



***Reportaje en 5 fascículos
sobre el viaducto Martín Gil***

Fuente:

Revista de Obras Públicas, tomos de octubre de 1942 a febrero de 1943.

Por Castellón Ortega, Francisco; Villalba Granda, César; Salazar, Antonio; y Torroja Miret, Eduardo.

En línea:

- I. [Viaducto Martín Gil](#), 1942-oct., 90, tomo I (2730): págs. 500-510.
- II. [Viaducto Martín Gil](#), 1942-nov., 90, tomo I (2731): págs. 531-541.
- III. [Viaducto Martín Gil](#), 1942-dic., 90, tomo I (2732): págs. 579-589.
- IV. [Viaducto Martín Gil](#), 1943-ene., 91, tomo I (2733): págs. 17-25.
- V. [Viaducto Martín Gil](#), 1943-feb., 91, tomo I (2734): págs. 65-74.

VIADUCTO MARTÍN GIL

Por FRANCISCO CASTELLON (Jefe), CESAR VILLALBA, ANTONIO SALAZAR y EDUARDO TORROJA, Ingenieros de Caminos.

Como a continuación se detalla, el programa de este artículo y de los otros dos que sobre el mismo tema vamos a publicar, sólo nos queda en este punto el hacer constar nuestra satisfacción por dar cuenta de la feliz terminación de tan importante obra de ingeniería.

El ferrocarril en construcción de Zamora a La Coruña, cruza la zona de embalse que en el Esla forma la presa de Ricobayo, mediante el viaducto que acaba de terminarse y cuya bóveda central constituye hoy el arco de hormigón armado mayor del mundo.

PROGRAMA

Para dar a conocer las incidencias, los detalles y las enseñanzas que estas obras sugieren, los que hemos tenido el honor de intervenir en tan importante trabajo estamos redactando en la actualidad, y a punto de terminar, un libro en el que se recogen todos aquellos pormenores. Estos artículos no son más que un breve resumen del contenido de dicho libro, que dividimos en tres partes, que corresponden a los tres artículos que se van a publicar, pudiendo el lector que desee conocer más detalles, acudir al libro que citamos.

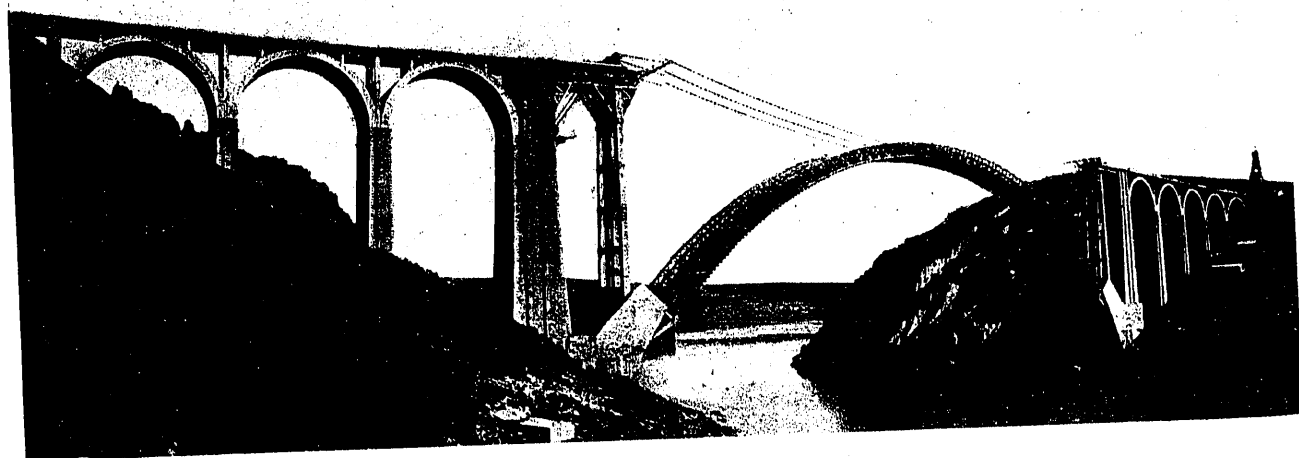
Refiérese este primero a los antecedentes, proyectos estudiados, adopción de un gran arco y modificaciones realizadas en el proyecto primitivo y durante la construcción de la obra. El segundo artículo comprenderá un resumen del cálculo del puente, salmeres, autocimbra y plan de hormigonado. Y por último, el tercero versará sobre la ejecución de las obras, medios

auxiliares, laboratorio de ensayos, fabricación y puesta en obra del hormigón, montaje de cimbras y autocimbra, puesta en carga de las roscas y dovelas y datos estadísticos.

CONSTRUCCION DE GRANDES TRAMOS

A medida que se han ido ampliando los conocimientos referentes a las estructuras y sus materiales, se han realizado muy grandes progresos en el cálculo y técnica de los puentes, especialmente en los arcos de gran luz, a la cabeza de los cuales figura hoy el del Esla.

Aun en época relativamente reciente, cuando Sejourné publicó su obra "Grands voutes", no podía citar como terminados en la completa enumeración que de arcos hacía, otra bóveda que la de Plänen, con 90 m. de luz, si bien ya estaba en proyecto el puente de Plougastel y otros de importancia. Rápidamente al ampliarse las posibilidades técnicas, se fueron sucediendo, pronto, puentes en los cuales se rebasaba la luz de 90 m., reputada como excepcional, que llegó a ser relativamente corriente; y así, viene el de Ville-neuve-Sur-Loir, con 96,25 m.; el del Riorgimento (Roma), con 100 metros; el viaducto de Langwies (Suiza), de 98,50 m.; el del Mississipi en Minneápo-



Cimbra de madera,

lis (E. U. de América del Norte), con 122 m.; el de Saint-Pierre de Vauvray (Francia), con 131,80 m.; el de Lacaille, con 139,80 m.; el de los Alpes Bávaros, con 130 m., y otros.

Cierra esta lista de grandes arcos, el año 1930, el puente de Plougastel, que consta de tres arcos de 186,40 m. de luz entre ejes; que mantiene su marca mundial hasta el año 1934, en el cual se termina el de Traneberg-Sund, en Estocolmo, con un arco de 181 m. de luz teórica, y 178,50 m. de luz libre.

Ya iniciada la construcción del viaducto del Esla, en 1934, con su arco de 209,84 m., se emprendió en Suecia la construcción del puente de Sandö, para el camino nacional Estocolmo-Haparanda, que con su arco de 264 m. de luz y 40 de flecha rebasaba el del Esla, pero el derrumbamiento de su cimbra de madera el 31 de agosto de 1939, durante el hormigonado del cordón inferior de 0,30 m. de espesor, determina, en definitiva, que sea actualmente el gran arco del viaducto del Esla el mayor del mundo.

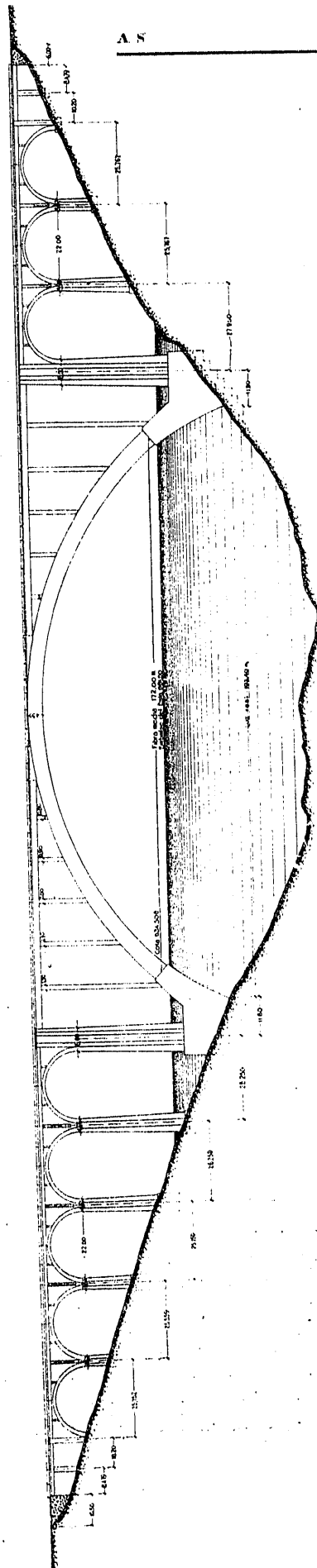
En resumen: los tres arcos de hormigón que actualmente están construídos, y que van a la cabeza de estas obras, tienen las siguientes características generales:

| | Plougastel. | Traneberg. | Esla. |
|----------------------|-------------|------------|--------|
| Luz libre. | 172,60 | 178,50 | 192,40 |
| Luz teórica. | 186,40 | 181,00 | 209,84 |
| Flecha. | 35,30 | 27,00 | 62,40 |

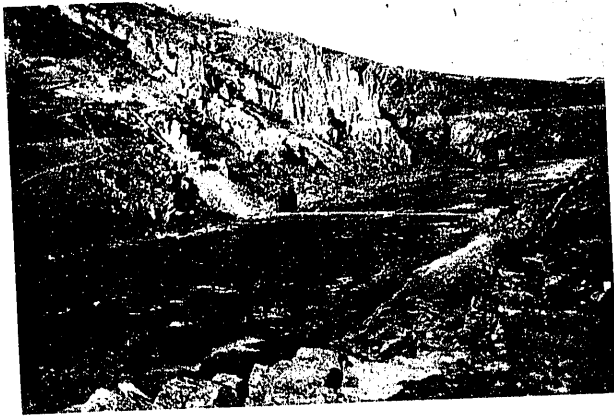
En lo que al porvenir respecta, se ofrece un amplio campo para continuar el trayecto en el cual constituye hoy el Esla el jalón más avanzado, limitándose más bien el camino por dificultades de realización práctica que por los conocimientos teóricos, actualmente en período éstos de interesantes estudios.

En efecto, las obras límites alcanzadas hasta el día para los diversos sistemas de puentes, son:

Para los arcos de hormigón, 210 m. (Esla); para los puentes rectos metálicos, 540 m. (Quebec); para los puentes rectos de hormigón armado, 140 m. (Yury); para los arcos metálicos, 500 m. (Sydney), y en el campo de las posibilidades, fija Lossier, prescindiendo del aspecto económico y de la realización práctica, 1 400 m. para arcos de hormigón; 1 600; para vigas continuas metálicas; 500 m. para vigas continuas de hormigón armado; 5 000 m. para puentes colgantes, y 2 600 para arcos metálicos, quedando, por consiguiente, las luces alcanzadas hasta ahora, entre el tercio y el séptimo de los límites deducidos, por lo que permitiría la resistencia propiamente dicha de los materiales. Por otra parte, en lo que a los arcos de hormigón se refiere, varias veces ha expresado Freyssinet la posibilidad de construir arcos de hormigón de más de 700 m. y aun de 1.000 m. (*Génie*



Alzado general.



Construcción de los apoyos de la cimbra, con el embalse vacío.

Civil, ag. 1921; Congreso Internacional de Hormigón Armado, Lieja, 1933; *Bouletín Technic. de la Suisse*, 1929, etc.).

Aun admitiendo que los límites alcanzados en estas condiciones deben ser reducidos al tratar de la realización práctica, queda, no obstante, un largo camino por recorrer en lo que se refiere a la construcción de grandes arcos.

Para realizarlo sería preciso, en la parte teórica, una selección cuidadosa de las teorías que se apliquen, ya que los límites de validez de las hipótesis consideradas, para los casos corrientes, se restringen al rebasarlos; concretándonos a las grandes bóvedas de hormigón, los supuestos usuales de elasticidad ideal de la materia y la corrección de la influencia de las deformaciones sobre el estado de las fuerzas elásticas, dejarán de ser admisibles; en la parte práctica, el empleo de materiales adecuados, aceros de alta resistencia, la puesta en obra del hormigón con pervibración y desaireación, el hormigón zunchado y de núcleos de fundición, etc., deberán ser también considerados, y, por último, ha de tenerse en cuenta como estudio muy preferente, el de las dificultades crecientes que la ejecución va presentando al aumentar la magnitud de los vanos salvados, que es el problema principal presentado en el Esla.

ANTECEDENTES

Corresponde el viaducto del Esla al trozo primero del ferrocarril de Zamora a La Coruña, cruzando el río en la zona del embalse de Ricobayo, de la Sociedad Saltos del Duero, con calados de 43.94 m. a embalse lleno.

Subastado este trozo, quedó desglosado, para ser objeto de especial estudio, dada la magnitud del problema, el cruce del Esla, en longitud de 470 m.

En febrero de 1929 fueron redactados al efecto dos proyectos de viaducto: uno, por el Ingeniero don

Antonio Salazar, como encargado de la construcción del trozo correspondiente, y otro, de D. Alberto Pérez Moreno. Comprendía el primer proyecto una serie de arcos de medio punto, de 20 m. de luz cada uno y tímpanos macizos, como viaductos de acceso, siete en la margen izquierda (lado Zamora), y cuatro en la derecha, enlazados sobre la zona de embalse con otros ocho, apoyados éstos, cada dos, en tres elevadas pilas, entre las que estriban ojivas en cuya clave se apoyan las pilas intermedias, presentándose como anejo una solución en la que las ojivas desaparecen y llegan las pilas hasta el terreno. El proyecto del Sr. Pérez Moreno estaba constituido por tres arcos de avenida en la margen izquierda y cinco en la derecha, todos iguales, de medio punto, de 15 metros de luz, con tímpanos macizos que encuadran, mediante pilas-estribos, un grupo de cuatro arcos de hormigón armado de 60 m. de luz, de directriz parabólica y tímpanos calados, con elevadas pilas de 60 m. de altura.

Examinados estos proyectos, resolvió la Superioridad que se estudiase con detalle la solución que, como anejo, presentaba el Sr. Salazar, por no encontrar adaptable al caso la primera, y ordenando al Sr. Pérez Moreno que realizase un estudio de refuerzo de las elevadas pilas. Por ello, redactó el Sr. Bellido, en agosto de 1929, un proyecto que responde a la idea sugerida en el mencionado anejo, constituido por 19 arcos de medio punto, de 20 m. de luz, arriostando las elevadas pilas que resultan para los arcos de la zona de embalse, con una plataforma horizontal a la altura de éste.

Mas dada la importancia del problema, se ordenó a la Jefatura de Puentes, en 17 de noviembre de 1929, que los Ingenieros de la misma ampliasen, junto con el Sr. Pérez Moreno, el proyecto de viaducto presentado por éste, e informase, además, sobre el asunto.

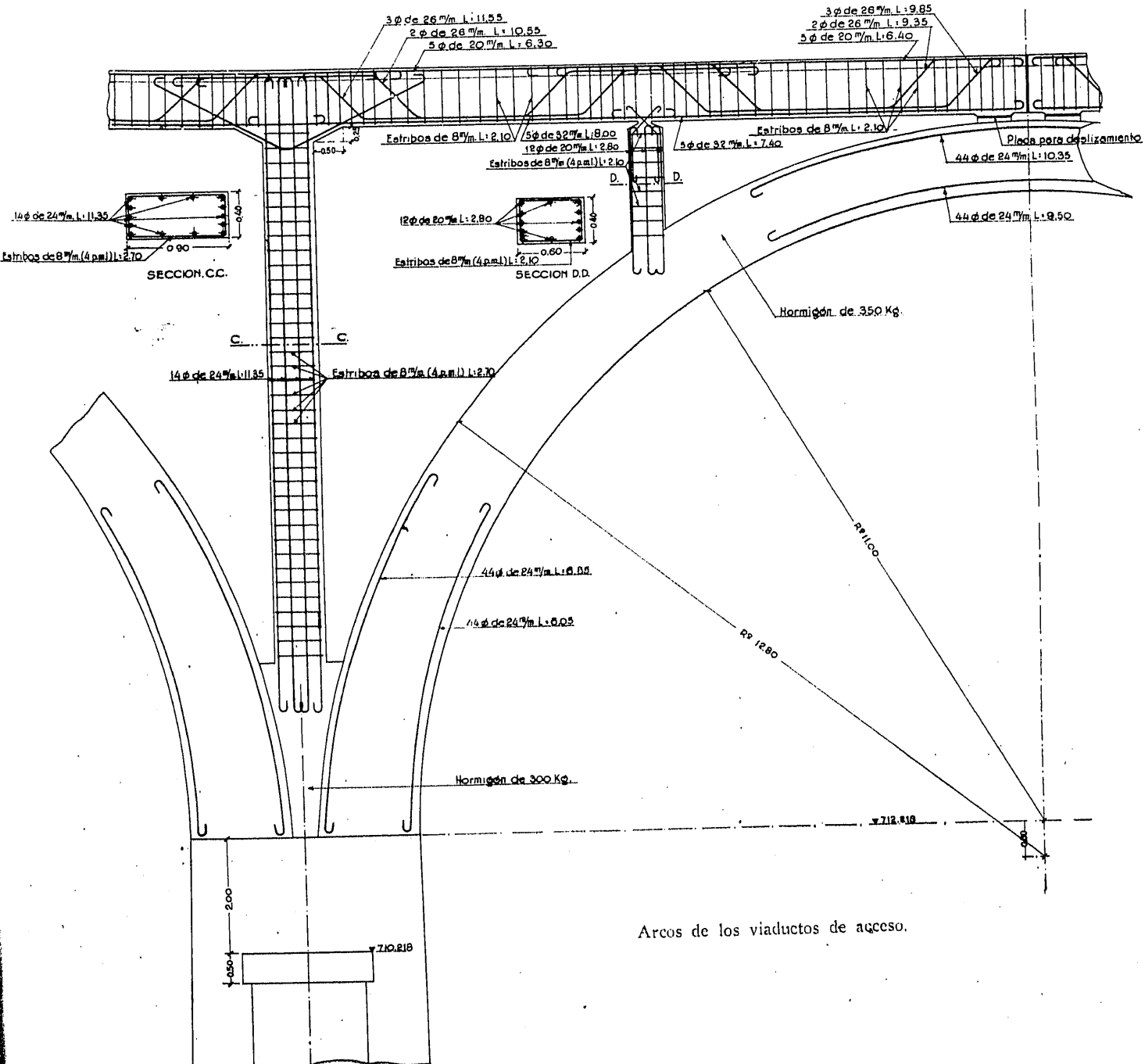


Margen izquierda: Salmeres y pilas de los viaductos de acceso

Encargados, en lo que afecta a la Jefatura de Puentes, los Ingenieros de la misma D. César Villalba y D. Francisco Martín Gil, de realizar dicho trabajo, propusieron la construcción de un gran arco de una luz aproximada de 200 m. y 60 de flecha, de sección alveolar, de paredes de 0.60 m. de espesor, con 3,50 m. de altura en clave y 7,50 m. de ancho, que cubicaría unos 4.200 m.³, y cuya carga unitaria de trabajo sería de unos 75 Kg./cm². El presupuesto sería de unos cinco millones, y siendo el de los proyectos anteriores 7 394 732 ptas., el del Sr. Bellido: 7 282 557, el del Sr. Salazar, y 6 357 627 ptas. el del Sr. Pérez Moreno, si bien éste tendría que experi-

mentar considerable aumento al reforzar las pilas, resultaba más conveniente la solución de un gran arco.

Acceptada la propuesta, se autorizó, en 13 de diciembre de 1929, a la Jefatura de Puentes, a desarrollar la idea, a cuyo efecto, en 10 de julio de 1930, se envía, a informe superior, el correspondiente proyecto redactado por el malogrado Ingeniero D. Francisco Martín Gil, proyecto que, devuelto en 8 de marzo de 1931 para estudiar y modificar algunos puntos, fué presentado de nuevo en enero de 1932. Su presupuesto ascendía a la cantidad de 4 360 127,36 pesetas, y el proyecto fué aprobado en 30 de sep-



Arcos de los viaductos de acceso.

tiembre de 1932 y sirvió de base al concurso para las obras, que tuvo lugar en 23 de junio de 1934.

Tres pliegos fueron presentados al concurso: uno, por la Compañía del ferrocarril de Medina del Campo a Zamora y de Orense a Vigo, sin baja alguna; otro, por D. Max Jacobson, con 142,36 ptas. de baja, y un tercero, por D. Francisco Fernández, con 470 893,75 ptas. de baja.

Adjudicada, en 25 de julio de 1934, a D. Max Jacobson, se dispuso que, para la inspección de estas obras fueran designados, a las órdenes del Ingeniero Jefe de la tercera Jefatura de Estudios y Construcciones de Ferrocarriles (Galicia), D. Francisco Castellón Ortega, y como colaboradores asesores, los Ingenieros Excmo. Sr. D. Alfonso Peña Boeuf y don César Villalba Granda, y para llevar los trabajos de inspección al pie de obra, D. Antonio Salazar Martínez. Más tarde, y por desempeñar el Ministerio de Obras Públicas D. Alfonso Peña, fué nombrado en su lugar D. Eduardo Torroja Miret.

A los efectos de plan para ejecución de las obras quedó fijado el comienzo de las mismas el 1.º de oc-

tubre de 1934, realizándose, como luego diremos, los trabajos por el contratista M. Jacobson hasta nuestra guerra de liberación, ejecutando solamente los salmeres del arco y parte de los viaductos de acceso, y continuando después la obra por Administración hasta quedar terminada, siendo destajista, en lo que al arco respecta, D. Ricardo Barredo, y en la parte metálica, "Esab Ibérica, S. A."

MODIFICACIONES NECESARIAS EN EL PROYECTO. — DESCRIPCION DE LA OBRA, SEGUN EL PROYECTO APROBADO

Comenzadas las obras, y como consecuencia de importantes averías en el embalse, se procedió con premura a la apertura de los cimientos correspondientes a los salmeres de arranque del arco principal y construcción de los mismos, ya que al elevarse las aguas habían éstos de quedar en parte sumergidos y ocasionarían costosos agotamientos. Examinado el proyecto en lo que a estos salmeres respecta, estimaron los Ingenieros encargados que realmente había sido escasa la dosificación dada a dichos salmeres (hormigón de 150 Kg.), dada la importancia de estos elementos, y teniendo en cuenta que debía conseguirse en ellos una indeformabilidad prácticamente efectiva, y de que se trataba de parte de obra afectada directamente por las oscilaciones de la superficie de embalse, es decir, sujeta a grandes cambios térmicos e higrométricos.

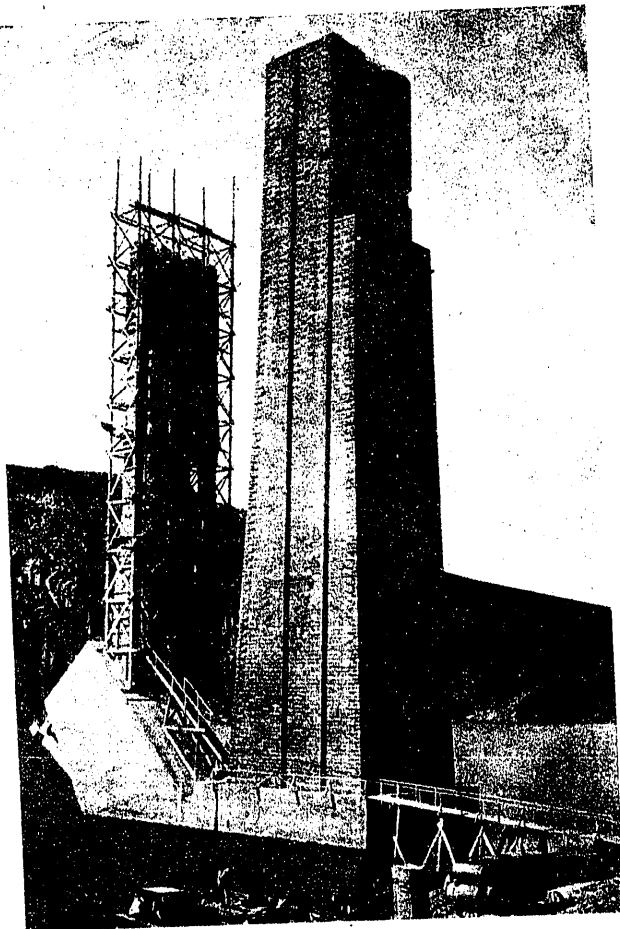
Aprobada esta primera modificación en 9 de noviembre de 1934, que correspondía no solamente al aumento de dosificación, sino al de armaduras y su disposición, dió ello lugar a que se ordenase la redacción de un proyecto definitivo y completo, en el cual se tuviesen en cuenta, cuantas modificaciones fuera precisas, después de un estudio detenido, y en vista de los adelantos y nuevos criterios sobre hormigón armado.

La orden citada fué concretada en la disposición de 17 de enero de 1935, según la cual fué encargado el Ingeniero asesor D. César Villalba Granda de la redacción del mencionado proyecto, que fué aprobado en 5 de diciembre de 1935.

Las variaciones introducidas alcanzan a todos los elementos del proyecto.

a) Descripción general de la obra.

El viaducto se ha proyectado para doble vía de ancho normal. El arco principal tiene 192,40 m. de luz real en la coronación de cimientos, y su flecha, hasta el intradós en la clave, es de 60,018 m. El ancho del arco en la clave es de 7,90 m. y de 4,50 m. de altura, aligerado en su bóveda por tres huecos longitudinales, presentando dos cordones con espesor va-

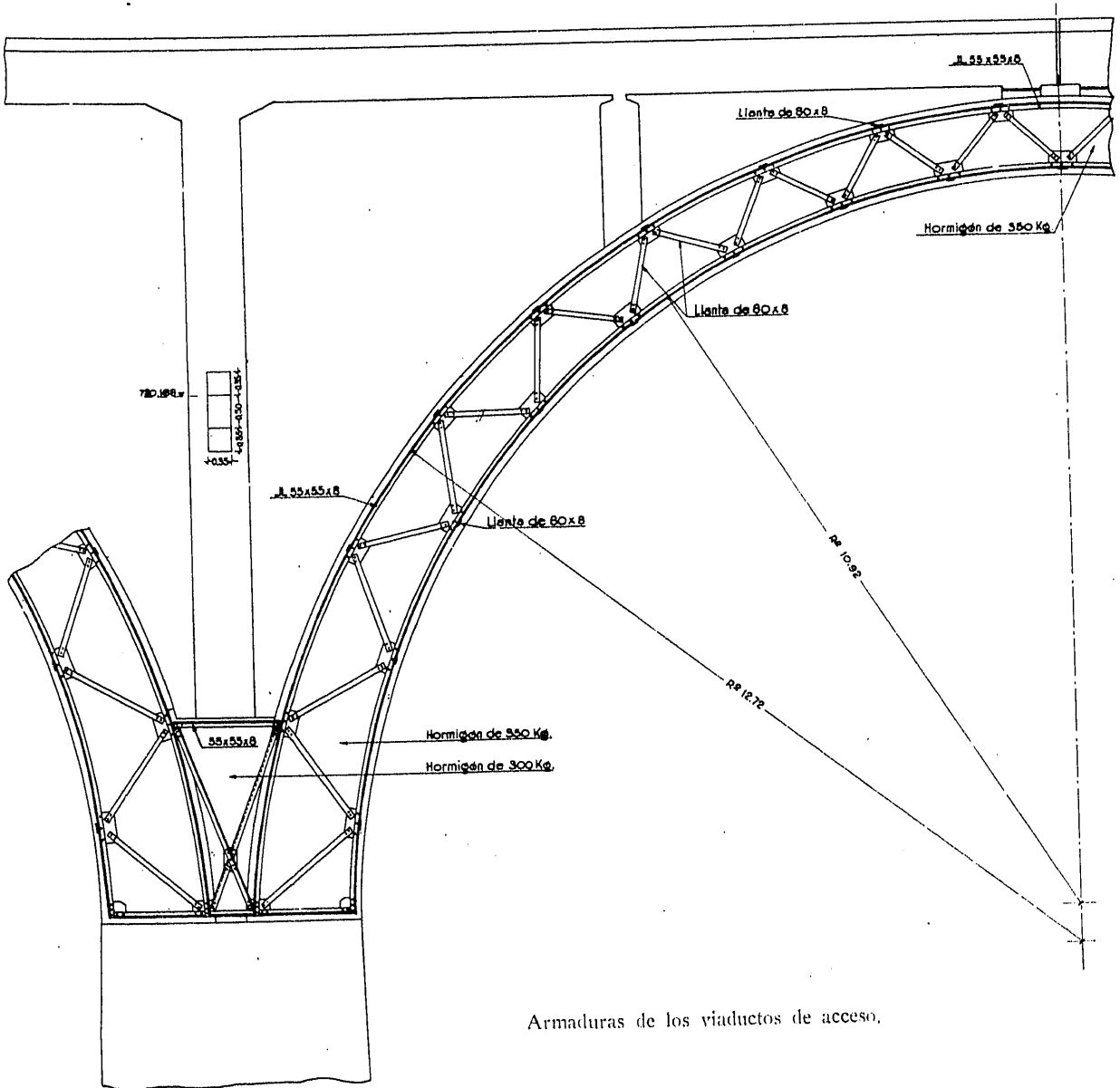


Pila-estribo y construcción de la primera palizada.

riable de 0,90 m. en el centro del tramo, a 1,324 m. en el apoyo sobre salmer, unidos por tabiques de 0,70 metros de espesor. Las armaduras del arco han sido previstas para contrarrestar los esfuerzos secundarios. Los fustes llevan talud de 0,015, común a toda la

de 12,50 m. de luz sobre palizadas apoyadas en el arco principal.

