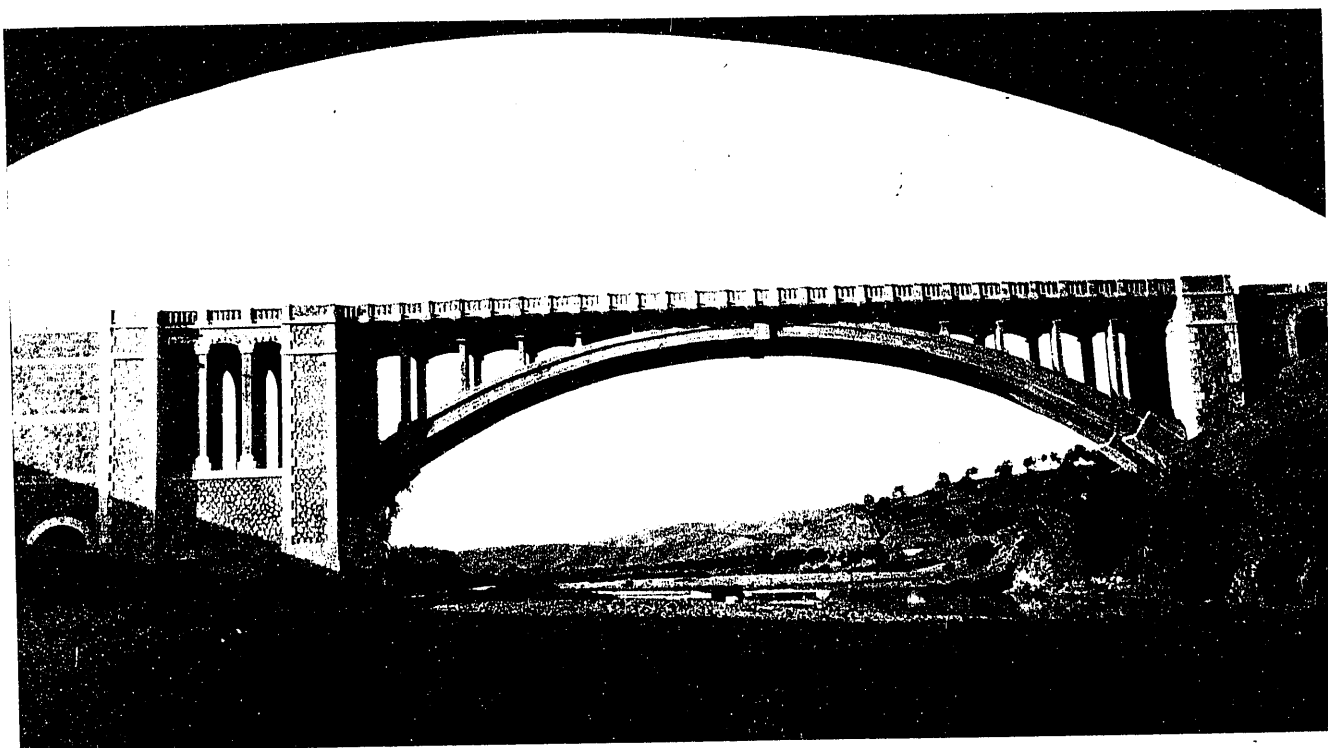




Fot. 1.ª — Vista general.

El puente sobre el río Guadalhorce, en Pizarra, Málaga

En el pasado mes de octubre ha sido recibido definitivamente el puente que vamos a describir, y que presenta, entre otras particularidades, el interés de que empleamos el método de Freyssinet para el descimbramiento y corrección mediante la actuación de gatos hidráulicos en el arco.

Adjudicada en agosto de 1926 a una Sociedad metalúrgica la construcción de un tramo metálico sobre el río Guadalhorce, en el trozo tercero de la sección tercera de la carretera de la de Cádiz a Málaga a la de Málaga a Alora, y rescindida la contrata en marzo de 1929, fué redactado por el que fué nuestro compañero Francisco Martín Gil, el nuevo proyecto de puente. Comenzada la construcción bajo su dirección, fué seguida, a la muerte de este malogrado ingeniero, por el Sr. Alvarez Valdés, y terminada por el que suscribe. Por lo que se refiere a las operaciones de descimbramiento y corrección, parte la más interesante de la construcción, también fueron realizadas bajo mi dirección, por encargo expreso de la Superioridad.

