

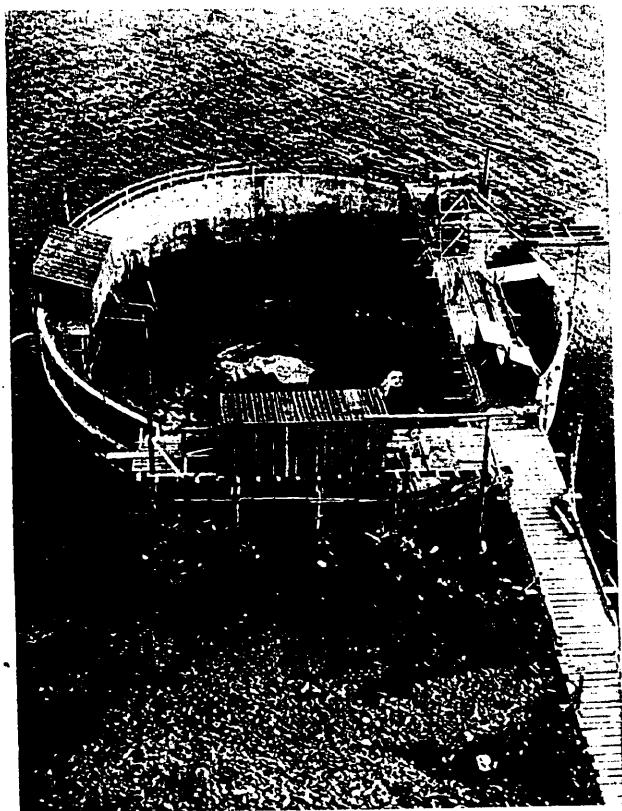
El puente de Plougastel¹

Con el fin de mejorar las comunicaciones entre Brest y el Sur del departamento de Finisterre, se



Vista del transbordador

abrió un concurso de proyectos para la construcción de un puente sobre el Elorn, siendo adjudicada la obra al proyecto de M. Freyssinet, hoy realizada



Atagüía para la construcción de un estribo

por la Société d'Entreprises Limousin, con un presupuesto de 22 millones de francos.

El puente, de hormigón en su totalidad, además

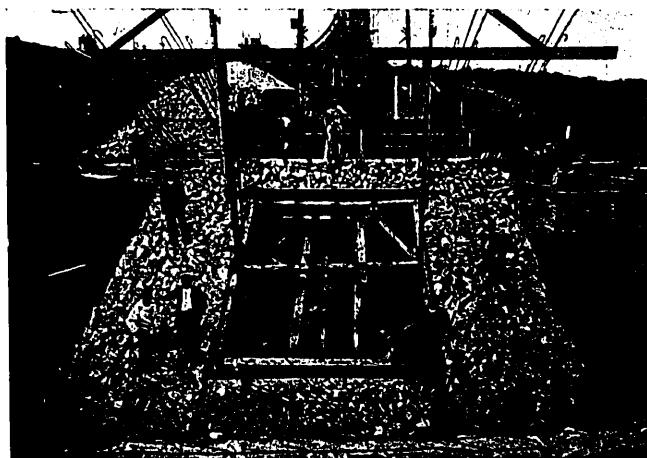
¹ En este artículo extracta el Sr. Ochoa de Retana la Memoria que redactó como consecuencia de su viaje de ampliación de estudios al terminar su carrera en el curso pasado.

de dos viaductos de acceso, consta de tres arcos de 186,50 m de luz entre ejes y un tablero de dos pisos, el superior con 6 m de calzada y dos andenes de 1 m y el inferior para una vía de ferrocarril de ancho normal.

Lo insólito de la luz obligada por la cimentación, la esbeltez de sus elementos, las dificultades de ejecución y el modo de solventarlas, hacen extraordinariamente interesante esta obra, tanto en su aspecto técnico como en el práctico.

Características técnicas del proyecto

CIMENTACIONES.—El puente está cimentado en la roca virgen, que es un esquisto de excelente calidad. Las fundaciones son de hormigón ciclópeo de cemento fundido, pues dada la enorme descomposición de los hormigones de portland artificial en esta zona, la Superioridad prescribió el empleo de dicho



Hormigón ciclópeo de cemento fundido, en el arranque de la bóveda.

aglomerante hasta la cota + 10. La mezcla era de 400 kg de cemento y doble proporción de gravilla que de arena¹.

ARCOS Y TABLEROS.—Son de hormigón de cemento portland artificial ligeramente armado (unos 23 kg por metro cúbico), sirviendo la armadura únicamente para absorber esfuerzos secundarios. La mezcla con 425 kg/m³ de cemento, tiene la proporción ya indicada de los áridos.

