposiciones de arcos y armaduras.—Todos los arcos articulados, como sus tímpanos y tableros, se arman de igual modo que los arcos empotrados.

Pueden, por lo tanto, emplearse armaduras flexibles, que exigen fuertes cimbras, o cerchas rígidas en celosía, que pueden montarse sobre ligeros andamios o en voladizo.

Pero hay que cuidar muy especialmente las juntas de dilatación de los tímpanos y tableros en el plomo de las rótulas de arranque, pues en aquéllas serán más sensibles los movimientos del arco, no sólo por los efectos de temperatura sobre el puente, sino por los

(1) En nuestro libro *Grandes viaductos*, pág. 172.

(2) A. Vierendeel. "*Cours de stabilité des constructions*", tomo IV, página 107. Dice textualmente: "Lo consideramos como el mejor y más económico; es un poco inferior al arco de tres rótulas para los efectos de la temperatura; pero compensa ampliamente esta inferioridad por su mayor resistencia a las cargas verticales y a los esfuerzos horizontales."

movimientos de los apoyos, *sometidos en toda su absoluta integridad* a los empujes oblicuos de los arcos.

Pasemos a describir los arcos articulados más característicos.

§ II.—EJEMPLOS DE ARCOS ARTICULADOS ESPAÑOLES

Puente sobre el río Iruela (Huesca) (1).—Es el primer puente español de hormigón armado en el que se emplearon articulaciones (fig. 161).

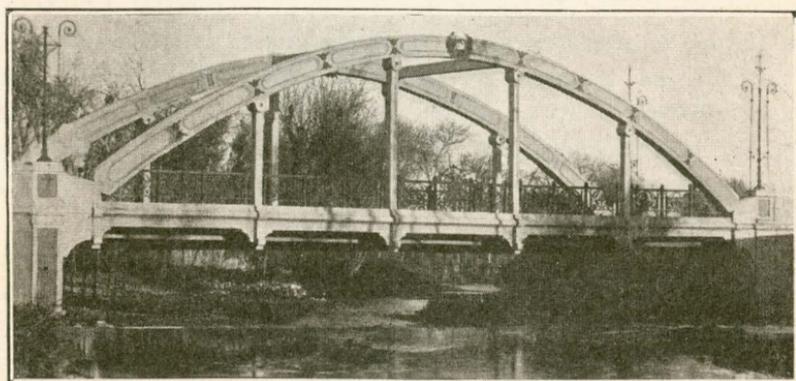


Fig. 161.—Puente sobre el Iruela (Huesca).

Tiene este arco parabólico 25,60 m. de luz entre rótulas de arranques y 5,10 m. de flecha.

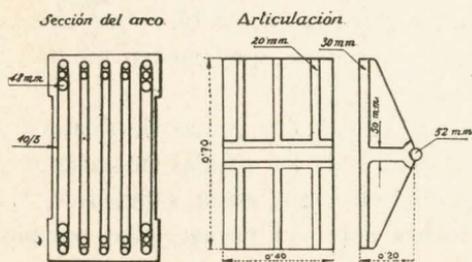


Fig. 162

Los arcos dejan un ancho libre de 7,00 m., de los que 4,90 m. para firme y 2 andenes de 1,05 m.

Las tres articulaciones de cada arco, que son del tipo de placas de fundición

y rótula de acero (fig. 162), están condenadas con mor-

(1) Para la carretera de Huesca a la estación del ferrocarril de Sabiñá-nigo. Autor del proyecto y constructor: nuestro compañero D. Gabriel Rebollo, que fué con el autor uno de los primeros preconizadores del H. A.

tero de cemento; no se han observado movimientos oscilatorios, ni señales de oxidación, desde el año 1912 en que fué construído.

Puente viaducto de San Juan de las Abadesas (Gerona) (1).

—Con un viaducto de acceso de 12 arcos de medio punto de 7 m., la carretera de Ripoll a Francia cruza el río Ter, por medio de un arco de 32 m. de luz entre estribos; se reduce esta luz a 28 m. entre las únicas dos articulaciones, tipo Mesnager, que se han

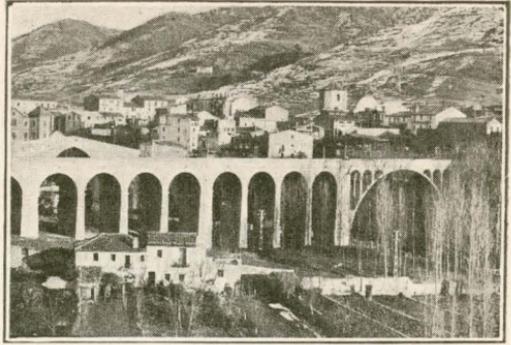


Fig. 163.—Puente de San Juan de las Abadesas (Gerona).

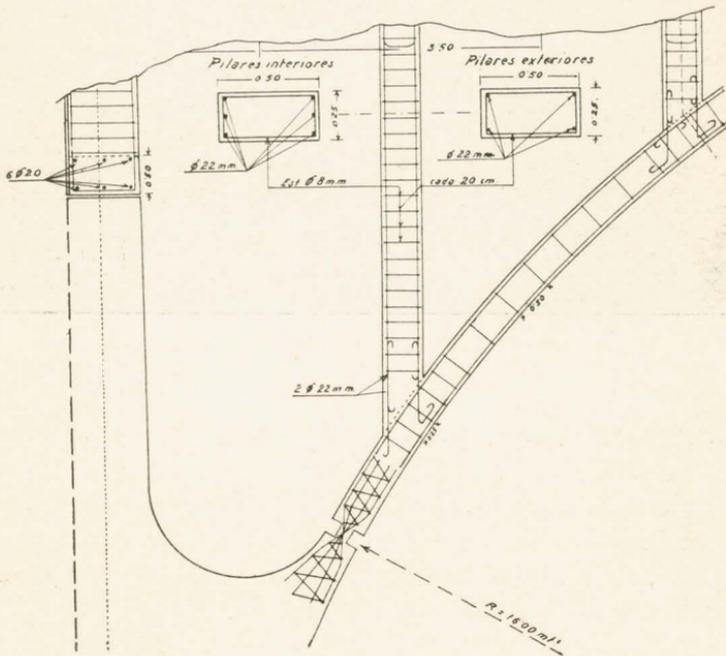


Fig. 164.—Puente de San Juan de las Abadesas.

