

dos, es la captación de la corriente y procede, para disminuirlo, reducir todo lo posible la resistencia de contacto entre los frotadores y la línea. El empleo del cobre conduce probablemente al mejor contacto realizable entre hilo y frotador, y esta es sin duda la causa de que se haya impuesto para la captación de corrientes intensas. Esta es también la razón de que deba, a nuestro juicio, renunciarse a los frotadores de grafito, que aparte de otros inconvenientes, tiene el fundamental de ofrecer una resistencia de contacto elevada con el hilo de trabajo.

La superioridad del cobre parece manifiesta, porque como su desgaste está con el del aluminio en la misma relación aproximada que sus densidades respectivas, puede disminuirse en esta proporción la altura de los frotadores de cobre respecto a los de aluminio, con lo que se anula la ventaja más importante de éste, que es su pequeña densidad.

Respecto a la calidad de cobre que debe emplearse, creemos debe ser de dureza igual o algo inferior a la del hilo de trabajo, y la razón es la siguiente: es inevitable que accidentalmente, por defectos de la línea u otras causas, se produzcan arcos o golpes que ocasionan rugosidades en el frotador, a pesar del empleo de un metal poco fusible; estas rugosidades serían peligrosas para la vida de la línea si se emplearan frotadores más duros que el hilo de trabajo. Esta es otra razón que hace inadmisibles el empleo del grafito, como hemos podido comprobar prácticamente por la acumulación, en las cubiertas de los coches, de polvo de cobre, procedente de la línea y debido a roturas superficiales, accidentales, de frotadores de esta sustancia, cuya fragilidad es notoria.

Resumiendo: los frotadores deben ser, a nuestro juicio, de cobre, de dureza igual o algo inferior a la

de la línea, por ser menos fusibles que los de aluminio y aun que los de bronce y latón, de dureza no excesiva, peso comparable a los de aluminio y mínima resistencia de contacto.

Un detalle muy interesante para el buen funcionamiento de los frotadores es que estén bien engrasados. Esto se consigue mediante canales de engrase bien proporcionados, que se llenan de grasa consistente o valvolina y grafito.

En cuanto al soporte de los frotadores debe ser ligero, dentro de las condiciones de resistencia necesarias, y puede construirse de chapa embutida o de aleaciones de aluminio; hemos utilizado con éxito los soportes de chapa provistos de cuernos de la misma materia.

Presión sobre el hilo de trabajo

Hemos visto en la teoría de la línea aérea que la presión más conveniente es igual a la mitad del peso de un vano. En nuestro caso, el vano normal es de 18 metros; pero existen en las curvas vanos reducidos de 15 y 10 m; además, tenemos dos tipos de hilo. Por todas estas razones hay que adoptar un valor medio de la presión, que hemos fijado en 10 kg, y con el que se consigue un buen funcionamiento en los distintos vanos y con las dos clases de hilo de trabajo.

No tiene gran importancia el que la presión sea la teórica, puesto que hemos visto puede variar entre límites bastante amplios sin que las aceleraciones del frotador sean considerables, siempre que no haya gran diferencia entre las presiones de las tomas de corriente en el sentido ascendente y en el descendente.

En otro artículo describiremos las tomas de corriente y en un apéndice detallaremos los cálculos para determinación de la masa equivalente.

El puente sobre el río Tajo, en Alarza

El día 19 de diciembre se ha terminado la construcción de un nuevo puente sobre el río Tajo para



Fot. 1.ª Perspectiva general, según el proyecto

lino de Alarza, de cuyo proyecto e inspección de las obras he estado encargado.

Consta de un arco central de 70 m de luz y 17 de flecha, formado por dos bóvedas gemelas de hormigón armado, siendo, por consiguiente, en este sistema, el mayor construido hasta el día en España. Tiene, además, dos tramos laterales de hormigón armado de 20 m de luz cada uno, y los apoyos correspondientes.