Dividiremos este trabajo en tres partes. La primera, destinada a la descripción general de la obra. La segunda, al cálculo definitivo del descimbramiento y corrección, y la tercera, a la construcción, y en particular, a la aplicación del método citado.

I. — DESCRIPCIÓN GENERAL.

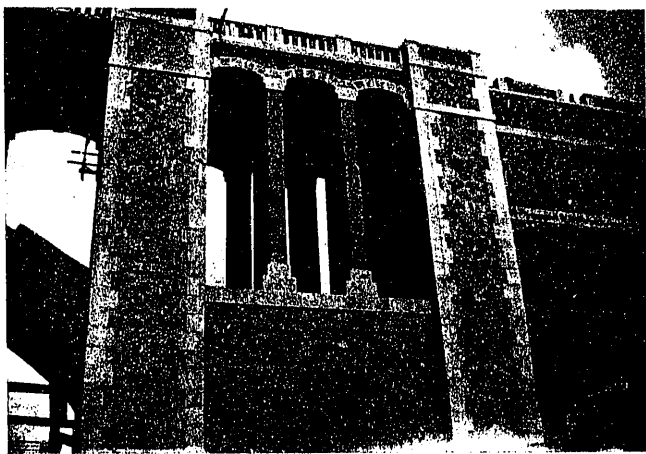
Está situado el puente en el pintoresco pueblo de Pizarra, a 30 km. de Málaga y sesenta metros, aguas abajo, del puente del ferrocarril de Córdoba a Málaga, desde el cual fácilmente puede verse en toda su magnitud. (Fotografías números 1 y 2.)

La obra construida tiene dos partes esencialmente distintas: una, para completar la zona perteneciente a los trabajos anteriores de la contrata rescindida, y otra, el tramo en arco central.

Consistió la primera en completar las pilastras que terminaban los muros de acompañamiento y prolongar en diez metros el estribo de la margen izquierda, constituyendo una pilastra de 3,00 m. análoga a la construída anteriormente, para formar entre ambas un estribo aligerado desde el nivel del trasdós del arco principal, mediante tabiques de 0,50 m. de espesor, separados 2,00 m. entre paramentos contiguos. Estos tabiques sostienen una losa armada de 0,20 m. de



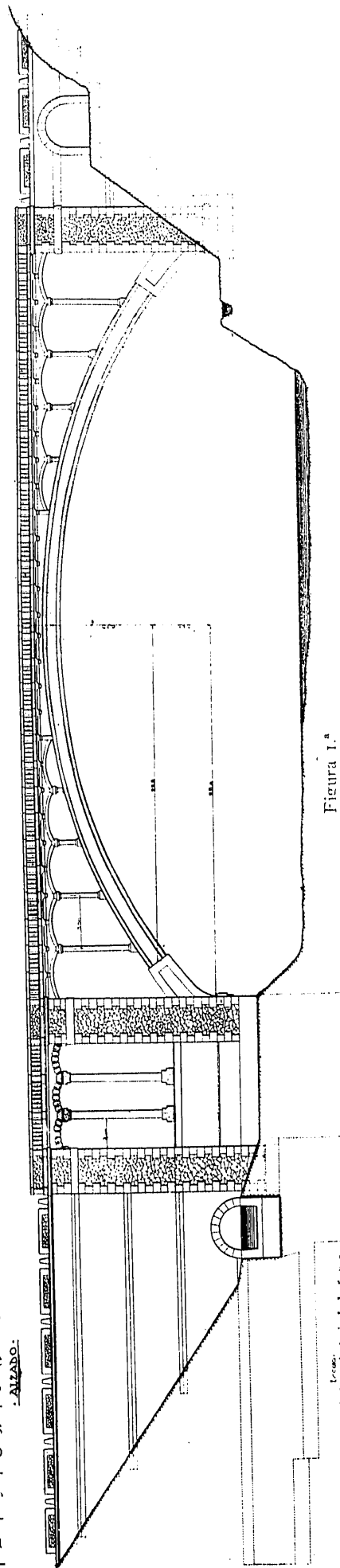
Fot. 2.ª — Otra vista del puente.

Fot. 3.^a — Detalle del estribo.Fot. 4.^a — Construcción del estribo.Fot. 5.^a — Detalle de los tabiques del estribo.

grueso, cuyos frentes quedan cubiertos por arcos escarzanos de sillaría que ornamentan la pilastra. Los tabiques, de hormigón de 300 kg., van armados con barras verticales en número de siete barras de 8 mm. en cada plano y horizontales de igual diámetro, cada 0.50 m. Transversalmente tienen estos tabiques 2.00 metros, enlazándose con el correlativo del otro paramento en la parte superior mediante arcos de medio punto. El hormigón de las pilasstras es de 150 kg. con paramentos de mampostería careada y zócalos e impostas de sillaría. (Fotografías números 3, 4 y 5.)