Encastra el arco principal las pilas-estribos y los viaductos de acceso. Están constituidos éstos por cinco arcos de medio punto, de 22 m. de luz y dos tramos



Armaduras de los viaductos de acceso.

obra del vano principal, por lo cual el ancho del arco en arranques es de 9,063 m.

El arco, así constituido, arranca de unos salmeres que corresponden a la zona inundable del embalse.

Los tímpanos del arco principal comprenden dos partes distintas: una, central, de 31,80 m., que está formada por prolongación de las vigas del segundo tramo, sin armar, y dicho segundo tramo, de vanos

rectos de 7,60 m. para el viaducto de entrada, lado Zamora; y de tres arcos, también de 22 m., con otros dos tramos de 7,60 m. para el viaducto de salida.

Los tímpanos de estos arcos están formados por montantes que soportan las vigas largueros, enlazadas rigidamente con piezas de 9,50 m. de altura, situadas en la vertical de las pilas, y apoyando, mediante articulación, en los montantes de 2,10 m., y por sim-



Pasarela para montaje de la cimbra.

ple apoyo, en placa de deslizamiento en el trasdós del arco.

Las pilas de estos viaductos son de hormigón con paramento de sillarejo artificial, huecos, con alturas variables de 9,70 m. a 38,70 m. desde enrase de cimientos a arranque de bóvedas.

Las fábricas empleadas son: muros, mampostería hidráulica; pilas, cimientos de hormigón ciclópeo de 150 Kg., alzado de 200 Kg.; tramos rectos de hormigón, de 350 Kg.; arcos de 22 m., de hormigón de 350 Kg. Arco principal: cimientos, hormigón ciclópeo de 200 Kg.; salmeres, hormigón de 325 Kg.; pór-ticos, hormigón de 350 Kg., y arco, hormigón de 400 Kg. El presupuesto de contrata, de este proyecto reformado, ascendía a 6 462 996,68 ptas.

Descrita la obra en términos generales, pasemos a una descripción más detallada, indicando las modificaciones introducidas y sus causas.

b) Extremos de la obra. Tramos.

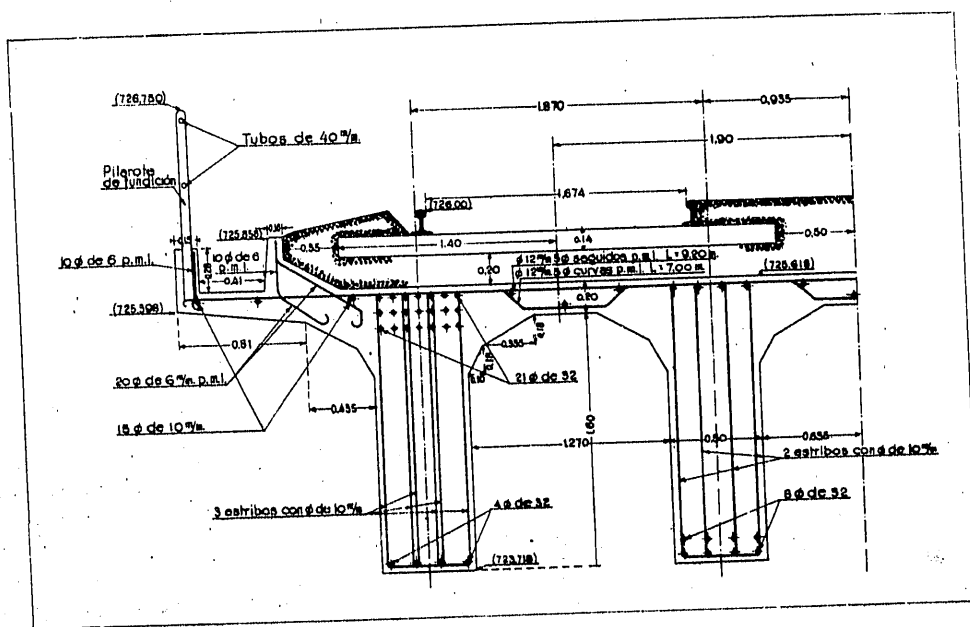
Comprendiase en el proyecto primitivo, bajo la denominación de estribos, una estructura formada por dos pequeñas bóvedas de 8 m. de luz; pero la gran cantidad de productos de desmonte procedentes de las obras de explanación, así como las diferencias entre el terreno natural y el supuesto, que no se adaptaban bien con las bóvedas proyectadas, por lo cual fueron sustituidas por dos tramos rectos de hormigón armado de 7,60 m. de luz, sustituyendo también las aletas por muros de acompañamiento.

c) Viaductos de acceso.

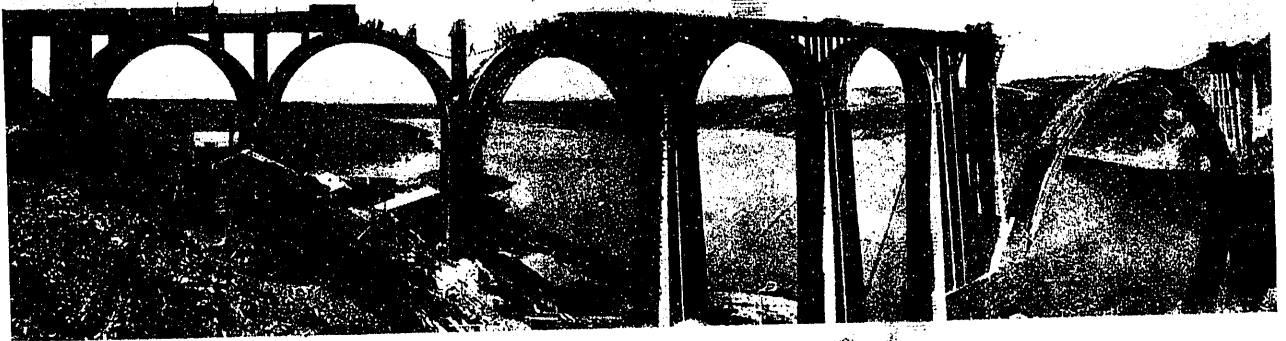
Están constituidos los viaductos de acceso por cinco arcos de 22 m. en el de entrada, y otros tres, de igual luz, en el de salida. Comprenden, en suma, tres arcos completos en el viaducto de entrada y dos en el de salida.

Las modificaciones realizadas respecto al proyecto primitivo afectarán a la disposición en planta de los apoyos, y, como consecuencia, a los arcos propiamente dichos, tímpanos y dosificación.

La disposición en planta, que determina las dimensiones en las pilas correspondientes a la traza en



Tablero sobre el arco principal.



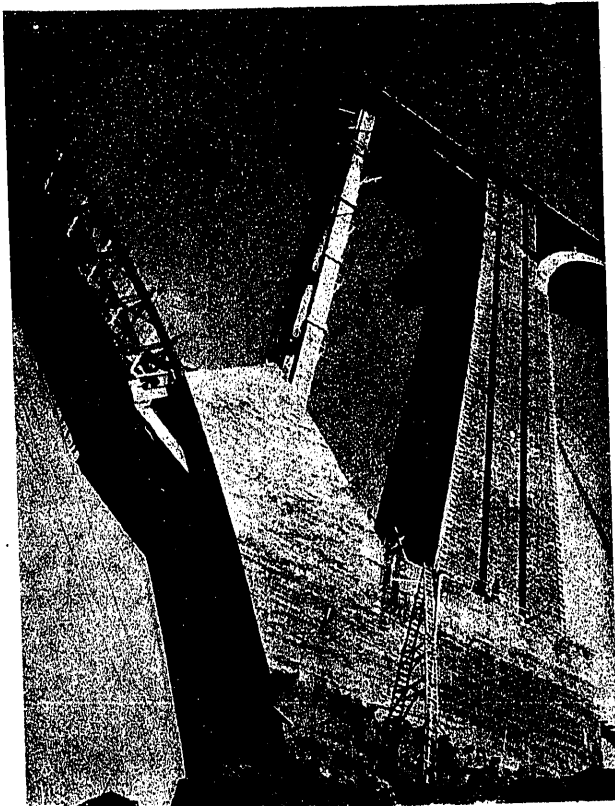
Construcción de arcos y tímpanos de los viaductos de acceso y cimbra del arco principal.

curva, se ha buscado analíticamente para cumplir con la condición de ejes normales a las curvas de la traza y sus paramentos correspondientes normales a las cuerdas que unen las aristas de una pila y la contigua. Los arcos de la traza son parabólicos, de ecuación $y = x^2 : 6 RP$; siendo $R = 399,622$ m. y $P = 60$.

Las alturas de las pilas varían de 9,70 m. como

mínimo (pila 1) a 38,70 m. (pila 4), con aumentos de 1,70 a 3,70, respecto al proyecto primitivo, para adaptarse al terreno, alturas todas contadas desde enrase de cimientos a arranque de bóvedas. Las profundidades de las cimentaciones ejecutadas oscilan entre 1,22 m. (pila 6) a 6,77 m. (pila 2), también mayores que las primitivamente consignadas.

Las pilas son huecas, de paramento de sillarejo



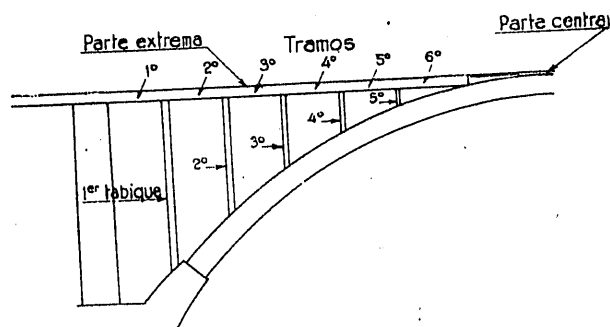
Arranque del arco y atado de la cimbra.



Pasarela y comienzo de la construcción de la cimbra.

artificial, que evita moldes, facilita la construcción y proporciona excelente aspecto a los paramentos.

Los arcos son de medio punto, de intradós circular, de 22 m. de diámetro. El espesor en la clave es



Esquema del tímpano del arco principal.

de 1,20 m. y 1,80 m. en arranques. La dosificación en los arcos, que era de 200 Kg. en el proyecto primitivo, fué aumentada a 350, ya que se obtenían cargas que así lo requerían, no obstante reducirse la carga máxima en virtud de la nueva disposición dada a los tímpanos, de 48,6 a 46,5 Kg./cm.².

En cuanto a las armaduras previstas en el proyecto primitivo, estaban formadas por 14 dobles ángulos sueltos de 90 X 90 X 9 en la parte inferior de la bóveda en la zona de arranque. Estudiados los efectos de continuidad de la arcada múltiple, se modificó la armadura, convirtiéndola en una cercha triangulada, complementada, además, por otra de 44 Φ de 24 mm., quedando así contrarrestados los efectos producidos, no solamente por las cargas, sino los de variación de temperatura, retracción y elasticidad de apoyos; causa esta última que es la que produce efectos más desfavorables sobre los arcos.

Los tímpanos de los arcos de los viaductos de acceso, que eran de paramento continuo, en el primer proyecto, con aligeramientos interiores de arcos de 2 m., además de ofrecer una gran superficie a la acción del viento, que, unido a su considerable altura sobre el suelo, provocaría desfavorables e importantes efectos en la base de las pilas, hubiera también producido perjudiciales efectos de torsión en los arcos; además, no obstante los aligeramientos interiores, pesarían excesivamente sobre dichos arcos, y por último, ofrecían un aspecto macizo que desentonaba con la ligereza del resto de la estructura, y especialmente con la composición de los tímpanos del arco principal.

Por todas estas razones se sustituyeron los tímpanos por pórticos de hormigón armado.

La disminución obtenida en la base de las pilas por actuación del viento en los tímpanos, al sustituir la superficie cónica por la de pórticos, es de 19,70 a

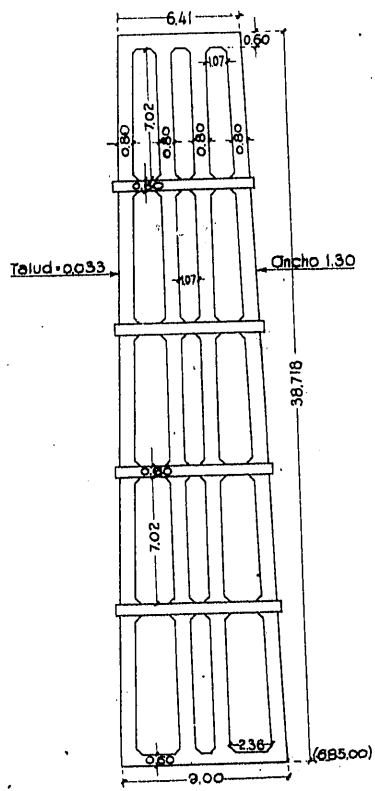
12 Kg., y en el trabajo de los arcos, de 48,6 a 46,5 Kg./cm.².

c) Pilas-estribos.

Separando la estructura de los viaductos de acceso de la correspondiente al gran arco central, y encuadrando éste, se construyeron las pilas-estribos que responden a las mismas características de las pilas de los viaductos de acceso, antes descritas. En su coronación aprisiona eficazmente las vigas longitudinales de los pórticos que forman los tímpanos del arco principal para absorber los esfuerzos de frenado. La base de las pilas se sitúa sobre la cota del salmer del arco central, cota 677,518, con lo cual resulta una altura de 48 m.

d) Arco principal.

Tímpanos. — Difiera esencialmente la solución propuesta en el primer proyecto, de la adoptada, ya



Arco principal. Tabique núm., 1.

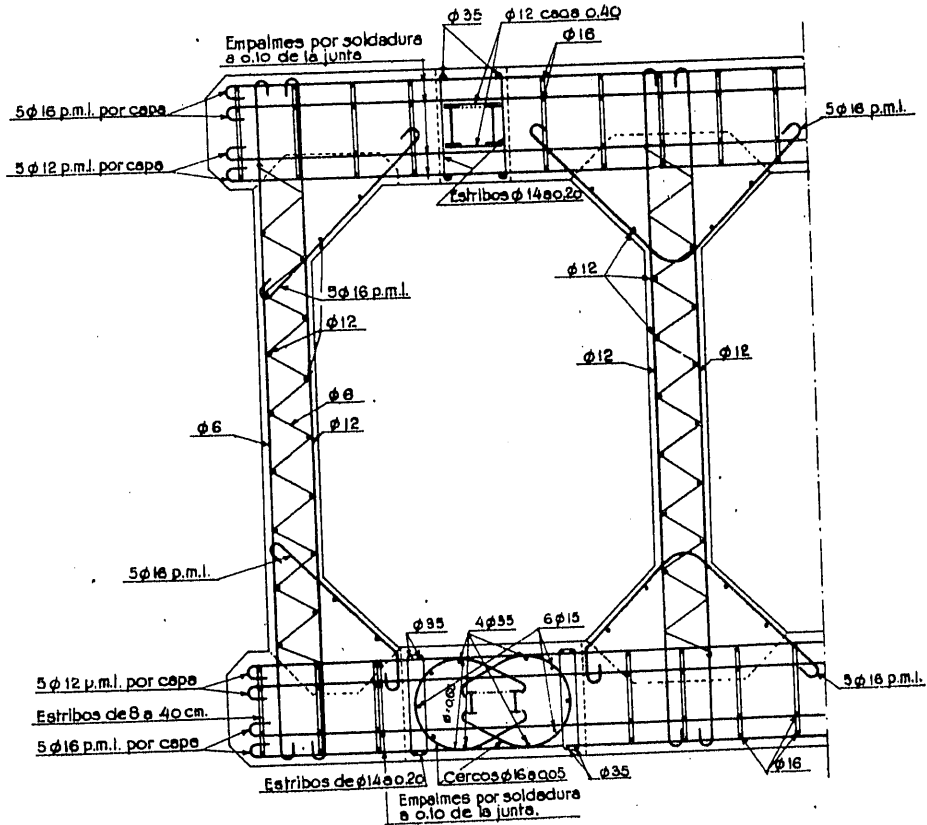
que consistía en pilas sobre el gran arco que sostenían bóvedas de hormigón en masa de 11,50 m. de luz. Presentaba esta solución graves inconvenientes:

entre otros, la dificultad de establecer en tal estructura juntas de dilatación, y especialmente el constituir tímpanos de gran rigidez, con efectos sobre la bóveda principal, difíciles de evaluar.

Por ello se adoptaron los tímpanos de pórtico de hormigón armado. Comprende la parte de tímpanos en pórtico 82,10 m. de longitud, constituida por seis tramos continuos de 12,50 m. de luz real, sostenidos

mado por prolongación de los largueros sin armar y perdiendo altura en la curvatura del arco.

Arco principal. — Se compone el arco de dos partes: una, desde cimientos a la cota 684,508, que está formada por unos salmeres macizos, obteniendo así una luz real a la cota 661,00, que es la de coronación de cimientos, de 192,40 m. y 60,018 m. de flecha



Arco principal.
Sección por la abscisa 0,20.

por palizadas, con las que se unen los tramos elásticamente en las tres primeras palizadas, mediante articulación en las 4 y 5, y por simple apoyo en la última; obedecen estas diferencias a que las primeras palizadas son, por su gran altura, suficientemente flexibles para que los momentos que transmiten al arco sean despreciables, aumentando considerablemente en las demás por su mayor rigidez y por los efectos de dilatación de las vigas largueros. La sección transversal de los tramos es de dos vigas para cada vía, unidas por un forjado.

Cada palizada la constituyen cuatro elementos; uno de apoyo, para cada larguero. arriostrados cada 7,02 m. de altura. El resto de los tímpanos se ha for-

hasta el intradós de clave, y la luz de cálculo, 209,84 metros a la cota 658,534 m.

La parte de arco sobre salmeres tiene 172 m. de luz en la fibra media, y 38,76 m. de flecha teórica, con 7,90 m. de ancho en clave y 4,50 m. de altura, aligerado por tres huecos longitudinales, y sus paramentos presentan en talud de 0,015, que es común a toda la obra del arco principal.

La fibra media del arco corresponde a la ecuación

$$V = 38,76 (5x - 9x^2 + 8x^3 - 4x^4),$$

en la cual V está en unidades absolutas, la x es la relación de la abscisa a la luz, fibra media que



Construcción de los tímpanos.

es, muy aproximadamente, la funicular de cargas fijas.

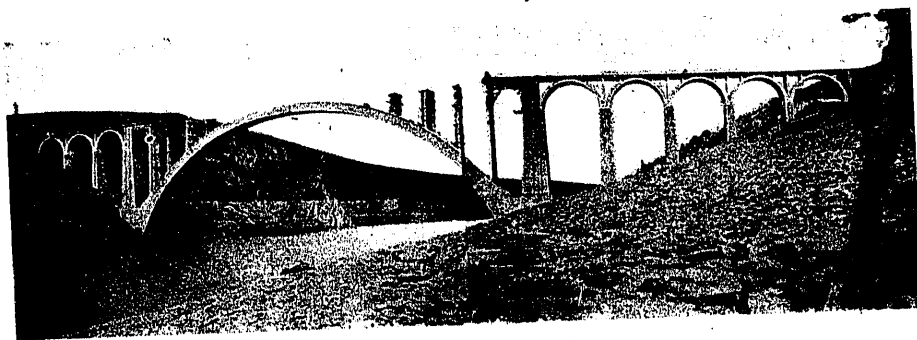
Estudiados detenidamente en el proyecto los efectos producidos por la acción del viento y por las variaciones térmicas, longitudinales y transversales, condujo este estudio, en lo que a torsiones por acción del viento se refiere, a momentos que obligaron a armados adecuados en los tabiques y cartabones de enlace, especialmente en los alvéolos laterales.

También requirieron refuerzo las armaduras de los tabiques laterales como consecuencia de las variaciones térmicas transversales, pasando de la variación prevista en los primeros estudios, $\pm 5^\circ$ a $\pm 15^\circ$.

Por último, al efectuarse el montaje con la cimbra metálica incorporada al arco, y tanto por tener que alojar ésta en el arco, como por las diferentes roscas de hormigonado y reparto de cargas en las mismas, dió como resultado la agregación de nuevas armaduras.

En total, las armaduras del arco ascienden a 570 210,556 Kg., es decir, que pasa del triple de la supuesta en el proyecto primitivo, 186 982 kilogramos, sin contar, naturalmente, con la cimbra incorporada.

Tales son, en líneas generales, los antecedentes y elementos de la obra que nos proponíamos exponer en este primer artículo.



Arco hormigonado y construcción de las palizadas de tímpanos.

VIADUCTO MARTÍN GIL

Por FRANCISCO CASTELLON (Jefe), CESAR VILLALBA, ANTONIO SALAZAR y EDUARDO TORROJA, Ingenieros de Caminos.

Según se decía en el número anterior, comprende este segundo artículo lo referente al estudio completo e interesantísimo del procedimiento constructivo seguido en tan importante obra, que a continuación resumen los autores con gran acierto y claridad, pudiendo considerarse como un modelo de precisión lo que se refiere al plan de hormigonado.

II

En el proyecto se contaba, primeramente, con montar una cimbra de madera apoyada en castilletes, pero, una vez terminada la presa del Esla y embalsadas las aguas, se había proyectado la cimbra de madera recogida para montar, colgando de tres grupos de cables, uno central y dos laterales.

La construcción del arco puede decirse que se empezó durante nuestra guerra de liberación; empezando a montarse por administración esta cimbra de madera, pero las dificultades propias de su ejecución, unidas a las accidentales y no menos importantes que llevaba consigo la guerra, en lo que se refiere tanto a mano de obra especializada como a la obtención de los materiales, hizo pensar en la necesidad de cambiar de sistema constructivo.

Efectivamente, resultaba sumamente difícil montar la cimbra en la forma proyectada, es decir, colocando primeramente cuatro cuchillos o armaduras de los diez que formaban el conjunto de la cimbra, y colgando simplemente de unos cables que, naturalmente, variaban de posición a medida que la cimbra iba avanzando por efecto de la variación de los pesos de estos primeros cuchillos, habían de montarse los otros seis.

Teniendo que llevar la obra bastante lentamente, por las dificultades anormales que se atravesaban, las mermas consiguientes de la madera hacían todavía más difícil este montaje, particularmente si se tiene en cuenta que se trataba de escuadrías relativamente grandes, pues las cabezas estaban formadas de seis tabloncillos de 3×10 pulgadas, y las diagonales, que formaban dobles celosías Warren, por tabloncillos de la misma escuadría. La colocación exacta de todos estos elementos y la transmisión de los esfuerzos a través de la clavazón, unido, como decimos, a las mermas de la madera, en un clima tan seco como el de nuestra meseta castellana, aconsejaban desistir de este tipo de cimbra.

Por otra parte, teniendo la cimbra su cabeza superior coincidente con el intradós del arco, resultaba la directriz de la cimbra bastante diferente del funicular de los pesos que había de soportar y, en

consecuencia, habían de producirse flexiones y esfuerzos cortantes difíciles de resistir con una estructura de madera de este tipo. Por otra parte, también la gran altura del arco sobre los arranques era otra nueva dificultad, porque se sufrían y se prevenían vientos frecuentes muy fuertes, como efectivamente sucedió, superando, en algunos momentos, los 180 kilómetros por hora; en estas condiciones, la tendencia al vuelco de la cimbra era grande, y hubiera resultado difícil mantenerla con la firmeza necesaria durante el hormigonado.

En estas condiciones, en el verano de 1939, se consideró conveniente estudiar la posibilidad de adoptar otro sistema de construcción que, variando lo menos posible la obra proyectada, permitiera, sin embargo, ejecutarla con la mayor seguridad; y después de diferentes estudios se adoptó la solución propuesta por el Ingeniero asesor D. Eduardo Torroja, de disponer una cercha metálica, constituyendo, en cierto modo, una armadura rígida del hormigón; de tal forma que, a medida que fuera colocándose éste, insistiendo sobre la cercha metálica, se fueran formando cordones de refuerzo que, trabajando conjuntamente con la cercha, en forma de estructura mixta, dieran, en todo momento, resistencia suficiente para soportar el nuevo hormigón fresco, hasta la terminación total del arco, y cuya estabilidad transversal quedara asegurada mediante un sistema de cables y botones de amarre, que luego se detalla.

Esta cercha metálica (fig. 1), cuya directriz se amolda sensiblemente a la directriz definitiva del arco, está formada por dos cuchillos arriostrados entre sí, tanto superior como inferiormente, por medio de montantes y cruces de San Andrés, y cada cuchillo queda constituido por las dos cabezas unidas por diagonales, en la forma acostumbrada, de una viga Warren.

Para dar más rigidez a los cuchillos, fué necesario formar cada cabeza y cada diagonal por dos perfiles dobles T, unidos entre sí por llaves, con lo cual se logra un momento de inercia suficiente para que los peligros de pandeo no obliguen a sobrecargar, inútilmente, de material la cercha.

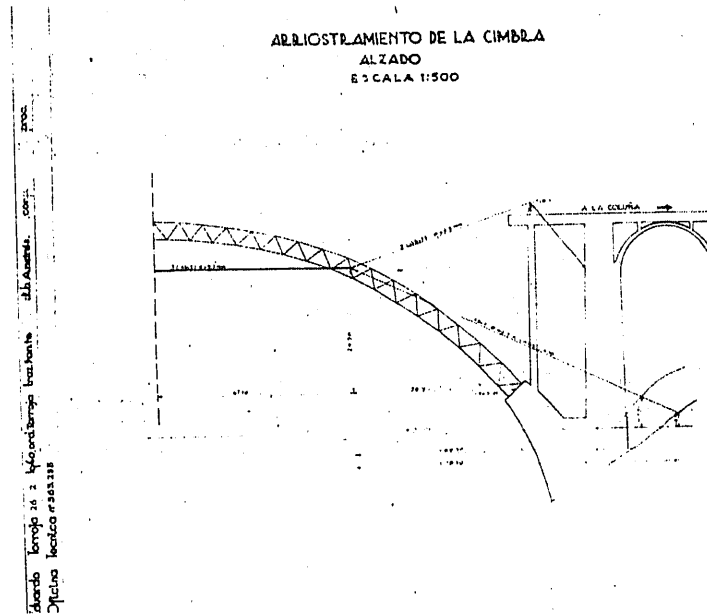


Fig. 1. — Alzado general de la cimbra en montaje.

La cabeza superior está formada por dos dobles T, perfil 26, y la cabeza inferior, así como las diagonales, por dos dobles T, perfil 14.

Los arriostramientos, tanto el superior como el inferior, entre cuchillo y cuchillo; están constituidos, también, por montantes de dobles perfiles del 10, y cruces de San Andrés, formadas por simples cuadradillos.

Para asegurar completamente la estructura contra los esfuerzos de torsión, se dispusieron otras cruces de San Andrés, de igual tipo, en los planos de cada dos diagonales gemelas; es decir, de las dos diagonales correspondientes en cada uno de los cuchillos.

En lugar de disponer los planos de los cuchillos en los ejes de los tabiques exteriores de la sección definitiva, como parecía lo lógico a primera vista, se consideró preferible colocarlos en los huecos que quedan entre tabique y tabique, aun a trueque de disminuir con ello la anchura total de la cercha, y, por consiguiente, su resistencia transversal al viento (fig. 2).

Esto es debido a que, de no hacerlo así, hubieran quedado los perfiles de las diagonales dentro de los tabiques estrechos de hormigón, y además, cruzándolos en dirección francamente inclinada con relación a la máxima compresión en el sentido del arco. Dada la importancia de la obra

⑥ y los esfuerzos a que ha de estar sometida, no parecía prudente exponerla, en toda la altura de los tabiques, a posibles fenómenos de deslizamiento, que podrían originarse como consecuencia de estos planos inclinados, pues la adherencia en ellos es siempre menor que en el seno del hormigón.