El lecho, formado por grandes cantos graníticos, sobre los que discurre el río a torrencial velocidad debida a estrechamientos del cauce, ofrecía grandes dificultades para cimentar apoyos en él. En cambio, en las laderas de ambas márgenes, aparece la roca granítica con una solidez difícilmente superada.

Un detenido estudio del régimen del río, con datos de once años que han podido reunirse, nos ha servido, tanto para fijar el desagüe, altura, etc., como para determinar la marcha más conveniente para los trabajos. Resulta de ellos que en el mes de enero, si bien las crecidas extraordinarias no suelen presentarse, existen, sin embargo, avenidas importantes de 660 y 440 m³ por segundo con alturas de 7,35 y 5 m, respectivamente, sobre el nivel de estiaje; en el mes de febrero se presentan ya fuer-

la carretera de Guadalupe a Navalmoral de la Mata, en la provincia de Cáceres y sitio denominado Mo-

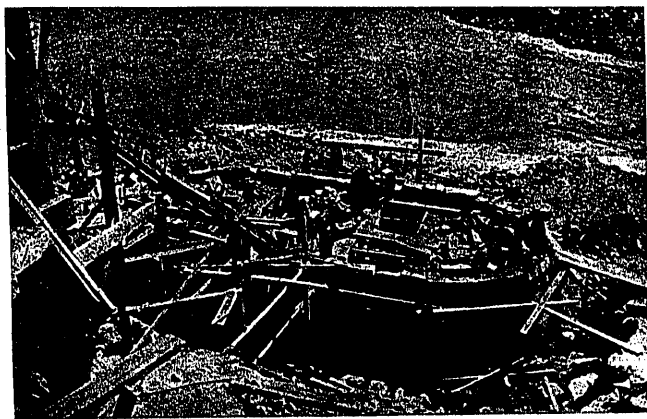
tes avenidas con gran irregularidad, llegando a 720 metros cúbicos por segundo, con alturas de 8 m; sigue igual variabilidad en el mes de marzo, llegando también a avenidas de igual importancia que en el



Fot. 2.* Los primeros trabajos (15-12-28)

mes anterior, y comienzan a presentarse crecidas menos importantes en abril, alcanzando, no obstante, 470 y hasta 620 m³ por segundo, con alturas de 5,30 y 6,87 m sobre estiaje; en el mes de mayo, la máxima registrada en los once años ya alcanza solamente 274 m³ por segundo, es decir, 3,11 m de altura sobre el estiaje; en junio sólo llega a 179 m³, por segundo, que representa 2,07 m sobre estiaje, y en julio, agosto y septiembre no se presentan avenidas de alguna importancia, siendo la máxima en julio 119 m³ por segundo, o sea, 1,38 sobre estiaje; en octubre alcanza 174,8, con 1,97 m; en noviembre 340 m³ por segundo, con 3,80 m, siendo ya en esa época frecuentes las superiores a 100 m³ por segundo, y, por último, en diciembre, se establece francamente el régimen de grandes avenidas, presentándose algunas hasta de 720 m³ por segundo, con 8 m de altura sobre estiaje. La mayor crecida que en cien años se recuerda, la de 1876 (que también es la mayor conocida para el Guadiana), alcanzó 15 m sobre estiaje.

En crecidas, aun sin ser extraordinarias, es fre-



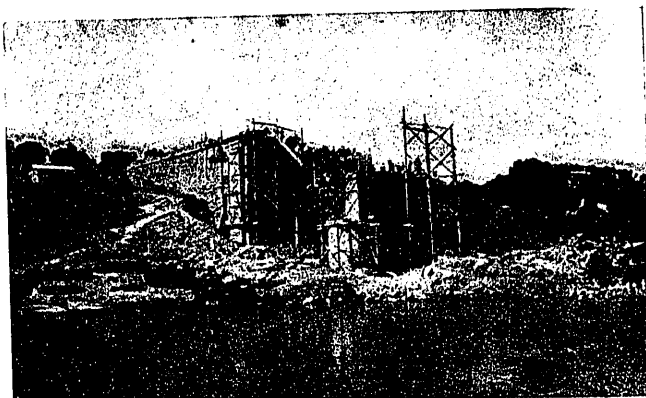
Fot. 3.* Construcción de la pila-estribo de la margen derecha (18-3-29)

cuente que la corriente alcance en aquel paraje velocidades de 5 m por segundo y aun mayores.

