

riable en los diferentes países es la arena empleada en los morteros, que varía, no solamente en el tamaño de los granos, sino en las proporciones de los diferentes tamaños y forma de los granos.

En nuestro país empleamos arena de Leucate, cribada al tamaño de 1,5 mm a 1 mm, que hemos mantenido mucho tiempo como prescriptiva, para no romper la uniformidad de ensayos con otros países. El pasado año las fábricas de cemento españolas solicitaron del Laboratorio de la Escuela de Caminos que les suministrase arena de Leucate cribada en forma reglamentaria, para dar un paso más hacia la uniformidad; pero la gran cantidad que se necesita para los laboratorios de las fábricas no ha podido suministrarla la organización comercial establecida en la playa de Leucate, lo que ha producido la contrariedad consiguiente y ha dado lugar a que se piense en reanudar los estudios para elegir una arena normal que exista en España. Por otra parte, son ya pocos los países que emplean la arena de Leucate, y uno de los más importantes, Italia, acaba de adoptar como arena normal la del río Po. Por todas estas razones, la Comisión se ocupa actualmente del asunto, en el que pueden seguirse las orientaciones siguientes:

a) Conservar como tamaño de los granos el comprendido entre 1 mm y 1,5 mm.

b) Seguir la orientación del grupo de naciones: Alemania, Austria, Checoslovaquia, Dinamarca, Estonia, Noruega y Suecia, que prescriben el tamaño de 0,775 mm a 1,35 mm.

c) Seguir la orientación del grupo de países: Australia, Bélgica, Canadá, Estados Unidos, Inglaterra, Japón y Suiza, que prescriben que la arena pase por el tamiz de 62 mallas por  $\text{cm}^2$  y sea retenido en el de 140 mallas por  $\text{cm}^2$ .

Cualquiera que sea la orientación que se adopte, hay que efectuar un estudio completo, por la influencia que tienen, no sólo el tamaño de los granos, sino la forma de éstos, la composición granulométrica y la composición mineralógica. Particularmente si los granos absorben agua, la relación de ésta al cemento puede cambiar considerablemente.

La dificultad principal ha de ser la determinación exacta de la forma de hacerse los ensayos en obra, pues careciéndose en la mayoría de éstas de los martinetes Böhm, la compresión de las probetas se hace a mano, y aunque se emplee exactamente el mismo mortero plástico en todas (cosa muy dudosa), la diferente compresión dará lugar a variaciones de importancia en la relación cemento-agua, que es la que caracteriza la resistencia. Ante las importantes discrepancias que pueden resultar entre los ensayos practicados en los laboratorios y los que se llevan a cabo en las obras, algunos países de los más adelantados se han decidido a ponerlos de acuerdo por el método más sencillo, aunque no sea el más exacto, prescribiendo que se preparen las probetas a mano en los laboratorios.

Esto se ha hecho en Inglaterra, Estados Unidos y Francia; pero no se admite de ninguna manera en Alemania ni en los demás países de Europa, por la consideración de que la preparación de las probetas a mano depende de las personas que la efectúen, y aun la misma persona procede muy diversamente según las circunstancias. El argumento es de gran fuerza; pero como el procedimiento de hacer las probetas mecánicamente en los laboratorios conduce obligadamente a dar poco valor a los ensayos en obra, se cae en otro inconveniente de tanta o mayor importancia. Afortunadamente, se ha reconstituido la Asociación Internacional para Ensayo de Materiales de Construcción, que desapareció con motivo de la guerra europea, y probablemente se discutirá el tema y es de suponer que se llegará a un acuerdo.

En el cuadro de resistencias puede observarse que el pliego de condiciones vigente en España exige muy poco en lo referente a ensayos de compresión de morteros, particularmente a los veintiocho días. La perfección con que actualmente se fabrica en España el cemento portland ha permitido a la Comisión llegar en la propuesta que se elevará a la Superioridad, a límites que rebasarán notablemente los actuales y los establecidos en la mayoría de los países extranjeros.

Manuel AGUILAR  
Ingeniero de Caminos

## El puente de La Caille

Ha sido terminado este puente, el de mayor luz entre los actualmente existentes de hormigón, que, a pocos kilómetros de la frontera suiza, en las proximidades de Ginebra, cruza el barranco de los Ussos, a 147 m de altura, y por sus dimensiones extraordinarias, así como por algunas de sus características especiales, creo justifica el dar a la REVISTA, como resultado de una visita, una corta noticia descriptiva.