El terreno de cimentación lo constituye un conglomerado coceno, encontrándose este terreno firme, a la vista, en la ladera de la margen derecha, y a tres m. bajo el estiaje en la zona correspondiente a la pilastra de la otra margen, cubiertos por acarros y arcillas del terciario, en las cuales están cimentados los muros de acompañamiento que ya estaban construídos. La cimentación en esta zona se ha efectuado mediante agotamientos en recintos entibados; en la margen derecha ya estaba ejecutada la cimentación, habiéndolo sido por apertura directa de la zanja.

Las zonas construídas durante la contrata rescindida, antes de la redacción del nuevo proyecto, que antes mencionamos, consistían en los muros de acceso en ambas márgenes, presentando el de la margen izquierda una obra de desagüe para una acequia, y en el de la derecha un paso infe-



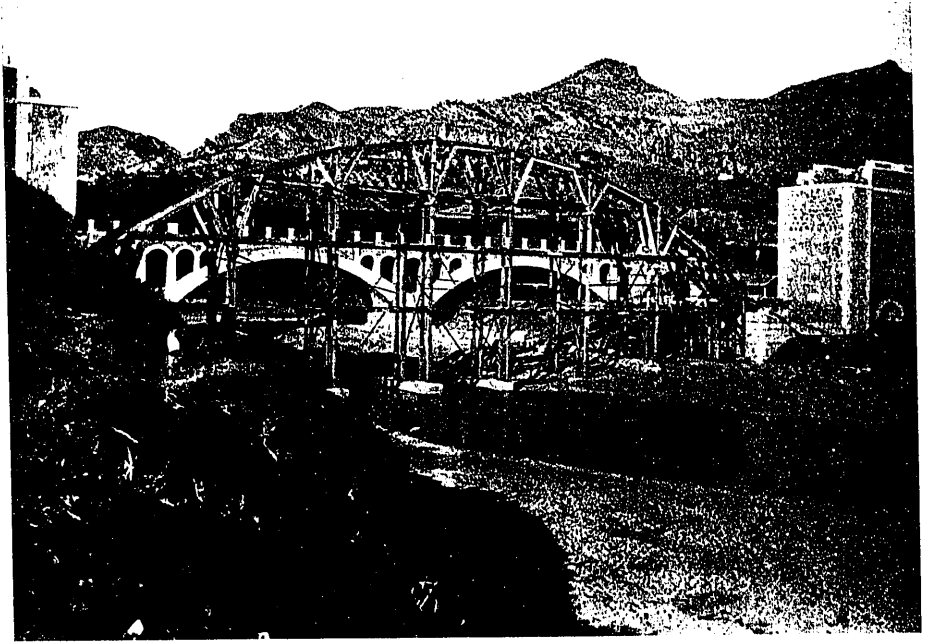
rior. Estos muros son de mampostería, interrumpida por hileras de sillería.

Pasando ya a la descripción de la otra parte de la obra (figura número 1), que es la esencial, el vano principal, de 50 m., se salva mediante dos salmeres que vuelan 2,50 m. por cada lado y el arco propiamente dicho, de 45 m. de luz y 6,75 m. de flecha. El arranque del arco está a la misma altura en los estribos. Constituyen el arco dos bóvedas gemelas de hormigón en masa, de 1,50 m. de ancho constante cada una.

Los salmeres, para cada extremo de una bóveda gemela, tienen 1,70 m. de ancho y van armados longitudinalmente con diez barras de 14 mm. contorneando el salmer y empotrándose en el cuerpo de la pilastra, y transversalmente con diez cercos de 10 mm.

El arranque del salmer en la pilastra se efectúa mediante una losa que, como el mismo salmer, es de hormigón de 300 kg.