Para disminuir el peso propio, carga preponderante en arcos de grandes luces, la solución adoptada es un solo arco, de 9,50 m de anchura, aligerado longitudinalmente. La rigidez necesaria se ha logrado

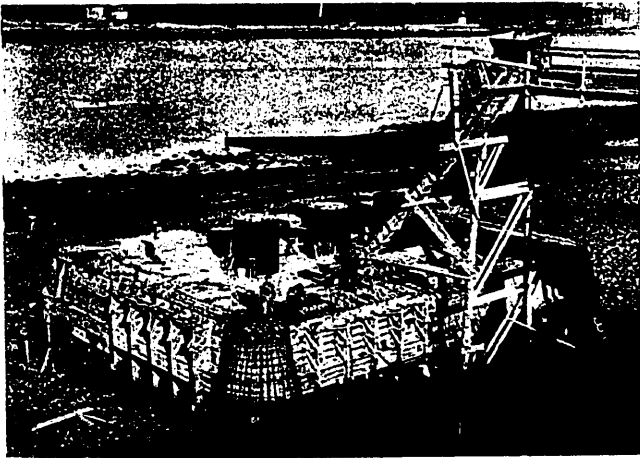
¹ En las proximidades y durante la misma época (verano de 1926) se construyó, con cemento fundido en su totalidad, el puente de La Corde, proyectado también por M. Freyssinet, donde el hormigón tenía las mismas características, excepto el agua de amasado, que era de mar. Los estribos resultaron excelentes; pero en los arranques se observaron, a los quince días, consistencias análogas a la de una arcilla seca. Esto dió lugar a una interesante discusión entre Freyssinet, Coyne y Feret, aparecida en el *Génie Civil* del 11-VIII-28. En el puente de Plougastel, amasado con agua dulce, no aparecieron síntomas de «enfermedad» en la obra, y sólo esporádicamente en las herramientas.

aumentando el espesor, que alcanza 5 m en los arranques y disminuye hacia la clave, hasta dar un buen aspecto al arco.

La sección transversal es tritelular, formada por cuatro tabiques de 25 cm de espesor los exteriores y 28 cm los interiores, que unen dos arcos: el inferior, cuyo espesor disminuye de 94 a 42 cm de los arranques a la clave, y el superior, formado por dos zonas laterales que aumentan de 60 a 80 cm, mientras que la central, disminuyendo desde los arranques, sufre una solución de continuidad, para permitir el paso del ferrocarril por el alvéolo central de la clave, cuya luz libre es de 4,50 m.

Por razones estéticas y económicas, los tabiques sustentadores del tablero, más estrechos que la bóveda, se han espaciado 16,50 m entre ejes. La sección transversal está formada por dos nervios de 110 cm de anchura en los tabiques extremos y 90 cm en los centrales, a los que se da rigidez por un forjado de 12 cm de espesor. El talud exterior es a 4 por 100. Las vigas de tablero son trianguladas del tipo Howe y, excepto las diagonales extremas, de 50 x 50 cm, los montantes y diagonales son de 25 x 50 cm.

La directriz es el antifunicular de la carga perma-



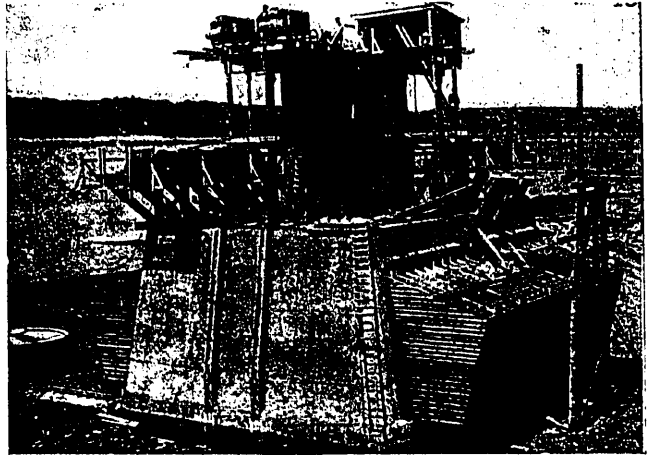
Cajón para la cimentación

nente; el intradós es un arco continuo y el trasdós, poligonal, lográndose una arista curva mediante superficies alabeadas. El arco ha sido calculado como empotrado de sección variable, 180 m de luz y 33,60 de altura, no existiendo tensiones en ningún punto. Las fatigas máximas totales son de 75 kg/cm² y las máximas parciales son: 32 kg/cm², debidas al peso propio del arco; 10 kg/cm² al tablero; 20 kg/cm² a las sobrecargas, y las fatigas parásitas debidas a variaciones lineales no alcanzan a 15 kg/cm² por la introducción, durante la construcción, de deformaciones elásticas conocidas.

La introducción de deformaciones conocidas tiene por objeto mejorar las condiciones elásticas de una estructura, aminorando las diferencias de trabajo en las diversas secciones y aun dentro de una sección. Esta regulación puede hacerse, bien produciendo en algunos puntos, antes de concluir la obra, una flexión inversa a la que existirá una vez puesta en carga, o bien introduciendo unas fuerzas normales conocidas, aplicadas en puntos determinados.