Es, como decimos, el puente de mayor luz del mundo, mientras no se ponga en servicio el del Elorn en Plougastel, cerca de Brest, de tres arcos de 180 m de luz, cuyas bóvedas han sido ya descimbradas por el ingeniero M. Freyssinet, autor del proyecto y constructor de la obra, y en el último Congreso de Puentes de Viena del pasado septiembre constituyó con él la novedad más interesante objeto

de las conferencias, entre todos los puentes construidos o actualmente en construcción.

Se ha acometido esta obra para sustituir a un puente colgado que se ve al lado del nuevo en alguna de las fotografías que se incluyen, por ser dicho puente insuficiente para el paso del tranvía de Annecy a Saint Pierre de Genevois, actualmente en construcción, que tenía que utilizarlo para cruzar la vaguada, y asimismo por la conservación costosa que iba teniendo dicha obra.

Entre las diferentes soluciones previstas, y ante lo costoso de un apoyo central, por la enorme altura de rasante de 147 m sobre el fondo del barranco y por la gran intensidad de los vientos dominantes, se eligió un arco de 140 m de luz rebajado al 1/5, de estribos perdidos, es decir, apoyados directamente en la roca caliza dura que se presenta en las dos la-

deras, lo que ha determinado la luz citada, que ha sobrepasado por el momento el máximo de 132 m que hasta ahora ostentaba el puente de Saint Pierre du Vauvray.

El arco, que sustenta un tablero de 6 m de calzada

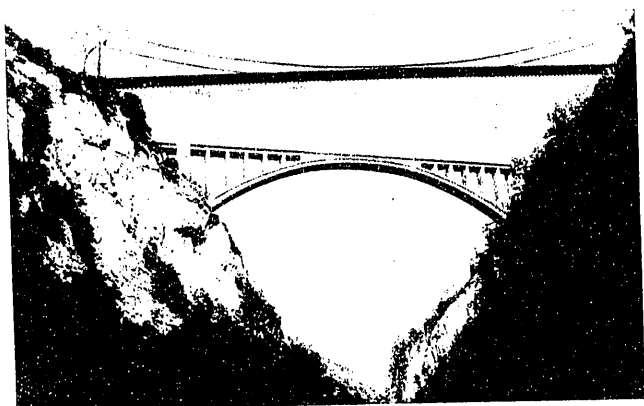


Fig. 1. El puente de La Caille. En primer término, el antiguo puente colgado, al que sustituye.

y dos aceras de 1,10 m de anchura, tiene por directriz una parábola de cuarto grado que coincide con

chas obras extranjeras y que es de esperar se nacionalice en España con motivo del remozamiento del nuevo Pliego de Condiciones de Cementos, que parece tiene en cuenta la existencia de los supercementos, y asimismo las cargas considerables a la compresión que resisten hoy los hormigones de portland ordinarios, se ha aceptado en el puente de La Caille una compresión máxima de 70 kg/cm<sup>2</sup>, lo que representa, aproximadamente, partiendo de un coeficiente de seguridad ordinario del 28 por 100, una carga de rotura de 250 kg/cm<sup>2</sup>, a veintiocho días, menor, desde luego, que la que generalmente se obtiene con los portland, sobre todo si se cuida algo los áridos, como lo prueba que en este mismo puente de La Caille los hormigones dieron casi todos más de 300 kg/cm<sup>2</sup> a veintiocho días.

Aparte del hormigonado por roscas, se ha seguido en este puente, por sus dimensiones realmente extraordinarias, un cierto hormigonado por dovelas, que a pesar de las grandes complicaciones que produce en la construcción de los arcos, así como lo que perturba el régimen de cargas en la cimbra, ha sido adoptado para contrarrestar, por medio de las diferencias de retracción de fraguado entre los macizos de hormigón colado constituidos por las dovelas, los es-