Por otra parte, con objeto de tener en todo momento la resistencia y rigidez necesarias para continuar el hormigonado en buenas condiciones, sin un exceso de hierro en la cercha metálica, se decidió reforzar, primeramente, las cabezas de la cercha, hormigonando sus cuatro cabezas o aristas, y si las superiores cayeran precisamente en el plano de los tabiques, sería necesario hormigonar éste de abajo a arriba contra el hormigón de la cabeza superior, hecho con anterioridad, lo cual daría lugar a una junta peligrosa por sus dificultades de ejecución.

Por el contrario, colocando los planos de cuchillos de la cercha metálica fuera de tabiques, este último inconveniente desaparece totalmente, ya que las cabezas a hormigonar primeramente se pueden construir de toda la altura definitiva, y, por consiguiente, las juntas a establecer entre estas cabezas y el resto del hormigón, que forma la sección del arco, son juntas verticales, contra las cuales el hormigón se puede verter cómodamente, desapareciendo, por com-

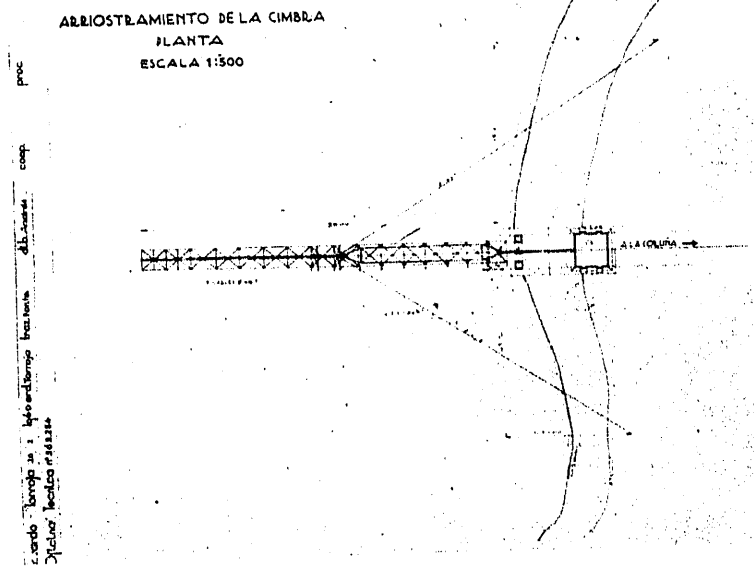


Fig. 2. — Planta general de la cimbra en montaje.

pleto, los inconvenientes del hormigonado bajo techo.

Los perfiles de las cabezas quedan en la dirección de los máximos esfuerzos, trabajando en buenas condiciones sin grandes tensiones de adherencia entre el hierro y el hormigón, y las diagonales que van inclinadas con relación al esfuerzo principal quedan, en casi la totalidad de su longitud, fuera del hormigón; solamente en una longitud muy pequeña, junta a su unión con las cabezas, quedan éstas colocadas oblicuamente en el hormigón. Cada diagonal, formada por dos perfiles, cuyas almas quedan en el plano vertical del arco, presenta el mínimo frente de discontinuidad dentro del hormigón ante los esfuerzos de compresión, reduciéndose, por consiguiente, al mínimo posible los inconvenientes de las estructuras rígidas dentro del hormigón, y aprovechándose, por otra parte, todas sus ventajas.

Las diagonales correspondientes a las cruces de San Andrés, tanto en la cabeza superior como en la inferior, cruzan oblicuamente estas cabezas, pero, como se ha adoptado el sistema de cruces de San Andrés, y no era necesario que estas diagonales trabajasen a compresión, pudo dárselas forma compacta de cuadradillo con pequeño lado, no representando, prácticamente, discontinuidad dentro del gran espesor de la cabeza; los esfuerzos son suficientemente pequeños para haber podido soportarlos con simples cuadradillos de tres centímetros de lado.

Se consideró preferible la forma de cuadradillo a la de barras redondas corrientes, por la mayor seguridad y facilidad que representa el enlace con las

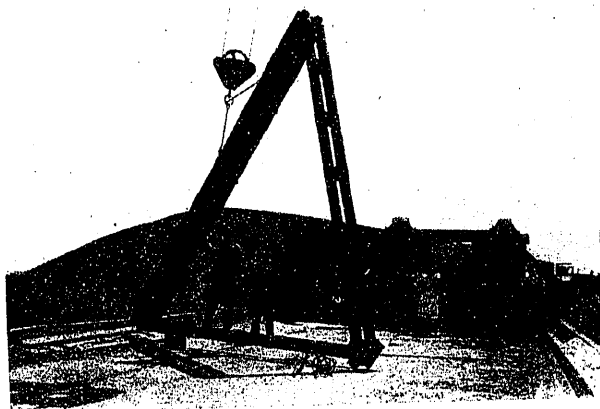


Fig. 3. --- Vista de un triángulo.

cabezas, particularmente si este enlace se hace por soldadura.

Las cruces de San Andrés, correspondientes a los planos inclinados de las diagonales de los cuchillos, que son del mismo tipo, quedan también al aire en su mayor longitud, cruzando solamente los tabiques interiores en dos puntos, y, por consiguiente, sin peligro ninguno para el trabajo de los mismos.

Los enlaces de todas las piezas de esta cercha metálica se proyectaron soldados en lugar de roblonados, también con la misma finalidad de introducir el mínimo de estorbos y el mínimo de planos de deslizamiento posibles dentro del hormigón. Así, se suprimieron las cartelas y los nudos quedaron con la máxima compacidad.

Desde luego, se consideró preferible la soldadura eléctrica al arco con electrodo revestido, por las mayores garantías que ofrece.

El montaje de esta cercha se proyectó por elementos separados, es decir, soldando entre sí el conjunto, formado por dos triángulos homólogos de cada cuchillo, con sus arriostros respectivos para trasladar, con el blondín de que se disponía, estos elementos hasta su posición definitiva; y hacer, después, la soldadura de unos triángulos con otros, pero formando solamente grupos de cuatro elementos triangulares (fig. 3), con longitudes alrededor de los 25 metros, dejándolos colgados, mediante pendolones provisionales, de los cables de suspensión, para no hacer la soldadura definitiva de estos trozos entre sí, hasta tener todos ellos dispuestos en su posición definitiva, y después de

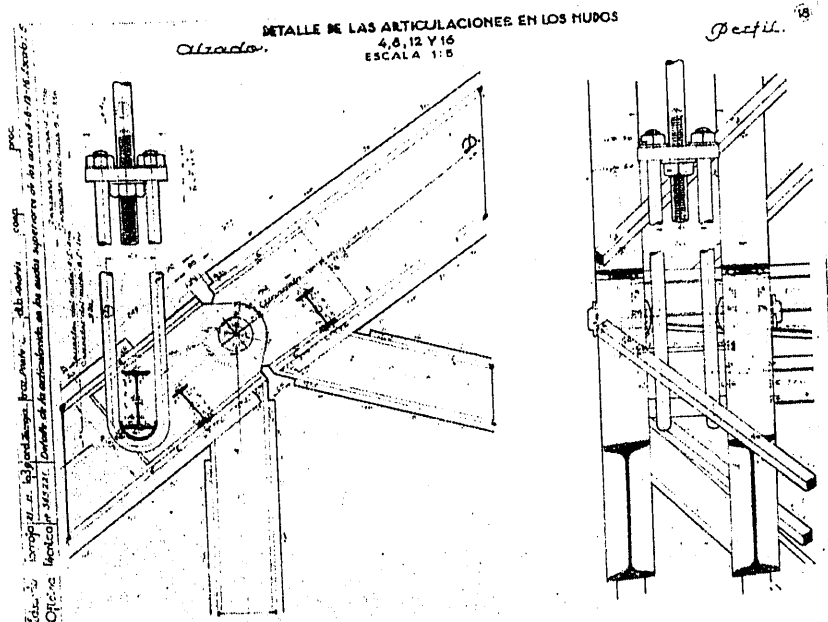
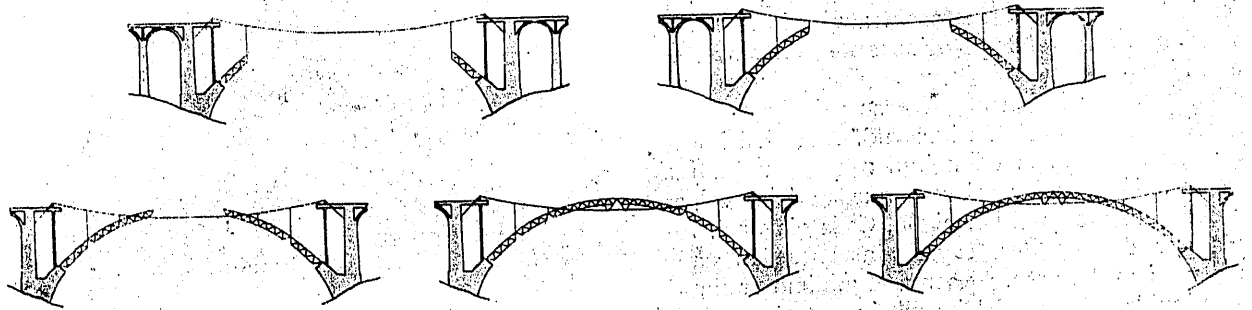


Fig. 4. --- Detalle de una articulación.



Fases del montaje de la cimbra.

corregir, perfectamente, la directriz general de la cercha, como vamos a ver.

Para facilitar la soldadura en obra de los cuatro elementos triangulares que forma cada grupo, iban provistos de pasadores provisionales que aseguraban la sujeción de cada dos triángulos consecutivos mientras se hacía una primera soldadura por puntos, para enlazarlos ya rígidamente y poder efectuar después la soldadura total con toda tranquilidad y seguridad.

En la unión de un grupo de triángulos con otro se dispusieron pequeñas rótulas provisionales, de tal forma, que, en este momento intermedio, la cercha metálica formaba una especie de arco con seis articulaciones.

Cada grupo o elemento rígido, entre articulación y articulación, quedaba colgado de los cables de suspensión por un corto número de pendolones, que permitía la corrección perfecta de la posición en el espacio de cada rótula; una vez logrado esto y comprobado por medios especiales de medida, se hacía una primera soldadura de sujeción por puntos, y después, la soldadura final, para dejar enclavadas ya las articulaciones intermedias, y que la cercha metálica constituyera de por sí un arco de tres articulaciones: dos en arranques y una en clave (fig. 4).

En este momento se retiraron los pendolones de los cables de suspensión, inútiles como elementos de sustentación de la cercha metálica, pues ésta, por sí sola, quedaba en buenas condiciones para soportar los esfuerzos de hormigonado hasta constituir el arco definitivo.

Sin embargo, carecía de rigidez suficiente para soportar los fuertes empujes de viento a que había de estar sometida durante la construcción. Aun teniendo resistencia teórica suficiente, las deformaciones y corrimientos que resultaban del cálculo, bajo la acción del viento, eran tan grandes que sobrepasaban los límites de lo admisible en buenas condiciones de trabajo, y por eso se adoptó, después de diferentes ensayos y tanteos, el sistema de completar la rigidez transversal de la cimbra, mediante unos cables de arriostramiento que mantuvieran, sensiblemente fijos en el espacio, dos puntos de la cercha

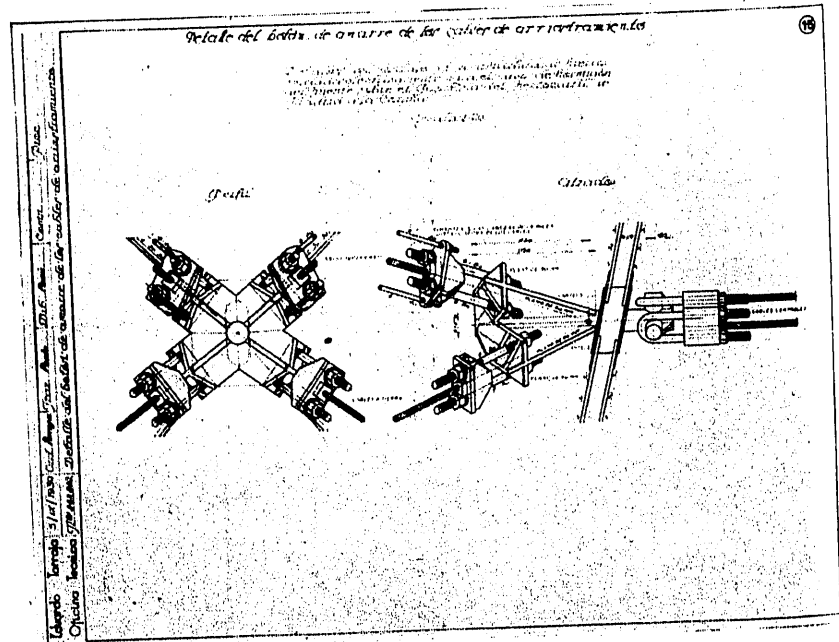
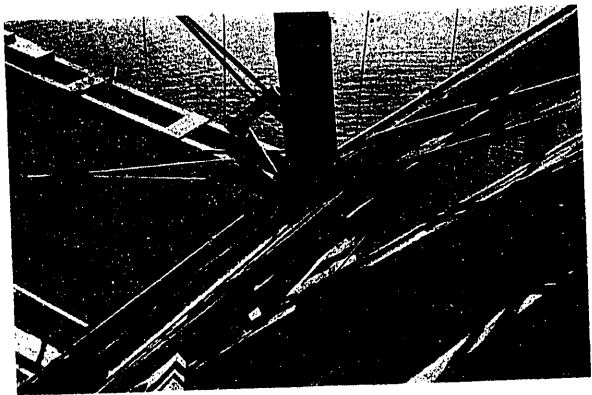


Fig. 5.—Botón de amarre.



Vista de la cimbra metálica.

metálica, situados a 39 metros de los arranques, y, por consiguiente, a una separación, entre sí, de 94 metros.

Cada uno de estos dos puntos o botones de amarre quedaban fijados por cuatro cables o grupos, de ellos: uno, horizontal, en el plano del arco, uniendo un botón con otro, que, arrancando del botón iban a parar a la ladera más próxima a uno y otro lado de la planta del arco, y otro, que, en el plano vertical del arco, subía desde el botón de amarre a la coronación de la pila-estribo. Así, cada botón quedaba fijo en el espacio por cuatro tensores, y todo el conjunto de cables podía disponerse con los mismos que constituían, primitivamente, el grupo central de cables de suspensión de la cimbra de madera. Los amarres, en las laderas, estaban formados por un solo cable. El elemento entre un botón y otro, por tres cables para-

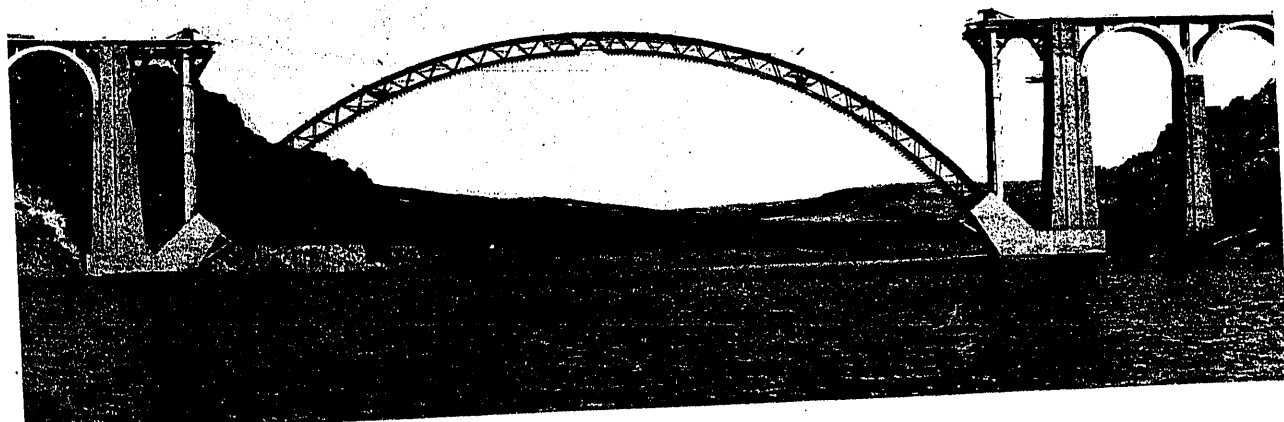
los, y los de sujeción de los botones a las pilas, por dos cables paralelos.

Estos dos últimos cables, que corresponden al plano vertical del eje del arco, quedaban, por consiguiente, debajo del cable del blondín, y hubieran constituido una dificultad para el hormigonado, ya que quedaban, en toda su longitud, por encima de la zona de arco a hormigonar. Para evitar estas dificultades, se separaron los cables al salir del botón de amarre, mediante una travesa horizontal de separación, volviendo a reunirse otra vez sobre la pila, de tal forma, que la cuba de hormigonado, que bajaba del blondín, podía pasar por entre los dos cables, sin dificultad.

Los cables de unión entre un botón y otro, aun cuando también iban por el eje del arco, no requerían ya esta precaución, puesto que pasaban por debajo del arco y no estorbaban el hormigonado.

La cercha, durante el montaje, quedó, primeramente, colgada de los cables laterales de suspensión de la cimbra de madera, pero sin colgar del sistema de cables centrales, de los cuales podía disponerse desde el primer momento para formar este sistema de arriostamiento de la cercha metálica.

Con objeto de asegurar la indeformabilidad de este sistema de triangulación, que forman los cables sobre el botón de amarre, era necesario evitar que, bajo la acción del viento, se aflojasen los cables del lado opuesto al viento, hasta el punto de quedar teóricamente trabajando en compresión, lo cual, naturalmente, no sería posible. Para ello se adoptó el sistema de establecer sobre los cables una tensión previa tal, que la compresión teórica, por efecto del



Vista general de la cimbra metálica.

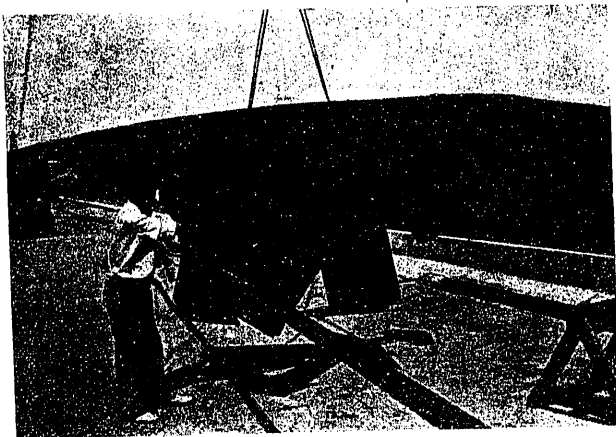


Fig. 6. — Vista del botón de amarre.

viento, no alcanzase, en ningún momento, esta tensión previa, y los cables estuvieran, por consiguiente, sometidos a tracción en todo momento.

La unión entre la cercha metálica y el botón de amarre se hacía mediante un grueso árbol que pasaba a través de unas abrazaderas (fig. 5) metálicas, rígidamente unidas a la cercha, y cuyo agujero o abertura era ovalado en sentido vertical. De este modo se evitaron los movimientos horizontales en dirección perpendicular al plano del arco, entre la cercha y el botón de amarre, ejerciendo así su acción de arriostamiento y rigidización contra la acción del viento, pero quedando la cercha metálica con posibilidad de movimiento en relación con el botón de amarre, en el plano vertical del eje del arco, para que los movimientos de la cercha, en este plano, por efecto de las dilataciones térmicas, y por efecto del hormigonado mismo, no vinieran coartados por el botón de amarre.

Una vez construída la cercha metálica, como acabamos de indicar, y arriostada transversalmente por este sistema de cables, quedaba, holgadamente, resistente contra los esfuerzos del viento durante el hormigonado, siempre que éste se realizase progresiva y cuidadosamente, para evitar esfuerzos de flexión demasiado grandes sobre la cercha, a medida que se fuera extendiendo el hormigón de unos puntos a otros. Este estudio del plan de hormigonado constituyó una de las labores más pesadas del proyecto, no habiéndose llegado a la solución definitiva más que a través de multitud de tanteos, que permitieron ir mejorando la distribución del hormigonado hasta encajar los esfuerzos de las piezas metálicas de la cercha, dentro de unos máximos muy aceptables, ya que el peso total de esta cimbra no alcanzó los 500 kilogramos por metro lineal de arco.

Esto se logró en la siguiente forma:

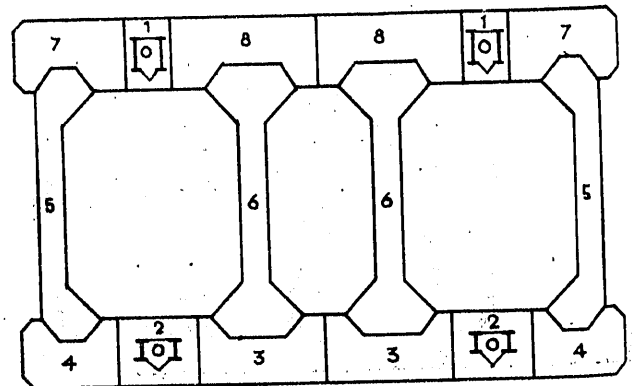
La cercha metálica, libre ya de los pendolones,

quedó constituyendó un arco de tres articulaciones, situadas en la cabeza superior de la estructura, dos en arranques y una en clave. Se hormigonaron, primeramente (fig. 6), los núcleos o espacios que quedan comprendidos entre los perfiles de la cabeza superior de cada cuchillo, con objeto no solamente de aumentar la resistencia de ésta a compresión, sino de asegurarlos perfectamente a pandeo; el peso de estos rellenos de hormigón era pequeño, y podía efectuarse sin grandes preocupaciones.

Después de esto se hormigonaron, en toda la altura de la cabeza superior, los elementos o secciones que rodean cada una de las dos cabezas (cordón 1). Este hormigonado se hacía por trozos cortos, de unos 3,50 metros de longitud, para que los efectos de retracción fueran pequeños y pudieran quedar, en gran parte, anulados, dejando unas pequeñas juntas de unos 10 centímetros entre unos trozos y otros, las cuales se hormigonaban las últimas, cuando la retracción de todo el conjunto de trozos del arco hubiera podido producirse ya en su mayor parte. No era indiferente, en estas dovelas, la marcha de hormigonado, sino que era necesario ir siguiendo un determinado orden para que el funicular de cargas no se separase demasiado de la directriz de la cercha y, por consiguiente, no se produjesen tensiones excesivas en las cabezas, por flexión, ni en las diagonales, por efecto de los esfuerzos cortantes correspondientes.

Una vez hormigonados estos dos cordones superiores, la resistencia de la cabeza superior de la cimbra quedaba muy aumentada, y era ya posible hacer, en análoga forma, el hormigonado de las dos cabezas inferiores (cordón 2). Al terminar este hormigonado, como esta cabeza inferior quedaba sin trabajo en el primer momento, el de la cabeza superior era demasiado fuerte para poder continuar vertiendo hormigón, y sobrecargándola todavía más.

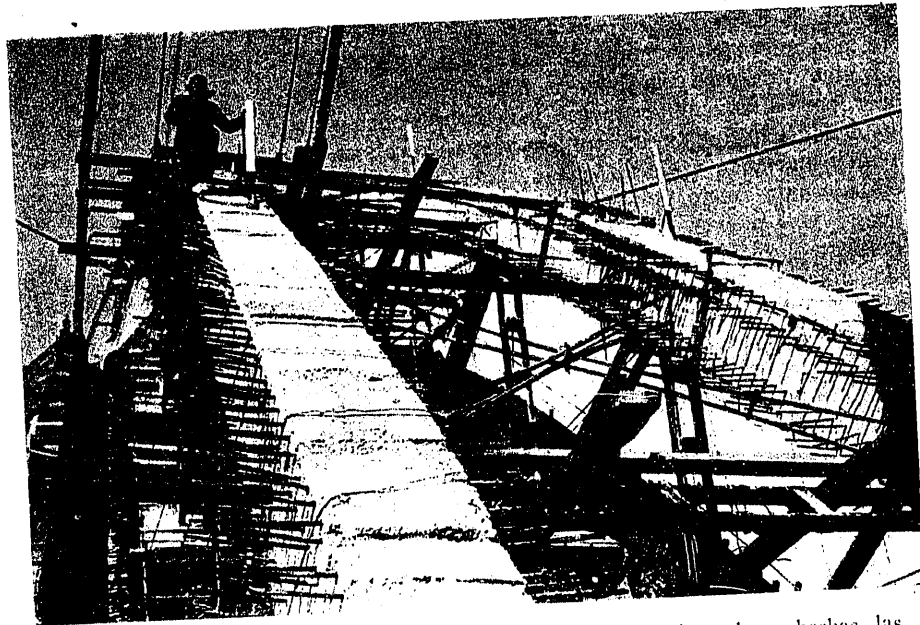
Para evitarlo, se introdujeron unos gatos hidráulicos, tanto en arranques como en clave, en la cabe-



Sección transversal con orden de cordones.

za inferior, con objeto de provocar en ésta una compresión de unas 150 toneladas por cuchillo, que, al mismo tiempo que ponía en carga la cabeza inferior, aliviaba, en una cantidad semejante, la carga a compresión de la cabeza superior, repartiéndose, por consiguiente, los esfuerzos entre ambos elementos; una vez hecha esta maniobra y enclavadas con hormigón las juntas, en las que se habían aplicado los gatos, el conjunto quedó formando un arco continuo empotrado en sus extremos, y constituido por cuatro cabezas o cordones de hormigón, unidos entre sí mediante las diagonales y arriostramientos metálicos de la cercha. Este conjunto estaba en buenas condiciones de resistencia para soportar las cargas correspondientes al hormigonado de la cabeza inferior, entre cuchillo y cuchillo; después de ello, el conjunto soportaba también el hormigonado de las partes laterales de la cabeza inferior, quedando ya ésta totalmente hormigonada.

En la misma forma se hormigonaron después los cuatro tabiques y, por último, los elementos de la



Viaducto del Esla. Vista superior del cordón 1, ya hormigonado y hechas las juntas, y por lo tanto en pleno trabajo. Se aprecian en la fotografía las miras fijas de nivelación colocadas en cada uno de los nudos.

cabeza superior, hasta completar el arco. Las juntas entre estos diferentes cordones o roscas, se colocaron en forma que dieran una superficie de contacto suficientemente grande, y dejando, a los tabiques, una zona de ensanchamiento en la parte superior, para asegurar sus condiciones de estabilidad contra pandeo lateral.

Este pandeo, además, venía impedido por la sujeción de estas cabezas superiores de los tabiques a los elementos metálicos de la cercha, preparados al efecto.

El hormigonado de todos estos cordones se hizo en la misma forma que hemos explicado para el hormigonado de las cabezas superiores iniciales; es decir, por trozos cortos, con arreglo al plan establecido en el proyecto, y dejando, entre uno y otro, pequeñas juntas de contracción para rellenarlas o enclavarlas, una vez terminado el hormigonado de cada cordón, habiendo dado con ello tiempo a que se verificase la parte más importante de la retracción.

Una vez terminado el hormigonado del arco, en la forma prevista, podría darse ya por



Viaducto del Esla. Vista de dos dovelas hormigonadas y la intermedia sin hormigonar del cordón 2, viendo a la izquierda de la fotografía el encofrado lateral del cordón 4.