Dedujimos del estudio que a grandes rasgos acabamos de resumir, que los meses adecuados para

los trabajos en que son menos de temer los efectos de las crecidas, tales como instalación de cimbras, hormigonado de las bóvedas, etc., son los de julio a octubre, inclusive, y los de enero a abril, los más inadecuados. En esta forma se organizaron y desarrollaron los trabajos, como luego expondremos.

Para el estudio del desagüe prescindimos de consideraciones teóricas, inaceptables casi siempre, y en virtud de los datos de aforos, observaciones directas, etc., se fijó el lineal en 110 m, quedando la



Fot. 4.* Estribo y pila-estribo de la margen derecha (30-5-29)

rasante a 24 m sobre el nivel de estiaje, altura ésta ya fijada por el trazado de la carretera.

El tramo central está constituido, como al principio se dijo, por dos bóvedas gemelas. Tienen éstas un espesor en la clave de 1,20 m y 2 m en los arranques, arriostradas en las verticales de las palizadas por piezas de 0,30 x 0,30. Dos largueros de 0,90 por 0,20 se apoyan en el arco por medio de ocho pilares de sección cruciforme y altura variable. Van arriostrados transversalmente los pilares, en la mitad de su altura, en aquellos en que ésta es de 11 m,



Fot. 5.* Encofrado para el tramo recto de la margen izquierda (18-6-29)

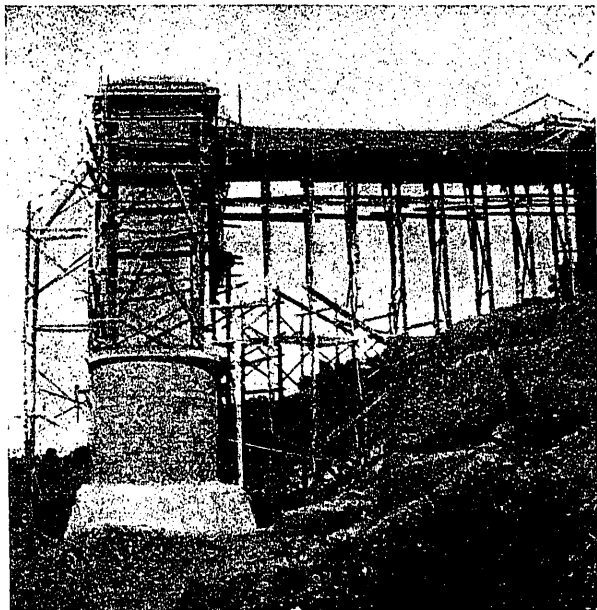
que son los de mayor longitud. La distancia entre ejes de pilares es, en el sentido longitudinal, de 5 metros y de 4,30 en el transversal. Enlazando estos pilares con las vigas transversales o viguetas de 0,20 x 1, y en el eje del puente, va una tercera viga longitudinal de sección 0,90 x 0,20. Queda así el forjado enlazado con tres vigas longitudinales en vez de dos, que es lo corriente, con lo que obtenemos una disminución de aquél, una mejor repartición de esfuerzos transmitiéndose el del larguero cen-

tral a los montantes por medio de las viguetas, y, logrando así un menor peso para todo el tablero, circunstancia digna de tenerse en cuenta en elementos sustentados por arcos.

La distancia entre ejes de largueros resulta de 2,15 metros, y su disposición general durante la construcción se observa en las figuras 11 y 13.