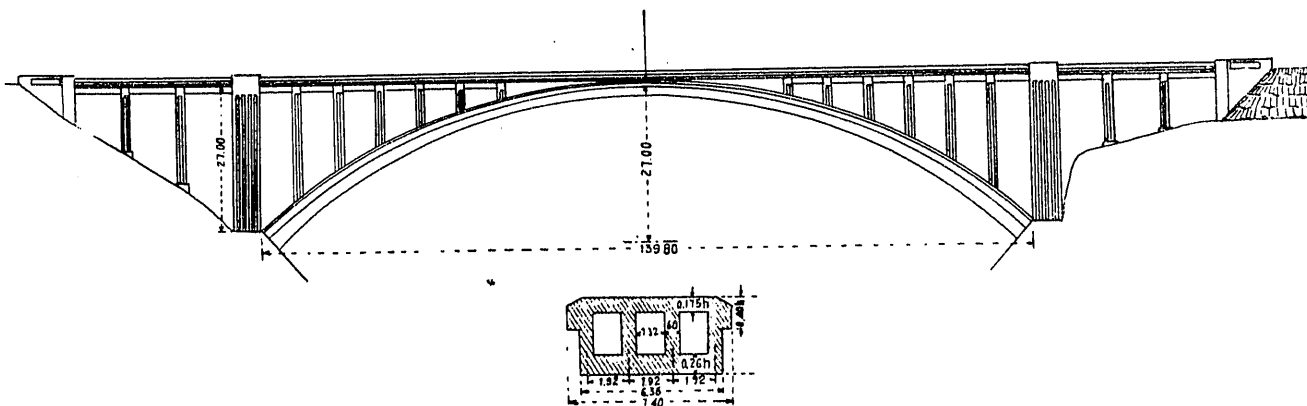


Fig. 2. Alzado y corte transversal del arco.

la curva de presiones del peso muerto y se confunde casi con un círculo de 120 m de radio, y su sección adoptada es de hormigón en masa, o por lo menos sin armaduras longitudinales, y como se ve en uno de los croquis, está aligerada por tres huecos interiores de aproximadamente un tercio de la superficie total, siendo sus dimensiones de 2,80 m de espesor en la clave y 4,70 m en los arranques, para una anchura constante entre paramentos exteriores, sin contar archivolta, de 7,40 m.

El hormigonado de la bóveda se ha hecho por roscas, cargando sobre la primera, de aproximadamente un cuarto del espesor total, la segunda, de cerca del sesenta por ciento, y para disminuir los efectos de deslizamiento entre las roscas, originados por las deformaciones de las mismas durante la flexión producida por su carga, se han colocado armaduras débiles para trabarlas, que, unidas a cuadros transversales para producir un cierto efecto de zunchado, son los únicos hierros que tiene la bóveda, a pesar de los grandes esfuerzos de temperatura que evidentemente se presentan en un arco de estas características, especialmente teniendo en cuenta su emplazamiento en la Alta Saboya, y a considerable altitud.

Siguiendo, además, una norma, general ya en mu-

fuerzos debidos a las diferencias de retracción de fraguado debidos al hormigonado por roscas, a los determinados por el acortamiento de la fibra neutra por los esfuerzos normales y a la retracción de fraguado del conjunto de la bóveda. Se ha practicado esta repartición en dovelas por medio de placas de hormigón en forma de cuña muy poco pronunciada, hormigonadas cuatro o cinco meses antes del hormigón colado que constituía las roscas y habiendo experimentado, por lo tanto, su retracción de fraguado, y colocadas sobre la cimbra como separación de dovelas, con objeto de limitar por esas placas los macizos de hormigón vertido en obra.

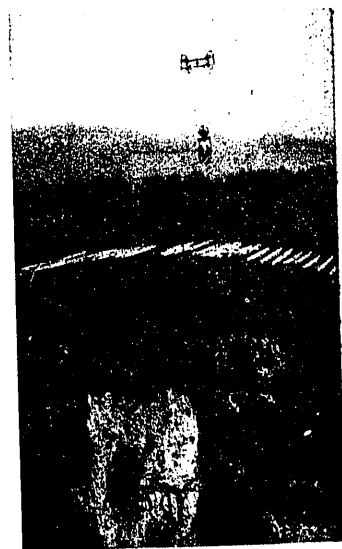


Fig. 3. Montaje de la pasadera colgada, sustentadora de la cimbra.

