

Lo más interesante del puente sobre el Luccus ha sido su cimentación.

Al hacerse el proyecto, no se conocían bien las características del terreno, por falta de sondeos, aunque se presumía que era de pésimas condiciones. Se propuso que en cada pila y estribo se hincasen hasta el

queño espesor de limo muy arcilloso y poco consistente, materiales de fácil erosión y transporte.

Al producirse las socavaciones cabecearon las ataguías, especialmente en la margen izquierda, donde es más intensa la corriente. Se prolongaron entonces por su parte superior y se enderezaron, dragando interiormente en su mitad de agua abajo, primero con cuchara (figura 5.^a), después con draga. Nuevas socavaciones volvieron a inclinar las ataguías, que otra vez se enderezaron del mismo modo. Con el continuo descenso de las ataguías se fueron descalzando los pilotes, pues al pasar el agua de las mareas por debajo de aquéllas, desagregaba y arrastraba el terreno, hasta el punto de dejar los pilotes casi sueltos dentro de las ataguías y, por tanto, sin fijeza, sobre todo en los que la profundidad alcanzada era menor.

Estos accidentes obligaron a cambiar el sistema de cimentación. Se extrajeron los pilotes y se enderezaron los cajones mediante un dragado interior, hasta llegar al borde inferior, momento en el cual la ataguía comenzaba a descender. En el proyecto estaba previsto el caso de que, llegado el cajón a cierta profundidad, imposible de precisar, y debido a lo rudimentario del anillo cortante inferior, no resultaran eficaces los dragados sin agotamientos. Se suponía entonces que sería necesario recurrir al aire