El primer procedimiento, aplicado por M. Freyssinet a los arranques de los arcos, había sido empíricamente utilizado en algún puente de fundición de

París, mediante la introducción de cuñas que rectificaran la directriz; últimamente, M. Baticle lo ha estudiado para reducir las fatigas originadas por contracción de fraguado mediante la introducción de cuñas de hormigón armado. Para la puesta en carga y rectificación del arco se han introducido unas fuer-



Cajón de cimentación con los flotadores adosados para la botadura

zas normales mediante 28 gatos hidráulicos, que, centrando la línea de presiones, aumentan la resistencia del arco, existiendo de esta solución muchos ejemplos de aplicación corriente: el tensado de una sierra de mano, la compresión de los radios de madera en una

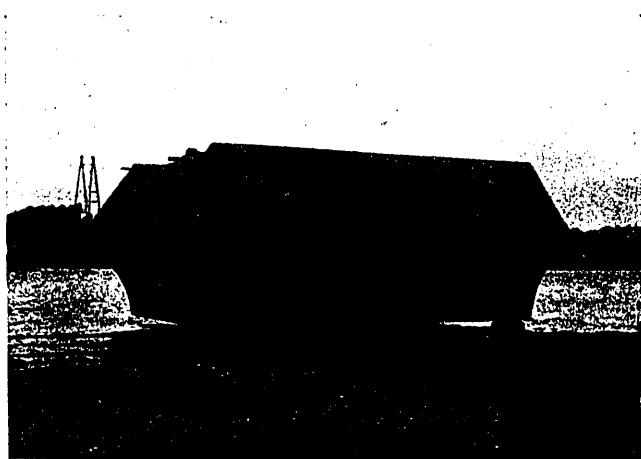


Inclinación dada al cajón para retirarlo de la primera fundación durante la pleamar

rueda, el zunchado a presión de un tonel, la colocación de un puente de violín, etc.

Con el fin de disminuir el presupuesto de la cimbra, dada su gran luz y los peligros de las corrientes y oleaje con una profundidad de cimentación que alcanzaba a 16 m en algunos puntos, se proyectó un

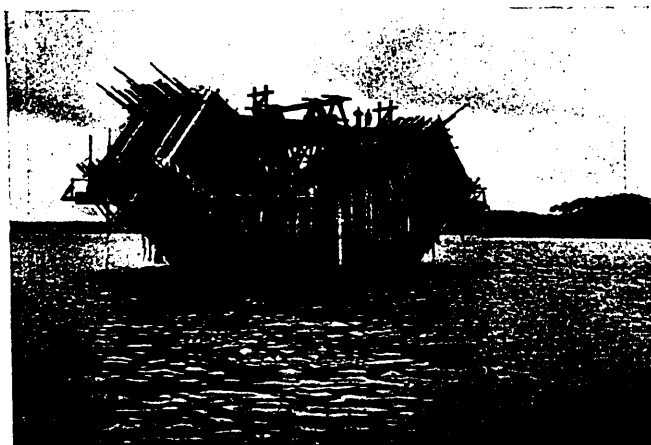
arco muy flexible de madera atirantado por 80 redondos de 18 mm (fatiga 1 200 kg/cm²). Como el tirante debía permanecer fuera del alcance de las mareas, era preciso construir los arranques del arco en ménsula, debiéndose colgar la cimbra a una distancia de 15,60 m del eje de la pila. Los momentos flectores que se ori-



Cajón de hormigón para la construcción en seco hasta la cota + 8,50

ginaban durante la construcción (más de 4 700 m/kg) podían producir deformaciones elásticas que falsearan las hipótesis de cálculo, y para evitarlas se dispuso un atirantado de las ménsulas formado por dos planos de cable empotrados en el hormigón. Estos cables, mediante unos gatos, eran tensados en tal forma, que las fatigas en los arranques fueron uniformes durante las diversas fases de hormigonado.

El sistema de aplicación de fuerzas normales en la clave ha sido ampliamente descrito por Freyssinet en sus artículos sobre el puente de Villeneuve-sur-Lot (*Génie Civil*, 30-VII, 6 y 13-VIII-1921). En el primer arco, construido en verano, la junta alcanzó 28 mm en el intradós y 34 mm en el trasdós, resultando un coeficiente de elasticidad de $5,5 \times 10^7$, mientras que en el segundo, construido a la entrada del invierno, sólo alcanzó 4×10^7 , abriéndose las juntas



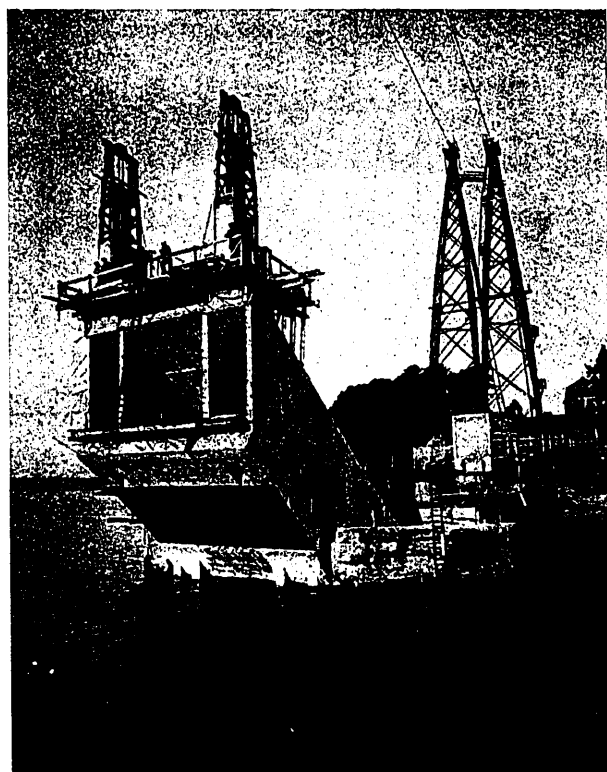
Construcción de los arranques de las bóvedas en ménsula

40 y 48 mm en el intradós y trasdós, respectivamente.