Según la idea de M. Maticle, puesta en práctica en esta obra, se puede conseguir, insertando estas cuñas de material remoldeado en el hormigón de la bóveda,

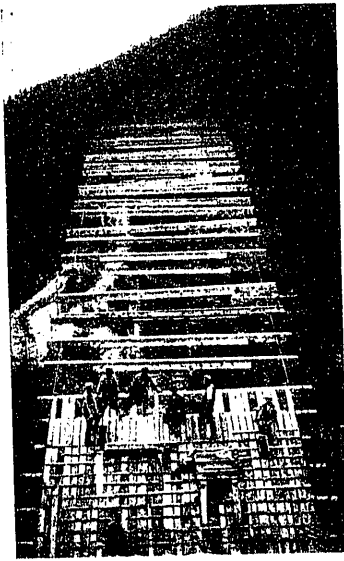


Fig. 4. Construcción de la pasadera.

que la longitud de las partes susceptibles de retracción, y por lo tanto la retracción total de cada una de ellas proporcional a dicha longitud, varíe de las fibras del intradós a las del trasdós, de manera a provocar, por causa de la existencia de la retracción de fraguado en todo el hormigón de la bóveda, excluido el constituyente de esas placas o cuñas, una serie de rotaciones que pueden contrarrestar los momentos producidos por la retracción de fraguado en todo el arco y asimismo los

esfuerzos accesorios accidentales a que en el párrafo anterior se hace referencia.

El fundamento del procedimiento es que se considera el arco empotrado en un arranque y libre en el otro, y respecto a ejes paralelos a los de inercia que pasen por el empotramiento, se expresa el momento flector en función del momento y esfuerzo cortante en el origen; en un arco sometido solamente a los esfuerzos de retracción de fraguado se tiene, con las notaciones ordinarias:

$$M = \mu + Vx - Hy$$

y si  $c$  es el coeficiente de retracción y  $\alpha$  es la rotación por unidad de longitud de fibra neutra que se produzca por la variación de longitud de los elementos susceptibles de retracción, originada por la inserción

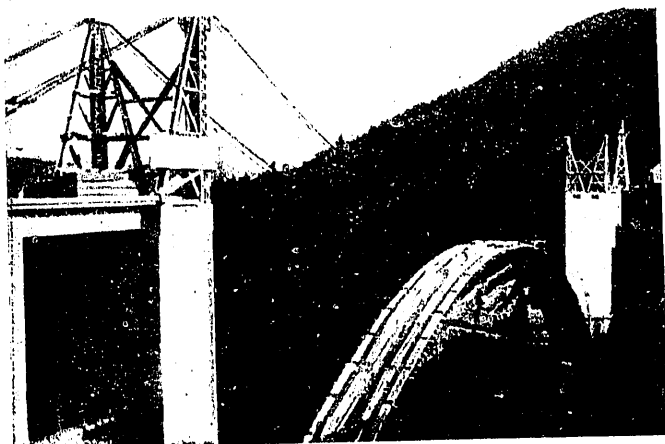


Fig. 5. Vista de la pasadera terminada.

de los elementos prevaciados y se establece la fijeza de las secciones de empotramiento, se tiene:

$$\int \frac{M ds}{EI} + \int \alpha ds = 0$$

$$\int \frac{M x ds}{EI} + \int \alpha ds + \int \frac{N}{E\Omega} dy = 0$$

$$\int \frac{M y ds}{EI} + \int \alpha y ds - \int \frac{N}{E\Omega} dx + \int c dx = 0;$$

y aproximadamente en un arco rebajado parabólico de flecha  $f$  y luz  $2a$ , cuyo momento de inercia sea constante, donde  $ds$  puede sustituir a  $dx$  y el empuje es sensiblemente igual al esfuerzo normal en el arranque, se pueden despreciar

$$\int \frac{N}{E\Omega} dy \quad y \quad \int \frac{N}{E\Omega} dx;$$

y estableciendo las anteriores igualdades, haciendo  $\alpha$  función lineal de la ordenada de la directriz  $\alpha = my + p$ , se tiene que la ley de variación del momento flector es:

$$M = \frac{15}{2} EI \frac{c}{f} - EI p - \left( \frac{45}{4} EI \frac{c}{f^2} + EIm \right) y$$

o sea que existe compensación de ese momento flector producido por la retracción de fraguado para valores de  $m$  y  $p$  que lo hagan cero, y que sustituidos después en el de la rotación  $\alpha$  dan:

$$\alpha = - \frac{45c}{4f^2} y + \frac{15c}{2f}$$

por metro lineal de fibra neutra. Si  $\lambda$  es la longitud no susceptible de retracción en la fibra del trasdós