Las bóvedas gemelas que constituyen el arco central tienen un espesor en la clave de 1,25 m., aumentando hacia arranques según la ley de proyección constante sobre la vertical de clave, alcanzando 1,51 metros en arranques. La separación entre paramentos interiores de bóvedas es de 2,00 m. y la fibra media



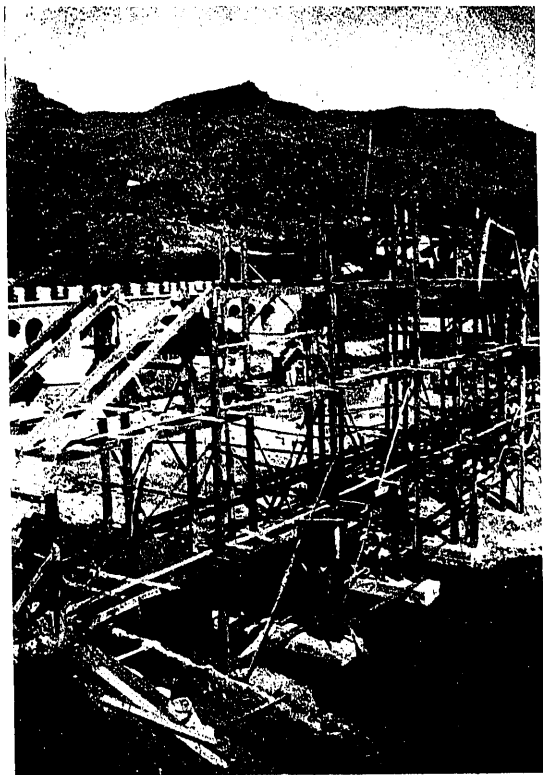
Fot. 7.ª — Vista general de la cimbra.

es la parábola de cuarto grado que resulta de adoptar en la ecuación general

$$Y = \frac{8f}{p+5} [(p+c)X - 3pX^2 + 4(p-1)X^3 - 2(p-1)X^4]$$

el parámetro $p = 2$, o sea

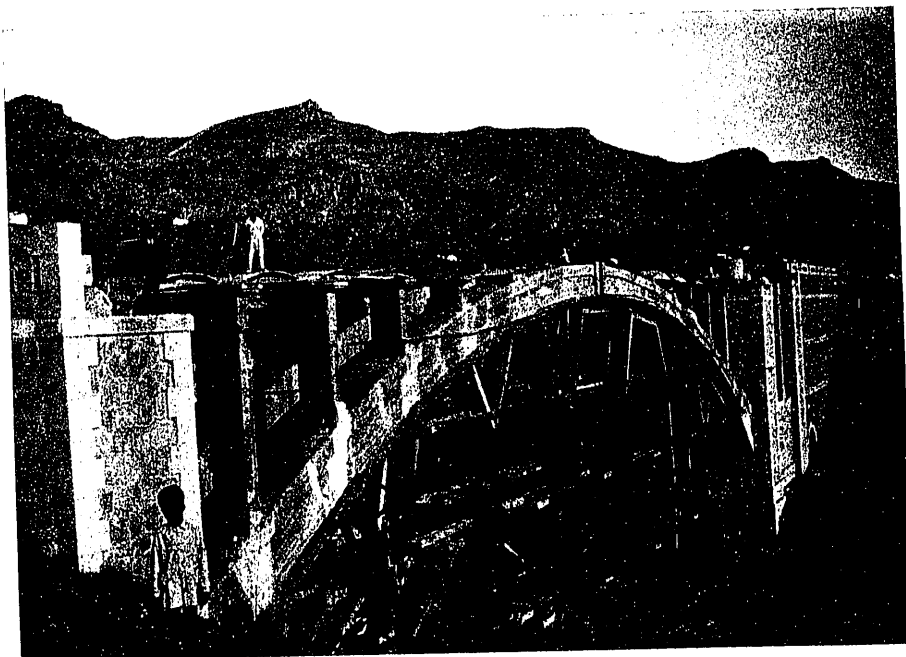
$$Y = \frac{16f}{7} (2X - 3X^2 + 2X^3 - X^4)$$



Fot. 6.ª — Construcción de la cimbra.



Fot. 8.ª — Montantes y arriostramientos de la cimbra.



Fot. 9.ª — Construcción de arcos y montantes.

con lo cual se consigue obtener una fibra media que presenta variaciones máximas menores de 5 cm. de la funicular de cargas. (Fotografías números 6, 7 y 8.)

El hormigón del arco corresponde a 300 kg. de cemento.