Estas soluciones, cuya ingeniosidad es evidente, son muy delicadas de ejecución, exigiendo una extrema e inteligente vigilancia, que retarda y dificulta la construcción. Por estas razones, y pensando

en la serie de hipótesis simplificadoras que es preciso admitir en los cálculos, especialmente cuando la estructura se complica con variaciones de momentos de inercia, directrices poligonales, cargas concentradas, etc., cabe dudar de tal grado de aproximación en los resultados¹ y preferir soluciones menos teóricas, tan seguras y tal vez más económicas, a pesar de una mayor cantidad de obra y peor distribución de fatigas.

Sin embargo, aplicadas estas teorías para grandes luces, M. Freyssinet prevé, con ventaja económica sobre los puentes metálicos, arcos de hormigón en masa de 400 m de luz, alcanzando unas fatigas de 115 kg/cm², toleradas por el Reglamento francés para hormigones cuya resistencia alcance 410 kg/cm² a los 90 días. Con arcos de hormigón armado el límite asignado es de 1 800 m, alcanzando el acero una fa-



Sección del arco y disposición de las eslingas. La zona negra es el engrasado del intradós para evitar su adherencia con la cimbra. En la parte baja se ve el resalto de 30 cm para apoyo de la cimbra

tiga de 2 300 kg/cm², lo que obligaría al empleo de aceros especiales.

Organización de la obra

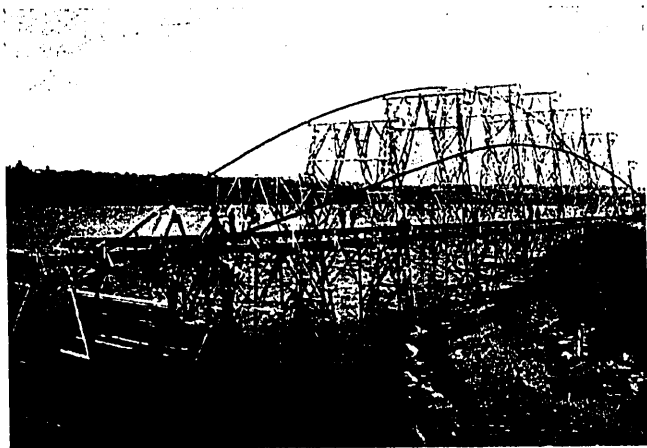
Las oficinas, depósitos y talleres de reparaciones y armaduras fueron ubicados en las proximidades de la cantera de cuarcita, junto a la carretera de Brest a Plougastel. Todos los materiales han sido transportados a la margen por medio de un funicular y distribuidos en la obra con un transbordador.

CIMENTACIONES.—Los estribos fueron cimentados directamente con agotamientos. Aprovechando la bajamar, se construyeron unas ataguías circulares

¹ M. Freyssinet ya indica las grandes discrepancias obtenidas para la cimbra entre los resultados experimentales y de cálculo.

de hormigón armado de portland artificial, con 28 m de diámetro, 9 m de altura y 35 cm de espesor. La roca se alcanzó mediante recalces de hormigón en masa.

La cimentación de las pilas, efectuada con aire



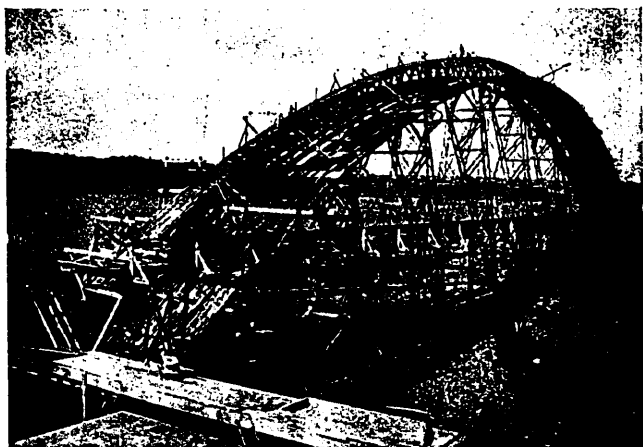
Andamiaje para la construcción de la cimbra

comprimido hasta la cota + 2, se realizó con un solo cajón de hormigón armado, perdido en la segunda fundación, que se apoyaba en tres puntos, previamente preparados mediante buzos.

Aunque por encima de dicha cota se podía haber ejecutado el resto durante las bajamareas, se prefirió construir en la margen unos cajones de 6,50 m de altura y colocarlos sobre la cimentación hecha aprovechando la marea. Estos cajones, lo mismo que la parte ya ejecutada, se rellenaron con hormigón ciclópeo de cemento fundido.