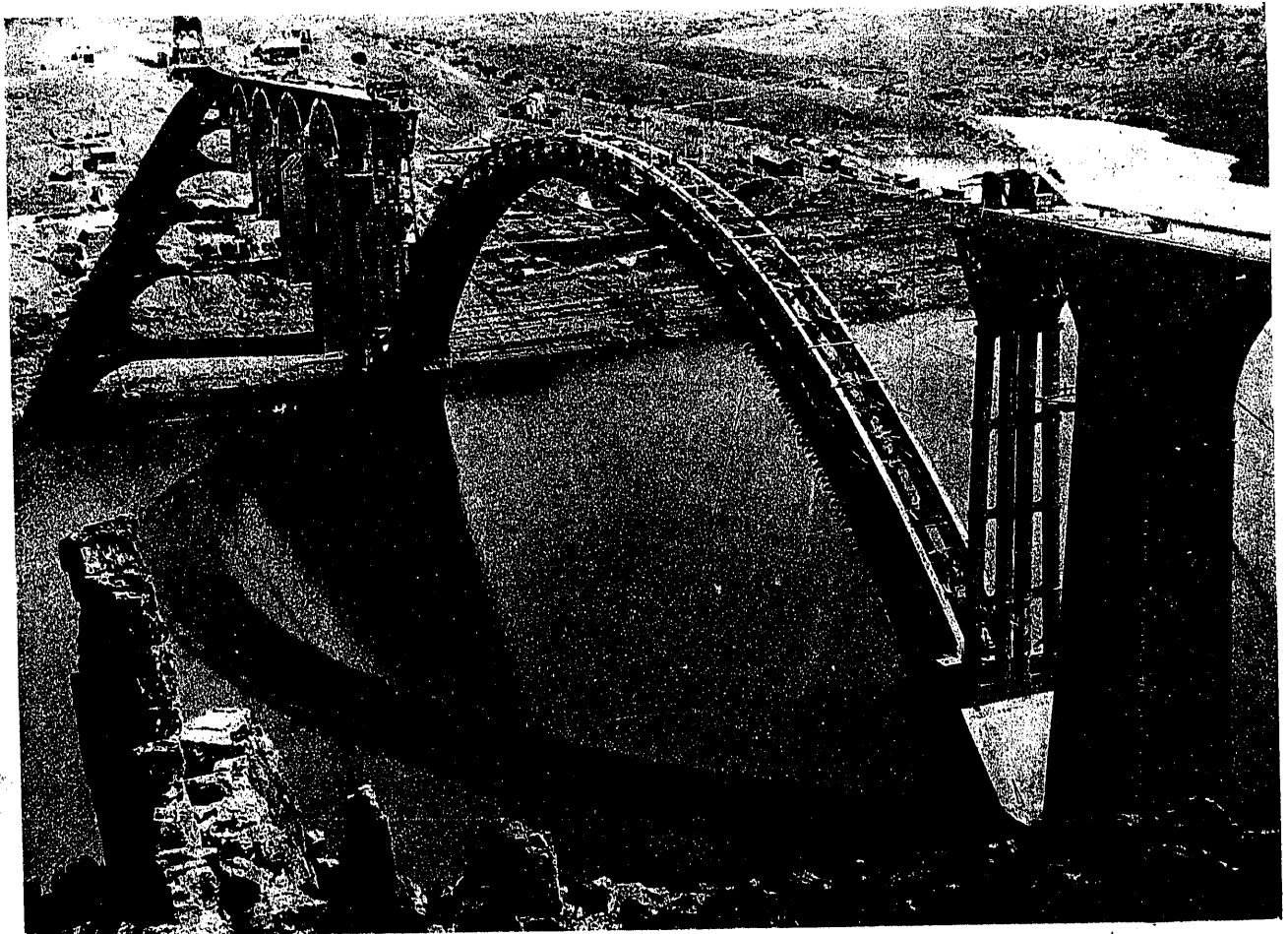
terminado éste, pero se consideró preferible introducir una nueva compresión en clave, con los gatos hidráulicos, mayor en la cabeza superior que en la inferior, para igualar, nuevamente, las compresiones, pues habiéndose hormigonado en último lugar la cabeza superior quedaban estos últimos cordones sin carga de trabajo por efecto del peso propio del arco, y aun cuando las nuevas cargas producidas por el tablero tendían a disminuir esta desproporción, se obtenía, sin embargo, un reparto más igual de esfuerzos en toda la sección mediante esta maniobra de apertura angular de la clave, cuya introducción en arcos de importancia es ya clásica.

Terminado el hormigonado del arco en esta forma, se retiraron los cables de sujeción; las diagonales interiores que quedaron alojadas en los cajones interiores del arco, sin utilidad posterior, pudiendo cortarse a soplete y retirarse, siendo éste el único material que puede considerarse inútil en la obra definitiva, ya que el resto de los elementos metálicos queda embutido en el hormigón, formando parte in-

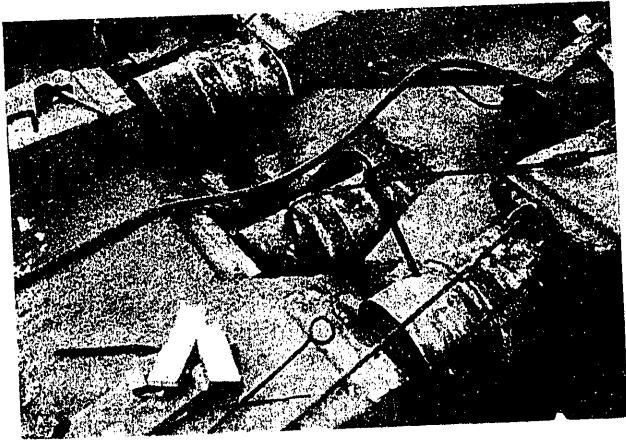
tegrante de éste, particularmente en las cabezas, en las que su resistencia a compresión se suma al de compresión del hormigón.

Se dió especial importancia, no solamente a los esfuerzos que tenían que sufrir todos y cada uno de los elementos durante el período de construcción, sino también a las deformaciones y recorridos que se habían de producir.

Para ello, se tuvieron en cuenta los conocimientos actuales sobre el comportamiento elástico y plástico del hormigón; se consideraron no solamente las deformaciones elásticas con los módulos de elasticidad correspondientes a las diferentes edades del hormigón, sino también las deformaciones lentas que tiene que sufrir cada cordón por efecto de la tensión a que se le somete en los diferentes períodos de la construcción, pudiendo estas deformaciones lentas, como se sabe, alcanzar valores relativamente importantes, particularmente durante el período de construcción, en que los hormigones son jóvenes y tienen una deformabilidad mayor bajo la acción de las cargas.



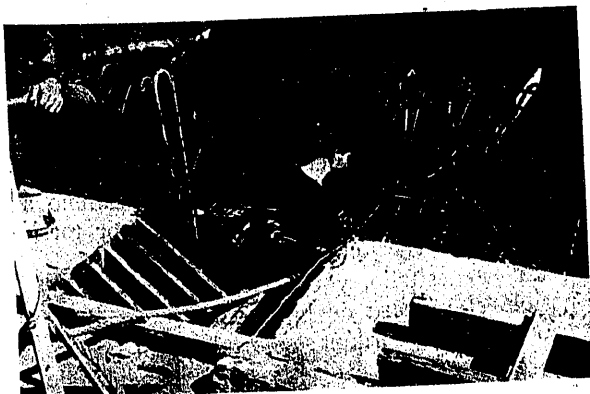
Vista general en período de hormigonado.



Vistas de los gatos.

Del estudio detallado que se hizo en este conjunto de movimientos, se dedujeron los cuadros de los recorridos probables, aproximados, que debía sufrir el arco en diferentes secciones, y más particularmente la sección de clave, las secciones de riñones y cuatro secciones intermedias, una en cada semiarco, entre arranques y riñones, y otra entre arranques y clave. Estos datos se consideraron esenciales para poder establecer un "control" de los movimientos y de los regímenes de trabajo del arco durante la construcción; pues, no podía evitarse el que, durante ella, se produjesen diferencias de peso con relación a lo previsto, de unos puntos a otros del arco, y siendo el equilibrio de éste muy sensible a estas variaciones, había un gran interés en conocer, en cualquier momento, el estado de tensión y deformación del arco para poder corregir, inmediatamente, las diferencias de peso o de tensión que apareciesen.

Con este fin, se incluyó también en el proyecto un capítulo referente a la forma de hacer estas medidas y a las instalaciones necesarias para ello.

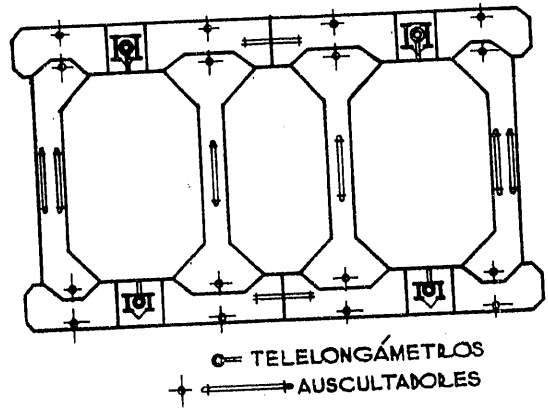


Vista de la disposición de rótulas en clave durante el hormigonado.

La marcha de hormigonado, con arreglo a todo lo que acabamos de exponer, se suponía desarrollada en un plazo de seis meses y medio, a razón de unos treinta días por rosca, con objeto de dar siempre tiempo a que cada una pudiera entrar en trabajo al sobrecargarla con el peso de la rosca siguiente, cuando ya ella tenía resistencia aceptable para estos trabajos provisionales, y en la construcción se prolongaron aún más estos plazos.

Esta marcha de hormigonado se estudió también de acuerdo con las posibilidades de la obra; es decir, con la capacidad de trabajo del blondín, de tal forma que pudieran hormigonarse, simultáneamente, cuatro elementos colocados simétricamente con relación a los ejes de simetría del arco.

Las cargas unitarias o tensiones de trabajo que resultaron de la total maniobra quedaban, en general, por bajo de los 75 kilogramos por centímetro cuadrado, carga que se elevaba accidentalmente has-



Sección transversal con posición de aparatos para lectura de deformaciones.

ta 105 kilogramos por centímetro cuadrado en algunas partes zunchadas al efecto, y bien defendidas contra rotura por los elementos colindantes.

En los puntos de aplicación de los gatos hidráulicos se dispusieron los ensanchamientos de hormi-gón y los zunchos de enrejillados necesarios para resistir este empuje local y transmitirlo, en buenas condiciones, al conjunto de la sección del arco.

Dada la complejidad y extensión de los cálculos desarrollados, y estando en preparación una publicación especial sobre el proyecto de ejecución de este viaducto, no hemos de entrar aquí en el detalle de los mismos.

Solamente indicaremos, por consiguiente, ligeramente, los temas estudiados y algo sobre la marcha seguida.

El cálculo se dividió en las seis partes siguientes:

Cálculo de los elementos de montaje y arriostamiento de la cercha metálica.

Cálculo de los esfuerzos producidos por las cargas verticales, debidos al hormigonado y la sobrecarga.

Estudio de las deformaciones longitudinales, elásticas y lentas, sufridas por las diferentes roscas y reparto de cargas en las mismas.

Cálculo de los esfuerzos accidentales y secundarios producidos por el viento, en dirección transversal y longitudinal, y por efecto térmico.

Estudio de los movimientos del arco y correcciones a introducir en su directriz inicial.

Sistema de medidas de deformación y recorridos, y "control" a establecer durante la marcha de la obra.

Siguiendo este mismo orden, se empezó por estudiar los esfuerzos producidos en la cercha metálica durante las diferentes fases de montaje, y, en particular, cuando uno de los cuatro triángulos quedaba colgado de sus extremos, y sostenía, en voladizo, los cuatro siguientes, hasta alcanzar el pendolón próximo. Asimismo se comprobó, en la posición más desfavorable, la resistencia de los cables de suspensión de los pendolones correspondientes de los elementos auxiliares de sujeción y corrección de montaje, articulaciones, etc.

Los cables de sujeción del botón de amarre se calcularon, para el empuje de viento, en el momento más desfavorable; es decir, cuando no estaba todavía hormigonada la cabeza inferior, y, sin embargo, estaban montados los encofrados con la superficie correspondiente de resistencia al viento.

En estas condiciones, se vió que en el sistema hiperestático, que formaba la cercha trabajando a flexión y torsión, y los cables de sujeción, prácticamente casi todo el esfuerzo era soportado por estos últimos, y en estas condiciones se determinó la tensión previa que había de dárseles, para evitar que ninguno de ellos trabajara a compresión.

Después de esto se estudiaron las múltiples condiciones de trabajo a que se sometía la cimbra durante el proceso de hormigonado, de las diferentes roscas o cordones, considerando, en cada momento, la sección resistente correspondiente; es decir, la sección mixta formada por la estructura metálica y los cordones o roscas de hormigón, ya hormigonadas y rejuntadas previamente.

Asimismo, se calcularon también los esfuerzos producidos por los gatos, que se aplicaron, como hemos dicho, en la cabeza inferior, antes de enclavar las articulaciones de clave y arranque; es decir, en el momento de convertir el arco de tres rótulas en un arco empotrado continuo.

Al hacer estos cálculos se vió la conveniencia de

variar el espesor de los cordones longitudinales; en particular, los que envolvían las cabezas superiores de los cuchillos metálicos se hicieron de 1,25 metros de anchura, en arranques; 1 metro, en riñones, y 0,70, en clave.

También fué necesario, en el plan de hormigonado, introducir muchas veces dovelas de un cordón antes de terminar el cordón anterior, con objeto de centrar el funicular de cargas y repartir siempre los esfuerzos en la forma más conveniente, según la sección resistente de que se iba disponiendo.

Para todos estos cálculos se consideró, también, necesario estudiar la variación probable del módulo de elasticidad longitudinal del hormigón y del módulo de deformación a lo largo del tiempo, según fuera la edad del hormigón en cada cordón en el momento estudiado.

Mediante el trazado de líneas de influencia, y aplicando el método gráfico de Janni, se disponía de los datos necesarios para el cálculo de los esfuerzos en las diagonales y cabezas.

En particular, para el cálculo de las diagonales, se tuvo en cuenta que, durante el hormigonado correspondiente de los cordones de las cabezas, la totalidad de dichos esfuerzos se repartían entre los tabiques y las diagonales, en proporción inversa a la deformabilidad que ofrecía uno y otro elemento en el trabajo, por esfuerzo cortante.

El cálculo de los esfuerzos producidos sobre el arco una vez terminado, por la palizada, tablero, sobrecargas, etc., así como por efecto de la apertura de clave, no presentaba ya ninguna particularidad especial. La sobrecarga era la correspondiente a doble vía normal, con balasto.

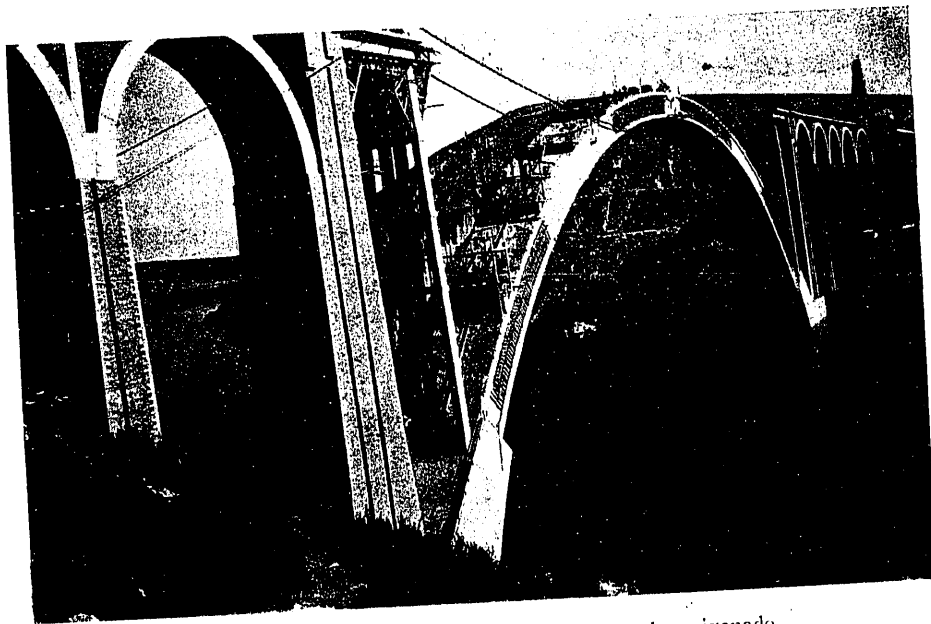
• Pero para el estudio anterior, particularmente durante el proceso de hormigonado, y aun después de efectuada la apertura de clave, así como para el cálculo del esfuerzo que había que introducir para esta apertura, y el recorrido probable que hubiera que dar a los gatos, era necesario estudiar, con detalle, las deformaciones, no solamente del conjunto, sino de cada una de las partes o cordones dentro del conjunto de la sección, pues dadas las proporciones de la obra, la influencia de fenómenos que pudiéramos llamar anormales, era ya muy apreciable. Ciertamente, el gran peralte del arco disminuía los efectos perjudiciales de estos fenómenos, y en cambio aumentaba mucho los peligros de vuelco, por torsión, durante la construcción.

Para este estudio, y con objeto de disminuir en lo posible el número de hipótesis, se consideró necesario que cada cordón se hormigonara en un período de diez a quince días, y se prescindiera de los incrementos de flexión y esfuerzo axial debido a cada parte del cordón, considerando solamente los valores producidos después de la adición de cada uno

de estos cordones completos. Así se suponían los módulos elásticos del material en cada cordón, correspondientes a cada uno de los momentos en que se terminaba de hornigonar uno cualquiera de los cordones siguientes; y se suponía que estas condiciones de deformación se mantenían constantes en el período comprendido entre el hornigonado de un cordón y el siguiente. Con estos datos, es decir, sabiendo en cada momento las cargas que soportaba cada cordón y sus condiciones de deformación, se determinaba, por los métodos correspondientes de la resistencia de materiales, las deformaciones y reco-

je del viento, determinándose el reparto de esfuerzos cortantes por el método de Prandtl, particularmente, para comprobar si en las juntas de hornigonado, tal como se habían dispuesto, la resistencia era suficiente.

En cuanto a los esfuerzos térmicos, se estudiaron también, en la forma clásica, a partir del momento en que se enclavaban las articulaciones, considerando no solamente la sección completa, sino también los períodos intermedios; esto es, cuando la sección de hormigón estaba formada solamente de los cordones que rodeaban las cabezas de la cercha metálica, cuan-



Viaducto del Esla. Vista general del arco hornigonado.

rridos, o movimientos en el espacio, correspondientes a la terminación de hornigonado de cada uno de los cordones.

Como la retracción podía producirse, en gran parte, antes de enclavar las juntas entre dovelas de un mismo cordón, se consideró incluida la retracción remanente en la deformación lenta del hormigón, para no tener que hacer un cálculo independiente de ello.

Para todos estos estudios se adoptó la ley general de deformación del hormigón, propuesta anteriormente por uno de los autores del proyecto.

Aparte de esto, se estudiaron también otros esfuerzos accidentales. Hemos indicado cómo se hizo el estudio del viento sobre la cercha metálica. También se analizó, con detenimiento, la flexión y torsión que producía sobre el arco definitivo el empu-

do estaba totalmente hornigonada la cabeza inferior y cuando estaban hornigonados los tabiques.

El cálculo se completó con el estudio de multitud de esfuerzos accidentales o secundarios que se presentaban, tales como: la influencia del peso de cada devela sobre los elementos que la sustentaban; posibles esfuerzos secundarios producidos por la diferencia de contracciones o dilataciones térmicas entre tabiques interiores y exteriores, o entre las paredes interior y exterior de estos últimos, etc.

Por último, para la determinación de las cargas de trabajo del arco en cada cordón, se hizo la corrección que resultaba de los estudios de deformación hechos, como se ha dicho anteriormente, y que, en general, venían a disminuir la carga de trabajo de los más cargados, tendiendo a regularizar el trabajo del conjunto.

VIADUCTO MARTÍN GIL

Por FRANCISCO CASTELLON (Jefe), CESAR VILLALBA, ANTONIO SALAZAR y EDUARDO TORROJA, Ingenieros de Caminos.

Dada la extensión e importancia del tema que se trata en el presente trabajo que venimos publicando, comprenderá cuatro artículos en lugar de tres, que habíamos previsto. En este tercero se describen los procedimientos empleados para medir las deformaciones del arco y la organización y funcionamiento del Laboratorio instalado a pie de obra, quedando para el siguiente y último artículo la exposición de los principales detalles constructivos de la obra.

III

Sistema de medida y control de movimientos y deformaciones del arco.

El plan establecido para la determinación de las deformaciones y movimientos del arco, fué orientado, a fin de conseguir estos datos, valiéndose, para lo primero, de dos sistemas distintos: uno, basado en la instalación de auscultadores de deformación interna, del tipo ICON, de cuerda vibrante, con sensi-

bilidad de milésima de milímetro, siguiendo la propuesta hecha por el entonces Ingeniero Asesor del Viaducto y hoy Ministro de Obras Públicas, Excelentísimo Sr. D. Alfonso Peña Boeuf, y otra, mediante elongámetros de tipo mecánico, también introducidos en la masa del arco, para conseguir una duplicidad de lecturas, que permitiera eliminar errores casuales.

Los auscultadores se establecieron en la forma indicada en la figura 1.^a, en las secciones de arranque, riñones y clave, dejando en todas ellas clavijas de

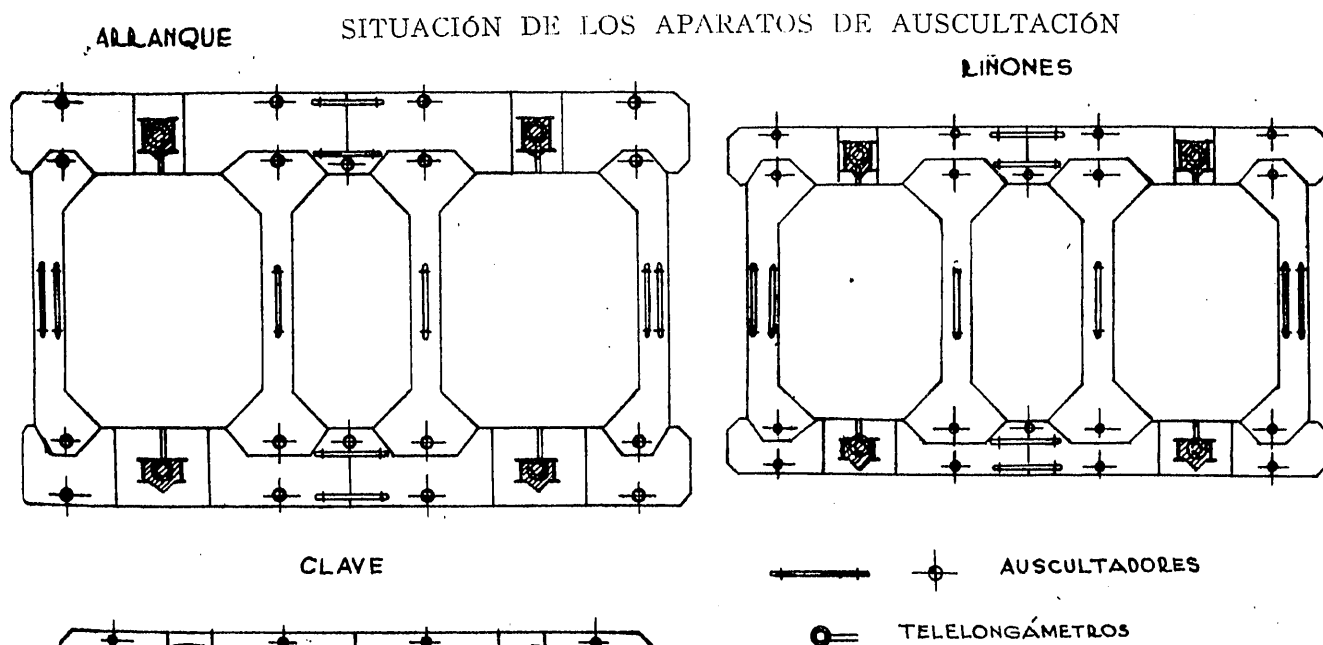


Figura 1.^a

conexión para permitir las lecturas desde cualquier distancia, mediante tendido de cables eléctricos, suficientemente protegidos hasta el aparato receptor, en el que se detectaban los valores de las deformaciones de cada uno de los testigos.

Los elongámetros se dispusieron longitudinalmente a lo largo de las cuatro cabezas de la cercha para medir sus deformaciones, con lo que, conocidas és-

tas, se conocían las condiciones de resistencia de las partes más cargadas del arco y las que estaban sometidas durante mayor plazo a los esfuerzos anormales por defecto del hormigonado de las partes restantes.

Para la medida de estas deformaciones longitudinales de las cuatro cabezas, pareció lo más conveniente disponer aparatos de medida que dieran directamente la deformación o acortamiento total entre cada dos nudos. Como los nudos estaban a distancias variables entre 5,88 y 6,90 metros, y cada cabeza formada por dos dobles T, resultaba fácil alojar y sujetar debidamente los aparatos entubados de nudo a nudo.

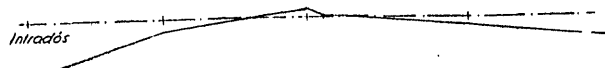
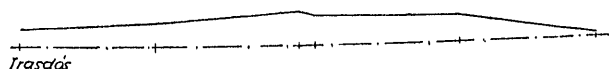
El número total de ellos resultó por consiguiente, en esta forma, de 128.

Las condiciones que habían de cumplir estos aparatos, eran las siguientes: sensibilidad del orden de la doble centésima de milímetro por metro, lo que

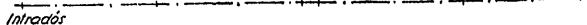
DEFORMACIONES LONGITUDINALES DE AUSCULTADORES

ZAMORA.

CORUÑA.



Inmediatamente después de la maniobra de apertura de clave.



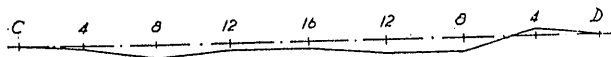
Después de terminar el hormigonado del arco.

Figura 2.ª

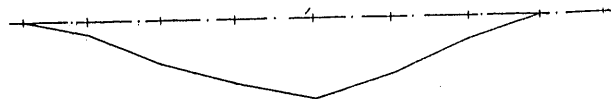
CORRIMIENTOS TRANSVERSALES

ZAMORA.

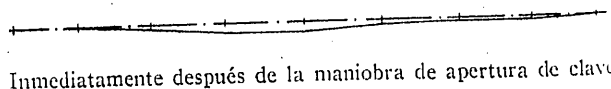
CORUÑA.



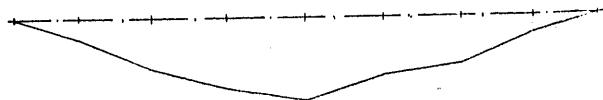
Inmediatamente después de terminar el hormigonado de la cabeza inferior.



Inmediatamente después de terminar el hormigonado de la cabeza superior.



Inmediatamente después de la maniobra de apertura de clave.



Después de terminar el hormigonado del arco.

Figura 3.ª

equivale en el acero a una tensión unitaria de 40 kilogramos por centímetro cuadrado, y en el hormigón, con un módulo de elasticidad del orden de 400.000 que pudo preverse dados los ensayos efectuados, representa una tensión de 8 kg./cm.². El exigir una mayor sensibilidad hubiera obligado, naturalmente, a encarecer la instalación, lo cual no parecía necesario, por no tratarse de un estudio afinado de tensiones, sino, exclusivamente, de un indicio para la seguridad de la obra durante su construcción.

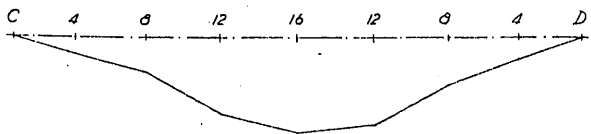
La medida directa de las deformaciones en estas cuatro líneas, no podía sustituirse con eficacia por la determinación de los recorridos de diferentes puntos de la cercha con el sistema que luego se expone, ya que ese sistema solamente alcanzaba sensibilidades del orden de algunos milímetros, con dificultad. Por consiguiente, con longitudes, entre punto y punto observado, menores de 50 metros, la sensibilidad era ya menor que la prevista con los aparatos de medida directa de la deformación. Así, pues, se hubieran pasado por alto todas las deformaciones de ese tipo que se extendieran sobre menos de 50 metros, y por

el cálculo del arco se veía que los valores de las tensiones variaban mucho más rápidamente a lo largo del arco por efecto de las variaciones y hasta inversiones de las flexiones durante el hormigonado. Era necesario, pues, poder detectar variaciones de tensiones en longitudes cortas, a ser posible entre nudo y nudo, tanto más cuanto que estas variaciones locales eran precisamente las más probables y peligrosas por cualquier defecto del material o de la construcción.

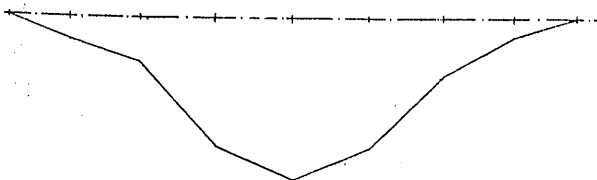
Para conocer completamente el trabajo de los distintos elementos quedaba otro punto importante. No resultaba posible, práctica y económicamente, establecer aparatos de medida sobre los sistemas de arriostamiento horizontal de trasdós e intradós que quedaban embutidos en el hormigón, porque el coste de

CORRIMIENTOS VERTICALES

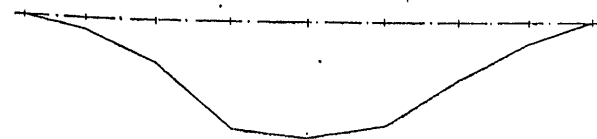
ZAMORA. CORUÑA.