comprimido; pero no ha sido necesario, si bien esta

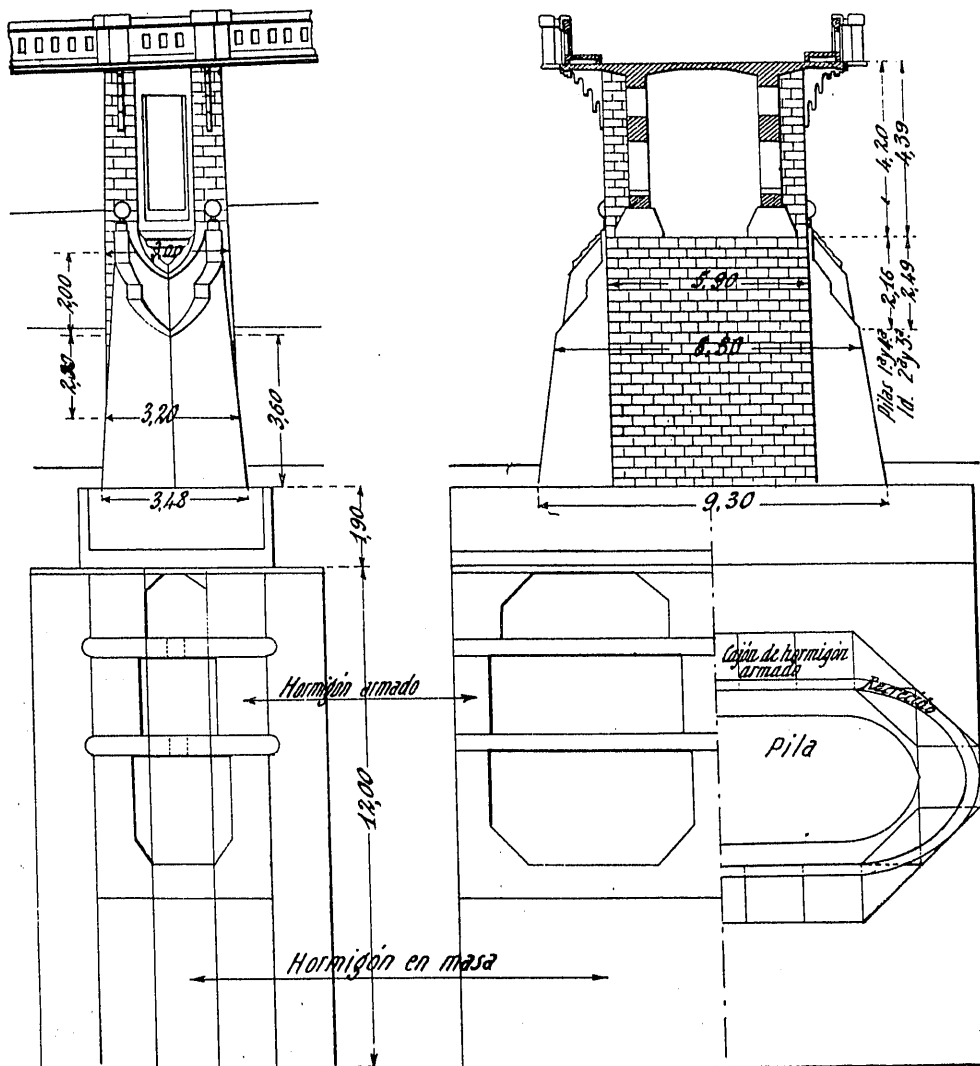


Fig. 4.ª Frente y alzado lateral de las pilas.

rechazo diez y ocho pilotes de hormigón armado, lo que en la cuarta pila se logró entre 10,50 m y 12,55 por debajo del nivel de enrase de cimientos de los apoyos, el mismo para todos, que después debían arriostarse y macizarse con hormigón en masa.

Para realizar estas dos últimas operaciones se pensó encerrar los pilotes de cada pila en grandes ataguías, también de hormigón armado, de planta octogonal alargada, que tenían 13 m de máxima longitud en el sentido de la corriente y 7,20 en sentido normal a ella (fig. 4.^a). Construidas cuatro de estas ataguías se llevaron flotando a su sitio, donde se pensaba macizarlas con hormigón en masa y mampostería. En los estribos no fué preciso el empleo de ataguías, construyéndose en seco.

La corriente violenta del río, cuando sus crecidas coinciden con el descenso de la marea, produjo fuertes remolinos agua arriba de las pilas, que determinaron grandes socavaciones en el lecho del río, formado de arenas finas con algunos lentejones de pe-

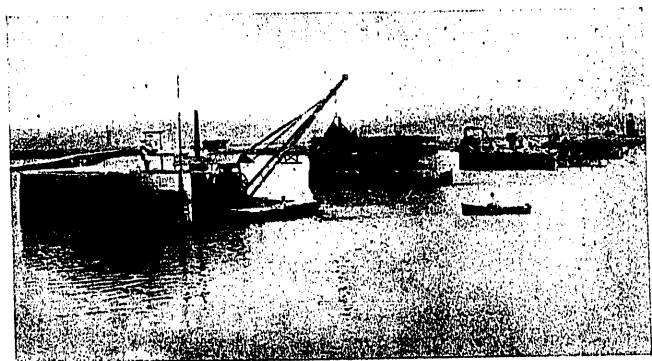


Fig. 5.ª Cuchara para el dragado.

previsión ha facilitado la fijación de los precios, para reducir a un mínimo el coste de las obras.

El macizado de las células se hizo con hormigón sumergido, limpiándolas previamente con rasquetas y agua a presión, ya que no eran agotables.

Conforme se iban hincando los cajones merced al dragado, se recrecían las ataguías, y para producir menos perturbación en el régimen de la corriente se

de altura y con hormigón armado, dejando cámara de aligeramiento hasta la cota $-3,30$ m, en que empieza el basamento de la pila propiamente dicha.

Para la construcción de las pilas sirvieron como ataguías las partes recrecidas, que después había que destruir (figuras 8.^a y 9.^a).

Los cajones ataguías se protegían mediante escollera (fig. 8.^a), añadiendo como defensa los antiguos pilotes arrancados.

Después de haber llegado las pilas a su posición de equilibrio, se efectuaron sondeos en el eje del puente y 6,50 m agua arriba y agua abajo, para ver la modificación del cauce.