Las pruebas efectuadas en probetas, aun dando excelentes cargas de rotura, no han tenido la regularidad obtenida con las probetas de portland artificial. No habiéndose hecho gran cantidad de ensayos, no deben sacarse conclusiones definitivas.

Para dar una idea de los resultados, se indican las

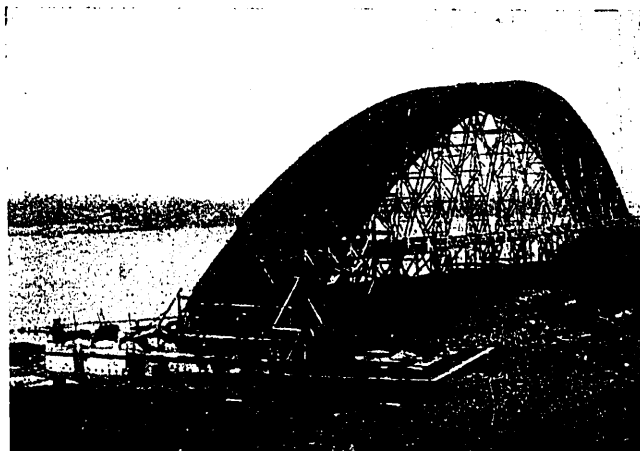


Una fase de la construcción de la cimbra

cargas de rotura alcanzadas con probetas del hormigón empleado en obra, cuya dosificación era de 400 kg de cemento, 800 litros de cuarcita machacada, 200 de arena procedente de la machacadora y 200 litros de arena de dunas.

	7 días	15 días	1 año
1-10-26.....	305 kg/cm ²	297 kg/cm ²	366 kg/cm ²
11-11-26.....	411 »	442 »	478 »

TRANSBORDADOR.—Por la experiencia adquirida con los transbordadores de diversas obras, M. Freysinnet había encontrado que el rendimiento disminuye

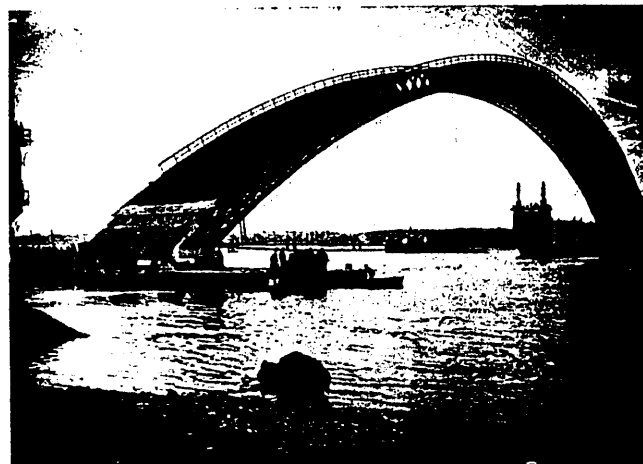


Otra fase de la construcción de la cimbra

rápidamente si la maniobra se hace desde un extremo y la distancia de recorrido sobrepasa de ciertos límites, por lo que decidió colocar el mando en el mismo carretón.

Además, se logra mayor eficiencia en el servicio, ya que pudiendo el mecánico observar perfectamente los trabajos, es capaz de recibir rápidamente órdenes que se ajusten a las necesidades del momento.

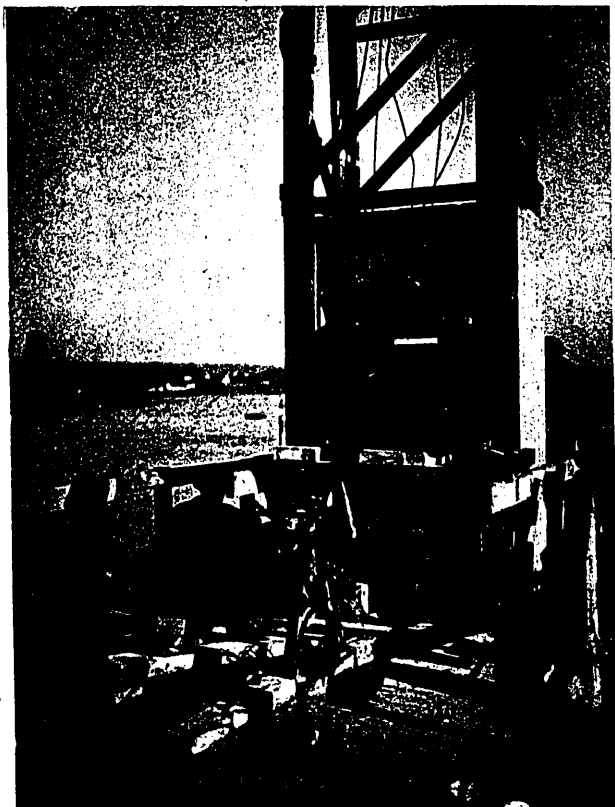
Diversos especialistas franceses y extranjeros declararon irrealizable este proyecto, por lo que M. Freysinnet decidió construir sin su concurso los dos transbordadores gemelos previstos para la obra.