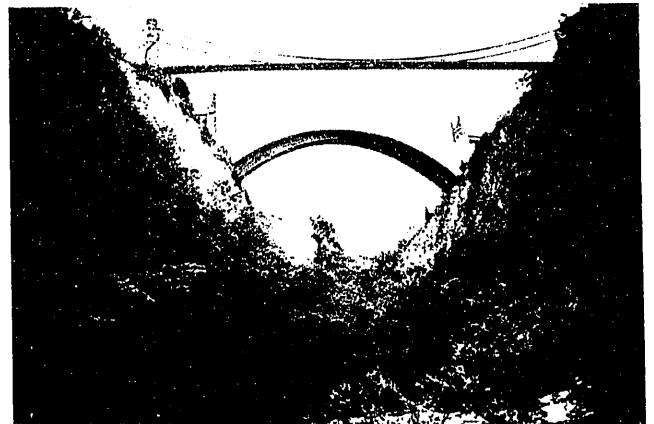


Fig. 6. La chimbra, terminada.

y  $\lambda'$  la del intradós, la rotación de la sección es, siendo  $e$  el espesor del arco,

$$\alpha = \frac{(1 - \lambda')c - (1 - \lambda)c}{e} = \frac{\lambda - \lambda'}{e} c$$

y como por la continuidad de la cuña la longitud de la fibra neutra no es más que

$$1 - \frac{\lambda + \lambda'}{2}$$

debe reemplazarse  $c$  por

$$c_1 = c \left( 1 - \frac{\lambda + \lambda'}{2} \right)$$

de manera que para obtener la compensación buscada es necesario hacer:

$$\alpha = \left( - \frac{45}{4f^2} y + \frac{15}{2f} \right) c_1 = \frac{\lambda - \lambda'}{e} c$$

lo que permite obtener las dimensiones de las cuñas conociendo su separación y fijada su menor dimensión

para cualquier valor del coeficiente de retracción, puesto que multiplica a los dos términos.

Sobre la bóveda se ha construido una palizada de hormigón armado que resiste el tablero, sustentado a manera de viga continua sobre los tabiques de tímpano corridos en todo el ancho de la bóveda.

El tablero es de doble forjado con largueros, sin cartelas sobre los pilares de tímpano, con objeto de que dichos largueros resistan como tes a los momentos positivos en los centros de los vanos y a los negativos que se presentan sobre los tabiques, lo que ha permitido aligerar el contorno aparente de la obra, dándole un aspecto muy transparente, a pesar de haberse empleado en el arco hormigón en masa y de que por los aligeramientos de la bóveda ha tenido que tener ésta un canto considerable.

La cimbra adoptada no tiene ningún apoyo intermedio, por lo costoso del mismo, dada la enorme altura de rasante y los vientos encajonados que reinan en el emplazamiento de la obra, y es del tipo de las llamadas de tabla, es decir, una celosía cerrada, como se ve en las fotografías, y por lo tanto del mismo tipo adoptado por Freyssinet para el puente de Plougastel, y que, a pesar de su poca rigidez aparente, ha resistido los intensos vientos que han actuado



Fig. 7.ª La primera rosca, terminada.

sobre ella en la obra del puente de La Caille, así como los ejercidos sobre el tipo de cimbra flotada que se está empleando en el puente del Elorn.

El montaje de la cimbra se hizo sobre una especie de pasadera colgada de un verdadero puente colgado, cuyos pilonos se ven sobre las pilas de los estribos del viaducto de acceso y del que se suspendieron, por medio de péndolas de longitud exacta y predeterminada, las viguetas de madera sustentadoras de la pasadera de servicio, por medio de un cable transbordador que utilizaba los mismos pilonos del puente colgado, y corrigiéndose la longitud de las péndolas por indicaciones desde la orilla.

Sobre esta pasadera de servicio se montó un tablero continuo de madera y sobre él las dos cerchas extremas de las cuatro que comprende la cimbra, y luego, colgando de estas dos, las dos centrales. La separación entre cerchas de la cimbra es de 1,92 m y la altura de la misma es de 4 m en la clave y 6 en los arranques.