Como, debido a las socavaciones producidas por las crecidas del río, y a pesar de haber conseguido la verticalidad, no se presentaban perfectamente paralelas en planta las secciones rectangulares terminadas en semielipses, fué preciso tantear una serie de

dimensiones generales de pila en planta para encajarlas en las diferentes posiciones de la parte recrecida de los cajones ataguías. Este tanteo fué sobre todo difícil en las pilas 2.^a y 3.^a, para lograr, dentro del paralelismo, la posible igualdad de luces de los tramos, siempre conveniente.

Las pilas en su base (figuras 4.^a y 9.^a) tienen una parte central recta de 4,60 m de longitud por 3,48 m de anchura, que se prolonga por tajamares ojivales. Esta forma se modifica, mediante los taludes y re-

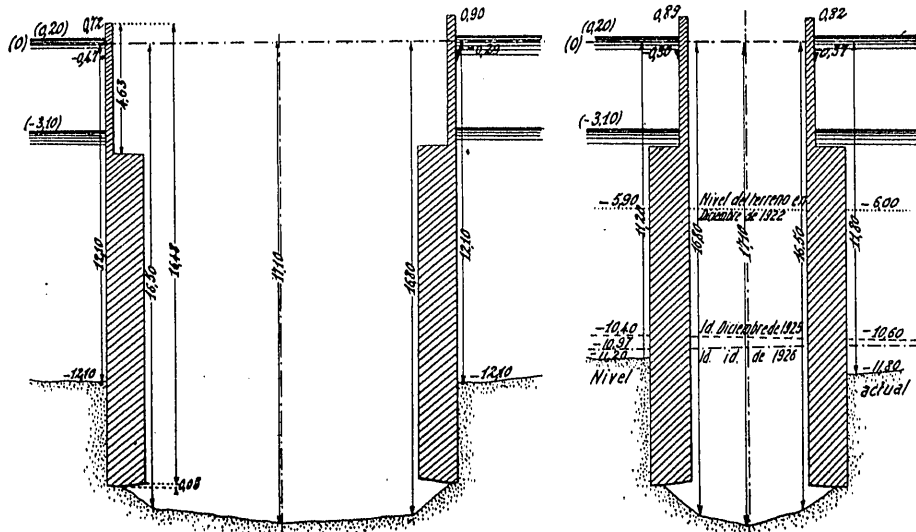


Fig. 6.ª Disposición del cimenco de la pila núm. 1, el 13 de junio de 1927, al empezar el macizado.

terminaba la sección recta de 6,10 m de longitud con dos tajamares semielípticos de 2,34 y 3,36 m de



Fig. 7.ª Instalación para inyecciones de cemento.

semiejes. La longitud de la parte recrecida es de 12,82 m, y la anchura de 4,68 m, o sea 2,44 m más reducida que la de los cajones de hormigón armado (figura 6.^a), y se apoyó sobre el macizado de las células, que como no deben quedar por bajo del nivel de las bajamares, fué preciso recortar el sobrante de los cajones. Así se demolieron en una altura de 1,50 m en el primer cajón, 1 m en el segundo y 2 m en el tercero. El cuarto quedó por debajo del terreno y las alturas de los cajones resultaron de 12 m, 11,40 m, 9,20 m y 8,60 m, respectivamente.

Las profundidades que alcanzaron los cajones enderezados después de recrecidos, con sus células macizadas, fueron las siguientes: pila 1.^a, 17,10 m; pila 2.^a, 17,36 m; pila 3.^a, 17,27 m, y pila 4.^a, 15,30 m. En la figura 6.^a se aprecia la pila 1.^a en el momento de estar dispuesta a rellenarse su parte central; mas antes de esto se hicieron en el terreno, lo mismo en ésta que en las demás pilas, inyecciones de cemento a presión (fig. 7.^a).