La cimbra llevada a flote a su emplazamiento

Cada transbordador consta de dos torres de madera de 55 m de altura, una fija y la otra oscilante. Lo mismo que en la cimbra, todas las uniones son clavadas, para dar mayor rigidez a los nudos y debilitar menos los elementos, cuya esbeltez es tal, que el conjunto produce la impresión de una estructura metálica.

El vano de 690 m está salvado por dos cables con una flecha aproximada de 11 m y una cota de 76 m por encima de la bajamar. El portador, que recibe la corriente continua a 240 v, con una carga de ro-



Cabeza superior de una eslinga y placas para transmitir la presión del gato hidráulico

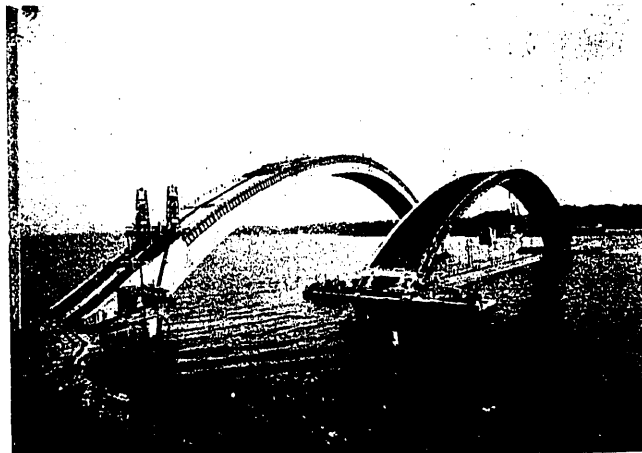
tura de 210 t, pesa 12 kg p. m. l., estando mantenido a tensión constante de 60 t, mediante un contrapeso. El retorno de la corriente se efectúa por el otro cable, de 13 mm de diámetro, con un alma de cobre; generalmente está fijo, pero en caso de avería puede arrastrar eléctrica o mecánicamente desde la orilla el carretón.



Una fase del hormigonado de los arcos

La carga útil del carretón es de 2 t, con una velocidad de 3 m/seg, habiéndose transportado más de 30 000 m³ de materiales sin el menor contratiempo, aun en malas condiciones atmosféricas.

CIMBRA.—Está formada por ocho arcos atirantados de celosía en aspas de San Andrés, cuyo intradós está constituido por un grupo de dos tablonos y cuyo trasdós lo forman tablonos adosados, que constituyen

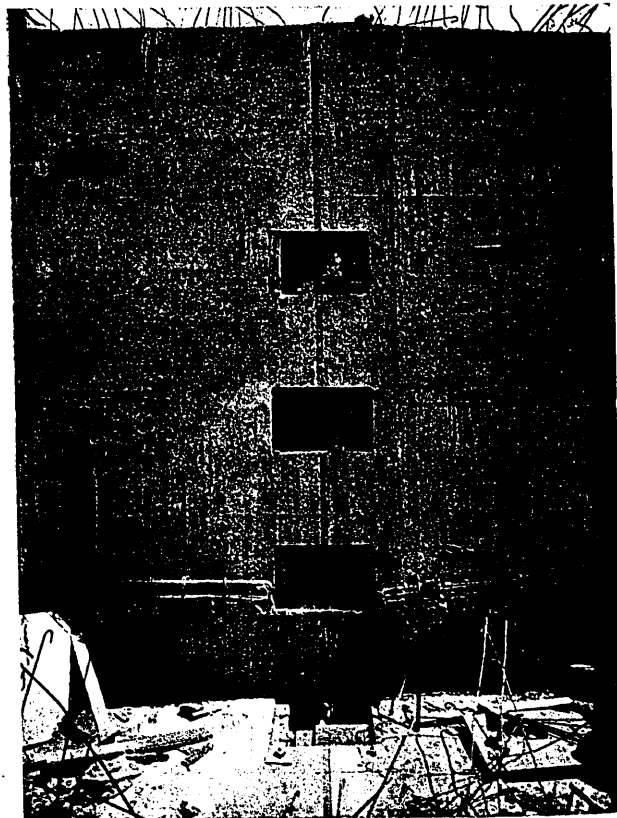


Traslado de la cimbra después de construido el primer arco

un arco continuo. La escuadría de todas las piezas es la del tablón comercial de 3 × 9 pulgadas. Las uniones se ejecutaron con clavos de 16 a 35 cm y 10 mm de diámetro, habiéndose empleado 15 t.

El arriostrado lo constituyeron en el trasdós dos entarimados de 18 mm elevados a 45° con el eje, y otro análogo en celosía en el intradós.