En las bóvedas gemelas insisten los tabiques sustentadores del tablero, separados longitudinalmente 3,50 m. entre ejes. Dichos tabiques, de espesores variables, según su altura: 0,30 m., los dos más inmediatos a la clave, 0,35 m. el siguiente y 0,40 m. el más alto, que tiene 4,57 m. de altura. La longitud es, en todos ellos, de 1,00 m., ensanchándose en el apoyo en el arco y en el encuentro con el tablero. Van armados con 12 barras de 10 mm. en cada frente y cercos de 5 mm. cada 0,20 m. En los dos tabiques más altos, las armaduras longitudinales presentan una inflexión a 1/3 de la altura, a contar desde la base. (Fotografías números 9 y 10.)

El tablero está constituido por dos largueros de 1,43 m. de ancho y altura variable para constituir la silueta en arcos escarzanos de 3 m. de cuerda y 0,40

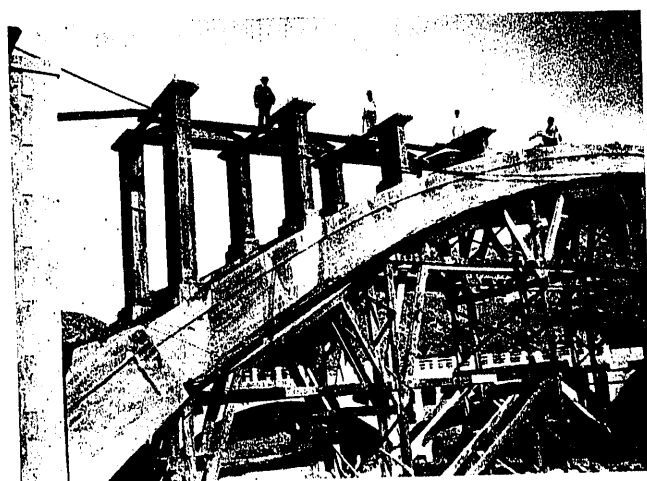
metros de flecha. Van armados con doce barras de 16 mm. y su altura mínima es de 0,50 metros, incluso forjado. (Fotografía número 11.) Éste, en la parte entre tabiques, tiene 0,18 m. de espesor y 2 m. de luz libre, armado con diez barras de 12 mm. por metro. (Figura número 2.)

El presupuesto de la obra asciende a 156 409,92 pesetas el de ejecución material, y a 184 011,67 pesetas el de contrata, resultando una obra sumamente económica merced al empleo de una bóveda de hormigón en masa con dimensiones análogas a una armada, a causa del método de descimbramiento y corrección aplicado.

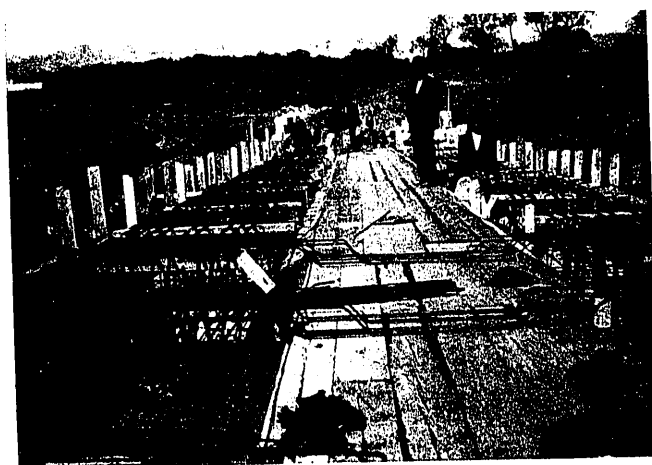
Descrita la obra en su conjunto, vamos a detallar lo referente al arco y la aplicación al mismo del método de Freys-

sinet, que es lo más interesante de esta obra, como dijimos al principio.

Las variaciones longitudinales adquieren gran importancia en las bóvedas de hormigón; la época de construcción de la bóveda suele ser en verano, es decir, a mayor temperatura que la media; de aquí un esfuerzo que debe ser tenido en cuenta, pero sobre todo el considerable de la retracción por el fraguado con grandes esfuerzos que no existían en las antiguas bóvedas con mortero poco o nada hidráulico y existe, pero aminorado, en los arcos de sillería, sillarejo o mampostería, por el pequeño volumen de mortero, por la lentitud de la construcción y aun con ello, sistemáticamente se adopta ya en estas fábricas un sistema de clavados múltiples o juntas retacadas, que produciendo sensibles presiones suplementarias, corrigen en parte aquel efecto. Pero en las bóvedas de hormigón esto no basta, pues siendo las presiones creadas por el recatado de las juntas de 10 a 15 kg./cm.², y la retracción de 0,0004 para dosificaciones de 300 a 350 kg. de cemento, se comprende que no es posible



Fot. 10. — Detalle del arco con los montantes.