El firme está constituido por adoquín microgra-

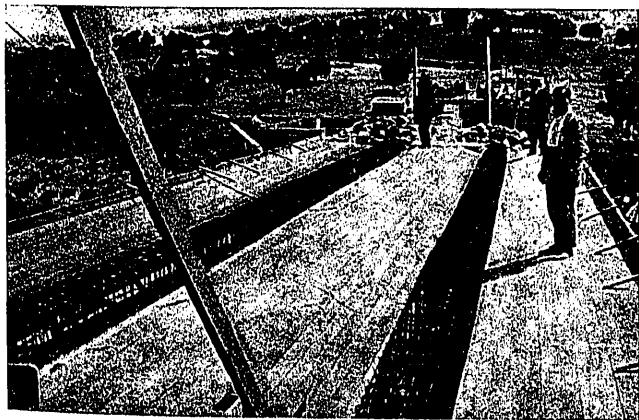
protegen a éstos de la acción de las crecidas y sirven de apoyo al tablero del tramo en arco y a los tramos rectos laterales. En la pila-estribo de la margen izquierda (lado de Guadalupe) el cuerpo del zócalo,



Fot. 6.ª Encofrado para el tramo recto de la margen derecha (18-6-29)

nítico del Guadarrama sobre un lecho de mortero. El ancho de la calzada es de 4,50 m y de 6,05 el total entre ejes de barandillas.

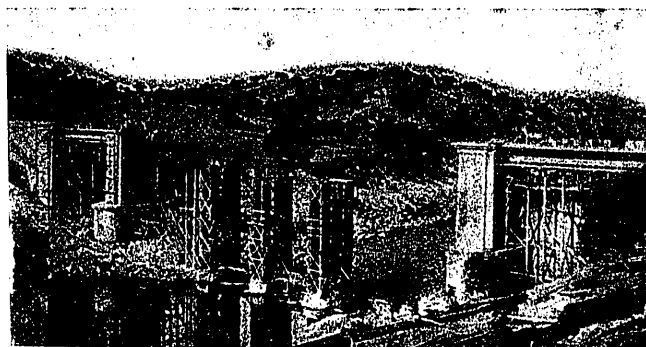
Los andenes van sostenidos por un larguero exterior, apoyado por medio de ménsulas sobre los montantes. La barandilla de montantes de tubo forjado y barras de redondos va interrumpida en las verticales de las palizadas por otros montantes de hor-



Fot. 7.ª Armaduras de los nervios de los tramos rectos (25-6-29)

migón armado que aseguran aquélla contra los empujes horizontales y contribuye a la decoración. Esta sólo se logra con la ponderación de líneas y masas, no con adornos inadecuados al objeto y lugar de ubicación.

Sobre los empotramientos de los arcos en la roca se elevan las pilas-estribos que por su peso contribuyen a la estabilidad de los arranques del arco,



Fot. 8.ª Castilletes para la cimbra del arco (1-8-29)

así como los cimientos, son de hormigón hidráulico, y los tajamares, indispensables en lugares de corriente tan impetuosa, son de sillería granítica, así como el zócalo e imposta. La altura del zócalo es de 5,70 m y el ancho 5 m. El fuste de la pila, con paramentos en talud de 1/50, tiene 11,50 m de altura hasta la caja del firme y es de mampostería ordinaria hidráulica en el cuerpo, concertada en paramentos y hormigón moldeado en las aristas. La imposta y pretilos son también de hormigón moldeado.

La otra pila-estribo, esto es, la de la margen derecha (lado de Naval Moral), es idéntica a la anterior desde la base del zócalo; pero entre ésta y el cimient

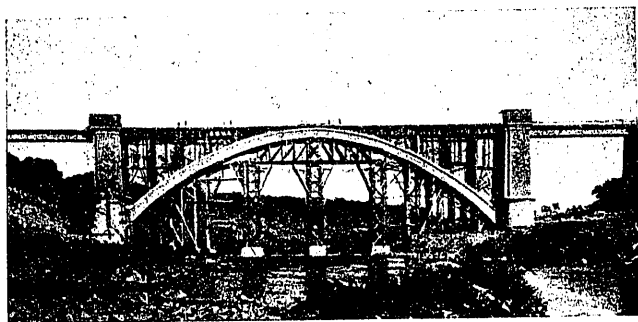


Fot. 9.ª Colocación de la armadura de la bóveda (1-9-29)

existe un basamento cuyo objeto es salvar la diferencia de nivel entre los emplazamientos de ambas pilas, ya que el terreno en ésta se encontraba unos cuatro metros más bajo que en la anterior. Este

basamento es de sillería en sus paramentos, también con tajamares, y de hormigón hidráulico en el cuerpo.