Para corregir la variación de forma de la cimbra por efecto de la carga de la misma, e igualmente para facilitar el descimbramiento, se introdujeron dispositivos en ella que han permitido la modificación de su directriz mediante un acortamiento de la

cabeza superior en la clave y por el asiento de los apoyos de la inferior en cajas de arena dispuestas en los arranques. Mediante el acortamiento de aquélla y el asiento de los extremos de la cabeza inferior se



Fig. 8.ª Vista general del puente durante su construcción.

consiguió descargar la cimbra, disminuyendo las cargas de trabajo que su peso propio producía y, por lo tanto, haciendo que las determinadas por la carga de la primera rosca y por la transmitida del peso de la segunda no variasen apreciablemente la forma de dicha cimbra, precauciones éstas de exigir en este caso particular, por la precisión de la curva de cuarto grado que constituye la directriz del arco y por la necesidad estricta de acoplar éste a las condiciones de cálculo, por ser un arco de hormigón en masa que, en ningún caso, debería tener que resistir tracciones.

El mismo dispositivo sirvió, después de terminado el arco, para hacer separar a la cimbra del intradós y producir, por lo tanto, el descimbramiento. Después de éste se desmontó la cimbra, pudiendo observarse en una de las fotografías cómo subsiste la plataforma de servicio en contacto, durante el hormigonado, con el intradós de la citada cimbra.

Este procedimiento de descarga de la cimbra sugiere la idea de que el campo de las tensiones iniciales, premeditadamente introducidas en las obras y



Fig. 9.ª Andamiajes para la construcción del tablero.

que tantas posibilidades ha de presentar en el futuro para el cálculo y proyecto de las mismas, como nos profetizó siempre Zafra en clase después de los primeros ensayos de Rabut, parece extenderse para com-

prender también a las estructuras provisionales y a los medios auxiliares, y recientemente ha tenido aplicaciones verdaderamente originales, que quizá convenga detallar en otra nota, en el mismo puente

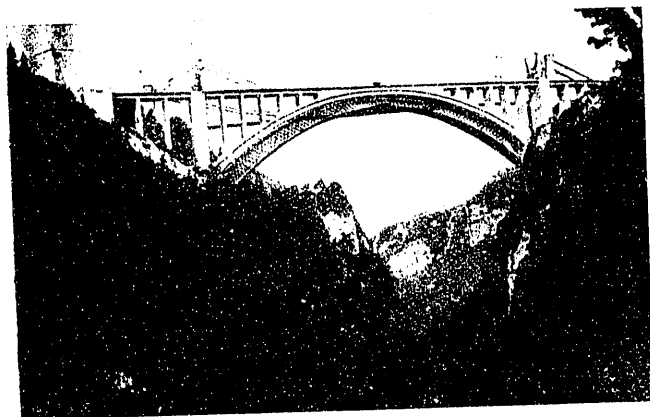


Fig. 10. El arco terminado sobre la cimbra.

del Elorn, en el puente de La Tournelle y en las cubiertas de la estación de Austerlitz, en París.

Todas las piezas de las cabezas y de la celosía de la cimbra se unieron por pernos y tuercas, y para dificultar los asentamientos que habrían de modificar la curva de trasdós de la cimbra, se rellenaron con mortero todas las juntas de los tablonces de la cabeza superior con objeto de obtener un todo continuo que resistiese perfectamente a las compresiones, producidas especialmente en la parte central del vano.

Esta obra ha sido construída por la «Sociedad Iyonesa de Obras públicas», con proyecto presentado por la misma, redactado por la entidad «Pelnard-Considere y Caquot», de París, después de una primera selección, realizada según las referencias aducidas por la Administración, de las empresas que deberían presentarse al concurso.

Las nuevas orientaciones de dicha entidad técnica, y especialmente los trabajos personales de M. Caquot, se han traducido últimamente en obras interesantísimas, en las cuales cabe comprender el puente del Rey Jorge, en Glasgow, y el nuevo puente de Lafayette sobre la estación del Este, en París.