Fot. 11. — Construcción del tablero: armaduras del forjado y los largueros.

anular el efecto de retracción ni en parte importante, y esto obliga a pensar en otros medios. Articular las bóvedas es un procedimiento radical, bien empleando articulaciones permanentes o provisionales.

Las primeras, frecuentemente empleadas en Alemania, tienen las ventajas e inconvenientes bien conocidos que Sejourné cita en su obra clásica de *Grandes bóvedas*.

Más racional es el articular las bóvedas temporalmente para cargas escogidas de antemano, descentrando las articulaciones en clave y arranques la cantidad precisa para que la retracción subsiguiente o cargas restantes centren la línea de presiones de modo perfecto para condiciones medias de temperatura y sobrecargas; cerradas las articulaciones en época oportuna, se tiene así una bóveda empotrada, en la que la línea de presiones se desvía de la fibra media solamente por efecto de las cargas móviles y de la temperatura, la cual no cuenta más que por su oscilación respecto a la media anual. Así, descentrando las articulaciones, se han construido, entre otros, los puentes de Warrington y Pandý (Inglaterra), Amet y Trilbardou (Francia), etc.

Aminorados los inconvenientes del otro género de articulaciones, son, desde luego, una complicación en la construcción, por exigir una cuidadosa colocación y no ser posible rectificación alguna después de colocadas.

Resuelve el problema el método de Freyssinet, creando una reacción suplementaria que compense todos aquellos efectos parásitos, mediante la formación de una junta real en la clave durante la construcción, en cuya junta actúan los gatos hidráulicos que abren el arco, despegándole de la cimbra e introduciendo en la junta una placa de material y espesor adecuados y volviendo a cerrar la bóveda sobre la placa.

No vamos a describir aquí con detalle este procedimiento de Freyssinet, sobradamente conocido, remitiéndonos, por otra parte y de modo especial, a los artículos que el propio autor del sistema ha publicado en *Le Génie Civil*, con motivo de la construcción del puente de Villeneuve-Sur-Loire (Loire y Garona), titulados "Progresos en la construcción de las grandes bóvedas" (Loc. cit. vol. LXXIX, números 5, 6, 7, segundo semestre; 30 de julio de 1921, 6 de agosto de 1921 y 13 de agosto de 1921), pero sí daremos algunas explicaciones complementarias para su aplicación al caso de este puente.

Las ventajas del sistema Freyssinet son importantes; la línea de presiones pasa en la clave por un punto previamente elegido, determinado por el centro de gravedad de las fuerzas que actúan sobre los aparatos, y en los arranques se modifica arbitrariamente también la línea de presiones, según la mayor o menor intensidad con que los gatos trabajen; para colocarlos podemos disponer libremente de su punto de aplicación y de la intensidad aplicable y, por lo tanto, podemos fijarla en clave y arranque, donde más convenga. Estos puntos serán los que hagan que las cargas parásitas posteriores los desvíen hasta que queden perfectamente centrados. Así que, calculados los efectos de estas cargas, se sabrán los puntos por donde debe pasar la línea de presiones.

Tal estudio, aplicado al proyecto presente, lo indicamos en la segunda parte de este trabajo.