El macizado central se hizo totalmente en 4,5 m

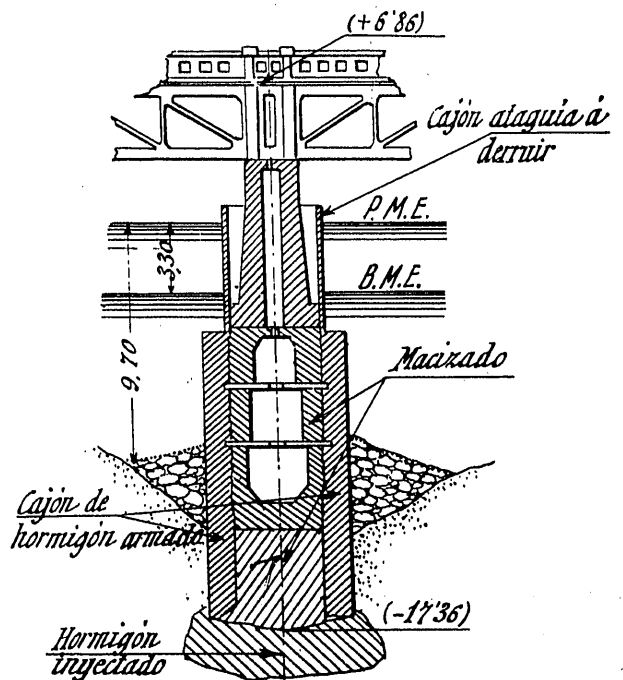


Fig. 8.ª Corte transversal de la pila.

tallos señalados en las figuras, en rectangular de igual longitud, correspondiente al fuste de las pilas

propiamente dichas. La figura 4.^a precisa en detalle la forma de las pilas en planta y alzado.

Los estribos tienen semipilas y están cimentados sobre pilotes de hormigón armado, en número de nueve el de la margen izquierda. El estribo propiamente dicho lleva doce pilotes de 13 m y las dos alas de los

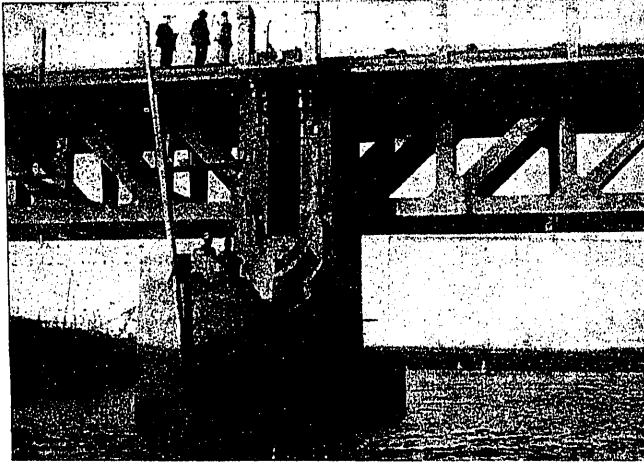


Fig. 9.ª Pila y recrecido comenzado a destruir.

muretes de contención seis pilotes cada una. El de la margen derecha tiene diez y ocho pilotes de 18 m en la semipila, treinta y dos pilotes de 15 m en el estribo y diez y ocho en los muros de acompañamiento. Estos últimos, de madera. En ambos estribos se hicieron por debajo de los pilotes inyecciones de cemento, a presión de 4 a 6 atmósferas, que consumieron 1 080 sacos de dicho material.

Los tramos rectos son isostáticos, que además de no dar empujes oblicuos en las pilas, cosa interesante en esta clase de terrenos, tienen la ventaja de no elevar la rasante como los arcos, para evitar grandes terraplenes y costosas avenidas en un terreno poco consistente. Consta cada tramo de dos cerchas de diez recuadros de alma calada, tipo de montantes estirados y diagonales comprimidas (fig. 1.^a). Los aparatos de apoyos son los propuestos por Zafra en la Colección oficial.

El número de cerchas propuesto fué al principio cuatro, que, como antes decimos, se redujo a dos, simplificando casi a la mitad la mano de obra de armaduras y moldes y reduciendo el ancho útil de las pilas, lo que facilitaba el encaje de que antes se habló. Además se aproximaba a la viga en II preconizada por Zafra. La distancia entre ejes de cerchas resultó de 3,20 m (fig. 4.^a), ahorrándose, con respecto a la solución de cuatro cerchas, una longitud de pila de 1,55 m.