(1) Ingeniero autor del proyecto y director de las obras: D. Federico Moreno. Constructor: "Sociedad Construcciones y Pavimentos". Pueden leerse detalles de este puente en la *Revista de Obras Públicas* de 1924, pág. 202.

dispuesto en voladizo de 1 m. sobre cada paramento de estribo (figuras 163 y 164).

La bóveda es continua, con espesor uniforme de 0,45 m., que se reduce a 0,15 m. en la articulación; en ella se empotran los pilares de 0,50 por 0,25, que sirven de apoyo a las arcadas de los tímpanos.

En los dieciséis años de servicio de este puente, no se observan señales de grietas ni de oxidaciones en las rótulas.

Puente de Besalú, sobre el río Fluviá (Gerona) (1).—Para la carretera de segundo orden de Gerona a Olot.

Tres arcos escarzanos de 37 m. de luz y 5,90 m. de flecha (figura 165).

Las bóvedas son continuas en un ancho de 4,74 m. y se arti-

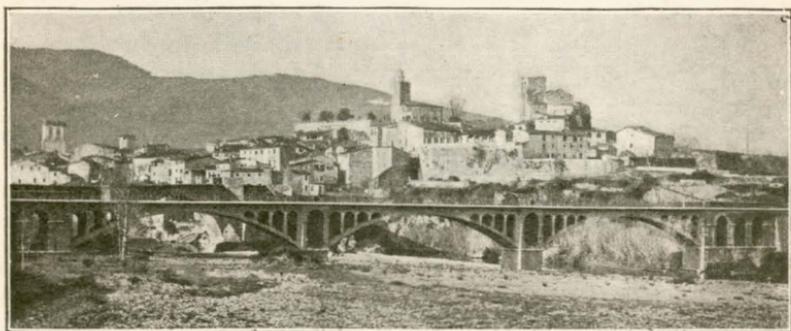


Fig. 165.—Puente de Besalú (Gerona).

culan en los arranques con el tipo Mesnager, descrito anteriormente (fig. 157).

Los tímpanos, aligerados con arcadas transversales, son de hormigón en masa.

Las articulaciones se han comportado perfectamente desde el año 1926, en que se realizaron las pruebas.

(1) Proyecto y dirección de las obras: D. Federico Moreno, que siguió empleando en este puente la doble articulación Mesnager, por el buen resultado que con ella había obtenido en el arco de San Juan de las Abadesas, anteriormente descrito.

Para los efectos de las dilataciones se han separado los tímpanos de los estribos, para que los arcos y tableros tengan libre juego.

Puente sobre el Narcea, en Requejo (Asturias).—Sus características son (figs. 166 a 168):

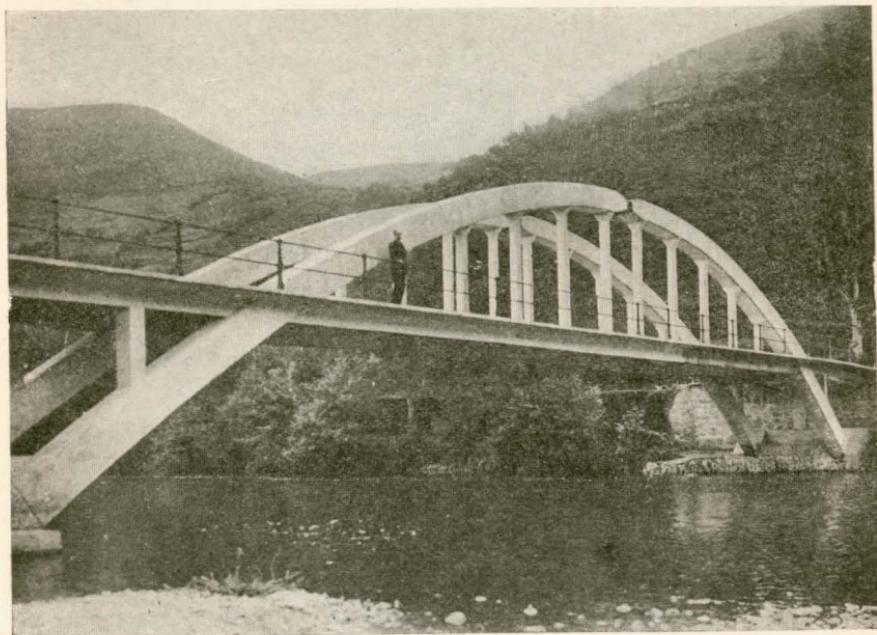


Fig. 166,—Puente de Requejo (Asturias),

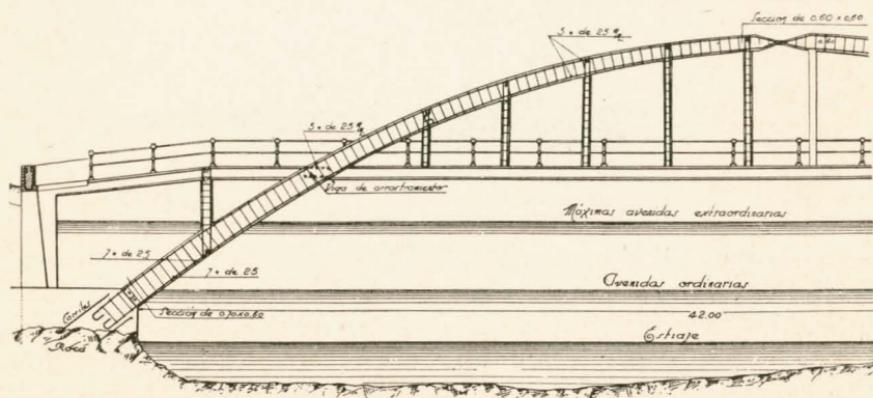


Fig. 166,—Sección longitudinal del puente de Requejo,

Carga de cálculo: 400 kg./m².