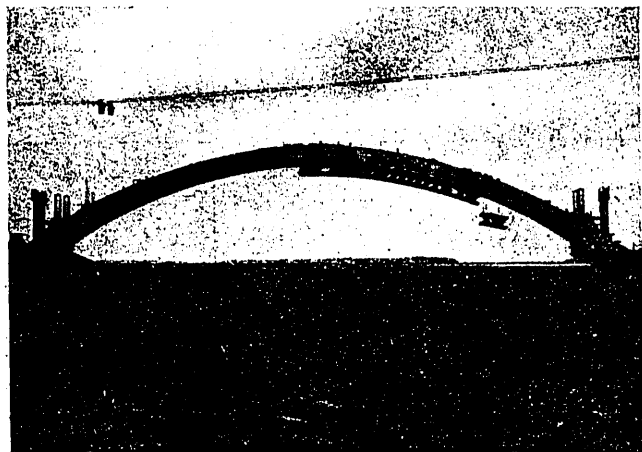
El tirante, formado por redondos de una sola pie-



Gatos hidráulicos establecidos en la clave de un arco para la introducción de fuerzas normales. Se aprecia la junta ya retacada

za, estaba fijo en un extremo y provisto de unos gatos hidráulicos en el otro, que permitían rectificar el arco dentro de un amplio margen. Estos tirantes sólo servían para el traslado de la cimbra.

La cimbra fué construída en la orilla Sur con grupos de dos tableros de 160 m de longitud, que por su propio peso adoptaban la forma del arco al apoyarse en unos caballetes construídos al efecto.



Demolición de la cimbra en el último arco

Entre las cabezas de los tableros se dejaban juntas de 3 cm enérgicamente retacadas con mortero para asegurar la indeformabilidad. Se hormigonaron los extremos de la cimbra para darles una mayor resistencia.

Las flechas observadas han dado un coeficiente de elasticidad de 7×10^8 , igual al previsto en el cálculo, y el cubo total de madera empleado es de 600 m³.

ARCOS Y TABLEROS.—Una vez construídos en ménsula los arranques del arco, se efectuó el traslado de la cimbra mediante dos barcazas de hormigón armado provistas de cabrestantes para arrollar los cables de maniobra fijados en boyas.

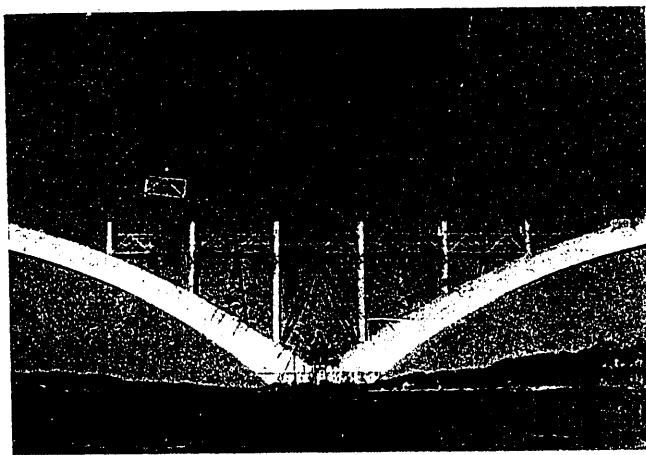
El izado y sujeción de la cimbra se efectuó mediante dos eslingas colgadas de unas torres de madera construídas en el extremo de cada ménsula. Las eslingas estaban formadas por dos grupos de 64 redondos de 10 mm, hormigonados en sus cabezas: la inferior

tales existentes en el tirante de la cimbra, se dió a ésta la contraflecha calculada de 16 cm.

Se evitó el deslizamiento de la cimbra al aflojar su tirante, necesario sólo para el traslado y sujeción, introduciendo una lechada de cemento entre la cimbra y la parte de intradós comprendida entre la eslinga y el extremo de la ménsula.

De esta manera se aumentó considerablemente la adherencia originada por la tensión de la eslinga. Simultáneamente se mejoraban las condiciones elásticas de la cimbra, al introducir en sus arranques un momento flector inverso al que producía el hormigonado del arco.

El empuje horizontal era transmitido a un resalto de 30 cm, dejado al efecto en el intradós de los arranques por medio de 18 pilares de hormigón, de los cua-



Carretón del transbordador y lácnas para sustentar los encofrados del tablero

les la mitad eran zunchados, para el sistema de descimbramiento proyectado.

DESCIMBRAMIENTO.—Dada la flexibilidad de la cimbra, no cabía el método de descimbramiento



Vista general del puente en diciembre de 1929

para apoyo de la cimbra mediante un cerrojo formado por dos piezas de madera de $0,50 \times 0,50 \times 1,50$, y la superior para la aplicación de un gato hidráulico de 250 t. Accionando estos cuatro gatos y los horizon-

adoptado en Villeneuve-sur-Lot, ya que al abrir el arco, la cimbra lo hubiera acompañado en su movimiento.

Para efectuar el descenso de la cimbra, se demolie-

ron los 9 pilares no zunchados. Variando la presión en los gatos de las eslingas, se produjeron pequeños movimientos en la cimbra, cuyo objeto era despegarla lentamente del intradós. Al mismo tiempo, dos brigadas picaban los pilares zunchados, sin cortar los zunchos; estos pilares, debilitados al ser aplastados por el empuje de la cimbra, absorbían la energía acumulada en su deformación (aproximadamente, 300 m/t); y cuando el deslizamiento alcanzaba unos 10 cm, se tensaba el tirante, que ya sólo tenía que resistir el empuje del peso propio de la cimbra (unas 280 t).

Estas operaciones se realizaban en un día y el traslado y sujeción de la cimbra al arco contiguo durante la curva de pleamar siguiente.