Quizá para terminar esta corta noticia sea intere-

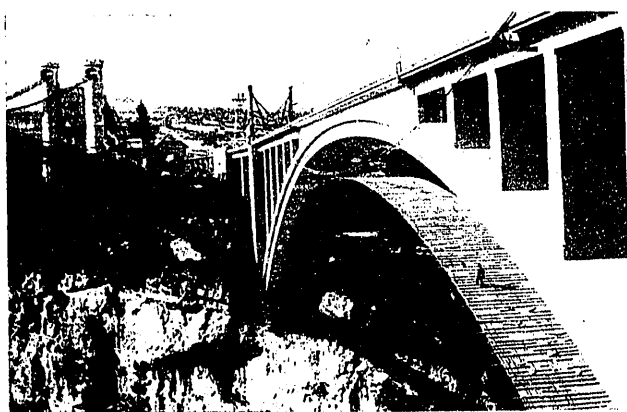


Fig. 11. Vista de la pasadera colgada, después de desmontada la cimbra.

sante decir que el examen de las particularidades de esta obra prueba una vez más que las obras con características de *record* en todos los campos de la Ingeniería presentan, en general, un cierto menosprecio de las

consideraciones puramente económicas, que son las primordiales en España, y que quizá para el puente de La Caille hubiesen aconsejado el cruzar la vaguada con una obra de una luz mucho menor y poca altura de rasante, dado que el desagüe de la obra construída es infinitamente mayor que el exigido por el torrente de los Ussos.

Asimismo, que para hacer obras de gran luz y no inútilmente caras, conviene que después de la puesta en vigor del nuevo Pliego de Condiciones de Cementos, y con el empleo de los aluminosos y supercementos, o aun de los portland ordinarios, se estudie por nuestros altos Cuerpos Consultivos la posibilidad del aumento, por lo menos en un 30 por 100, de las cargas de cálculo de los hormigones de dosificaciones ricas que se empleen en ellos, ya que para una carga de  $70 \text{ kg/cm}^2$  es mucho más frecuente una de rotura de  $\frac{70}{28 \text{ por } 100} = 250 \text{ kg/cm}^2$ , a veintiocho

días, que una de  $42 \text{ kg/mm}^2$  en el acero de la armadura del hormigón que con el mismo coeficiente de seguridad esté trabajando a  $12 \text{ kg/mm}^2$ , y aun sin tener en cuenta que prácticamente será siempre menor dicho coeficiente porque el límite de elasticidad está en los  $22 \text{ kg/mm}^2$ .

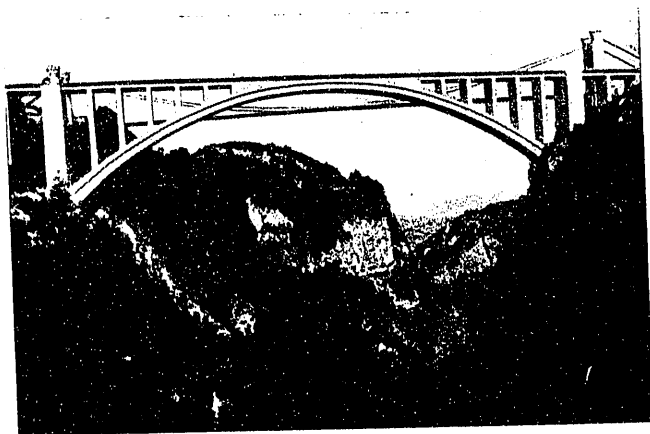


Fig. 12. Otra vista del puente, después de terminado.

Y, por último, que las obras maestras de la técnica se producen generalmente en concursos de proyecto y ejecución, por el interés en lograr la solución o la disposición nueva o afortunada que la consecución del beneficio económico determina en muchos ingenieros y constructores especializados, o en ingenieros que han ganado su prestigio y su práctica en otros servicios de la Administración. Caquot, hoy director de Aeronáutica en el Ministerio del Aire francés, ha proyectado globos semirígidos durante la guerra, es constructor y proyectista y profesor e ingeniero de Puentes y Calzadas, al servicio activo del Estado durante la mayor parte de su carrera profesional.

Quizá fuese una medida acertada el mayor empleo del concurso del proyecto y de ejecución, o con las ligeras variantes que lo transformen en el que los franceses llaman de *Adjudication-concours* y que, aparte de las obras españolas que todos conocemos, y que creo inútil mencionar, ha producido recientemente en el extranjero los Garages de Orly, la esclusa de Ijmuiden y los puentes de Plougastel y de La Caille.