Dos articulaciones tipo Mesnager en estribos, porque uno de

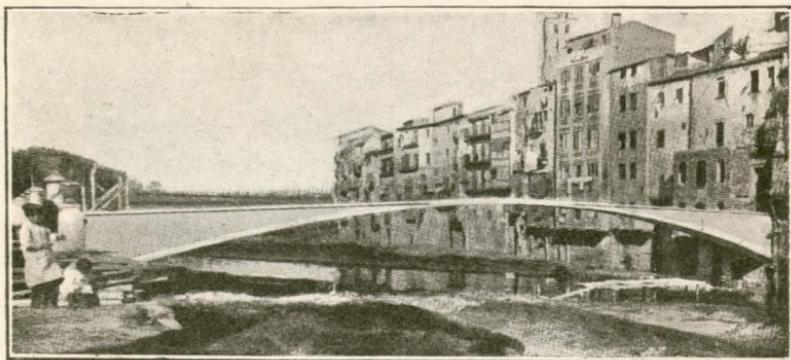


Fig. 169.—Pasarela, en Gerona.

éstos ofrecía poca seguridad, evidenciada por sus desplazamientos sucesivos, que alcanzaron 6 cm. A pesar de ello, y *gracias a sus articulaciones*, la obra se mantiene en perfecto estado.

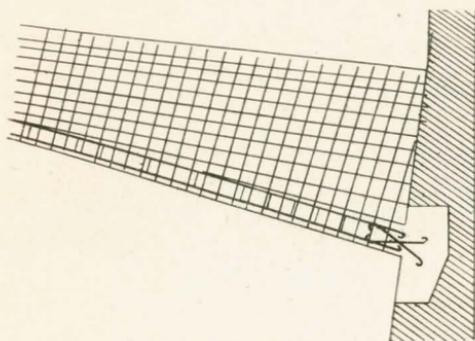


Fig. 170.

No cabe mayor ligereza de bóveda, que hubiera sido aun más visible si se hubieran aligerado transversalmente los tímpanos, en vez de aligerarlos longitudinalmente.

Puente de Mequinenza, sobre el Ebro (Zaragoza) (1).—Cuatro arcos parabólicos con tres articulaciones de 62,50 m. de luz entre apoyos y de 60 m. entre las articulaciones de arranques,

(1) Carretera de Maella a Fraga. Proyecto de D. Alejandro Mendizábal, reformado por D. Joaquín Camón, que inspeccionó las obras. Estas fueron ejecutadas por la "Sociedad Aragonesa del Cemento Armado Ramón Ríos y Compañía, Hermanos". Detalles de estas obras, en *Ingeniería y Construcción* de mayo de 1926.

porque éstas vuelan 1,25 m. sobre los paramentos de apoyos.

Su flecha es de 8,57 m., que produce un rebajamiento aproximado de 1/7.

El tablero, de 6 m. entre barandillas, lleva forjado con cuatro



Fig. 171.—Puenete de Mequinenza.

largueros, que se apoyan sobre palizadas de cuatro pilares, empujados en la bóveda que es continua, pero de 4,80 m. de ancho (figura 171).

Los espesores de la bóveda son de 1,10, 1,40 y 1,00 m., respectivamente,

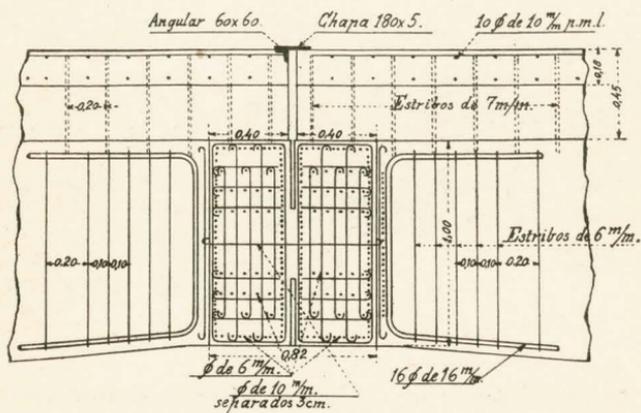


Fig. 172

tivamente, en arranques, riñones y clave. Las armaduras de estos arcos son flexibles.

Las articulaciones, que se habían proyectado primeramente del tipo Mesnager, se modificaron por el ingeniero Sr. Camón con articulaciones Freyssinet (fig. 172).

El enlace entre las articulaciones y la bóveda se establece por

dos sillares de hormigón de 0,40 m. cada uno, armados en las tres direcciones con barras de 6 y 10 mm. y a 2 cm. de distancia.

La compresión máxima en la articulación de hormigón rico de 36 cm. de altura resulta en estos arcos de 136 kg./cm²., siendo así que la resistencia de los hormigones de 800 kgs. con que se han ejecutado estas articulaciones ha sido de unos 500 kgs./cm². a los treinta y seis días.

Puente en Gelsa, sobre el Ebro (Zaragoza) (1).—Cinco arcos parabólicos con tres articulaciones de 52,80 m. de luz entre apoyos y de 48 m. entre las articulaciones de arranques, porque

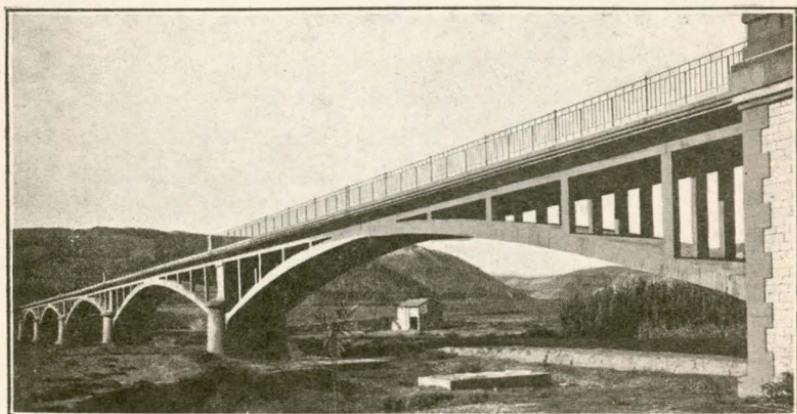


Fig. 173.—Puente de Gelsa.

éstas vuelan 1,40 m. sobre los paramentos de apoyos. La flecha es de 4,00 m., de modo que el rebajamiento es de 1/12 (figuras 173 y 174).