Los estribos sustentan, con las pilas-estribos, los tramos rectos laterales de 20 m de luz. El estribo de la margen izquierda tiene 3 m de altura de zócalo; su imposta 0,70, situada a la altura de las máximas



Fot. 10. Cimbra, bóvedas ya hormigonadas y moldes del piso (1-11-29)

crecidas, y, por último, un cuerpo de 10,60 m de altura hasta la imposta de coronación. Es de mampostería ordinaria hidráulica en el interior y concertada en los paramentos. La altura total del estribo es de 15,20 m y tiene 2,30 de espesor en la coronación y talud exterior de 1/50, y retallos interiores de 0,20 metros cada 1,50, resultando un espesor en la base de 4,10 m. Los paramentos del zócalo y aristas del cuerpo son de hormigón moldeado, así como las impostas y pretiles, dispuestos de modo análogo a los de las pilas estribos.

Se enlaza este estribo con los muros de acompañamiento, rectos para esta margen.

El estribo de la margen derecha carece de zócalo, ya que se encuentra el terreno más elevado que en la otra ladera. Tiene 2 m de espesor en la coronación, talud exterior de 1/50, retallos de 0,20 cada 1,50 en su interior y 11,70 m de altura, con 3,83 de espesor en la base. Las fábricas son de igual naturaleza que en el anterior, así como la imposta, pretiles, etc., y se enlaza con los muros de acceso, que son curvos en esta ladera.

La disposición general que correspondía al proyecto estudiado se observa en la perspectiva que se inserta.

La sobrecarga de cálculo es la constituida por el llamado tren núm. 2 de la vigente Instrucción oficial para el cálculo de tramos metálicos.

Para el cálculo del forjado, con la disposición adoptada de tres largueros, sólo hubo que considerar los esfuerzos aislados sin cruce alguno, ya que cada una de las dos zonas de aquél sirve a una sola dirección del tránsito; el máximo corresponde al paso de la rueda del eje posterior de la apisonadora de 20 toneladas. Las máximas cargas de trabajo unitario encontradas en el cálculo fueron de 35,47 kg/cm² para el hormigón y 915,83 para la armadura.

Los andenes se calcularon para 450 kg/m² de carga estática.

El cálculo de los largueros se realizó teniendo en cuenta que únicamente el central admite la hipótesis de cruce de carga; en estas condiciones, la hipótesis más desfavorable es la relativa al cruce de dos tranvías tipo. Fijada la carga, se calcula el larguero como semiempotrado en las viguetas y apoyado en la pila-estribo siguiendo los procedimientos que estudió Zafra en su *Cálculo de estructuras*. Se obtie-

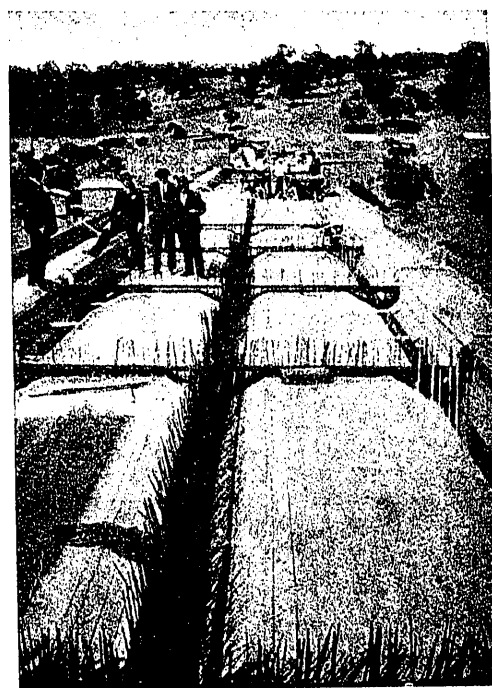
nen así unas fatigas unitarias máximas de 50 kg/cm² para el hormigón; 604 en la armadura inferior y 635 kg/cm² en la superior, cargas que tienen lugar en el tramo extremo del larguero central.