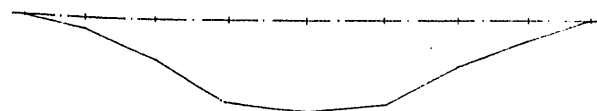
Inmediatamente después de terminar el hormigonado de la cabeza inferior.



Inmediatamente después de terminar el hormigonado de la cabeza superior.



Inmediatamente después de la maniobra de apertura de clave.



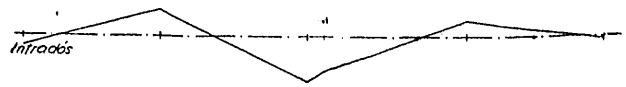
Después de terminar el hormigonado del arco.

Figura 4.^a

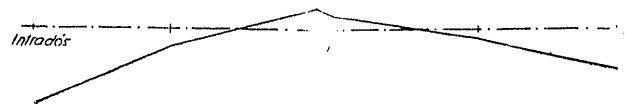
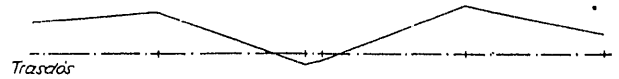
DEFORMACIONES LONGITUDINALES DE AUSCULTADORES

ZAMORA.

CORUÑA.



Inmediatamente después de terminar el hormigonado de la cabeza inferior.



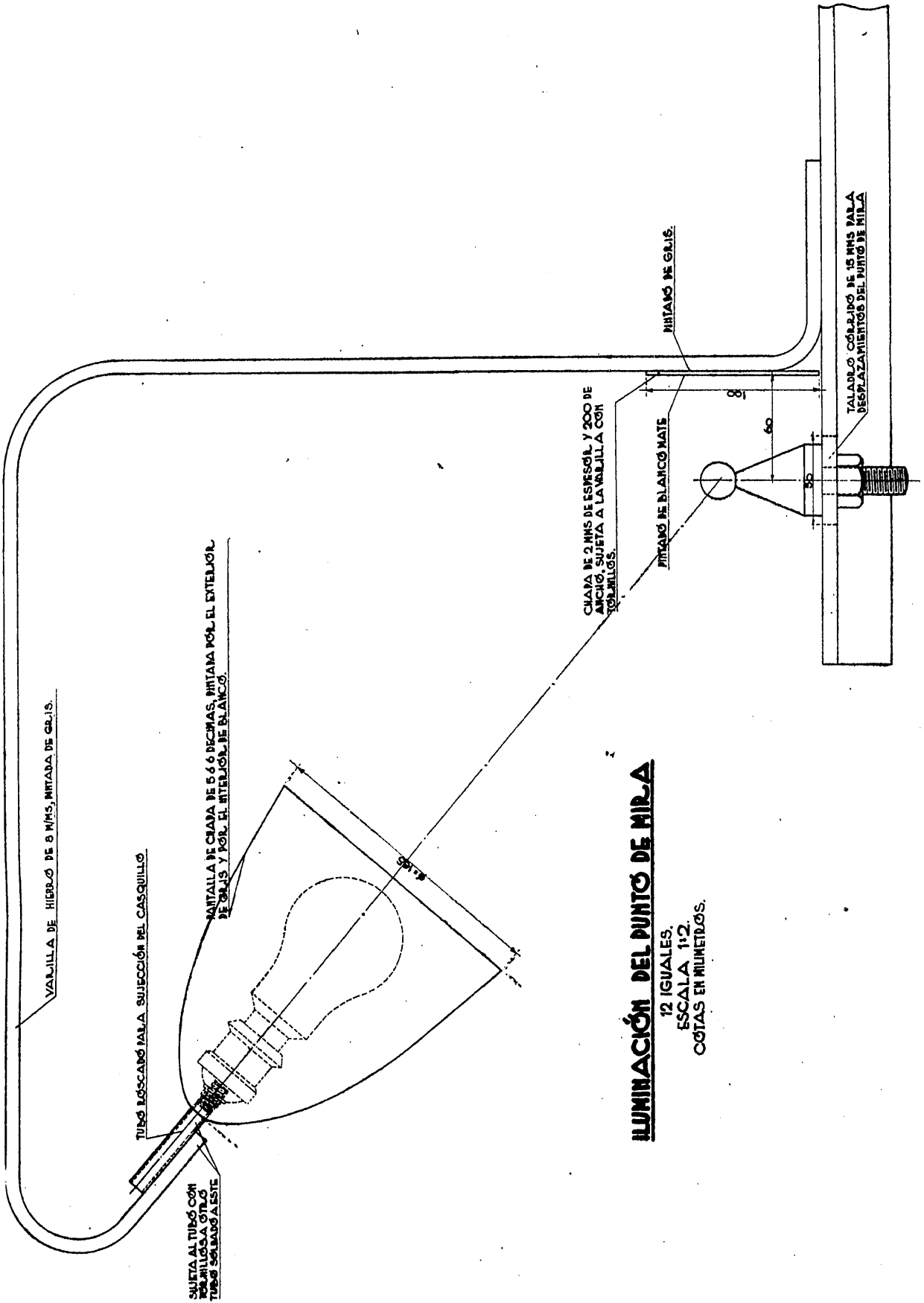
Inmediatamente después de terminar el hormigonado de la cabeza superior e inferior.

Figura 5.^a

la instalación hubiera sido prohibitivo. Pero como el trabajo de estos elementos se producía solamente con la flexión en planta del arco bajo el viento u otros efectos anormales, y estos fenómenos abarcaban siempre zonas grandes de la estructura, produciendo recorridos apreciables simultáneamente en longitudes grandes del arco. Su medida se hacía mejor midiendo ópticamente los movimientos por medios geodésicos.

Los puntos a observar se eligieron en las intersecciones de los paramentos verticales que limitan la bóveda y se distribuyeron de modo que se correspondieran, aproximadamente, con las secciones más importantes entre las empleadas para el cálculo. La señal que en cada punto debía ser observada consistía en una esfera ennegrecida y mate de dos centímetros de diámetro sujeta al vértice de un cono, en la base del cual se fijaba una pantalla blanqueada, susceptibles de ser iluminada durante las observaciones nocturnas; dándose las dimensiones convenientes para que, desde los puntos de observación de la señal, se viera resaltar por contraste contra la pantalla.

Además de las dos estaciones vértices se dispuso un tercero, que tenía por objeto proporcionar una tercera visual de comprobación de las dos visuales precedentes, permitiendo juzgar respecto de la calidad de las observaciones realizadas y de las situaciones dadas a los puntos y efectuar una compensación de errores.



ILUMINACION DEL PUNTO DE MIRLA

12 IGUALES.
ESCALA 1:2.
COTAS EN MILIMETROS.

Figura 6.^a

En estas tres estaciones se construyeron casetas de madera sólidamente instaladas, sobre firme de fábrica, con amplios ventanales, y en su parte interior, sobre bancada, también de fábrica, se situaron fijos, de una vez para todas, los teodolitos. Estos eran "Wild", con sensibilidad de un segundo.

Para conocer los recorridos de cada punto, se efectuaban simultáneamente las lecturas, desde las tres estaciones y, una vez referidas las de las miras

horizontales a las mismas esferas, se disponía de tres visuales, con ángulos conocidos, para determinar la posición de cada punto.

A fin de evitar la lentitud y dificultad del cálculo de cada una de las lecturas, se recurrió al empleo de unos ábacos, previamente preparados, uno para cada punto a observar, sobre los que se trazaban las líneas correspondientes a las tres visuales, cuya intersección (mejor dicho, el centro del triángulo formado

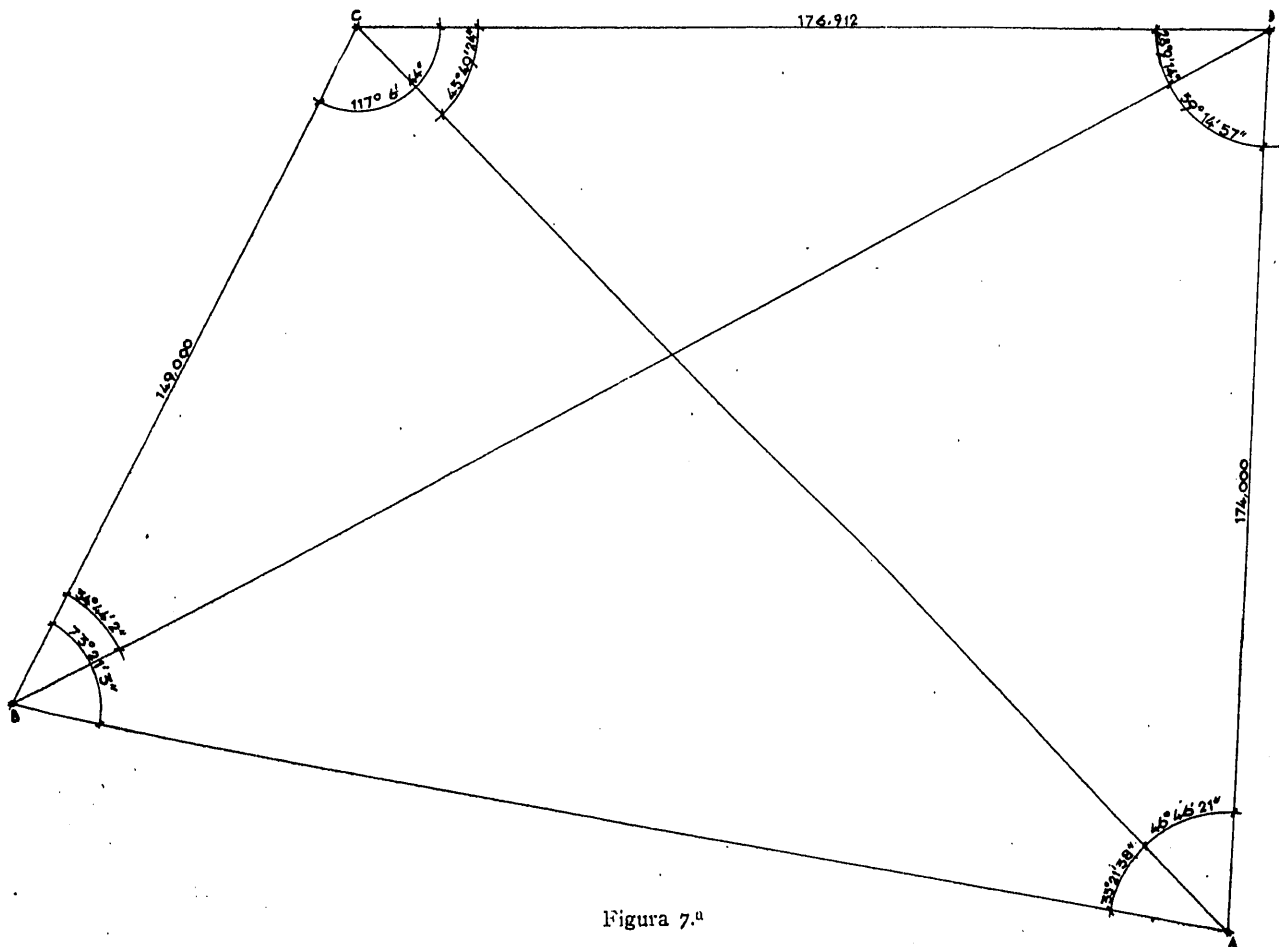
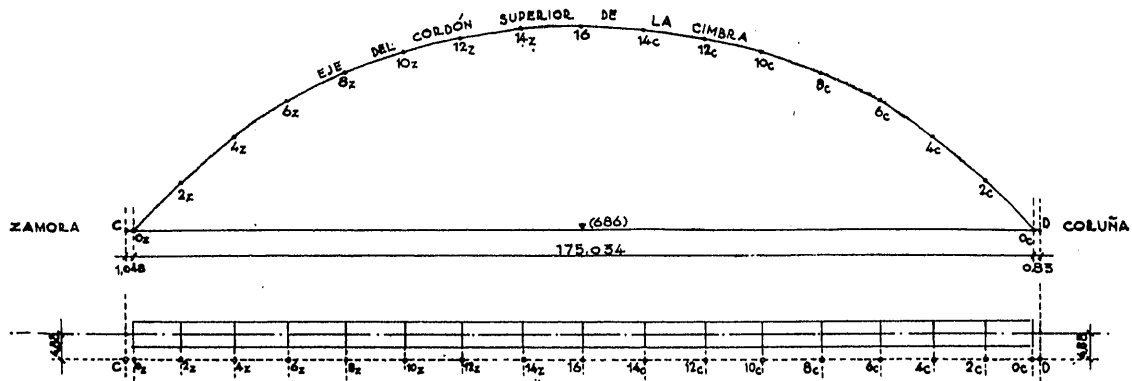


Figura 7.^a

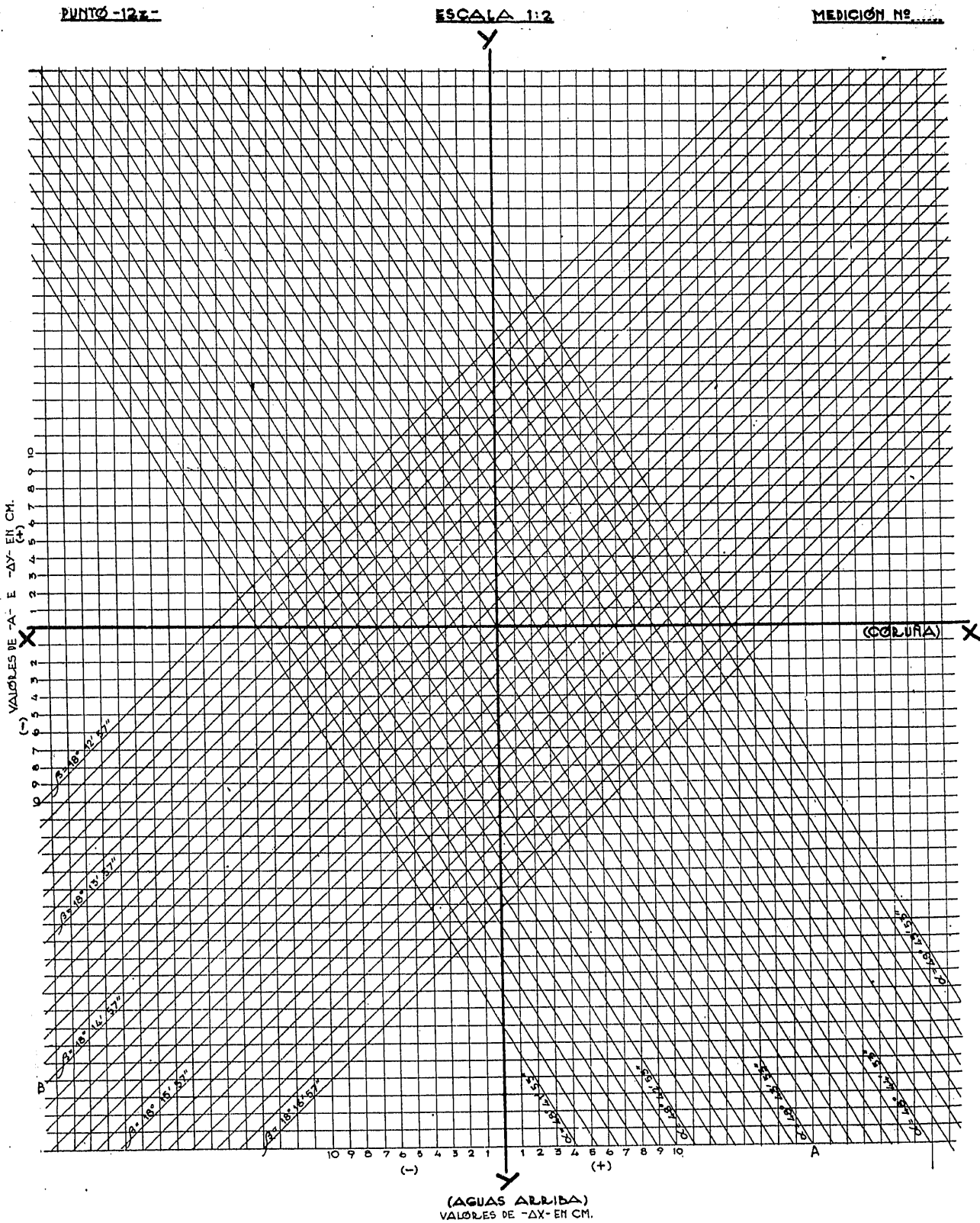
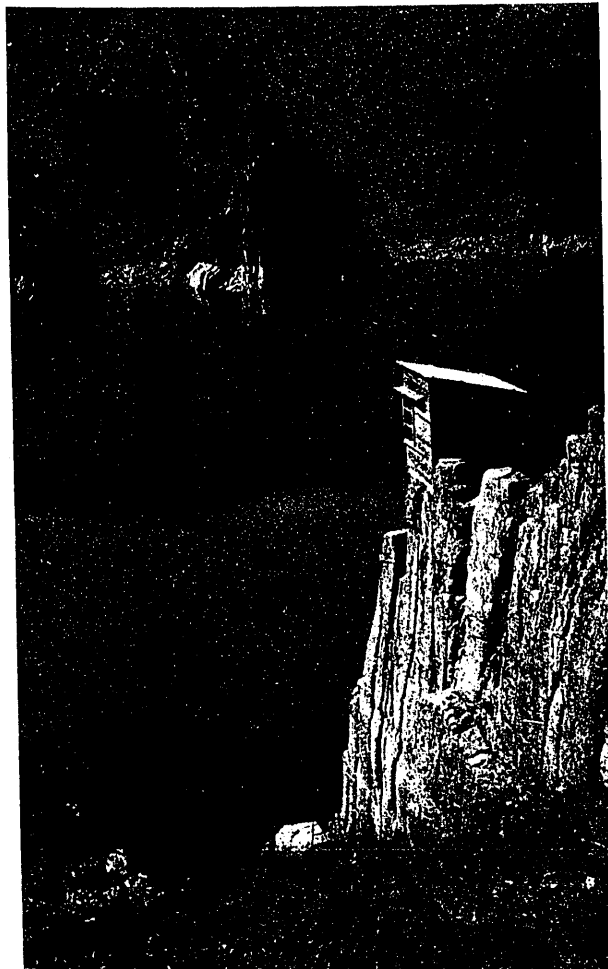


Fig. 8.ª — VIADUCTO DEL ESIA. — Proyección horizontal de los corrimientos del arco.

por sus intersecciones) permitía obtener gráfica y rápidamente la nueva posición de cada punto con errores del orden de los 5 milímetros.

Estas observaciones se referían, principalmente, a los movimientos horizontales, tanto longitudinales como transversales. Para los verticales, se utilizaron miras soldadas a la armadura en posición vertical y una serie de estaciones de nivelación en ambas laderas, con plataforma de fábrica, para situar el nivel, y miras fijas de referencia, sobre tierra firme, empotradas a conveniente distancia de cada estación, para comprobación de las lecturas del nivel. Desde estas estaciones eran observables todas las miras del arco, deduciendo por nivelación directa los recorridos verticales.

También se tuvo mucho cuidado de establecer puntos de referencia en los estribos, y referencias fijas en las laderas, que pudieran en todo caso darnos a conocer cualquier movimiento de los estribos.



Caseta de observaciones en la margen izquierda.

Además de esto, durante el hormigonado, a fin de notar cualquier deformación transversal en las diagonales de la armadura rígida, se establecieron puntos de referencia para estas medidas.

Las variaciones de ambiente durante la ejecución de la obra, se leían en anemómetros y termómetros de máxima y mínima. Asimismo, se anotaban las variaciones de soleamiento, lluvia, humedad, etc.

Como dato curioso, podemos anotar que las velocidades de viento máximas que llegaron a registrarse fueron de 2 800 metros por minuto, exceptuando el ciclón de febrero de 1941, del que se hará mención en otro lugar, precisamente en un momento (16 de noviembre de 1940) en que estaba la armadura rígida del arco completa y solamente iniciado el hormigonado de la rosca superior, no obstante lo cual, el movimiento transversal que se observó en la clave fué de 10 centímetros solamente.

La toma de estos datos para estas observaciones, se efectuó durante toda la obra, por personal técnico fijo, especialmente adiestrado y que no tenía a su cargo, en la obra, más misión que la de atender constantemente a estas observaciones.

Laboratorio de ensayos.

Teniendo en cuenta la importancia de esta obra, y muy especialmente el trabajo a que está sometido el hormigón, que como ya hemos dicho llega, aunque transitoriamente, a 105 kg./cm.² durante la construcción del arco, el pliego de condiciones facultativas del proyecto que sirvió de base a la subasta obligaba al contratista a la instalación de un laboratorio dotado de todos los elementos precisos para realizar los ensayos físicos, químicos y mecánicos de áridos y cemento.

Una de las casetas de madera que se construyeron en la ladera del lado Zamora, y a unos 15 metros aguas abajo del Viaducto, se habilitó para oficina técnica, administrativa y laboratorio, siendo la superficie destinada a este último la mitad de la caseta.

Se construyó un depósito de hormigón, para la conservación en agua de los cubos para ensayo; una estantería, para depositar los que se habían de ensayar, conservados en seco; unos moldes de hierro cepillado, con fácil y resistente montaje, de 0,20 X 0,20 X 0,20; otros, de las mismas características y de 250 cm.² de superficie de las caras; otros, para ensayos de morteros y pasta pura; se adquirieron cristales para determinar la estabilidad de volumen; agujas de expansión, de Vicat; tamices para determinar la finura de molido; aparatos de Schuman y Chatelier, para determinar la densidad; balanza Michaelis, para tracción y flexión; una serie de tamices para determinar el módulo de finura de los áridos;

una prensa para rötura a compresión, movida a mano; una balanza de precisión; ácidos y reactivos para los ensayos químicos, y un mechero con su crisol de platino, para calcinaciones, etc.

Bien pronto, y ante los imprecisos datos que la prensa nos daba, pues los platillos de compresión no tenían articulación de rötula, la rechazamos, y fué sustituida por una Amsler de 300 toneladas que había adquirido la fábrica "Alfa", que nos suministraba el cemento, y que fué cedida para su instalación en la obra mientras durasen los trabajos del Viaducto. Esta prensa, cuya fotografía acompañamos, tiene las siguientes características:

| | |
|---|----------------|
| Presión máxima..... | 300 toneladas. |
| Dimensiones de los platillos de compresión | 0,42 X 0,42 |
| Distancia entre los platillos de compresión | 0,00 a 0,44 |
| Peso..... | 2 000 kg. |

La prensa es accionada por un motor eléctrico, y ha sido comprobada varias veces para asegurarnos



Prensa Amsler, de 300 toneladas, para ensayos a compresión.

de la certeza de los resultados, por un aparato de tarado también Amsler, y que nos confirmó la inalterabilidad de su funcionamiento. También nos cedió en las mismas condiciones la fábrica "Alfa" un aparato para medir la retracción del fraguado, que, aunque seguramente conocido por todos, pasamos a describirlo:

Con este aparato se mide la retracción del fraguado en prismas de hormigón de 0,50 X 0,10 X 0,10, que se confeccionan al mismo tiempo que los cubos de compresión, con un molde de acero que acompaña al aparato, y cuya única particularidad consiste en que en las caras de 0,10 X 0,10 tiene en su centro unas medias esferitas, para dejar su huella en el hormigón y poder alojar en ellas las bolitas de acero, que han de servir para las medidas sucesivas que es necesario realizar.

El dispositivo de medida, se compone de tres elementos distintos:

- 1.º Cuadro de sujeción.
- 2.º Cuadro de medida.
- 3.º Barra patrón o de comparación.

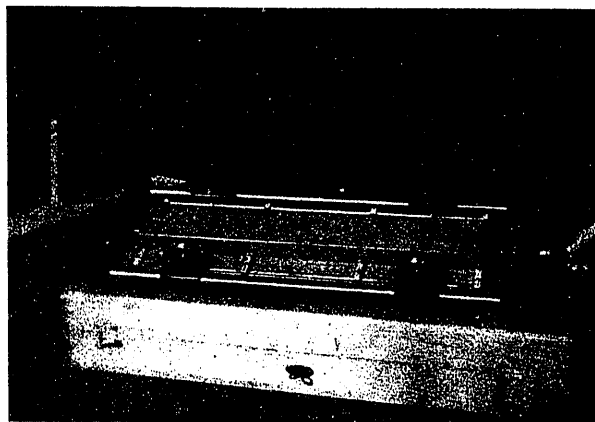
El cuadro de sujeción sirve para aplicar y sostener las dos bolas de acero contra el centro de las dos superficies frontales del prisma de hormigón, alojándose en las huellas dejadas por el molde, manteniendo este contacto íntimo y constante, desde el momento que se hace la primera lectura, hasta el final del ensayo, no debiendo cambiar ni mover el cuadro de la posición primitiva; por lo tanto, son necesarios tantos cuadros y tantos pares de esferitas, cuantos ensayos queramos realizar. El cuadro está compuesto de dos hierros redondos galvanizados y roscados en sus dos extremos, y dos piezas elásticas transversales, que son las que sujetan las esferas, alojándolas en unos taladros que tiene en el centro, y tensadas después por medio de tuercas que se roscan en los extremos de los redondos longitudinales.

El cuadro de medida sirve para determinar la variación de la distancia entre las bolas, o sea del prisma que se ensaya. Se compone de un cuadro rígido, que se coloca para realizar la medida, sobre los tirantes del cuadro de sujeción, por intermedio de unas ruedas (siendo las de uno de los lados acanaladas) y haciendo después girar el tornillo del micrómetro, que va colocado en una de las cabezas, hasta que se apoye contra la esferita, al mismo tiempo que el apoyo opuesto lo hace contra la bola del otro extremo. Para que el contacto entre estos puntos y las bolas tenga lugar siempre a una presión igual, el tornillo del micrómetro no está accionado directamente por el botón de maniobra, sino por intermedio de un resorte, que, al llegar a la tensión fijada, hace sonar un timbre. El tornillo micrométrico tiene un paso de un milímetro. Las vueltas completas se leen en una

reglilla graduada, y las centésimas de milímetro sobre el disco contador.

La barra de comparación o patrón sirve de base para referir a ella todas las medidas de los prismas. Una vez realizada la medida del prisma o de los prismas, se mide idénticamente el patrón, anotándose las diferencias de estas dos lecturas, siendo por lo tanto estas medidas independientes de las diferencias de longitud que experimente el cuadro de medidas. Aun cuando el patrón va alojado dentro de una envoltura de madera, es conveniente realizar las medidas a una misma temperatura, cosa que se consigue fácilmente en las que se realizan en los primeros días y en las anuales, por estar en la misma época del año, y con ello, a una temperatura semejante y fácilmente corregible en el laboratorio.

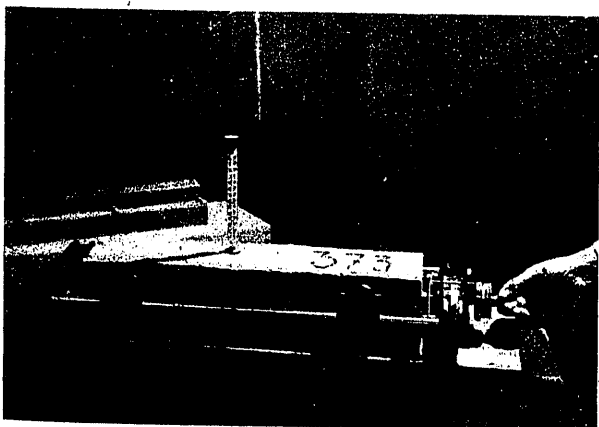
Este laboratorio funcionaba bajo la dirección del personal técnico encargado de la obra, y en él se



Medida de la barra patrón.

nas condiciones y ya analizado. Los ensayos no siempre comprendían el análisis químico, haciéndose éste cuando variaba la procedencia o había desconfianza del producto, y lo normal, era hacer las pruebas de estabilidad, expansión, pérdida al fuego, rotura de probetas a compresión, tracción y flexión y determinación de la finura de molido y calibre. Una vez unificada la procedencia (fábrica "Alfa", de Mataporquera), también se simplificó el trabajo del laboratorio, pues la regularidad de fabricación era completa, y los ensayos químicos se espaciaron, debiendo hacer constar que el tono del color del cemento, nos indicaba *a priori* la calidad del mismo, comprobada siempre con los ensayos realizados.