La composición del tablero es del mismo tipo que en el puente de Mequinenza.

(1) Carretera de Ventas de Santa Lucía a Quinto (Zaragoza), Proyecto de D. Joaquín Camón, que también inspeccionó las obras. Estas fueron ejecutadas por el ingeniero D. José Bonet. Detalles, en *Ingeniería y Construcción* de mayo de 1926. En dicho artículo se comprueba la gran economía de estas articulaciones sobre las rótulas ordinarias.

Los espesores de la bóveda son 0,52-0,76 y 0,46, en arranques, riñones y clave.

Las articulaciones, como en Mequinzenza, son del tipo Freysinnet, sin más modificación que la que implica el distinto espesor de la bóveda. La compresión máxima en la articulación de hormigón de 18 cm. de altura, resulta en estos arcos de 147 kgs./cm².

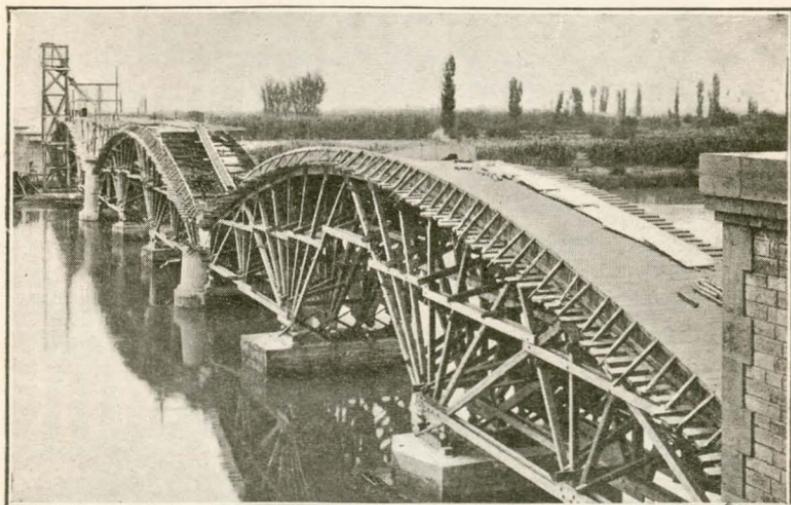


Fig. 174.—Puente de Gelsa.

Parecidas a las de la figura 172, cada articulación comprende dos bloques armados a 2 cm. de distancia con tres órdenes de armaduras: cercos rectangulares en dirección normal a las compresiones principales, armaduras horizontales que eviten el henchimiento de las zonas inmediatas a la junta de articulación y otras normales a la directriz para resistir los esfuerzos de flexión resultantes de la diferencia de espesores desde la articulación. Finalmente se colocan también armaduras según la fibra neutra, para impedir la separación accidental de las dos mitades de la articulación durante la ejecución de los arcos.

Como las armaduras en estos arcos eran flexibles, hubo que emplear cimbras (fig. 174); una de ellas fué destruída por una crecida cuando estaba a punto de terminarse el hormigonado del

arco, con la consiguiente pérdida para el contratista y con retraso de un año en terminar el puente.

Los dos puentes de Mequinzena y Gelsa que acabamos de describir honran a sus autores y constructores y justifican el empleo de los rótulas Freyssinet, que han resultado mucho más económicas que los demás tipos de articulación.

§ III.—EJEMPLOS DE ARCOS ARTICULADOS DEL EXTRANJERO

Puente de Pinzano, sobre el Tagliamento (Italia) (1).—Terminado en 1906 (fig. 175).

Consta de tres arcos de tres articulaciones de 49 m. de luz

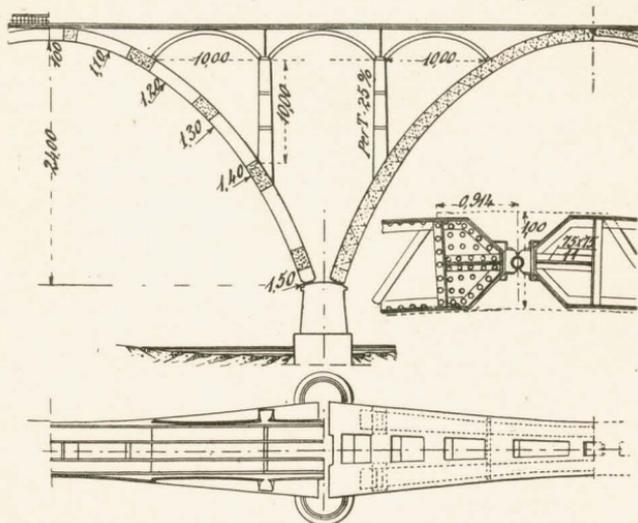


Fig. 175.—Puente de Pinzano.

y 24 m. de flecha; los arcos sostienen un viaducto de tres arcos de 10 m.

La directriz de los arcos es un carpanel de siete centros, que se aproxima a una parábola y a la funicular de las cargas completas.

(1) Detalles, en *Ponti in cemento armato*, de Santarella. Láminas 31, 32 y 33.

Los frentes de los dos arcos de cada tramo tienen una inclinación de 7,50 por 100 sobre la vertical, por lo que el ancho en la clave siendo de 5,25 m., resulta en los arranques de 9 m.

Las armaduras de los arcos son del *tipo rígido*, preconizado por el autor, y llevan en la clave y arranques tres articulaciones de acero (cuyo detalle en la clave se representa en la figura), análogas a las que para bóvedas de fábrica describimos en el tomo III, capítulo XIV.

Puente sobre el Meduna, en Sequals (Italia) (1).—Para la carretera de Spilimburgo a Maniago, utilizando los cimientos por

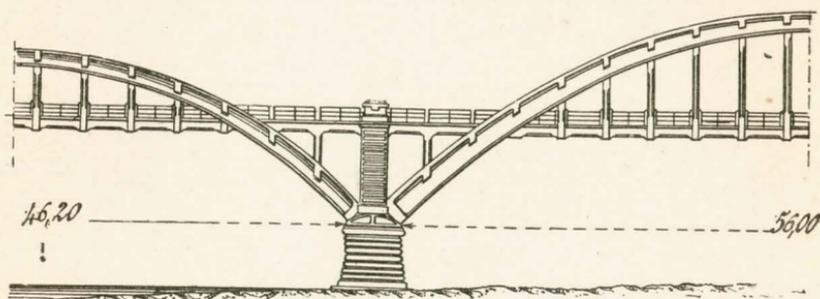


Fig. 176.—Puente sobre el Meduna, en Sequals (Italia).

aire comprimido del antiguo puente metálico, destruido por los austríacos en su retirada (fig. 176).