Para todo el cálculo, tanto de los largueros como de los pilares de las palizadas, se ha hecho aplicación del capítulo del pórtico múltiple de la obra citada.

Los pilares de las palizadas se estudian primero con las cargas de flexión y a ellas se agregan las que corresponden a las compresiones axiales, comprobando si las totales resultantes son admisibles, teniendo en cuenta el coeficiente de seguridad preciso para que no se produzca el pandeo.

Se disponen los pilares con sección cruciforme para calcular uno de los brazos resistiendo en el sentido de su mayor dimensión a las flexiones transversales y el otro brazo a las longitudinales. La sección que se obtiene, en el caso más desfavorable, es de 0,70 por 0,70 entre envolventes.

El método seguido para el cálculo de las bóvedas gemelas es el derivado del trabajo elástico, haciendo la estructura isostática previamente y determinando, por la aplicación del teorema de Castigliano, los recorridos prácticamente nulos de las tres reacciones tomadas como independientes. Las cargas tenidas en cuenta son las transmitidas por los montantes, en los casos más desfavorables; el peso propio; la variación de temperatura, para una oscilación de 30°, aunque muy amplia necesaria en clima de variaciones tan extremadas como el de Cáceres; se ha tenido también en cuenta la retracción del fraguado, que eleva considerablemente las fa-



Fot. 11. Armaduras de largueros y viguetas para el piso del tramo en arco (1-11-29)

tigas unitarias y que en pocos proyectos hemos visto sin embargo evaluado, siquiera sea con la aproximación que puede hacerse; y, por último, la acción del viento, a razón de 270 kg/m², prescindiendo en este caso de las sobrecargas accidentales y determinando en cada sección los momentos flectores, la

torsión y los esfuerzos tangenciales que se producen.

La línea media del arco, que en el primer proyecto era una parábola de segundo grado, fué en el definitivo la curva de presiones debida a la carga permanente.

Resulta en estas condiciones el trabajo máximo en la sección de empotramiento, y vale $43,2 \text{ kg/cm}^2$ para el hormigón y 825 kg/cm^2 para la armadura, formada ésta por redondos de 32 mm prolongados hasta el macizo de cimientos de las pilas-estribos.

Para los cálculos del primer proyecto presentado y disposición general del mismo, nos prestó muy eficaz ayuda nuestro antiguo discípulo y hoy distinguido compañero D. Juan Reguart.

Comenzados los trabajos a primeros de diciembre de 1928, se procedió a la preparación de los muros de acceso y excavación para cimientos de pilas y pilas-estribos. Terminadas las excavaciones a mediados de enero siguiente, a profundidad de 3 a 5 metros en la roca granítica de las márgenes, se procedió a la construcción de los macizos de cimentación, que quedaron perfectamente embutidos en roca por todos los lados. La disposición adoptada para el arco permitió realizar las cimentaciones sin gastar un céntimo en agotamientos, no obstante la época poco favorable para trabajos de este género.

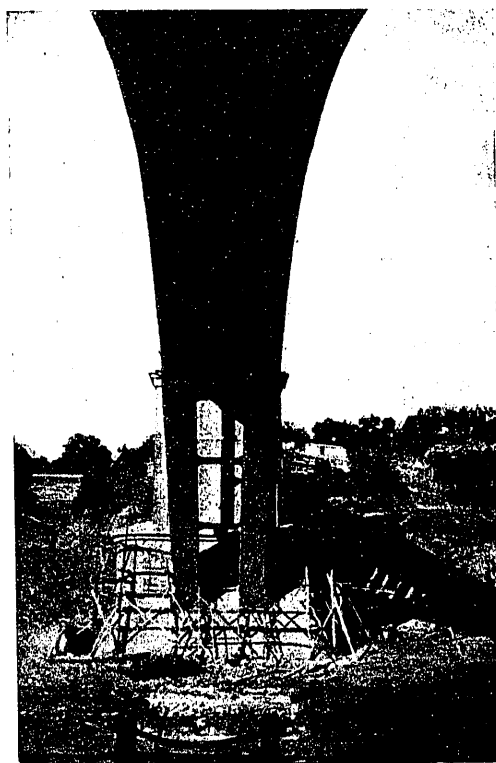
Como no había ni que pensar en preparar cimbras ni voltear bóvedas en aquella época, se procedió a la elevación de las pilas-estribos y estribos, dejando en los primeros los huecos para los arranques de los arcos, según se ve en la fotografía del estado de las obras en 18 de marzo.