Una vez descimbrado el arco, se introdujeron en la clave las componentes normales proyectadas, mediante 28 gatos hidráulicos, retacándose perfectamente la junta abierta. Las cavidades para alojar los gatos han sido conservadas para poder rectificar el arco en caso de necesidad.

En los tabiques sustentadores del tablero se dejaron unos resaltes para apoyar rígidas jácenas de madera que resistían la plataforma de trabajo y encofrados.

A fin de aumentar en el tablero la resistencia del hormigón, se emplearon vibradores neumáticos, que al ser aplicados en la armadura producían el efecto de un enérgico apisonado.

La empresa constructora había garantizado un

hormigón cuya resistencia a los 90 días alcanzara a 300 kg/cm². No habiéndose alcanzado esta cifra empleando sólo arena procedente de la machacadora, tras una serie de ensayos, se sustituyó parte de elementos inferiores a 5 mm por arena de dunas, con lo que se obtenía una excelente dosificación granulométrica, indicada ya en las cimentaciones. A continuación se expresan, en kilogramo por centímetro cuadrado, unas resistencias obtenidas.

Hormigón de	8 días	28 días	90 días	1 año
350 kg/m ³	198	259	320	580
400	259	473	473	580
400	244	442	473	505

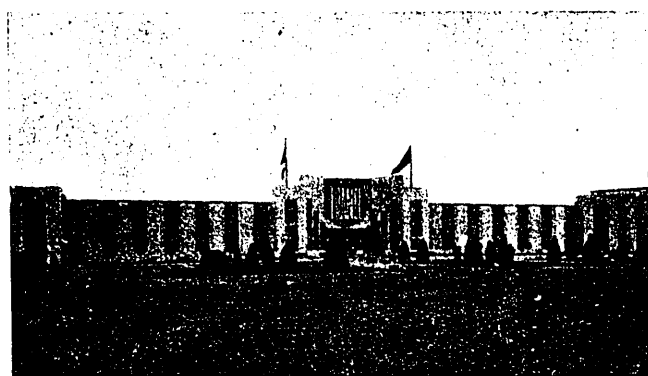
Los muertos de las boyas, que eran de hormigón, lo mismo que los tambores de los cabrestantes y hasta los discos de los engranajes; las arandelas de mortero para la exacta separación entre las armaduras y los encofrados y la de éstos entre sí; los estudios aerodinámicos hechos en una maqueta 1/100 de la cimbra, dan idea de la minuciosidad en los detalles, tanto de proyecto como de ejecución, cuya descripción sale fuera de los límites de esta reseña.

Me es grato finalizar expresando mi agradecimiento a M. Vivot, afecto a la Société Limousin y encargado de la ejecución, que amablemente me facilitó cuantos datos solicité.

A. OCHOA DE RETANA
Ingeniero de Caminos

Las Exposiciones de Lieja y Amberes

Mi asistencia al Congreso del Hormigón, recientemente celebrado en Lieja, me proporcionó el placer de visitar su Exposición internacional, que, junto con la de Amberes, ponen de manifiesto la actual potencialidad económica e industrial del reino de Bélgica, así



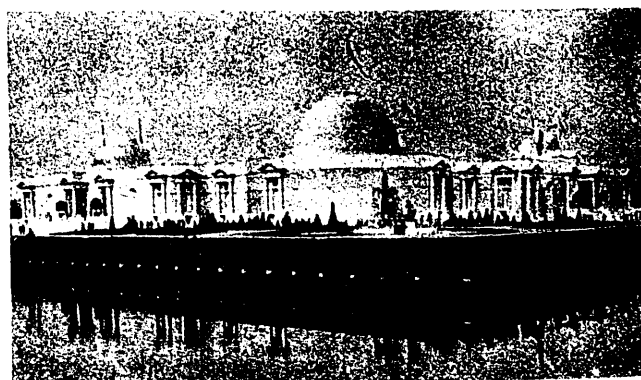
El pabellón francés

como su prosperidad y riqueza alcanzadas durante su primer siglo de independencia, no obstante los grandes estragos de la invasión de su territorio, heroicamente defendido primero, y laboriosa y no menos enérgicamente reconstituido después.

No es mi intención hacer una descripción prolija de dichas Exposiciones, pero sí he de dar a los lectores de la REVISTA una ligera idea de lo que son las mismas y transmitirles algunas de mis impresiones, lamentando, como casi siempre ocurre en este género de visitas, que

la rapidez con que uno se ve obligado a hacerlas no permite apreciar las cosas en todo su valor, si bien el alcance de éste no deja de sentirse y adivinarse.

La Exposición de Lieja tiene, según sus organizadores, el principal objeto de poner de manifiesto el papel importante que desempeña la ciencia en la industria moderna, habiéndose fijado más en exaltar perspectivas para el porvenir que en evocar recuerdos del pasado; se destaca, en primer término, todo lo relativo a Ciencias, Industria, Agricultura y Economía social, y,



Palacio de Inglaterra

ya más en un segundo plano, Arte antiguo, Música, Deportes, Turismo y Atracciones.

Las instalaciones están agrupadas, en dos sectores independientes, a la orillas del río Mosa, denominados, respectivamente, del Norte y del Sur, en comunicación