Para llegar a la solución más conveniente se compararon tres soluciones de dos cerchas, otra de cuatro y las de los modelos oficiales de Zafra, de 32 y 36 m de luz. Se llegó a la conclusión de que la solución de dos cerchas es más robusta que la de cuatro para el puente de 32 m de luz de Zafra, y todavía se tantearon y discutieron las dos soluciones correspondientes a dos vigas, para llegar, junto con la seguridad deseada, a una racional economía.

La comprobación de las secciones de las vigas principales está prescrito que se haga con las sobrecargas reglamentarias, o sea con un cilindro de 20 toneladas cargando 8 sobre el eje delantero y 12 sobre el eje pos-

terior, que ocupa un espacio de $6 \times 2,50$ m, y en la parte que no ocupa este rodillo, incluso aceras, una sobrecarga uniformemente repartida de 450 kg/m^2 . Como acción directamente ejercida por el rodillo sobre la cercha más próxima, toma el Sr. Aragonés, autor del proyecto, los $3/4$ (que son los $2/3$ de Zafra), y a ellos suma $3/4$ de la carga uniforme. En definitiva: $3/4$ carga de acera inmediata, $3/4$ rodillo, $1/4$ media calzada y $1/4$ acera alejada.

El intradós de las vigas tiene forma de arco de circunferencia, y aunque tal vez por ello podía haberse prescindido del peraltado para evitar el mal efecto de su flecha en el desencofrado, se prefirió hacerlo así en la forma prescrita por Zafra en el artículo R. del Pliego de Condiciones de su Colección oficial de puentes, dando una contraflecha de una milésima de la luz en el centro, haciéndola decrecer parabólicamente hacia los extremos.

El trasdós está definido por otro arco de circunferencia tangente en los ejes de los caminos de sirga a las rampas de acceso.

Aunque en líneas generales el Sr. Aragonés sigue en la disposición de vigas y tablero las ideas de Zafra, introduce algunas modificaciones dignas de notar. Para dar rigidez a las vigas principales y más continuidad al tablero, que de este modo repartirá más por igual las cargas (pues, según expresión del señor Aragonés, «no se fía mucho de la zona interesada en los forjados por cargas concentradas»), se provee al forjado de viguetas transversales superiores (figura 10) situadas sobre los montantes, formando recuadros de 3,20 m de luz teórica y separación variable de tramo a tramo, como consecuencia de la desigualdad de luces: 2,845 m en el primero, 3,130 m en el segundo, 3,247 m en el tercero. La luz de cálculo entre extremos de cartabones de estas viguetas es de 2,60 m, y se calcularon como empotradas en sus secciones extremas, armadas simétricamente, resistiendo a su propio peso, al del forjado y al cruce de dos cilindros de 20 toneladas.

Otra particularidad que los distingue de los modelos oficiales es que el forjado se encuentra achaflonado longitudinalmente, salvando una luz de 3,05 m en el tramo central, que es el mayor.

Los tableros están divididos en recuadros de



Fig. 10. Disposición de la parte inferior del forjado.

$3,20 \times 2,845$ en el primer tramo, $3,20 \times 3,13$ en el segundo y $3,20 \times 3,247$ en el tercero, y se calculan como una placa empotrada en su contorno. Para las cargas permanentes se toma $2 500 \text{ kg/m}^3$ como densidad del hormigón armado y $2 000 \text{ kg/m}^3$ como densidad del pavimento, dando un total de 760 kg/m^2 .

El forjado se calculó como placa rectangular con coeficientes de repartición de momentos según la relación de sus dimensiones.

En los vuelos se hizo también la hipótesis más desfavorable de carga, y en vista de la importancia del momento flector, se calcularon, además, los que correspondían a puntos angulosos del vuelo a 0,50 y 1 m del origen considerado.

Entre apoyo y apoyo de dos tramos consecutivos, quedan unos espacios cuyos luces varían entre 1,28 y 1,18 m, que se hormigonaron más tarde, en cuyos lados mayores se ponían las pletinas metálicas del pavimento, que permitiesen la libre dilatación de los tramos. Estas plataformas se calculan resistiendo a su peso propio y al cruce de las ruedas traseras de un cilindro de 20 toneladas en su posición más desfavorable.