Los estribos quedaron terminados a fin de mayo, estando a punto de terminarse también las pilas-estribos, según se observa en la fotografía núm. 4. Terminados los apoyos se procedió a la colocación de los encofrados para los tramos rectos laterales que se encontraron en disposición de ser hormigonados en 18 de junio (fotografías números 5 y 6).

Próximo ya el río a entrar en su régimen de estiaje y habiéndose terminado cuanta obra faltaba por hacer, salvo el arco central, se establecieron en el centro del río tres pilas provisionales para apoyar los castilletes de la cimbra. Estas pilas, provistas de sus tajamares, se formaron con sacos de cemento

tante varias crecidas hasta de 2 m de altura producidas durante las tormentas de estío, sino que aun hoy, en pleno invierno, se sostienen íntegras, pues todavía no fueron demolidas, esperando que alguna crecida nos ahorre este trabajo.

Estos castilletes quedaron casi terminados en 1.º de



Fot. 13. Bóvedas gemelas y parte inferior del tablero (7-12-29)

agosto (fot. núm. 8) y la cimbra completa quedó montada a primeros de septiembre.

Colocados los encofrados y armaduras (fot. núm. 9) se procedió al hormigonado de las bóvedas. Este se verificó en tres capas sucesivas, enlazadas con escalones para mejor trabazón, y calculado el espesor del primer anillo para resistir a su propio peso con objeto de prescindir, en caso preciso, de la cimbra sin terminar el hormigonado en todo su espesor. Se evitó así, además, que insistiese sobre la cimbra un peso excesivo, y, por otra parte, se llevó el hormigonado avanzando simultáneamente en la clave y los arranques, según diagramas de avance que se facilitó a la contrata. Se consiguió de este modo que la deformación de la cimbra solo acusase un aumento de flecha de *un centímetro*, cifra excepcional y acaso única, por lo escasa, en bóvedas de luz análoga.

Hormigonadas las bóvedas gemelas y desencofradas lateralmente, la obra se encontraba, a mediados de noviembre, en la situación que indica la fotografía núm. 10, en la que puede apreciarse la cimbra empleada.

La estructura del forjado del piso, tal como se encontraba en esta época, se indica en la fotografía número 11, pues en vez de aguardar al descimbramiento no vimos inconveniente alguno en continuar los trabajos de construcción de los demás elementos, y así nos lo confirmó luego la práctica.

A los sesenta días de terminado el hormigonado de las bóvedas se procedió al descimbrado. Para ello se desmontó antes la parte lateral de la cimbra



Fot. 12. El arco después de descimbrado (17-11-29)

protegidos en los paramentos con barras de hierro clavadas entre las rocas del fondo. La impetuosidad de la corriente en este paraje, aun en verano, obligó a una constante vigilancia de estas pilas. Sin embargo, no sólo resistieron durante el tiempo que fueron necesarias y sin reparación alguna, no obs-

y se aflojaron de manera simultánea las cuñas de apoyo de la viga armada sobre los montantes que constituía la parte central de la misma. Las observaciones durante el descimbrado no acusaron mo-



Fot. 14. Arco central 7-12-29)

vimiento alguno en las bóvedas. Quedó entonces el puente en la disposición que indica la fotografía número 12.

Durante todo el hormigonado se tomaron rigurosas medidas para prevenir los efectos del calor, ya que se registraron temperaturas hasta de 46° a la sombra.