Los dos arcos de cada tramo, de 0,60 m. de grueso y 46 y 56 m.

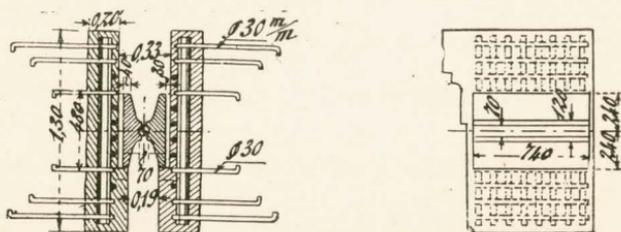


Fig. 177.

de luz, están a la distancia de 6,00 m. y llevan tres articulaciones, del tipo de giro detallado en la figura 177, que representa la articulación en la clave.

(1) Detalles, en *Ponti in cemento armato*, de Santarella. Láminas 36 y 37.

Puente viaducto sobre el Valdassa (Italia).—Construido en 1920 para el Ayuntamiento de Roana (Vicenza).

Puente carretero con tres arcos, el central de H. A., de 58,80 m. de luz y dos laterales de hormigón de 24,25 y 30,25 m. de luces, utilizando los apoyos de un puente de hierro destruido por necesidades militares en 1916 (fig. 178).

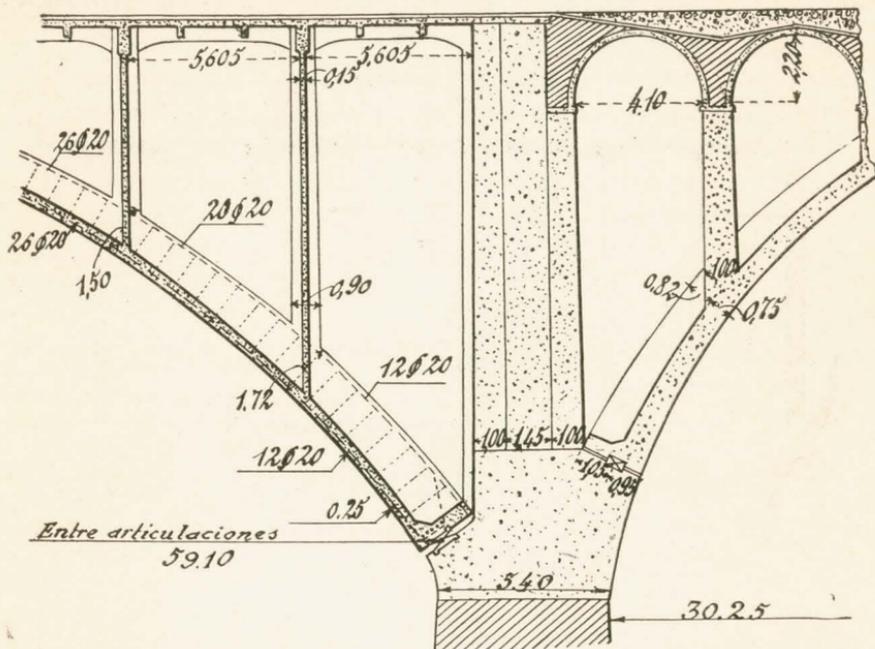


Fig. 178.—Puente sobre el Valdassa.

Ancho de la carretera entre barandillas: 6,00 m. (1).

Se calculó para una sobrecarga estática de 1.000 kgs./cm². y dinámica de un rodillo compresor de 23 toneladas.

Se adoptaron tres articulaciones para reducir los empujes y su variabilidad en las pilas estribos centrales, que convenía utilizar.

El tramo central está constituido por dos arcos de H. A., arriostrados en su intradós por un forjado de 0,25 m. de grueso.

Consisten las articulaciones en unos cojinetes de acero fundido de 0,70 y 0,60 m. de longitudes respectivas en los arranques y la clave, y colocados en los ejes y en la zona de intradós de

(1) Detalles, en *Ponti in cemento armato*, de Santarella. Láminas 34 y 35.

los dos arcos armados. Entre cada dos cojinetes pueden girar unos ejes cilíndricos de acero de 12 y 9,5 cm. de diámetros respectivos en los arranques y clave.

Puente sistema Emperger, de fundición zunchada, en Gmunden (Austria).—Aunque el ilustre ingeniero von Emperger había proyectado este puente sin articulaciones, por estimarlas superfluas (1), la Administración las impuso, pero no aparecen a la

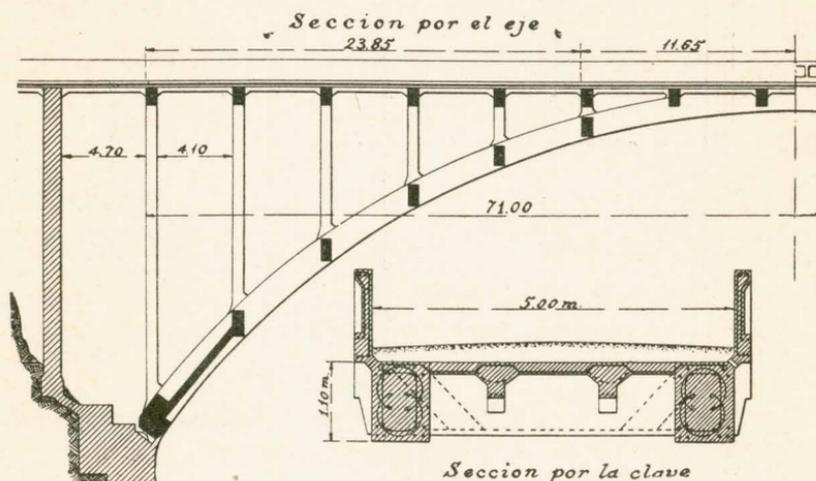


Fig. 179.—Puente de Gmunden (Austria)

vista, pues se han disimulado de tal forma (figs. 159 y 179) que se presentan los arcos como si estuvieran empotrados.