Los ensayos de la arena consistían, en esencia, en la determinación de arcilla, y en la de la materia orgánica y módulo de finura; para la primera se empleó el método de decantación, y para la segunda, el procedimiento de tratar la arena con una disolución de sosa cáustica al 3 por 100 y comparar el color del

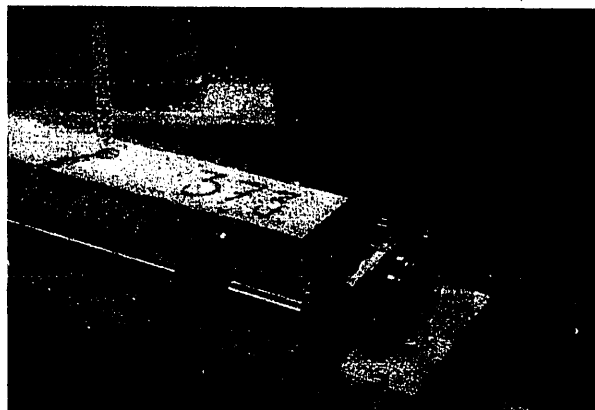


Medida de uno de los bloques de hormigón, de 0,50 X 0,10 X 0,10, para determinar su retracción.

realizaban todos los ensayos de áridos, cemento y hormigones que se empleaban en la ejecución.

Durante la construcción de la obra por contrata, era más intensa y prolija la labor a realizar, ante todo en lo que a cemento y arena se refiere, pues variando con frecuencia la procedencia, era indispensable, antes de autorizar su empleo, verificar los análisis de ambos elementos, además de la diaria toma de muestras para ensayos a compresión del hormigón empleado en la obra, y de las indispensables modificaciones en la dosificación de áridos.

Los ensayos de cemento se hacían sistemáticamente en cada remesa, tomándose las muestras a medida que se apilaba en el almacén, haciéndose este apilado de tal forma, que se gastaba el más antiguo y se rotulaba con un cartel encarnado el que no había sido objeto de análisis; con uno verde, el que está ensayándose, y con uno blanco, el considerado en bue-



Tornillo micrométrico del cuadro de medida.

4.ª JEFATURA DE ESTUDIOS Y CONSTRUCCIONES DE F. C.
(NOROESTE).

ENSAYO GEN

| Capacidad de la medida ... J | Tara de la medida ... G | Peso de la medida llena de árido ... P = P-G | Peso aparente del árido anterior $\Lambda = (P-G):J$ | Volumen en litros de los huecos del árido ... H | Núm. de litros que faltan para enrasar la medida ... W | Volumen reducido de árido batido ... B = J-W | Peso aparente del árido batido ... $C = \frac{P-G}{B}$ | Coefficiente de reducción ... e = B:J | Coefficiente de huecos ... h = H |
|------------------------------|-------------------------|--|--|---|--|--|--|---------------------------------------|----------------------------------|
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| I. | Kg. | Kg. | Kg. | | | l. | | | |
| 49,200 | 6,450 | P 96,750 P-G 90,300 | 1,83 | 8,800 | 5,500 | 43,700 | 2,06 | 0,888 | 0,201 |
| 49,200 | 6,450 | P 96,250 P-G 89,800 | 1,82 | 9,800 | 5,500 | 43,700 | 2,05 | 0,888 | 0,224 |
| 49,200 | 6,450 | P 96,750 P-G 90,300 | 1,83 | 11,160 | 3,200 | 46,000 | 1,96 | 0,934 | 0,242 |
| 49,200 | 6,450 | P 90,750 P-G 84,300 | 1,71 | 10,480 | 6,200 | 43,000 | 1,96 | 0,873 | 0,241 |

líquido con el de la escala tipo. De la arena del Duero obtuvimos una arena normal, para ensayos, que comparada con la de Leucate, que al principio empleábamos, nos dió resultados casi iguales en las pruebas conjuntas que hicimos.

La piedra para hormigón, toda ella fué de cuarcita, y solamente hubimos de preocuparnos de que estuviese exenta de pizarra, para lo cual hubo de abandonarse la cantera, y recogerla de la que había extendida por las cercanías, que procedía de la destrucción por las heladas y agentes atmosféricos, de los crestones que emergen del suelo.

Una vez realizadas las obras por administración y fijos y determinados los puntos de extracción de la piedra, arena y cemento, la principal preocupación fué su exacta dosificación para conseguir una máxima resistencia.

La piedra empleada, como ya hemos dicho, fué la cuarcita, que era machacada en dos tamaños, de 10 a 30 mm., y de 30 a 50, habiéndose determinado que el mínimo de huecos se conseguía mezclando en partes iguales esos dos tamaños. El peso específico de la piedra era de 2,6.

La arena del Duero, extraída en las proximidades de Zamora, estaba exenta de impurezas, era cuarzosa y con buena composición granulométrica. Su peso específico era de 2,58.

El ensayo para determinar el mínimo de huecos, se hacía siguiendo el modelo que damos a conocer en estas páginas para indicar el método empleado.

El cemento utilizado ha sido, casi en la totalidad de la obra, y exclusivamente en el arco, el supercemento "Alfa".

Las características esenciales del mismo son las siguientes:

| | |
|--------------------------------------|------------------|
| Pérdida al fuego..... | de 0,50 a 2,00 % |
| SiO ₂ | de 20 a 22,00 % |
| Al ₂ O ₃ | de 5,8 a 6,50 % |
| Fe ₂ O ₃ | de 3,5 a 4,00 % |
| CaO | de 64 a 65,00 % |
| MgO | de 0,5 a 1,00 % |
| SO ₃ | de 2,3 a 2,40 % |
| Peso específico..... | de 3,10 a 3,15 |

| | 3 días. | 7 días. | 28 días. | |
|-----------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-------|
| | Kg./cm. ² | Kg./cm. ² | Kg./cm. ² | |
| Pasta pura... { | Rotura a tracción.... | 57 | 70 | 75 |
| | " a flexión..... | 135 | 140 | 150 |
| | " a compresión | 850 | 1.000 | 1.300 |
| Mortero 1:3 { | Rotura a tracción.... | 35 | 40 | 50 |
| | " a flexión..... | 53 | 65 | 70 |
| | " a compresión | 250 | 400 | 500 |

AL DEL ARIDO

VIADUCTO «FRANCISCO MARTÍN GIL»
LABORATORIO.

| Ensayo específico del árido ... Y = ... (P-G) (B-H) | Parámetro ... C : Y | Comprobación huecos árido batido ... h = (1-C:Y) | Aglomeración v = 0,100 | Aridez máxima conforme a los huecos ... m = ... h (1 + v) × e | Cantidad de cemento necesario para rellenar los huecos ... D = 1000 m. c. — Litros. | OBSERVACIONES |
|---|------------------------|--|-----------------------------------|---|--|--|
| 2,58 | 0,798 | 0,202 | 0,100 | 5,068 | 222 | Este ensayo se hace con 23 litros de piedra de 30 a 50 mm., 23 litros de 10 a 30 mm. y 22,5 litros de arena. |
| 2,59 | 0,778 | 0,222 | 0,100 | 4,570 | 246 | Este ensayo se hace con 46 litros de piedra de 30 a 50 mm. y 22,5 litros de arena. |
| 2,59 | 0,756 | 0,244 | 0,100 | 4,022 | 266 | Este ensayo se hace con 46 litros de piedra de 10 a 30 mm. y 22,5 litros de arena. |
| 2,59 | 0,756 | 0,243 | 0,100 | 4,291 | 266 | Este ensayo se hace con 24 litros de piedra de 30 a 50 mm., 24 litros de 10 a 30 mm. y 17,5 litros de arena. |

Perfecta estabilidad de volumen y ninguna expansión.

Principio de fraguado a las tres horas, y final del mismo, a las seis horas.

Los hormigones para el arco principal, fueron dosificados con arreglo a los resultados del cuadro de ensayo general del árido, teniendo en cuenta la mayor cantidad de cemento que los huecos exigían, y, por ello, se componía de 450 litros de piedra partida de 10 a 30 mm., 450 litros de 30 a 50, 500 litros de arena y 400 kilos de cemento; tenían un peso específico de 2,45 a 2,49, y la cantidad de agua variaba según el sitio de empleo, dependiendo de la mayor o menor cantidad de hierro.

Las resistencias a la compresión fueron las siguientes, en kilogramo por centímetro cuadrado, para los diferentes tipos de hormigón empleados:

| | | 7 días. | 28 días. | 3 meses. |
|-------------------------------------|--------------|---------|----------|----------|
| Hormigón de 150 kg. de cemento..... | Máxima | 155 | 225 | 270 |
| | Media | 115 | 168 | 248 |
| Hormigón de 200 kg. de cemento..... | Máxima | 199 | 290 | 332 |
| | Media | 131 | 192 | 262 |
| Hormigón de 300 kg. de cemento..... | Máxima | 222 | 360 | 413 |
| | Media | 172 | 246 | 330 |
| Hormigón de 400 kg. de cemento..... | Máxima | 552 | 630 | 676 |
| | Media | 350 | 480 | 550 |

Los resultados medios se refieren a las muestras tomadas del hormigón empleado en la obra; las máximas, a ensayos de laboratorio. De todos los ensayos se hacían seis cubos, conservándose la mitad en agua, y la otra mitad, al aire.

La retracción de fraguado determinada escrupulosamente ha dado como término medio 0,66 mm. por metro; la primera medida se hacía a las seis horas de la confección del prisma; la retracción a los siete días era de 0,20 mm., siendo por consiguiente de 0,46 milímetros la que corresponde al espacio de tiempo de siete días a un año, y que se refiere a hormigón conservado en seco y en laboratorio.

El trabajo realizado en este laboratorio ha sido muy intenso, sin que la urgencia de muchos análisis hubiese permitido realizarlos en otros laboratorios, por lo cual, creemos que en obras similares es indispensable contar siempre con una instalación parecida.

Como anejo al laboratorio, teníamos una elemental estación meteorológica, compuesta de un pluviómetro, un anemómetro y un termómetro de máxima y mínima.

VIADUCTO MARTÍN GIL

Por FRANCISCO CASTELLON (Jefe), CESAR VILLALBA, ANTONIO SALAZAR y EDUARDO TORROJA, Ingenieros de Caminos.

La última parte de este importantísimo trabajo que venimos publicando se refiere a la ejecución de las obras, y este solo epígrafe puede dar idea al lector de la extensión del tema, aunque se exponga en forma muy condensada. Por lo tanto, consideramos conveniente dividirla aún en dos artículos, dando en el presente lo que se refiere a medios auxiliares e instalaciones y dejando para el próximo, y último, lo concerniente a la ejecución, propiamente dicha, de estas obras, ante cuya magnitud y alto interés técnico nunca nos parecerá bastante la extensión que le dediquemos en nuestras páginas.

IV

EJECUCION DE LAS OBRAS

a) Medios auxiliares.

1. *Plan general.* — La ubicación de las obras en una zona aislada, a 24 Km. de Zamora, y con difícil acceso, requería unas instalaciones lo suficientemente completas que permitiesen desarrollar los trabajos casi exclusivamente con los medios propios de la obra y, por otra parte, la magnitud de ésta precisaba instalaciones de bastante importancia y capacidad. Por esta razón, se procuró dotar a las obras de albergues, talleres, almacenes e instalaciones accesorias, que sucesivamente detallaremos, para tener, no sólo el material o materiales apilados o acopiados en buenas condiciones, sino alojar al personal especializado y poder, con todo ello, asegurar la regularidad del trabajo al ritmo requerido, y, al mismo tiempo, realizar las reparaciones de la maquinaria y de los elementos indispensables para la buena marcha de los trabajos.

Las instalaciones que en un principio construyó la contrata fueron sucesivamente durante los trabajos efectuados, con posterioridad, por administración, modificadas, reducidas o ampliadas y, desde luego, mejoradas, según requerían las necesidades de la obra, como más adelante detallaremos, ya que la ejecución de la misma iba siendo más compleja y delicada a medida que se avanzaba en los trabajos, pues las primitivas instalaciones se hicieron para un limitado campo de acción, ya que, por corresponder a cimentaciones, salmeres, alzados de pilas y otros análogos, no eran adecuadas para los trabajos que se tuvieron que realizar después de rescindida la contrata, y muy especialmente lo que se refiere a la construcción del arco central, obra ejecutada por administración en su totalidad.

2. *Acceso a las obras.* — El acceso al viaducto desde Zamora, origen de todo el transporte, ya que se trata de la estación del ferrocarril más próxima, y punto de adquisición o recepción de los elementos y materiales para las obras, podía realizarse por los siguientes medios:

1.º Utilizando la explanación del mismo ferrocarril, de Zamora a La Coruña.

2.º Por algunos caminos, veredas y campos de labor.

3.º Afirmando un camino intermunicipal en una longitud de 5 Km.

4.º Utilizar el embalse, organizando los servicios de transportes fluviales.

Durante el buen tiempo, el transporte se hacía por la explanación; pero en las épocas de lluvias, heladas, etc., ésta se ponía intransitable, período que duraba unos cinco o seis meses en el año, y en este tiempo, para asegurar la comunicación con la obra, la contrata eligió la utilización del embalse, adquiriendo para ello una gasolinera de 22 C. V. y una barcaza de 25 toneladas. Los materiales y el personal se transportaban en camión hasta el embalse, por la carretera de Hiniesta a Carvajales, donde se transbordaban a la barcaza, que tenía que recorrer unos 5 Km. por el embalse, y una vez que llegaba a la obra, por intermedio de dos planos inclinados (uno en cada ladera), se distribuía a los sitios de almacenaje o empleo. Al iniciarse los trabajos por administración, se realizó un estudio del plan de transportes más conveniente, eficaz y económico, y se decidió por el afirmado de los 5 Km. de camino que permitían en todo tiempo el acceso de camiones a la obra, acortar la distancia y tiempo de transporte, llegando los materiales al centro de gravedad de su manipulación o empleo, que ya era la rasante del viaducto, y, ante todo, poder disponer siempre de un medio rápido para el traslado a Zamora de los accidentados que necesitaran una delicada y urgente cura.

3. *Fuerza motriz.* — A 7 Km. del viaducto, cruza el ferrocarril una línea eléctrica de 6 000 voltios, filial de la Sociedad "El Porvenir de Zamora", y teniendo en cuenta las ventajas que el uso de la energía eléctrica representa en las obras, previo acuerdo con el propietario, se construyó una línea desde el anterior cruce a la obra, y se instaló un transformador a su llegada de 100 KW. y 6 000/220 voltios, de donde salían las líneas de distribución para todas las instalaciones del lado de Zamora. En el lado Coruña éstas eran más provisionales, y se utilizaron motores de

aceite pesado y gasolina para ejecutar los trabajos que allí se realizaron.

4. *Instalaciones fijas.* — La contrata, teniendo en cuenta la situación de la cantera, centro de gravedad de colocación del hormigón en la primera fase, medio de transporte, etc., agrupó las instalaciones, situándolas según indica el plano adjunto. Posteriormente, hubo de abandonarse la cantera, como ya se dirá; se cambió el itinerario de transporte, como ya hemos dicho, y habida cuenta de que la elevación del hormigón desde el sitio donde se confeccionaba hasta el carretón del cable era imposible en muchísimas épocas, por el fuerte viento reinante; todo ello aconsejó el traslado del tren de hormigoneras a la entrada del viaducto del lado de Zamora, aprovechando la curva que tiene la traza, colocándose en la vertical del castillete del cable, y este traslado permitió la ejecución del arco número tres del viaducto de avenida, pues tanto la elevación del hormigón como el descenso de vagonetas y materiales coincidía con el del indicado arco. Se acompañan planos de las instalaciones modificadas.

5. *Albergues.* — Teniendo en cuenta el aislamiento de las obras, pues éstas distan del pueblo más pró-

ximo cinco kilómetros, era necesario que el personal obrero dispusiera de unos albergues en las proximidades; uno de ellos se habilitó para el personal técnico y encargado, construyéndose todos en la ladera izquierda (Zamora). Posteriormente, por haber sufrido desperfectos el del personal técnico, se utilizó la modesta casilla que se construyó para alojamiento del personal de conservación de la línea, cuando ésta esté en explotación.

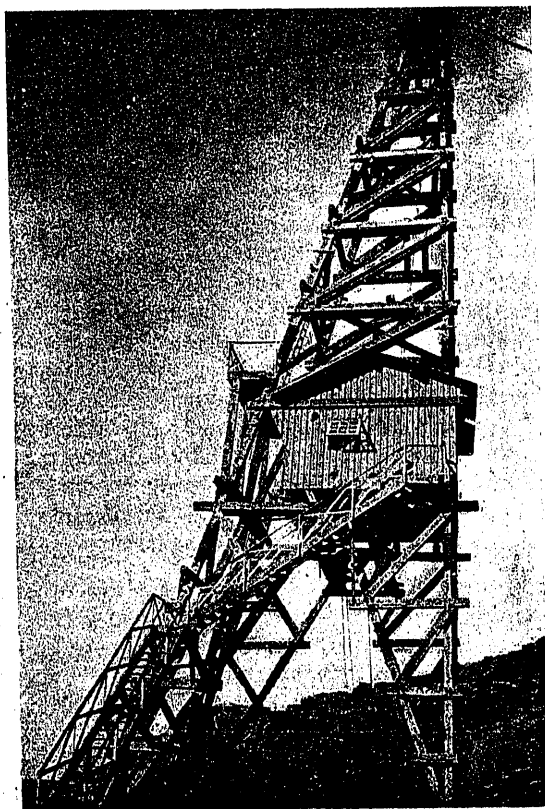
6. *Oficinas.* — La oficina técnica, administrativa y laboratorio se instalaron en una caseta construída a una altura media, entre el nivel del embalse y la rasante del viaducto, en la ladera izquierda y un poco aguas abajo del eje del mismo. Al trasladarse el albergue del personal técnico a la casilla, se hizo lo mismo con la oficina, destinándose el lugar que ella ocupaba a economato, que se montó con arreglo a las normas dictadas por las autoridades, y que es justo consignar que fué tratado por todos los elementos oficiales con el máximo cariño, teniendo en cuenta lo peligroso del trabajo a realizar por el personal obrero, que requería una alimentación más abundante que el de otras obras.

7. *Laboratorio.* — En anteriores artículos hemos descrito este elemento imprescindible en esta obra, y que ha permitido al personal encargado tener, en todo momento, la seguridad de la buena marcha y ejecución de la misma.

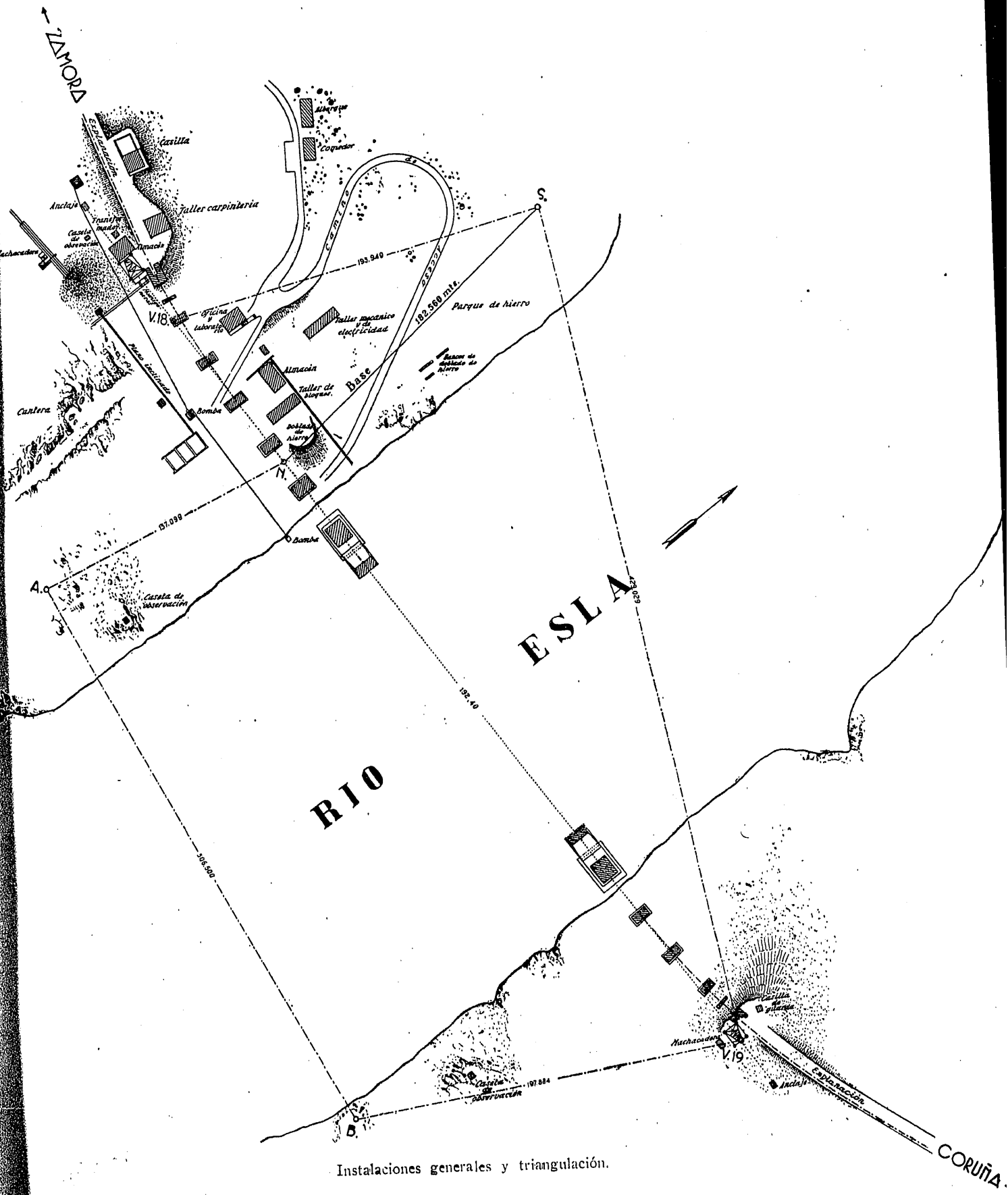
8. *Taller de reparaciones.* — En un barracón se instaló, por la contrata, este taller, que estaba dividido en tres secciones: fragua, taller mecánico y taller eléctrico. En él había instalados dos tornos, una taladradora, una piedra esmeril, fragua y pequeño material, realizándose en él pequeñas reparaciones de maquinarias y motores eléctricos; pero la práctica comprobó que era muy costoso el mantener un personal fijo especializado ante la eventualidad de tener que realizar grandes reparaciones, por cuyo motivo, durante las obras por administración quedó muy reducido el personal, que, además, tenía otros cometidos fijos, y solamente para una reparación urgente y de poca importancia se utilizaba en los talleres.

9. *Taller de carpintería.* — Estaba provisto de una sierra de cinta, cepilladora y pequeñas herramientas. En este taller se preparaban los encofrados, moldes, cimbras, etc. Al trasladar las instalaciones de hormigonado y depósitos de madera, fué ubicado este taller en un ensanchamiento de la explanación, a la entrada del viaducto del lado Zamora.

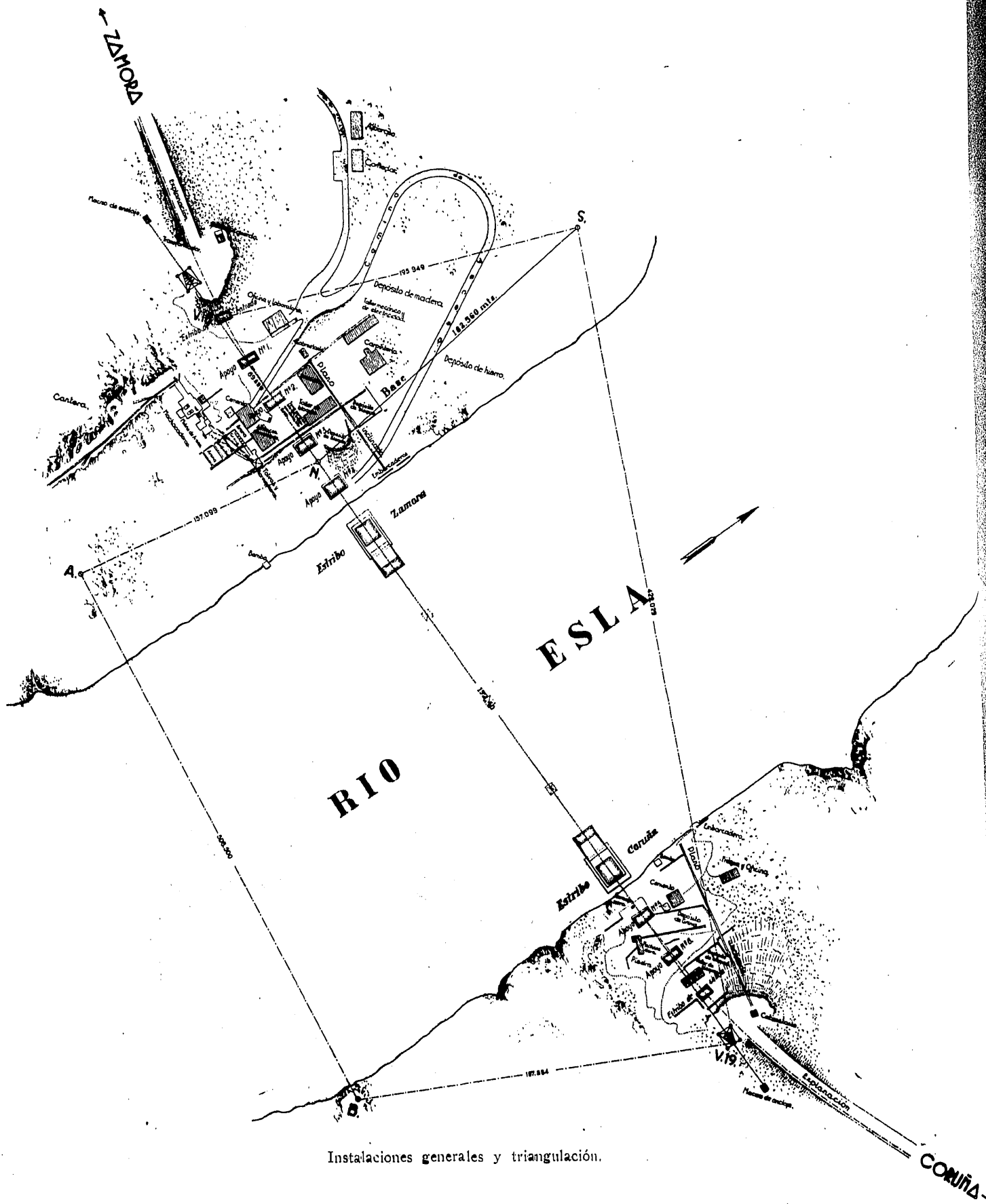
10. *Taller de preparación de hierros redondos.* — se instaló al descubierto y contiguo al depósito de hierros, estando provisto de máquinas de enderezar, doblar y cortar redondos y angulares.



Castillete del cable del lado Zamora, con la caseta de mando y maniobra.



Instalaciones generales y triangulación.



Instalaciones generales y triangulación.

11. *Taller de soldadura.* — Durante el montaje de la cercha metálica, se construyó un barracón, encima de la parte terminada del viaducto de avenida del lado Zamora, con una acometida de energía a 110/220 voltios, habiendo en él una taladradora, tres grupos convertidores para soldaduras KU 250 KJEELBERG y dos transformadores de la misma marca, una piedra esmeril portátil, prensa de husillo para enderezar y tres gatos hidráulicos para idéntico trabajo y un pórtico móvil, con una grúa de tres toneladas para levantar, dar vuelta y transportar los elementos triangulares fuera del barracón, para allí ser elevados y conducidos a su punto de empleo o apilamiento con el cable. Este taller era capaz para la ejecución simultánea de los elementos triangulares.

12. *Almacenes.* — Durante la ejecución de las obras por contrata, y según puede verse en el plano de instalaciones correspondiente a dicho período, se habían instalado los almacenes siguientes: almacén general para herramientas, pequeño material, aceites, grasas, etc., y almacenes para cemento, de una capacidad total de 1 000 toneladas, que estaban próximos a las instalaciones de hormigoneras, reduciendo así los gastos de manipulación. Al ser trasladado el tren de hormigoneras se hizo lo mismo con el almacén, situándose éste al mismo nivel de las tolvas de alimentación de las hormigoneras, de áridos y cemento, y a una distancia de unos 10 metros. Una parte de este almacén, único que se construyó, estaba destinada para herramientas, materiales pequeños, grasas, etc., y la otra, para cemento, de una capacidad de 500 toneladas métricas, de modo que el mismo guardaalmacén vigilaba, a la vez, las dos cosas.

13. *Tren de machaqueo.* — Este elemento, tan importante de la construcción, se ubicó en la ladera y un poco elevado respecto a las hormigoneras, y a la misma altura que la cantera abierta, y que hubo de abandonarse, según se dirá más adelante; al trasladarse el tren de hormigonado fué necesario hacer lo mismo con el machaqueo, que al mismo tiempo mejoró su situación, teniendo en cuenta el medio de alimentación de piedra; es decir, que esta mejora fué uno de los factores que influyó en el cambio de las hormigoneras, según se justifica al hablar de los áridos, en donde se descubrirán también los aparatos que constituían esta importante instalación.