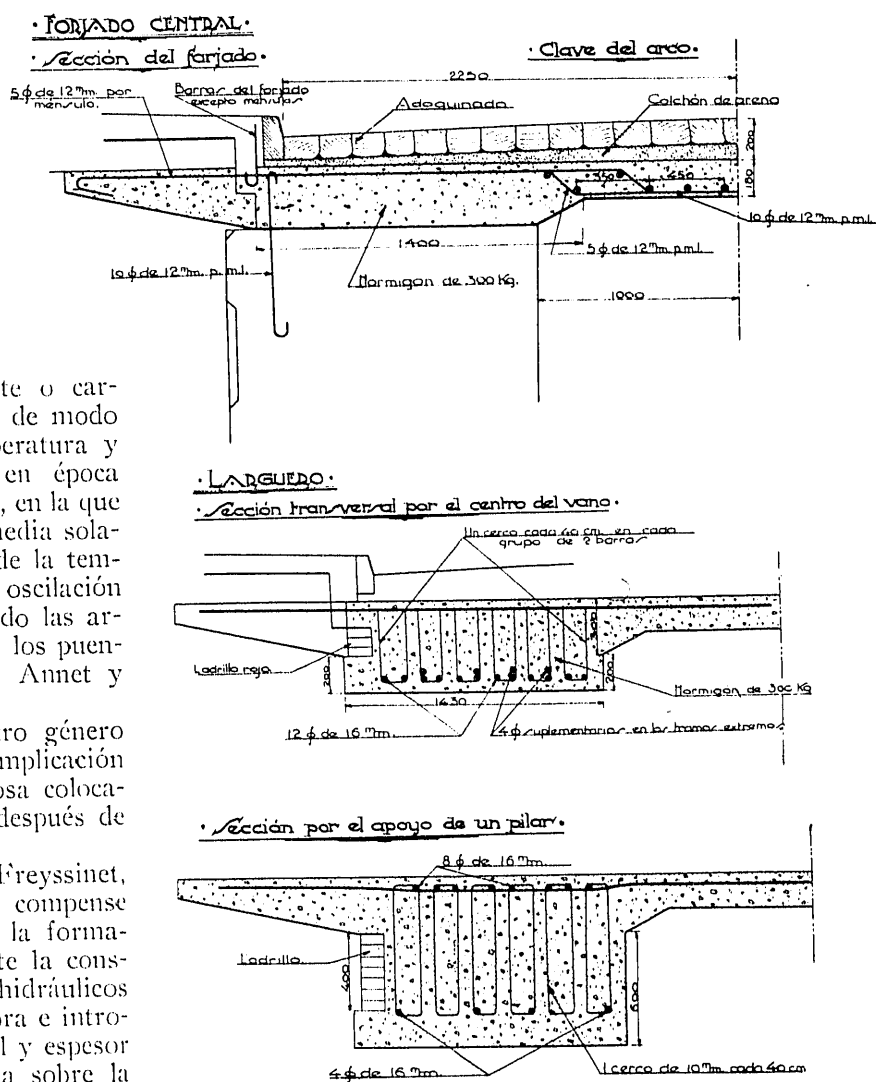


Figura 2.ª

La otra ventaja inmensa es que se descimbra suavemente, sin trepidaciones ni choques de la cimbra, de modo igual, con la lentitud o rapidez deseada, manejando solamente con uno o dos operadores las bombas de mano en virtud de las órdenes que procedan, según las indicaciones de los aparatos instalados para vigilar la operación, admitiendo las correcciones que convengan y pudiendo volver al estado primitivo, en definitiva, dando una libertad de actuación y una sencillez incomparablemente mayor que en todos los demás procedimientos.

Presenta además las ventajas de la posibilidad de corregir o iniciar, según se desee, un pandeo, rehaciendo o rectificando la operación cuando convenga; ventajas considerables ambas en los arcos estrechos de hormigón, aceptables porque se ahorra fábrica y peso sobre la cimbra, logrando mayor rapidez en la construcción del elemento más delicado, que es el arco. Pero esto lleva consigo, si se extrema la reducción de ancho, que el arco peligre por pandeo, bien por causa del viento o por defectos inevitables de construcción; el viento no produce efecto apreciable, pero un asiento en la cimbra, falta de homogeneidad en la construcción por alguna circunstancia imprevista, hará que antes de ponerse en carga, o durante ésta, la fibra media del arco no esté rigurosamente en

el plano vertical que pasa por los centros de los salmieres, produciéndose con ello el peligro citado. Este procedimiento, al poder aplicar mayor presión a los gatos de un lado que a los opuestos, puede originar una fuerza que se oponga al pandeo y hacer que el arco cierre sobre una placa de espesores desiguales en la razón que convenga. Así se aplicó en el arco de 96 m. de luz del puente de Villeneuve, antes citado.

Reconocida la importancia de la retracción del fraguado, aunque se hagan ensayos previos, nunca se obtiene el verdadero valor que alcanza en el arco, entre otras razones, porque las condiciones del ensayo en lo que a condiciones térmicas, higroscópicas, tamaño, construcción, etc., nunca pueden ser idénticas a las propias del arco, por lo cual, al efectuar la corrección con un valor inexacto, pueden producirse grietas al cabo de uno o más años, que advierten lo incierto de la corrección; puede ser también, en vez de la retracción del fraguado, o coexistiendo con ella, un asiento en los estribos el que origine el defecto de estabilidad, lo cual se corregirá abriendo nuevamente la clave del arco y cerrándolo sobre una placa de espesor adecuado, según se ha efectuado en el puente del Veudre con un arco de hormigón armado de 72 m. de luz, rebajado a 1/14, a lo que obligó una retracción del fraguado mayor de la prevista.