Las viguetas de arriostamiento inferior se ajustaron a los cálculos de Zafra, a pesar de que al autor le parecían exageradas; pero en este puente tienen una importancia especial, por ser navegable el río y no resultar muy grande la altura libre bajo del intradós en pleamares (3,26 m sobre el cero), lo que las expone a choques.

La acción del viento se supuso de 270 kg/m² sobre la primera cercha y de 230 kg/m² sobre la segunda.

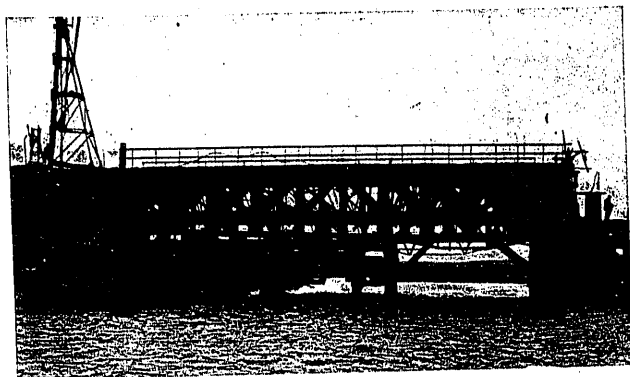


Fig. 11. Cimbra de madera sobre pilotes.

La disposición del puente-cimbra para sostén del encofrado fué difícil e interesante. En el proyecto se adoptaron palizadas de madera que alcanzaban hasta 20 m de longitud, con la dificultad del escollerado y la hincada de los pilotes en la proximidad de las pilas. Si quedaban, en efecto, las palizadas a distancia menor de la de 5 m prevista para la escollera, cabía hincar aquéllas primero, para después hacer el escollerado; pero como no había seguridad del tiempo en que se puede efectuar la hincada, el dilema era el pasar un invierno sin escollera o hacer las palizadas antes del invierno y correr el riesgo de confiar en su resistencia a las crecidas, cosas ambas bastante aventuradas, sobre todo en los tramos centrales. Por eso se decidió el Sr. Aragonés a conservar las palizadas para las cimbras de los tramos extremos y emplear en las tres del centro cimbras con apoyos intermedios, que podían ser armaduras rígidas de las que colgaran los moldes o cimbras que insistan tan sólo sobre los apoyos del puente. La primera solución es recomendable para arcos en que domina el trabajo de compresión y en los que la cuantía del hierro es pequeña, compensándose con ello la defectuosa adherencia del hormigón a los perfiles laminados; pero el caso que se presentaba era otro. La cabeza inferior

está solamente estirada y es de dimensiones reducidas; la superior no es mayor, y una y otra requerirían ser ejecutadas con muchos hierros de pequeña sección, y no con chapas y grandes piezas, lo que com-

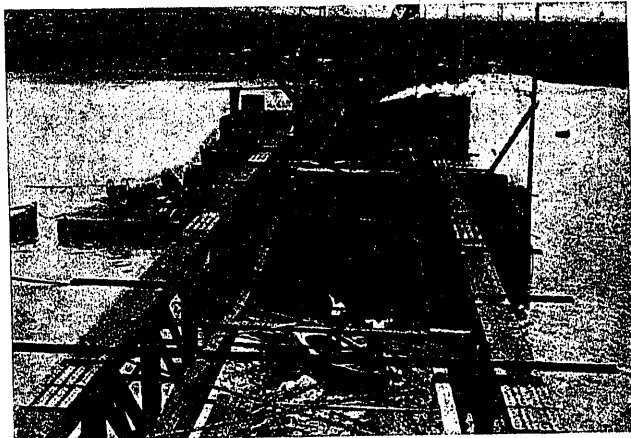


Fig. 12. Cimbra metálica para el encofrado.

plicaría enormemente la mano de obra, que habría que multiplicar por el número de aquéllas, mayor del que convenía, aun reducido a su mínimo.