14. *Fabricación de hormigón.* — Durante todo el período de construcción, se dispuso de dos hormigoneras fijas, de 250 litros cada una, situadas, en un principio, en el sitio que indica el plano de instalaciones, y trasladadas después, como hemos dicho, a la entrada del viaducto del lado Zamora, de tal manera, que las tolvas de carga quedaban a la altura de la rasante de la explanación. Además de las hormigoneras fijas, se disponía de tres móviles, con motor

de gasolina, para permitir hormigonar en un punto determinado. No obstante la previsión establecida, puede afirmarse que toda la construcción del arco, palizadas y tablero se ejecutó con una sola hormigonera de las dos que existían en el tren fijo, y de una capacidad de 250 litros.

15. *Taller de bloques.* — Para la construcción de los paramentos de las pilas y pilas de estribos, se exigía una gran cantidad de bloques de sillarejo artificial, y fueron instalados dos talleres de fabricación de dichos bloques con máquinas WOEGER. El hormigón, para la elaboración de los bloques, iba directamente desde las hormigoneras fijas al taller por unas vías Decauville. En estos talleres se hicieron todos los bloques de sillarejo artificial para los paramentos de las pilas, incluso los de los aristones, todos los cuales se confeccionaban a mano, con moldes recubiertos de chapa de cobre, para que el aberrugado saliese perfecto; después se clasificaban, según medidas, en los depósitos inmediatos al taller. Desde estos depósitos se transportaban en unas plataformas, sobre vía Decauville, hasta el punto de carga del cable, y mediante éste se distribuían en las pilas correspondientes para su empleo.

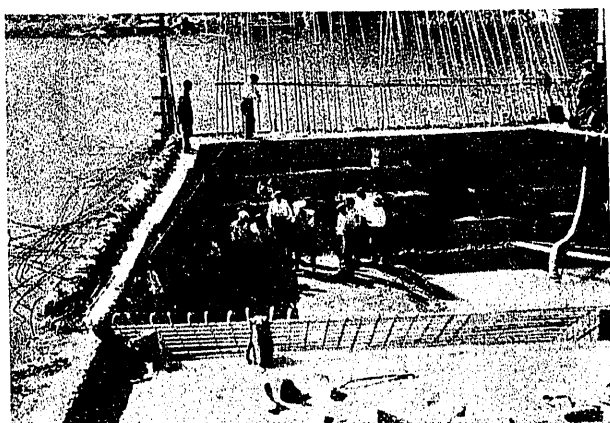


Pila núm. 1 (lado Zamora).

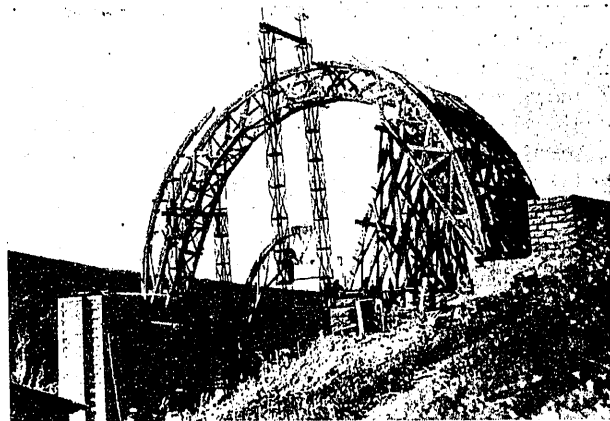
16. *Bombas y depósito de aguas.* — El agua necesaria para la confección de todo el hormigón de la obra procedía del río Esla, la cual se elevaba, al principio, hasta un depósito un poco más alto que el tren del hormigón, por medio de un grupo motobomba, instalado en una plataforma flotante cercana a la margen, a la que se sujetaba por unos cables. Al trasladarse la instalación de confección de hormigón a sitio definitivo, se montó otro grupo motobomba, que elevaba el agua desde este depósito a uno colocado unos diez metros por encima de la rasante de la explanación, y que, además de servir para alimentar las hormigoneras, se utilizó para el riego y cura de todos los hormigones que se ejecutaron, valiéndose de una tubería de dos y media pulgadas con tomas, donde se enchufaban las mangas de riego.

17. *Cable transbordador.* — Para el servicio general de la distribución de hormigón, en cualquier punto de la obra, transporte y colocación de madera y encofrados, bloques, montaje de la cercha metálica, etc., se instaló, por la contrata, una grúa aérea de 500 metros de luz, y cuya descripción haremos, especialmente por tratarse del elemento esencial y más importante de la obra.

18. *Instalaciones en la margen derecha (lado Co-ruña).* — Todas las instalaciones de esta margen tuvieron un carácter de provisionalidad, pues estando centrado el trabajo en el lado Zamora, eran todas movidas con motores de explosión, de gasolina o aceite pesado. En esencia, había instalado un pequeño tren de machaqueo, formado por una machacadora y molino de arena, movidos por un motor de aceite pesado; una hormigonera con motor de gasolina; un pequeño taller de fabricación de bloques, y un almacén de reducidas dimensiones para cemento; estas instalaciones permitieron hormigonar el salmer del arco principal, aprovechando el período



Hormigonado del salmer protegido por la atagüa formada con sus paramentos (lado Zamora).



Montaje de las cimbras de madera del arco núm. 1 del viaducto de avenida (lado Zamora).

de embalse vacío producido por averías del salto del río Esla, y las pilas correspondientes a dicha orilla, antes de funcionar el cable transbordador.

19. *Botiquín.* — Había instalado un pequeño botiquín de urgencia, en donde se hacían las primeras curas y las siguientes que necesitaban los accidentados en el trabajo; los accidentes, como luego se verá, fueron escasos y leves, no obstante, siempre, durante las horas de trabajo, se encontraba un camión o un coche para trasladar urgentemente a una de las clínicas de Zamora a cualquier accidentado que pudiera requerir una asistencia de esta clase.

b) Grava y arena para hormigones.

La construcción del viaducto del Esla necesitaba la fabricación y colocación de unos 32 000 metros cúbicos de hormigón, lo que representa un consumo aproximado de unos 28 000 metros cúbicos de grava y 16 000 de arena. Estas cifras ponen de relieve la importancia de estos elementos en la economía general de la obra, y teniendo en cuenta que en las proximidades de la misma no existía arena natural utilizable para el hormigón que el viaducto requería, y aunque la hubiera habido en el río hubiera quedado inundada al embalsarse las aguas, la contrata trató de aprovechar, al límite, los elementos del terreno próximo, colocando, al efecto, la instalación de machaqueo para la obtención de la grava y arena artificial, de tal manera, que estos elementos, por gravedad o con transporte por vía Decauville, llegasen a las hormigoneras, evitándose así elevaciones y búsquedas más costosas.

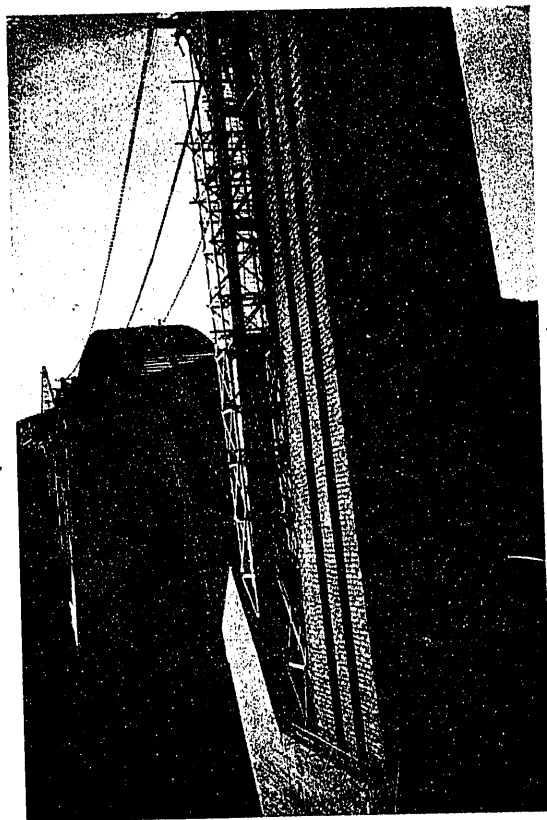
Al efecto, en las inmediaciones de las obras, en la margen izquierda y frente al viaducto de acceso, al norte del mismo, y a unos 70 metros de su eje, abrió una cantera, en la que dispuso un frente de unos 80 metros, a todo lo largo del cual instaló una vía de

servicio, con sus apartaderos, llevando directamente la piedra extraída en vagonetas a la plataforma de alimentación de las machacadoras, sin tener, en ningún momento, que subir la piedra, ya que al nivel de esta plataforma estaban las tolvas de alimentación de dos machacadoras Clubs 4 A, de mandíbulas, con un rendimiento de 8 a 10 metros cúbicos cada una. Dichas machacadoras estaban accionadas por un motor eléctrico de 32 C. V., pudiendo, por medio de una transmisión, funcionar alternativa o simultáneamente, según las necesidades. La piedra que salía de las machacadoras pasaba por unas cribas que la clasificaban en cuatro tamaños:

- 1.º De 0 a 5 mm..... Arena.
- 2.º De 10 a 30 mm..... Piedra por hormigón.
- 3.º De 30 a 50 mm..... " " "
- 4.º Mayor de 50 mm.,

que rara vez se utilizaba para remacharla, por tener que ser elevada a la plataforma de alimentación. Se empleaba en la confección de hormigones en masa. Bien pronto, y ante la imposibilidad de obtener arena en condiciones, pues la que salía de las cribas era, en su mayor parte, residuos de pizarra de las pequeñas vetas que existían en la cuarcita procedente de la cantera, se abandonó ésta, pues la obtención directa con el molino de arena era casi prohibitiva, por su elevado coste, dado el consumo de martillos, si era éste el molino empleado, o de cilindros si se utilizaba este sistema, y como lo interesante no era la grava, que, en definitiva, era un problema resuelto, sino la arena, y al tener que explotar los yacimientos de arena natural que encontraron a unos siete kilómetros aguas arriba del embalse, y cercano al pueblo de Montamarta, y el estar estos yacimientos situados en terrenos de labor, conteniendo, por lo tanto, gran cantidad de arcilla y materias orgánicas, se le obligó a un lavado energético, cosa costosa y difícil, por cuyas razones optó por obtener la piedra de los productos de la disgregación de los crestones de la parte alta (más elevados que la explanación) de la ladera, por los hielos y agentes atmosféricos que estaban exentos de vetas de pizarra y, por lo tanto, el tamaño primero que se obtenía era ya utilizable como arena.

Posteriormente, al encargarse la administración de la ejecución de las obras, se trasladó el tren de machaqueo, al llevar a cabo la de fabricación de hormigón, siendo menor el transporte de la piedra, cosa que se hacía por burros, y teniendo en cuenta la pequeña cantidad de arena obtenida en el machaqueo, las dificultades del transporte por el embalse, de la arena de mina y la de su lavado, decidimos buscarla donde la hubiese, lo más cercana a la obra y que no necesitase manipulaciones ulteriores, adoptándose la del río Duero, existente en playas inmediatas a Zamora, que era de excelente calidad, cuarzosa,



Montaje de la pasarela provisional.

exenta totalmente de materias orgánicas y arcilla, y de buena composición granulométrica, siendo de un coste aproximado a la de las cercanías de Montamarta, sin lavar, operación que, como todos sabemos, es muy laboriosa y difícil de hacerla eficaz.

c) Colocación en obra de materiales, hormigón, etcétera.

Grúa aérea sobre carril. — La estructura del viaducto, en el que la inmensa mayoría del hormigón hay que colocarlo a elevada altura del terreno, y muy especialmente en el que hubo que colocar en el gran arco central, la longitud total de la obra, el difícil y costosísimo acceso a la ladera derecha y el perfil del terreno, aconsejaron la instalación de una grúa aérea sobre el cable, para el servicio general de la obra, distribución del hormigón, bloques, etc., colocación de cimbras y armaduras, siendo indispensable tan importante medio de construcción en una obra de esta clase, que requería constantemente, ante todo en el arco, cambiar a cada momento el sitio de trabajo y aprovechar otras veces las condiciones atmosféricas, ante todo cuando el viento adquiría una cierta velocidad, que no permitía realizar trabajos en determinados sitios, no impidiéndolo en otros.



Transporte de un elemento triangular de la estructura metálica.

Se adoptó un tipo de gran velocidad, sobre un cable soportado por dos castilletes de madera, y que, aunque sólo sea someramente, pasamos a detallar en sus características esenciales.

Los datos principales del cable aéreo son los siguientes:

Luz entre los puntos de apoyo de los dos castilletes: 500 m.

Carga útil: 2 500 Kg.

Cota de la base de los castilletes: 726 m.

Cota máxima de empleo de materiales: 726 m.

Cota mínima de servicio: 670 m.

Recorrido total de la carga en sentido vertical: 56 m.

Altura de los castilletes: 27 m.

Velocidad de elevación: 60 m. por minuto.

Velocidad de traslación: 240 m. por minuto.

Los elementos esenciales que constituían la instalación son los siguientes:

1.º *Cables.* — a) Un cable carril, de 38,5 mm. de diámetro y 610 m. de longitud, compuesto de 91 hilos de acero, con una carga de rotura de 126 toneladas.

b) Un cable de traslación del transbordador aéreo, de 12 mm. de diámetro y 1 130 m. de longitud, compuesto de seis cordones de 14 alambres, de 0,9 milímetros, con una carga de rotura de 9,6 toneladas.

c) Un cable para el mando del cabestrante del transbordador, que accionaba el movimiento vertical de la carga, de iguales características del cable anterior.

d) Dos cables, de 70 m. de longitud y 12,6 mm. de diámetro, compuesto de seis cordones, de 37 alambres de 0,6 mm., con una carga de rotura de 16 toneladas. Estos cables sostenían el gancho de carga, y son solidarios con los tambores del cabestrante.

2.º *Anclajes en el cable carril.* — Este cable se apoya en dos soportes o sillas, de hierro fundido, co-

locados sobre la cabeza de los castilletes, y sus extremos están anclados en dos macizos de hormigón, por intermedio de unas piezas de acero fundido y tensores roscados que permitían regular su tensión.

3.º *Contrapesos.* — Con objeto de mantener una tensión uniforme en los cables de mando de traslación y elevación, éstos pasan por unas poleas fijas en los castilletes, terminando en dos contrapesos de unas dos toneladas cada uno, y cuyo movimiento vertical está guiado por un cuadro de hierro solidario con la polea.

4.º *Transbordador aéreo.* — El carretón transbordador está accionado por el cabrestante fijo colocado en la caseta de mandos, y unido a un armazón de acero laminado, que sostiene todo el mecanismo de elevación, descenso y traslado de la carga. Este transbordador-rueda se apoya para su elevación sobre el cable-carril por intermedio de cuatro ruedas de acero con garganta y mantenido por dos balancines, para lograr la repartición de la carga. El mecanismo de elevación o descenso se realiza por un cabrestante montado en el carretón, con cojinetes de acero, y dos tambores con ranuras, una a izquierda y otra a derecha, en los cuales se enrollan los cables que sostienen el gancho de la carga.

5.º *Cabrestante fijo de mando general.* — Este cabrestante estaba colocado en una caseta construida dentro del castillete lado Zamora, a unos 8,50 m. sobre la explanación, para que el encargado de la maniobra pueda distinguir con claridad las señales realizadas por los obreros encargados de ello, o señalistas, y poder depositar o recoger el material transportado o a transportar en el sitio que se desee, pues muchas veces, y ante todo en la construcción del arco, las indicaciones de posición no son suficientes para ello.

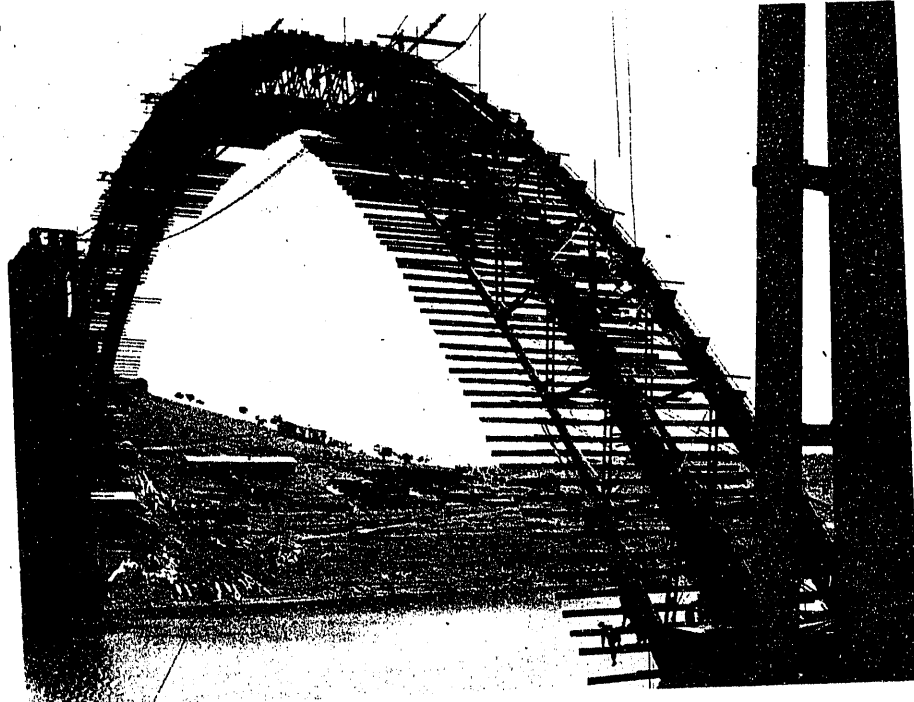


Misa celebrada al terminar el montaje de la estructura metálica, en acción de gracias por no haber ocurrido ningún accidente grave.

6.º *Indicador de posición.* — Para conseguir el encargado de la maniobra que la toma, transporte y colocación de la carga se efectúe con la suficiente precisión, cuando por cualquier causa no pueda distinguir la señal a distancia, sobre todo en época de niebla, muy frecuente en la zona de las obras, se colocó en la caseta, mediante un sistema diferencial especial, un indicador, que permitía conocer en todo momento la

tales, y los del interior, inclinados. Una escalera y plataformas de servicio permitía subir a cualquier altura de los castilletes, haciéndoles totalmente visitables. En el castillete del lado Zamora, como ya se ha dicho, se instaló la caseta del conductor y puesto de mando de todo el mecanismo.

9.º *Funcionamiento.* — El movimiento de elevación y defensa de la carga se hacía por medio del



Colocación de acero en redondos y juntas de las dovelas de la rosca núm. 1.

posición aproximada de la carga, tanto en distancia como en altura.

7.º *Maquinaria eléctrica.* — Todo el sistema del transbordador estaba accionado por un motor trifásico de 110 r. p. m., 46 C. V. de potencia, con un regulador tipo Travel, con su resistencia, que permitía 60 arranques por minuto.

8.º *Castilletes.* — Los castilletes, de 27 m. de altura, se construyeron de madera, con cuatro montantes y los arriostramientos necesarios. Descansan estos montantes sobre sendos macizos de hormigón. La parte superior de los castilletes tenía una sección de 0,50 por 0,60, que es donde se apoyaba la silla que soportaba el cable-carril. En el sentido normal al eje del cable, los dos montantes exteriores al vano son ver-

lo tanto, de un accidente de bastante gravedad. El hormigón se transportaba en unas vagonetas que tenían la forma de un prisma triangular, siendo las caras triangulares las laterales de la vagoneta, con el vértice en la parte inferior; por lo tanto, la arista que unía estos vértices era también la parte inferior de la vagoneta; éstas se abrían girando sobre unas charnelas colocadas en el punto medio del lado superior de los triángulos, que estaban partidos desde este punto al vértice, y su cierre, casi hermético, se conseguía por un pestillo que cerraba la abertura; esta forma de la vagoneta tenía una estabilidad perfecta para el transporte.

Estos son, a grandes rasgos, los detalles de las principales instalaciones con que se contó para la ejecución de esta obra.

VIADUCTO MARTÍN GIL

Por FRANCISCO CASTELLON (Jefe), CESAR VILLALBA, ANTONIO SALAZAR y EDUARDO TORROJA, Ingenieros de Caminos.

Con el presente artículo damos por terminada la descripción de esta colosal y extraordinaria obra de ingeniería, y expresamos nuestro agradecimiento a los autores de tan importante trabajo, que con tanta complacencia hemos publicado, esperando ocuparnos nuevamente de ella con motivo de la publicación del libro que la J. Jefatura de Estudios y Construcciones de Ferrocarriles tiene en preparación, en el que podrán encontrar toda clase de detalles los que estén especialmente interesados en grandes arcos de hormigón armado.

V

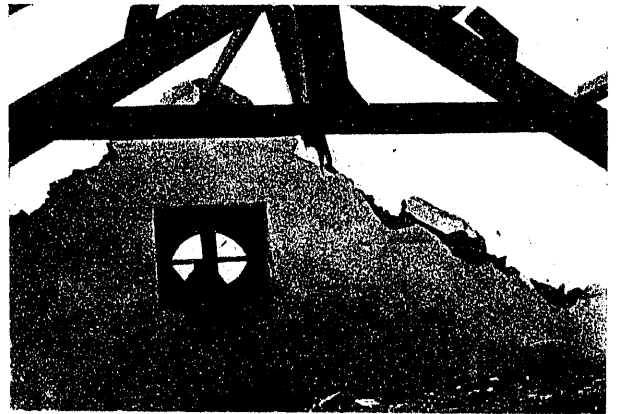
d) Ejecución propiamente dicha de las obras.

a) Replanteo de las obras.

El replanteo se hizo por triangulaciones, para lo cual se eligió en la ladera una alineación que permitió medir en horizontal, previas pequeñas rectificaciones, la base, y, elegidos después convenientemente los vértices desde los cuales se habían de dirigir las visuales, se fijaron los puntos necesarios por intersección de tres de ellas, dos desde los vértices, siendo la otra el eje del viaducto, el cual se trasladó posteriormente 5,50 m. aguas arriba, paralelamente a sí mismo, pues la construcción de las pilas impedía vigilar y comprobar la permanencia en eje de los alzados que se construían.

b) Construcción de los salmeres.

Como ya se indicó, las obras comenzaron por contrata, siendo el adjudicatario don Max Jacobson, a primeros de octubre de 1934, y aun cuando en el pliego de condiciones se decía que, en primer lugar, se construyese el gran arco central, se empezaron las excavaciones de las pilas de los arcos de los viaductos de acceso y de los salmeres, habiéndose previsto que,

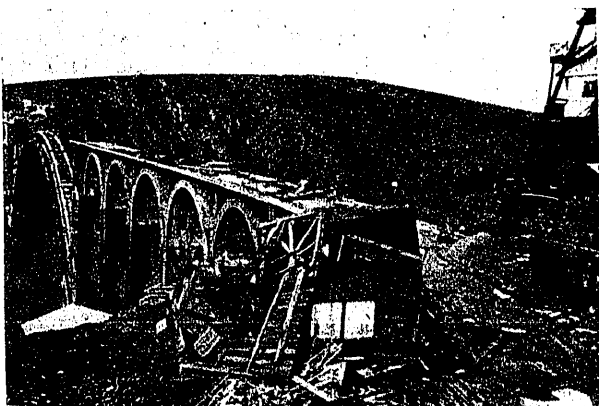


Techumbre de la casilla, después del huracán de febrero de 1941.

estando en servicio el embalse de Saltos del Duero, no se podrían hacer los salmeres en seco, y por ello se proyectaron unas ataguías de hormigón para defender el sitio de emplazamiento de los salmeres; pero una avería en la brida ciega, que cerraba el extremo inferior de la tubería destinada a alimentar la turbina número 4 de los Saltos del Duero, aun no instalada, ocurrida el 30 de julio de 1934, obligó a vaciar por completo el embalse para su reparación, y por ello se pudo trabajar en seco y hormigonar la cimentación y parte del alzado de los salmeres; pero, reparada la avería de saltos, se embalsó nuevamente el agua y, a pesar de haber hormigonado solamente los paramentos para que sirvieran de ataguía, rellenando después la parte interior, el agua inundó los trabajos, que fueron reanudados cuando el descenso normal, por gasto, del nivel del embalse, llegó a una cota inferior a la coronación de los paramentos (aproximadamente, a la 668,00), y sin ninguna otra novedad se terminaron de construir estos importantes elementos. La cimentación se apoya sobre cuarcitas en crestones verticales, sin ningún peligro por lo tanto.

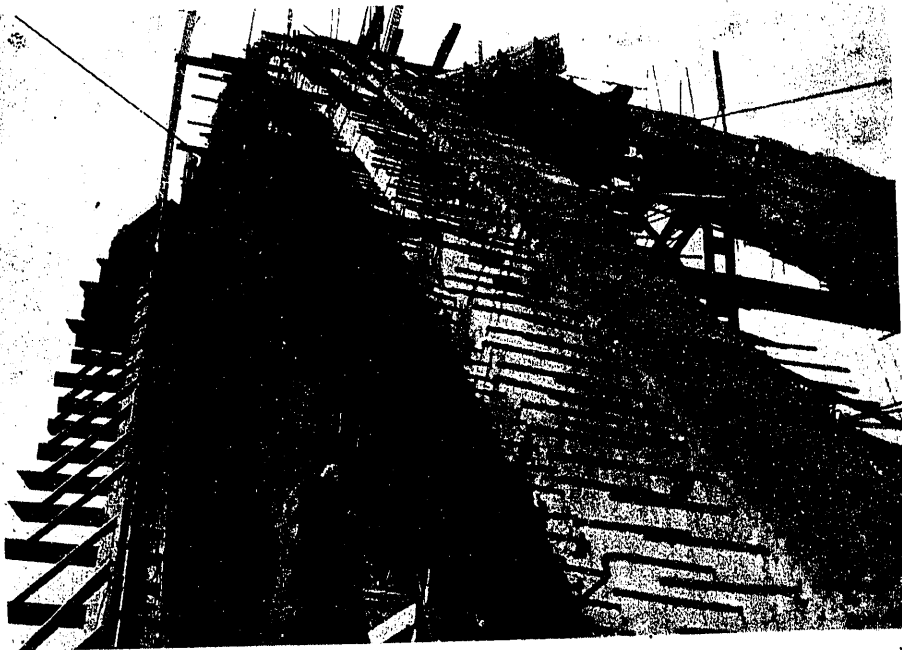
c) Viaductos de acceso.

Simultáneamente con los trabajos de ejecución de los salmeres, se hicieron las cimentaciones de todas las



Impresionante destrucción producida por el huracán de febrero de 1941.

pilas de los viaductos de avenida y alzado de las mismas, que, como ya hemos dicho, están formados por el paramento de sillarejo artificial, rellenas en su interior con hormigón en masa, dejando los huecos o aligeramientos de que ya se habló en otro lugar. Además de las razones económicas que habían aconsejado el proyectar estos aligeramientos, el otro motivo no tuvo aplicación en este caso, pues utilizado el cable para la colocación en obra del hormigón y sillares, no se utilizaron los aligeramientos, como estaba previsto, como chimeneas para la elevación de materiales.



Rosca núm. 1, hormigonada, con los hierros de espera para solaparlos con los de las otras roscas.

A medida que se terminaban los alzados de las pilas, se construyeron los arcos, siendo ejecutados por la contrata los arcos uno y dos del lado Zamora, y uno, dos y tres del lado Coruña. Como ya se ha dicho en otro lugar, estos arcos, de 22 m. de luz, tenían unas cerchas metálicas que quedaban embebidas en el hormigón, y su construcción se hizo colocando una cimbra de madera compuesta de siete cuchillos, sobre las que se hormigonaba con todo el espesor hasta riñones y el resto en dos capas, con unos escalones en la primera para trabazón con la segunda. Por este mismo medio de construcción, pero empleando sólo cuatro cuchillos en vez de los siete, y sujetando el encofrado inferior simultáneamente a las cerchas de madera y a las de hierro, se construyeron en cascada los arcos cuatro, cinco y seis del lado Zamora, por administración, una vez rescindida la contrata.

d) Pilas estribos.

Enrasado el salmer en el arranque de las pilas estribos, se construyeron éstas por el mismo procedimiento que las intermedias de apoyo de los arcos de 22 m.