Las articulaciones son del tipo corriente de hierro fundido.

Lo más original de este puente consiste en el sistema de armaduras de fundición zunchada sistema Emperger, que ya describimos en el capítulo II.

Los angulares de fundición varían de sección según las presiones máximas que corresponden a su situación en el arco, y están arriostrados por cuadros de flejes de acero, y solidariza-

(1) En el *Génie Civil* de 25 de diciembre de 1920 (pág. 530) se explica que Herr Emperger concibe preferentemente los arcos de grandes luces como si fueran compuestos por dos fuertes consolas empotradas en sus arranques en robustos macizos de cimientos y soportando entre sus extremos superiores la parte media del arco, cuya luz queda entonces reducida.

dos con el hormigón por zunchos de aceros redondos y otros redondos longitudinales.

A pesar de la autoridad y prestigio de su inventor, y de las ventajas aparentes del sistema, que permite utilizar toda la gran resistencia del hierro fundido a la compresión, no se ha extendido este sistema de armaduras en los arcos (1).

Puente sobre el Canal Donau, en Viena (Austria).—En el concurso de proyectos para este puente, el doctor Emperger presentó una original solución de arco articulado.

El único tramo oblicuo, de 59 m. de luz, está dividido en cinco arcos contiguos, pero independientes, con sus arranques decalados para obtener la oblicuidad necesaria (figs. 180 a 182).

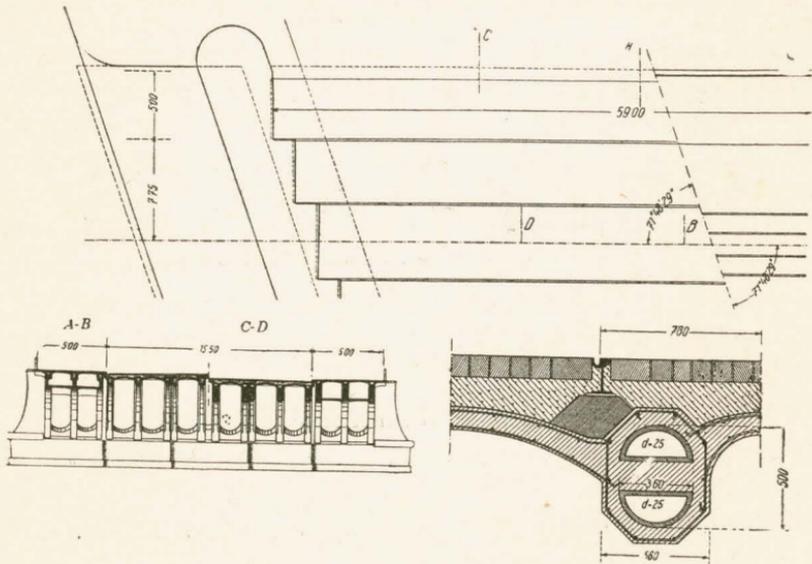


Fig. 180.—Proyecto de puente sobre el Canal Donau.

Cada uno de estos arcos lleva tres armaduras rígidas, articuladas en los arranques y la clave.

Estas armaduras son de fundición zunchada, preconizadas por nuestro ilustre colega austríaco; cada armadura principal está constituida por dos medios tubos de hierro fundido, más o menos

(1) Detalles, en *Génie Civil* de 24 de abril de 1926.

distantes, según su situación en el arco, reforzados por riostras diagonales y zunchos transversales.

A pesar de que este proyecto tenía el presupuesto más económico (13,4 millones de coronas) de los nueve proyectados en el concurso, éste se adjudicó a una solución metálica *cantilever* de 18,2 millones de pesetas (1).

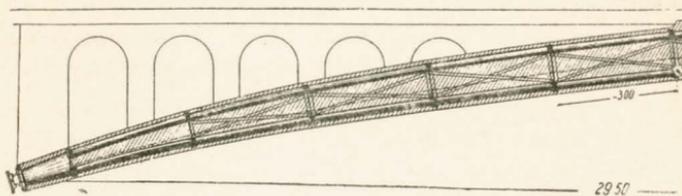


Fig. 181.

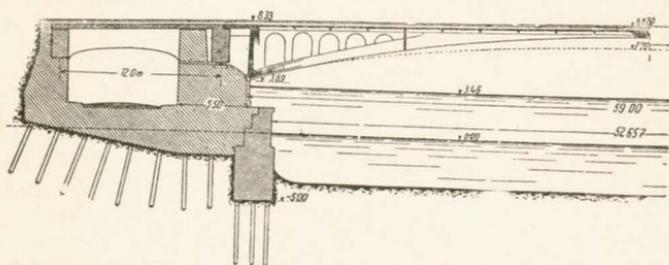


Fig. 182.

Puente sobre el Tarn, en Montaubán (Francia) (fig. 183).— Dos arcos, uno de 53 m. y otro de 56 m., con tres articulaciones Mesnager.

La calzada se utiliza para un tranvía de vapor.

Su característica consiste en que las articulaciones de arranque vuelan 5,00 m. sobre el paramento de estribos.

Se terminó en 1913 (2).

(1) Detalles de este concurso, en *Ingeniería y Construcción*. Noviembre de 1926 (pág. 509).

(2) Proyectado y construido por la casa Boussiron. Detalles, en *Génie Civil* de 20 de enero de 1916.

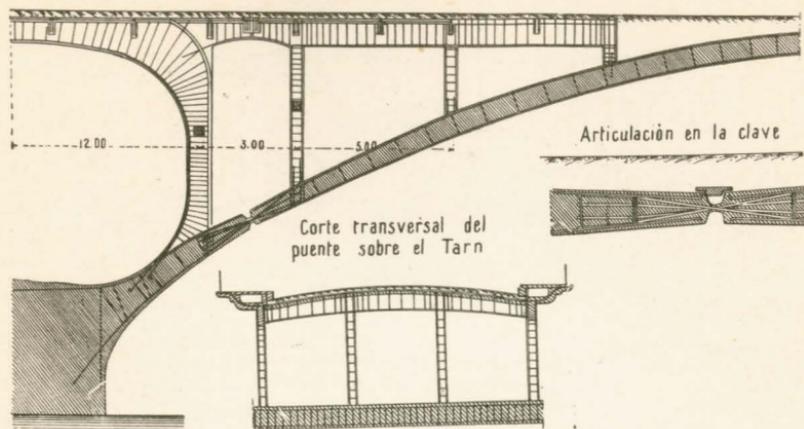


Fig. 183.—Puente sobre el Tarn, en Montaubán.