El primitivo proyecto preveía cuatro cerchas por tramo, en total veinte cerchas, de las cuales, por la disimetría del puente, resultaban diez y seis distintas. La solución de cuatro cerchas por tramo bien está para arcos que no traen complicación alguna, pues da esbeltez al conjunto y ahorra espesores del tablero sin encajarse sensiblemente el resto.

Reducidas a dos las cerchas, ya no había sino ocho distintas, que concretadas únicamente a los tres tramos centrales dan cuatro diferentes, aproximándose, además, a los modelos oficiales de Zafra.

Como resultado de un concienzudo estudio respecto a la conveniencia y elementos disponibles para la aceptación de armaduras rígidas o de cimbras colgadas, se fué a la solución de dos cerchas metálicas (figuras 12, 13 y 14), para formar un puente sobre el cual hacer los tramos, y una vez hechos los primeros pasarlos a los otros. Esto obliga a esperar el fraguado completo de uno de ellos para empezar el siguiente; pero se puede ganar tiempo preparando en la montea moldes y armaduras de tal modo que, una vez colocado el puente metálico, sea cuestión de unos días el montaje de aquéllas y aun el hormigonado.

Estas armaduras deberán resistir el peso de los

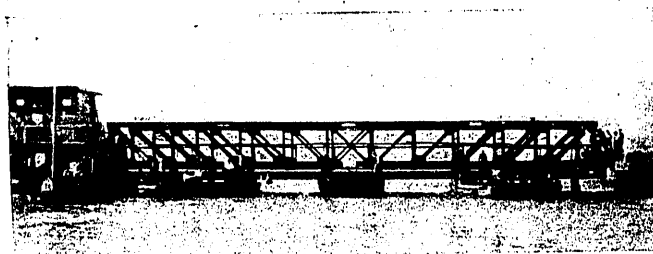


Fig. 13. Cimbra metálica para la construcción de los tramos centrales.

tramos (excepto pavimento, balaustrada y aceras, que se ejecutarán posteriormente), el peso propio, moldes, viguetas y sobrecargas accidentales. Se hicieron vigas metálicas de 3 m de altura total con montantes com-

primidos y diagonales tensas (figuras 13 y 14), divididas en once recuadros, con el fin de que no quedara ningún montante suyo frente a otro de las cerchas del puente definitivo.

Se pensó primero en utilizar un solo tramo metálico de 31,30 m de luz, que serviría para cubrir la

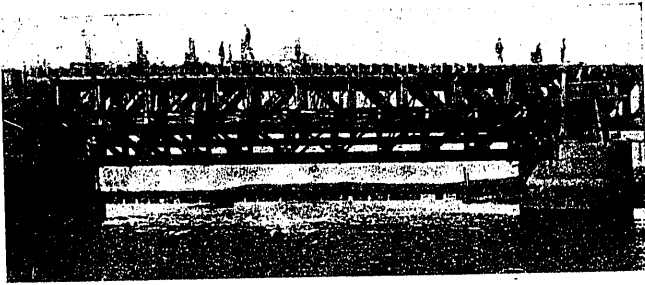


Fig. 14. Cimbra metálica y encofrado.

de 30,23 mínima del tramo central, y cortando un recuadro para los segundo y cuarto, de 30,13 m, comprobando que no hubiera sido necesario la colocación de la diagonal inversa, correspondiente a la resistencia a los esfuerzos cortantes negativos en el recuadro contiguo al central, por efecto de la disimetría y de la carga variable. Se adoptaron en definitiva dos tramos metálicos distintos, uno para el central, tercer tramo, y otro para los dos adyacentes segundo y cuarto tramos de luces, uno de 29,63 a 30,13 m, y el otro de 30,80 a 31,30 m.

Sobre estos tramos metálicos, una vez colocados, se pusieron los moldes (fig. 14), nivelando los encofrados para obtener las cotas del intradós y trasdós de las vigas, convenientemente acañados, para rectificarlos en cualquier comprobación anterior al hormigonado, como así se hizo.