Terminado después todo el tablero, montantes, andenes, etc., se procedió a la colocación del firme de adoquín y a ultimar los detalles de la construcción, terminándose las obras en 19 de diciembre de 1929,

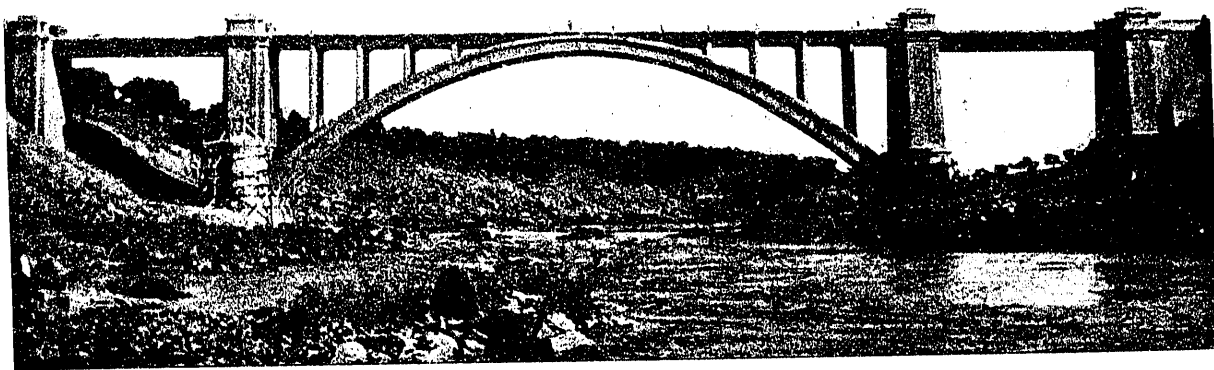
multáneamente en la apertura de todos los cimientos permitieron la pronta perforación de las rocas en que aquéllos se enclavan; hormigoneras de gran capacidad situadas en ambas orillas facilitaron la construcción de los apoyos y especialmente el hormigonado de las bóvedas gemelas. Para estas últimas, y ante la presencia de crecidas a que repetidas tormentas que ocurrieron en el mes de septiembre dieron lugar, se colocó una hormigonera en cada pila-estribo, tubos de vertido cada cinco metros y una instalación de alumbrado por gasolina que permitió un hormigonado sin interrupciones y con gran rapidez.

El cemento utilizado ha sido el de Valderrivas, y en ensayos con arena de la empleada en la obra, por cierto de excelente calidad, procedente del mismo río, se han obtenido compresiones de rotura hasta de 400 kg/cm^2 , con mortero de 1:3 y a los veintiocho días. La dosificación en obra fué en todo caso determinada experimentalmente, partiendo de 300 kilogramos de cemento por metro cúbico de hormigón para los tramos rectos y de 400 para el arco, sus montantes y tablero.

El presupuesto de ejecución material fué de pesetas, 618 424,33, y el de contrata de 711 187,98 pesetas. No hubo baja en la subasta.

Verificadas las pruebas reglamentarias, las máximas flechas observadas fueron inferiores a un milímetro en el arco y de 3,8 mm para los tramos rectos.

No terminaremos esta descripción sin hacer cons-



Fot. 15. Vista general del puente (7-12-29)

al año de haber sido comenzadas. Las fotografías números 13, 14 y 15 muestran diversos aspectos del puente concluido.

La rapidez, realmente grande, con que han sido realizados los trabajos ha sido debida principalmente; al empleo de cuantos medios se creyeron necesarios para ello. Los martillos neumáticos empleados si-

tar, pues ello es de justicia, nuestro elogio y satisfacción a la Casa constructora «Nueva Sociedad General de Construcciones», cuyo director técnico es nuestro querido compañero D. Juan Machimbarrena, y a los ayudantes que sucesivamente intervinieron en la inspección, D. Vicente Cruz y D. José Martínez Piqueras.

César VILLALBA
Ingeniero de Caminos