Puente Candelier (1) sobre el río Sambre (Bélgica).—Este puente, construido el año 1921 en la línea de Erquelines a Charteroi, fué proyectado y sus obras dirigidas por M. Freyssinet (2). Resulta una demostración evidente de que aun en un país como Bélgica, donde los puentes metálicos constituían una de sus especialidades, se construyen grandes puentes de hormigón armado para ferrocarriles de gran tráfico y velocidad.

El puente metálico que se trataba de substituir era de tres tramos muy oblicuos (figs. 184 y 185). Se realizó, sin embargo, con dos arcos rectos, pero independientes, para una vía cada uno de ellos, con estribos decalados, en proporción a la oblicuidad del paso (45°).

Los arcos ofrecen la particularidad de que forman cuerpo

(1) El Ingeniero francés M. Candelier, jefe del servicio de Vías y Obras de la Compañía del Norte francés, propietaria del *Nord belge*, no vaciló en recurrir al H. A. para arcos de grandes luces en una vía de gran circulación en la que era necesario substituir puentes metálicos de insuficiente desagüe y resistencia.

A ese efecto, encargó a la casa Limousin y Cía. el proyecto y la ejecución del puente sobre el río Sambre, que se ha llamado *puente Candelier* para honrar así aquella iniciativa.

(2) Detalles, en el ya citado número de los *Annales des ponts et Chaussées*. Marzo y Abril de 1923.

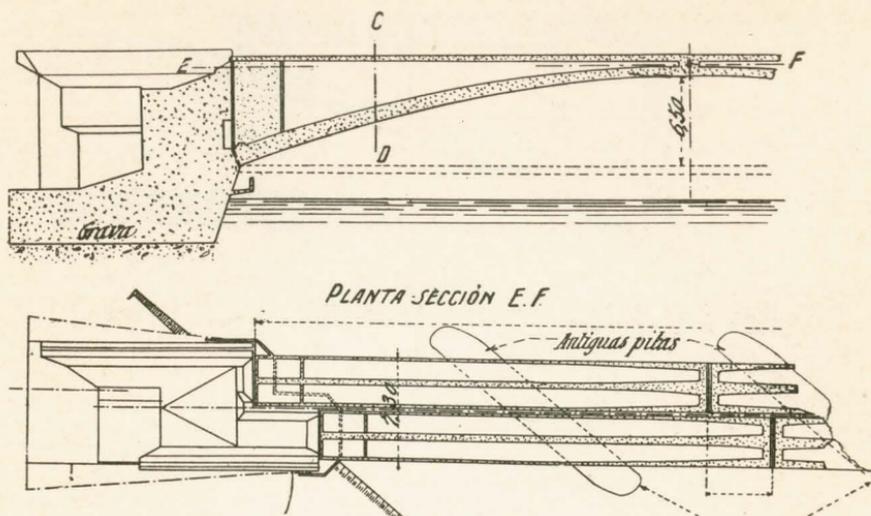


Fig. 184.—Puente Candelier (Bélgica).

con los tímpanos, que son tabiques longitudinales macizos, armados en todos sentidos, pero con barras redondas de diámetros de 10 y sobre todo de 14 mm.

En los estribos se solidariza el forjado de plataforma, el de las bóvedas y de los tabiques, por macizos de hormigón pobre (de 200 kgs.) sin armadura, que sólo actúan por gravedad.

Bajo las cargas, el conjunto trabaja como una pieza prismática única para soportar los empujes, los momentos flectores y los esfuerzos cortantes; su gran rigidez aconsejó la doble articulación, que se realizó en la forma

descrita anteriormente, tipo Freyssinet (fig. 158).

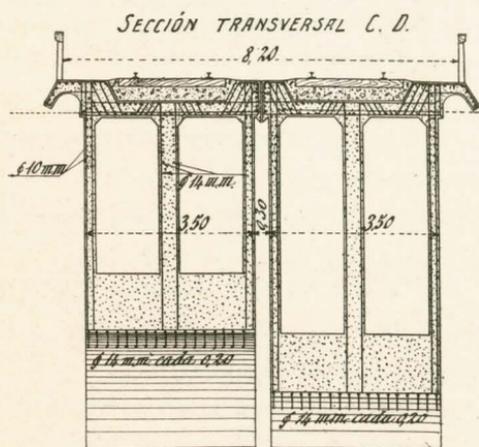


Fig. 185.—Puente Candelier.

Puente sobre el Lot, en Port d'Agrès (Departamento de

Aveyron-Francia (1).—Proyecto de la casa Boussiron, a la que se adjudicó por concurso, construyéndolo el año 1925 (figs. 186 y 187).

Llevan los dos arcos principales tres articulaciones: una de ellas en uno de los arranques del arco; las otras dos rótulas se han situado cerca de los encuentros del arco con el tablero. *Es, pues, una característica de este puente, la de que sus tres articulaciones se hayan dispuesto por debajo del tablero y ninguna en la clave de los arcos.* Las articulaciones son del tipo de rodadura, de acero moldeado.

Aunque se ha comportado muy bien este puente en las pruebas, con una flecha máxima de 1,6 mm., consideramos la disposición algo atrevida.

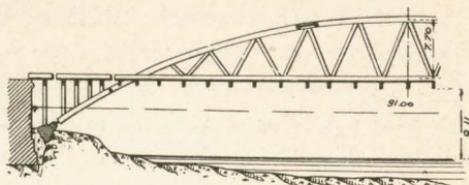


Fig. 186.—Puente sobre el Lot, en Port d'Agrès.