Calculadas las cotas, según la ecuación de la circunferencia y peraltados parabólicamente, sufrieron ulteriores correcciones, para evitar garrotes por diferencias de nivel en los apoyos, respecto a lo supuesto en el proyecto, y por flexión de cimbra parabólica con un máximo central de 1/800 de la luz.

Se hormigonaban primeramente las cabezas inferiores y riostras; después los montantes y diagonales, y sobre estas partes hormigonadas se extendía el encofrado del piso y cabeza superior (fig. 15), hormigonando éste totalmente, habiéndose llegado a poner 60 a 70 metros cúbicos en diez y seis a veinte horas, con intervalos de medias horas para comer y cenar. El hormigonado comenzaba por los dos extremos del tramo, para evitar disimetrías de carga, y avanzaba hacia el centro del mismo. Se hormigonaron en el or-

den siguiente: 1.º, 5.º, 2.º, 3.º y 4.º. El desencofrado total se hacía a los treinta días, quitándose las cuñas inferiores paulatinamente, de los extremos al centro, aflojando por igual las simétricamente colocadas. Es operación interesante la colocación y el sacar el tramo metálico, una vez desencofrado, aprovechando el juego de las mareas, empleando pontonas (fig. 13) de hormigón armado.

Tal es, a grandes rasgos, el puente proyectado y construido por D. Pascual Aragonés. El primitivo proyecto, de varios tramos en arco, fué aprobado en marzo de 1923, suspendiéndose las obras en octubre del año siguiente, para practicar los sondeos que acordó la Administración. Mientras tanto, el Sr. Aragonés redactaba el proyecto que se ha realizado, reanudándose los trabajos en una de las pilas en octubre de 1926. En vista de las enseñanzas que ofrecían y para resolver en definitiva, la Administración del Protectorado requirió el informe de los ingenieros de Caminos especialistas, Sres. Ribera y Peña, profesores de la Escuela, cuyo dictamen, de acuerdo con el plan propuesto por el Sr. Aragonés, determinó que en julio de 1927 se acordara la continuación de las obras por administración y por su presupuesto de 993 191,35 pesetas. El coste total del puente, después de tantas vicisitudes, no ha llegado a 1 700 000 pesetas.

Queden estas mal hilvanadas notas como testimonio de admiración hacia el Sr. Aragonés, ya que con

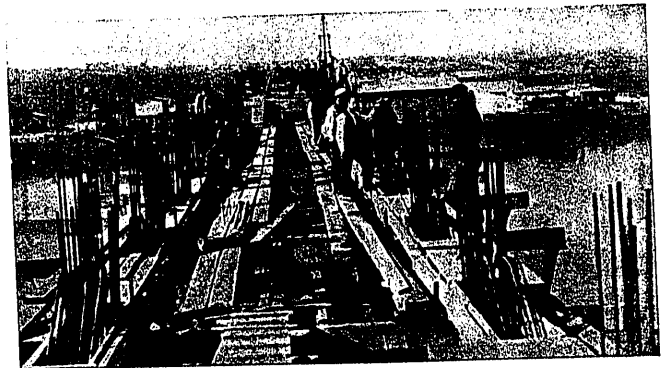


Fig. 15. Colocación de encofrados de la cabeza superior y tablero.

ellas es imposible dar completa idea de una obra que ha de enorgullecernos y ha de quedar como testigo, mudo pero elocuentísimo, de lo que puede una voluntad y una inteligencia puestas al servicio de una acción colonizadora la más interesante y para la que son pocos todos los elogios.

José GARCÍA AGUSTÍN
Ingeniero de Caminos

Impresiones de un turista en Escandinavia

II

Los tres países escandinavos, Suecia, Noruega y Dinamarca, con una población total de unos catorce millones de habitantes, aunque cercanos a Rusia, parecen pertenecer a otro planeta que aquel entristecido país.

En Rusia, el cruel despotismo de los zares, sustituido por la sangrienta dictadura roja; la incultura y un pagano misticismo; la aristocracia y la burguesía, aniquiladas; guerras continuas, siempre desastrosas; en resumen: revoluciones y represalias del terror blanco con la horca y Siberia, por el terror rojo con sus fusilamientos en masa.