Con este procedimiento se ha construido también otro puente igual al de Vendre, al de Villeneuve, con arco de 96 m. de luz, el de Saint Pierre de Vauvray, de 130 m. de luz, en la época de la iniciación del método, y recientemente en el arco de 161 m. sobre el Sena en La Roche Guyon, el de Castelmoron, de 143 metros, etc.

Merced al centrado, prácticamente perfecto, de la línea de presiones, las correcciones fáciles y posibles y la suavidad de descimbramiento y de poner en carga, asegura Freyssinet la posibilidad de construir bóvedas de hormigón en masa de 350 m. de luz, y de hormigón armado de más de 700. Ejemplo patente y en gran escala de aplicación de este método ha de ser para nosotros su empleo al arco de 205 m. de luz del viaducto sobre el Esla.

Indicadas las ventajas del método, expondremos en la segunda parte la obtención de los valores numéricos que para su aplicación realizamos en este caso concreto, en virtud de los datos proporcionados por la experiencia, ya que en cada caso deben obtenerse directamente los datos precisos de retracción y elasticidad con los materiales peculiares de cada obra, durante la construcción de ésta, y con ellos efectuar el cálculo.

César VILLALBA GRANDA.
Ingeniero de Caminos.

El empleo de articulaciones y rodillos de fibrocemento

He dado a conocer y cantado las excelencias del fibrocemento en cuanto a determinadas aplicaciones que han tenido rotunda confirmación práctica, en las que por las singulares propiedades de ese material, sumamente apto para la obtención de láminas de fácil curvatura, ofrecía, al proyectista, un elemento auxiliar ideal para obtener cubiertas ligeras, seguras e impermeables, y, sobre todo, económicas, muy indicadas para realizar grandes superficies voladas. De todos conocidos son nuestras aplicaciones de este sistema en los grandes vuelos de la tribuna del Estadio de Oviedo y del Mercado de Pola de Siero.

Pero percatado de las particularidades excepcionales de dicho material, de elevadísima resistencia a la compresión y tracción, que alcanza cifras de 1 200 kilogramos por centímetro cuadrado y 170 kilogramos por centímetro cuadrado, respectivamente, conforme ensayos realizados en el Laboratorio de la Escuela de Caminos, y a las que se unía otra condición sumamente interesante, de no ser un material quebradizo, sino que presentaba unas señaladísimas aptitudes elásticas, acaricé inmediatamente la idea de aprovechar toda esa serie de propiedades favorables para realizar las articulaciones de un puente de 80 m. de luz con articulación única en la clave, cuyo proyecto, en el año de 1929, y para salvar el río Nalón, me fué encargado.

Mi querido maestro D. Eugenio Ribera, con esa benevolencia con que trata siempre mis modestos trabajos, me honró, publicando en la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS (número 1, enero de 1931) y en su libro de Puentes, unos juicios críticos acerca de estas obras y proyectos, que nunca agradeceré bastante. En ellos

me vaticinaba unos felices resultados por el empleo de mis articulaciones de fibrocemento.

En la página 157 del IV tomo de su libro de Puentes, describe este sistema de articulación, en sus dos soluciones, consistentes ambas en aprovechar las ventajas indiscutibles que presenta la fabricación del fibrocemento en tubos para presiones internas de agua (patente Uralita en España).

Como se comprueba por las figuras 1.ª y 2.ª, el fibrocemento trabaja "del modo más favorable por presiones radiales, es decir, comprimiendo las capas elementales concéntricas que integran el tubo del mismo modo que cuando su fabricación". Y a esto añadía, tan querido maestro, refiriéndose a estas articulaciones lo siguiente:

- a) Que su material, a base de cemento y amianto, es de la misma calidad que el resto del puente.
- b) Suprime la oxidación de las rótulas metálicas admitiendo como éstas un perfecto pero más inalterable pulimento.
- c) Una notable y comprobada flexibilidad muy superior a la del hormigón.
- d) Ser más económicas y más fácilmente colocables que las de los demás tipos.

No tuve suerte por aquel entonces. Mis deseos de aplicar este sistema de articulación en aquel puente de 80 m. de luz, con tanto entusiasmo concebido, quedaron frustrados, por falta de recursos, ¡razón suprema por la que tantísimos proyectos duermen el eterno sueño de los justos!

Han pasado seis años, y en este largo período, no tuve ocasión propicia de convertir en realidad esas