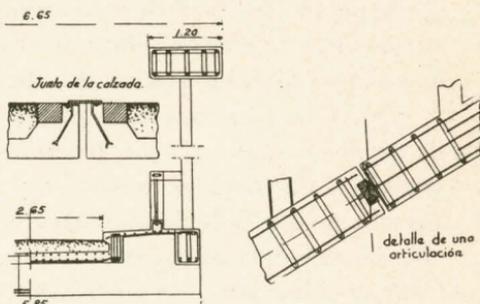


Fig. 187.—Port d'Agrès.

Puente de Echelsbach, en los Alpes bávaros (Baviera) (figura 188).—Con armaduras rígidas para dos arcos gemelos, todo

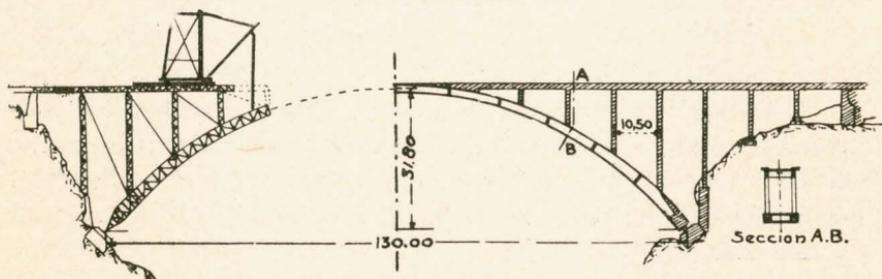


Fig. 188.—Viaducto en los Alpes bávaros.

ello de nuestro tipo, se acaba de construir un arco de 130 m. de luz, que por su luz, su doble articulación y el procedimiento de

(1) Detalles, en *Le Génie Civil* de 18 de febrero de 1928.

montaje empleado, es casi una reproducción de nuestro proyecto de puente viaducto de Pino (tomo III, pág. 78). Únicamente difiere en que se han envuelto en hormigón los entramados metálicos de arcos, palizadas y tableros.

Los dos arcos gemelos de hormigón que envuelven las armaduras *son huecos*, con aligeramiento octogonal, casi rectangular, y su altura oscila entre 2 m. en clave y 3,20 m. junto a las rótulas, que son de acero, habiéndose vertido el hormigón en moldes suspendidos de las armaduras del arco.

Para facilitar el moldeo del hormigón envolvente en las palizadas y tableros, se emplearon también armaduras rígidas para estas partes de la obra, que primeramente se habían proyectado con hierros redondos; ello permitió hacer el montaje de todas las armaduras sin cimbras ni puente colgado auxiliar.

Conviene observar que esta obra fué objeto de un concurso de proyectos, en el que las más importantes Sociedades constructoras de puentes metálicos y de hormigón armado presentaron cincuenta soluciones, con presupuestos comprendidos entre 500.000 y 1.200.000 de marcos (1).

Se emplearon aceros especiales con límite elástico de 48 kgs./mm²., que podían trabajar a 18 kgs./mm². Suponemos que también se emplearon supercementos.

§ IV.—CONCLUSIONES

El examen de los ejemplos anteriores evidencia:

1.º Que la mayor parte de esos puentes podían haberse construido con arcos empotrados, sin aumento en gasto; en muchos de ellos hasta podían haberse obtenido economías subdividiendo en varios tramos las grandes luces adoptadas.

(1) Complace al autor que en tan reciente e importante concurso y obra se hayan adoptado las disposiciones y procedimientos por él preconizados para armaduras rígidas, articulaciones, arcos gemelos y montaje y moldeo sin cimbra.

Pueden leerse detalles de la construcción de este muy interesante puente en la *Revista de Obras Públicas*, año 1929, pág. 423; en *Génie Civil* de 7 de febrero de 1931 y, sobre todo, en el libro *Die echelsbacher brücke*, publicado en 1931 por la casa Verlag von Wilhelm Ernest, de Berlín.

2.º Que los más reputados ingenieros evolucionan de opinión respecto a la conveniencia de las articulaciones; Freyssinet, que empezó articulando sus puentes de la Veudre, Vichy y Candelier, renuncia a las ventajas de la articulación en sus grandes arcos de Saint-Pierre de Vauvray y Plougastel, por estimar que el empotramiento de los arcos al aumentar su rigidez con relación a las sobrecargas, disminuye su peso y su empuje sobre los apoyos.

3.º Idéntica perplejidad se observa respecto al número de articulaciones; eminencias científicas, como Mesnager y Vierendeel, en el Extranjero, se inclinan el uno a la triple articulación; el otro a la rótula única, mientras Freyssinet, que empezó por la triple articulación, sólo adopta dos rótulas en su puente Candelier. Iguales diferencias ocurren en España, donde nuestros distinguidos compañeros Moreno y Camón, prefieren, respectivamente, la doble y la triple articulación.

4.º Por último, tampoco existe conformidad en lo que a los tipos de articulaciones se refiere, pues a pesar de la economía que para los arcos de H. A. parece ofrecer el tipo Mesnager y aun más la articulación Freyssinet, continúan en Alemania, Italia y Suiza, empleando rótulas de hierro y acero fundido, pretendiendo sus constructores que los tipos empleados se comportan perfectamente.

Tal disparidad de criterios y experiencias justifica las reservas que el autor significó ya en su tomo III, en las conclusiones de su capítulo XIV al ocuparse de las *bóvedas de fábrica articuladas*, que le han impulsado a proyectar de preferencia arcos empotrados (1).

Reconocemos, sin embargo, que para luces *obligadas* entre 40 y 80 m. y con cimientos de dudosa inmovilidad, en los que un asiento de los apoyos pudiera provocar la ruina de un arco empotrado, pueden convenir las articulaciones, prefiriendo el autor entonces la triple rótula de tipo Freyssinet, que aleja todo peligro de oxidación, mientras las de *uralita* no demuestren sus ventajas sobre aquéllas.

Pero aun en estos casos, no debe omitirse el examen com-

(1) Y en su artículo de la *Revista de Obras Públicas* de 15 de julio de 1924 sobre el mismo tema.

parativo de los arcos articulados, con otras soluciones de tramos independientes rectos, o de arcos sin empuje, que al transmitir sólo presiones verticales al terreno, anulan la principal ventaja de las articulaciones, según veremos en el siguiente capítulo.