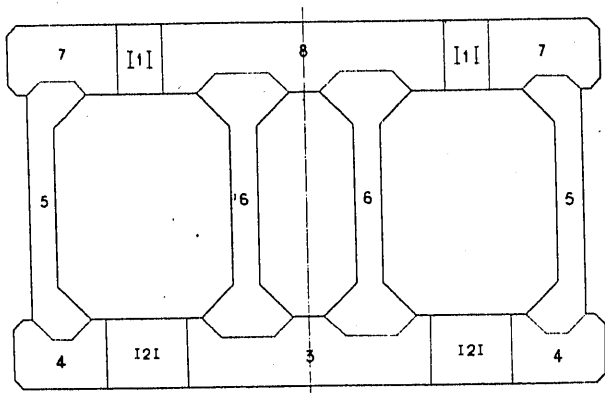
e) Arco central.

1. *Salmeres, palizada número uno y primer tramo del pórtico.* — La contrata construyó, además de los salmeres, de los que ya hemos hablado, la palizada número uno, que insiste sobre ellos, y el primer tramo del pórtico, que está empotrado por un extremo en la pila estribo, apoyando el otro en la palizada.

2. *Pasarela provisional.* Abandonado el procedimiento de torres metálicas, para el montaje en voladizo de la cercha de madera, y propuesto por la contrata y aceptado por la Superioridad el de pasarela, se construyó ésta de la siguiente forma:

Apoyando sobre los cuatro pilares de que se compone la palizada, se construyó un pequeño castillete, que había de soportar los tres grupos de cables, compuestos de cinco cada grupo.

Los apoyos de los grupos laterales, limitada su separación por la de los pilares de la palizada que los soportaban, no permitían que entre estos grupos se pudiese montar la totalidad en ancho de la cimbra de madera; por lo tanto, hubo necesidad de colocar una viga separadora a unos nueve metros del apoyo hacia el interior, para darles la separación necesaria y consecuentemente con ésta, otra que respetaba la abertura de los cables en los apoyos, a unos dos metros de los mismos. Los cables se alojaban en unas mordazas que en los extremos tenían dichas vigas, que no permitían se modificara la separación entre los cinco cables de cada grupo. Una vez montados los cables y sus vigas, se colgó por intermedio de unas poleas un andamio a cada extremo, sujeto por un cable a sendos cabestrantes, colocados en los tramos. Desde este andamio, se colocaron de metro en metro en cada grupo, las pequeñas mordazas, a las que iban sujetos los pendolones que soportaban los

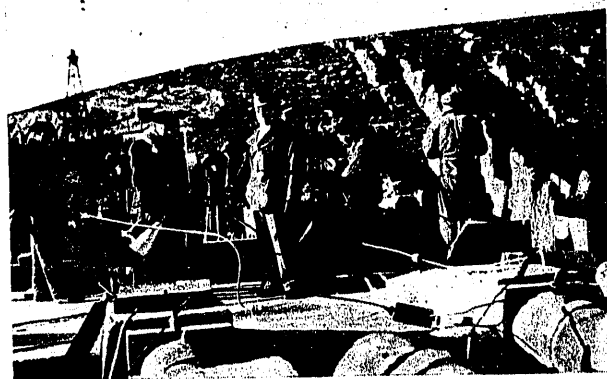


División, en dovelas, del arco. — Sección por el arranque.

tablones normales al eje del puente, sobre los que una vez enlistonados, para darles alguna rigidez y uniformidad en su separación, habían de montarse los cuchillos de la cercha de madera. En el extremo inferior de cada pendolón, existía un tensor para darle a la pasarela en cada sitio la altura que le correspondía. La pequeña altura que tenían los castilletes, limitada por el paso de las cargas transportadas por el cable, hizo que la parte más baja de la catenaria no pudiese estar más elevada que el intradós en clave de la cimbra de madera, estando los tablones en esta parte sujetos, sin tensores, a los grupos de cables. Esta pasarela fué montada por la Contrata en el segundo semestre del año 1936, y hubo que reforzarla con unos cables apoyados sobre unos angulares colocados junto a los sitios de sujeción de los pendolones, y amarrados sus extremos a los salmeres, pues el viento la partió en varios pedazos durante el invierno de 1936-37. Al iniciarse los trabajos por administración, de los que estuvo directamente encargado D. Antonio Salazar, hasta la total terminación de la obra, y tener que rectificar la posición de la pasarela, para que tuviese la forma y altura conveniente que permitiese montar la cimbra de madera y que ésta quedase con la forma debida, nos encontramos con que en clave estaba 1,10 metros más baja que la cota que le correspondía, y al no poder actuar sobre los tensores que permitían levantar los tablones, pues no existían en aquella parte, como ya hemos dicho, hubo necesidad de maniobrar todos los tensores de los quince cables del puente colgante en sus dos extremos; trabajo muy delicado y laborioso, por existir las mordazas que hacían solidarios los cinco cables de cada grupo, sin introducir desequilibrio de tensión en ningún cable de ningún grupo.

3. Cimbra de madera. — Una vez conseguido que la pasarela tomase la forma exacta que se requería para que con la carga de los cuatro cuchillos de la cercha de madera que había de soportar quedase ésta

con la directriz calculada, se procedió al montaje de ella. Este trabajo se inició en la segunda quincena de julio de 1938, con la colocación de los elementos construídos en monte que constituían los cuatro cuchillos (1-4-7 y 10), que, según el cálculo de la pasarela, debía soportar. Estos elementos se colocaron débilmente unidos entre sí para que permitiesen rectificar la directriz al total montaje de los mismos, pero muy sujetos independientemente unos de otros a los tablones del piso de la pasarela, para evitar que el viento pudiese tirarlos o modificar su verticalidad. Una vez colocados provisionalmente y rectificada la directriz, se fueron enlazando y se colocaron todos los arriostramientos transversales. Las cabezas de estos cuchillos tenían solamente dos tablones, y se agregaron otros dos una vez enlazados y colocados los arriostramientos. Con el objeto de que todos los cuchillos estuviesen en las mismas condiciones elásticas, al terminar el trabajo anterior se aflojaron los tensores de los pendolones, para que la pasarela no soportase nada más que el peso de cuatro cuchillos, una cantidad fija, para que al montar otros cuatro de los seis restantes cuchillos de la cimbra, y calzados sobre la pasarela, la altura que se había aumentado a los pendolones, quedaran éstos en las mismas condiciones que los anteriores, procediéndose de igual modo con los dos restantes; después se hizo el relleno total de la cabeza superior, y al llegar a este período, terminada ya la guerra de liberación, y vistos los inconvenientes que en otro lugar se detallan, se decidió ejecutar el hormigonado del arco con el auxilio de una auto-cimbra metálica. Abandonado por ello el procedimiento anterior, se aligeró la cabeza superior de la cimbra de madera, que, además, permitió utilizar los tablones allí colocados en trabajos ulteriores, y la parte que quedó de la cimbra de madera sirvió para auxiliar y hacer menos peligroso el montaje de la estructura metálica.



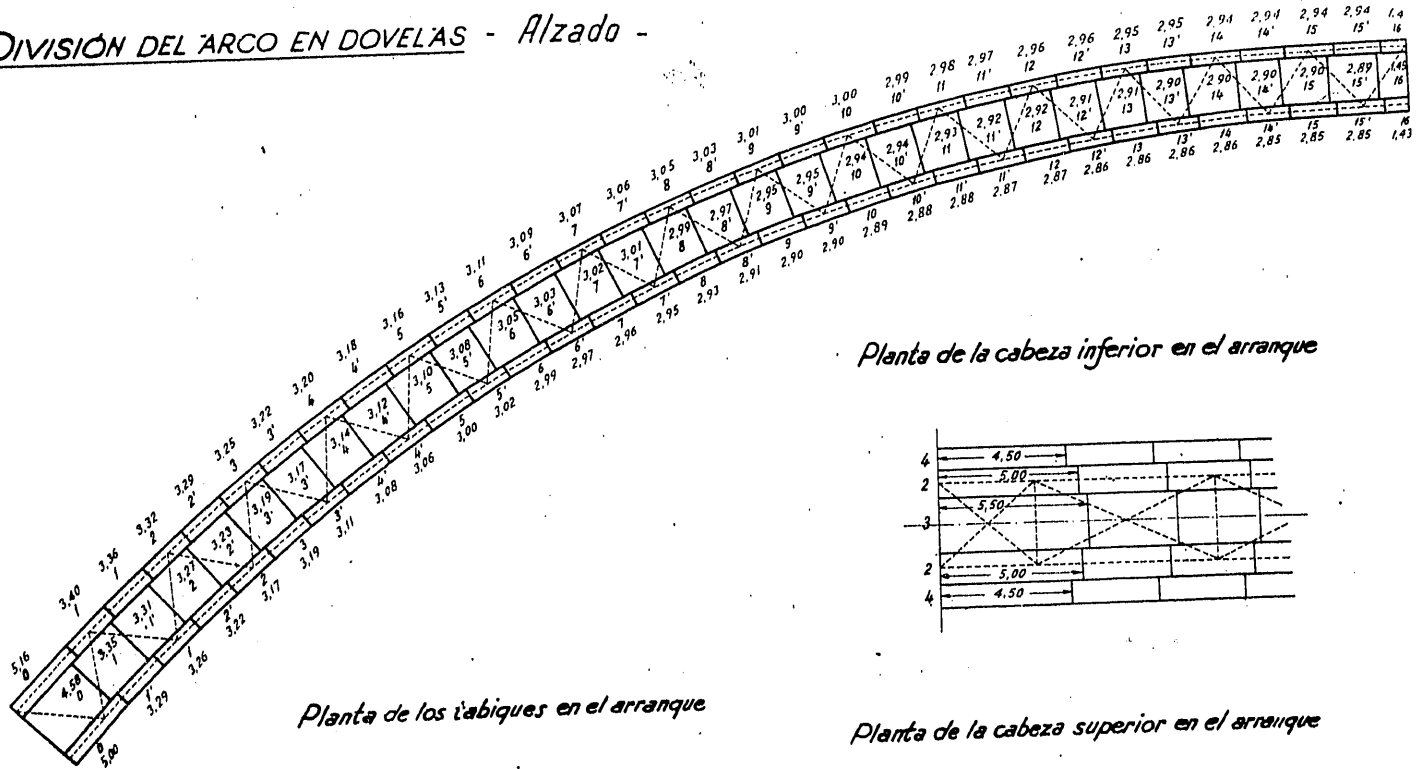
Maniobra de corrección en clave.

4. Estructura metálica.— Una vez decidido y aprobado el proyecto de terminación de obra con el nuevo sistema de montaje propuesto, se procedió al pedido y adquisición de los materiales metálicos necesarios, comenzando los trabajos en esta parte de la obra en octubre de 1939, construyéndose, en primer lugar, el taller ya detallado, en el que se soldaban los elementos triangulares, que eran depositados

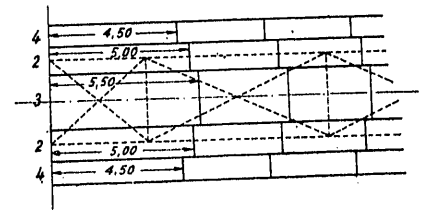
luego superaban, en condiciones de resistencia y elasticidad, los OK 47 B y OK 49. El número de electrodos utilizados fué de dos por kilogramo de material a soldar.

Acopiados los materiales que constituían la estructura; hubo que enderezar perfectamente todos los perfiles, operación que se hizo con una prensa de husillo, excepto las dobles tes del número 26, cuya

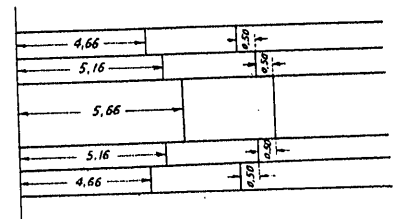
DIVISION DEL ARCO EN DOVELAS - Alzado -



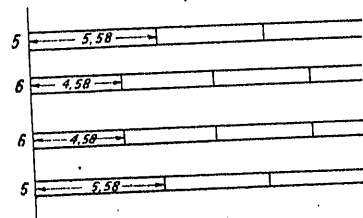
Planta de la cabeza inferior en el arranque



Planta de la cabeza superior en el arranque



Planta de los tabiques en el arranque

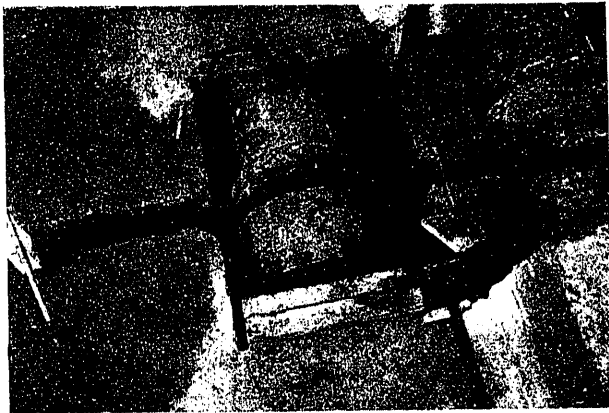


en la parte ya construída del viaducto, de ambos lados Zamora y Coruña, apilándose ya clasificados, y desde cuyo sitio, y sin ulteriores manipulaciones, eran transportados por el cable al punto de su empleo. Para la soldadura de los diferentes elementos, se emplearon electrodos recubiertos, utilizándose diferentes tipos, según las condiciones de trabajo de los elementos que se iban a unir; éstos fueron, esencialmente, el OK 36 y el OK 37 para ejecución de elementos auxiliares, empleándose como resistente, que equivalían al material que se soldaba, al que desde

operación hubo de realizarse con gatos hidráulicos aplicados a un dispositivo especial, para ejecutar este trabajo.

Inmediatamente de enderezar los perfiles, se procedió al trazado de los elementos a construir, efectuándose el corte de los mismos mediante el soplete oxi-acetilénico, haciéndose después un rebarbado con la piedra esmeril portátil, que servía asimismo para achaflanar los cortes y realizar la soldadura en perfectas condiciones.

En el taller se preparó una montea, en la que se



Abertura corregida en la corrección en clave.

colocaban los perfiles que componían el elemento a soldar, siendo comprobado cada uno con un compás de puntas, con el que los errores no pasaban de un milímetro en longitudes de 6,00 metros, haciéndose las soldaduras en horizontal, en los cordones de alma, y en vertical, de abajo a arriba, en los cordones de ala.

El cálculo de las soldaduras se hizo siguiendo el criterio llamado de sección equivalente, o sea para tener en todo momento una resistencia igual que las barras que unían.

Se tuvo como norma, al efectuar la soldadura, evitar deformaciones o localizaciones de esfuerzos perjudiciales a la obra, ante todo al determinar el orden de soldadura necesario para que, aquellas contracciones que son inherentes a la construcción soldada, tuviesen signo contrario a la forma que habían de trabajar posteriormente en la estructura, y pudiesen quedar anuladas durante el período de trabajo; por ello, en los elementos triangulares se soldaban en primer lugar las dos vigas del número 14, en su zona de contacto con la viga del número 26, que forma la cabeza superior, y después se colocaba el elemento recto, que cerraba el vértice inferior.

Ya se ha explicado en otro lugar la forma de ir montando estos elementos triangulares soldados en taller, en la estructura, y mediante nivelaciones constantes y rectificaciones de alineación que dejaban a cada uno de los cuatro triángulos que componían cada grupo en la posición relativa definitiva en que habían de quedar una vez terminado el montaje, y quedando únicamente por hacer la rectificación última, que sólo se podía realizar accionando los tensores de los cables, de los que pendían los nudos 4, 8, 12 y 16, y los de los lados inferiores de los triángulos, cuyos vértices eran esos nudos.

Una vez colocado en su posición cada triángulo de cada grupo, para lo cual se rectificaba toda la parte montada, refiriéndose a ella, se le dejaba en

su posición exacta, se soldaba la cabeza inferior, compuesta de dos vigas del número 14, con lo cual la contracción creaba una extensión de la soldadura; seguidamente se soldaba la cabeza superior, compuesta de dos vigas del número 26, y como quiera que esta sección era más importante que la inferior, quedaba una ligera tensión por la misma causa anterior, pero en cambio la inferior se descargaba, y era convertida en una compresión, que quedaba después anulada por la forma de trabajar esta cabeza, como sucedía en la superior.

El montaje se hizo simétricamente, tanto en lo que se refiere a los dos lados (Zamora y Coruña), como aguas abajo y aguas arriba, y aun cuando hubiese sido posible realizar este trabajo en voladizo, se obtuvieron muchísimas dificultades, y se facilitó el trabajo, en lo que se refiere a la seguridad de los obreros, utilizando para él la cimbra de madera.

Con el personal especializado de la Sociedad "Esab Ibérica", que fué de un maestro encargado, un trazador y un ayudante, un cortador y el suyo, y cinco soldadores, con el auxilio del personal que en la obra había, se realizaron estos trabajos de soldadura por administración directa. Los electrodos, así como los aparatos necesarios para la soldadura, fue-



Vista del arco, montando los encofrados para hormigonar el tablero.

ron suministrados o alquilados por la indicada Sociedad, cuyo personal realizó este trabajo a completa satisfacción del personal encargado.

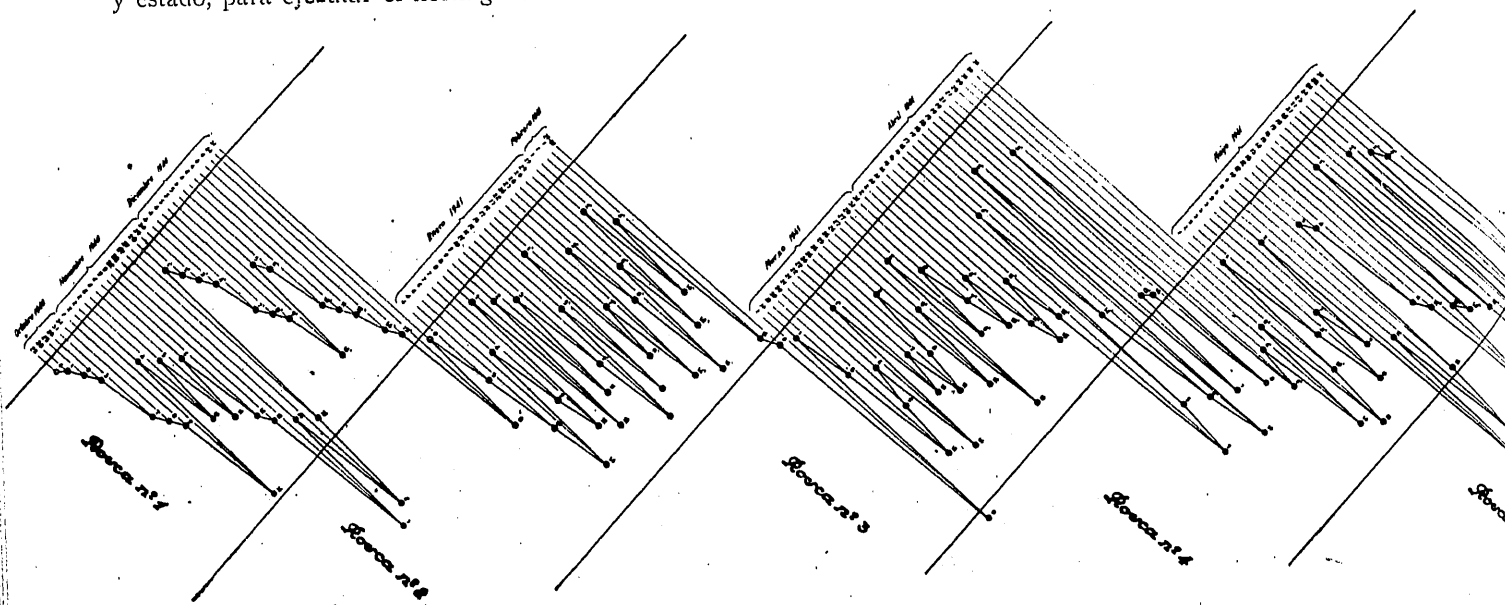
La construcción y montaje de la estructura metálica duró desde octubre de 1939 a julio de 1940.

Una vez terminado felizmente el montaje de la auto-cimbra metálica, colocados sus bulones-rótulas en clave, y quedando, por lo tanto, alejado el peligro que significaba estar todo aquello colgado de los cables, y apoyado en una cimbra de madera, que ya había sufrido importantes deformaciones, sin ocurrir ni un accidente grave, ni episodio lamentable alguno, quiso el personal técnico de la obra, en acción de gracias por todo ello, se celebrara una misa, precisamente encima del último tramo ejecutado, a la cual acudió fervoroso todo el personal obrero y previo el permiso eclesiástico indispensable. Para dar al religioso acto la solemnidad debida, fué instalado un altar provisional, con el ornato necesario y correspondiente con la severidad del acto y grandiosidad del lugar. Quitados los pendolones de suspensión, soldados los bulones o rótulas provisionales, y en condiciones de mantenerse por sí misma la estructura metálica, hubo necesidad de desmontar la reducida cimbra de madera que se dejó y juzgó indispensable para el anterior montaje, pues por efecto del peso soportado durante el mismo, y por el mayor tiempo transcurrido, llegó a adquirir deformaciones que juzgamos peligrosas, y podían perjudicar a la recién montada auto-cimbra, dada la escasa distancia que existía entre el intradós de ésta y el trasdós de la madera, por cuyas razones se hizo este desguace, procurando que la operación fuese rápida y segura, consiguiéndose en un tiempo que no pasó de cinco días. Los elementos de él desmontados, en su totalidad aprovechables, fueron recogidos y apilados según sus dimensiones y estado, para ejecutar el hormigonado del arco

5. *Hormigonado del arco principal.* — Inmediatamente, y sin pérdida de tiempo, se procedió a colocar los tablonos que habían de soportar el hormigonado de las dos cabezas, superior e inferior del arco, y para que el intradós de ambas resultara exactamente el previsto en el cálculo, estos tablonos, colocados de canto y de metro en metro, estaban colgados de la cercha metálica por intermedio de unas horquillas, de redondo de 12 mm., roscadas en sus dos extremos, y que existían en la obra como sobrantes una vez desmontada la cimbra de madera; estos tablonos se apoyaban sobre un pequeño trozo de angular, y se colocaban en el sitio preciso actuando sobre las tuercas que se atornillaban en los extremos de la horquilla, sin que durante el hormigonado hubiese el más pequeño movimiento, cosa que no siempre se consigue, si la sujeción se hace con lo que vulgarmente se denomina en las obras por "tuercas". En esta operación, en confeccionar los tableros, que habían de moldear las roscas número uno y dos, en colocar la separación de dovelas y en hacer el acopio de los materiales, se invirtió desde agosto a octubre de 1940, en cuya fecha se dió comienzo al hormigonado de los huecos que había entre los dos perfiles que componían las dos cabezas, superior e inferior, y que se denominaron roscas cero y cero prima. Simultáneamente con estos trabajos se procedió a la laboriosa y comprometida colocación del botón de amarre, indispensable, como ya se ha justificado, para asegurar la estabilidad al vuelco de la estructura y que salvó de una segura ruina a la obra ya ejecutada, durante el ciclón de febrero de 1941, como ya diremos.

Para su hormigonado fué dividido el arco en ocho roscas, y cada rosca subdividida en dovelas, cuya numeración y dimensiones se detallan en los planos que acompañan a esta breve descripción.

Hemos de hacer constar las dificultades que para



los encofrados laterales significaba el tener que dejar la enorme cantidad de hierro de espera, en ambas caras de las roscas uno y dos, y el encofrado de las juntas de las dovelas, pues aun cuando éstas eran de unos 10 cm. de espesor por término medio, era un trabajo muy prolijo, sin que pudieran utilizarse nuevamente las juntas, pues al desmontarlas era necesario destruirlas, con la dificultad de su gran altura y largo, en relación con su ancho, y la existencia de los hierros longitudinales de las roscas, siendo este problema el que más influyó en el tiempo tardado en hormigonar el arco.

Siguiendo el orden establecido en el proyecto, se fueron hormigonando las diferentes roscas y dovelas de cada una, sin que tengamos que mencionar ninguna novedad en ello, resultando todo con precisión matemática a lo fijado; las fechas y orden de hormigonado pueden verse en el gráfico que se acompaña.

Las inquietudes y peligro de la construcción se presentaron en la lucha con los elementos aire y frío, pues en la noche del 15 al 16 de febrero de 1941 padecimos el terrible huracán, que tantas desgracias acarreó a España, en cuya fecha estaban hormigonadas las roscas uno y dos, esta última sin terminar, y sin que, como luego diremos, produjese ningún desperfecto en el arco, y el frío intenso y prolongado que dificultaba y hubiera impedido el hormigonado en un gran espacio de tiempo, si esta contingencia no se hubiese previsto en el proyecto redactado.

Durante el ciclón antes mencionado, se registró en el anemómetro instalado en la obra, al que tuvimos que llegar arrastrándonos por el tramo, una velocidad del viento, antes de su máxima intensidad, que la alcanzó alrededor de las nueve de la noche, de tres kilómetros por minuto. Afortunadamente, días antes habían sido tensados y arriostados los cables

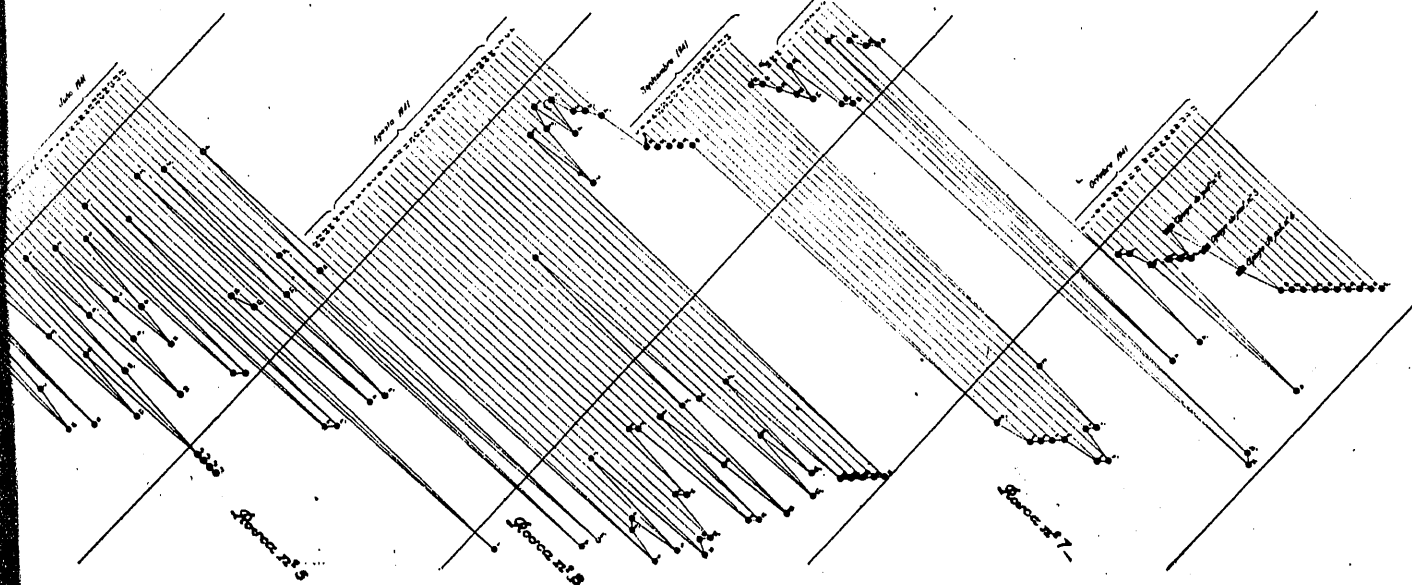
de sujeción del botón de amarre, habiendo quedado éste completa y definitivamente instalado; gracias a ello no se registró ninguna anomalía, ni aún pequeña, en el arco; cuando al día siguiente se visitó y repasó todo por el personal encargado. No sucedió igual con las instalaciones, que fueron devastadas; ningún albergue ni vivienda quedó con techumbre; derribó totalmente la carpintería, y la casi totalidad de la línea eléctrica; arrancó corpulentas encinas milenarias de las cercanías; lanzó tablones atados y apilados encima del tramo, a más de 500 m. aguas arriba, presentando el personal que allí vivía una cara de angustia y desolación sólo comparable al ciclón que soportaron. Ni el eje del arco, ni su directriz, sufrieron lo más mínimo, siendo su situación, cuando el viento cesó, completamente normal.

La lucha con las bajas temperaturas hubiera sido ineficaz de no haberse previsto, pues gracias a un calentador eléctrico, mediante el cual se consiguió que el hormigón saliese de la hormigonera a una temperatura de diez a doce grados, y la colocación de unos toldos, que formaban como una cabaña, encima de las dovelas hormigonadas, y la instalación dentro de ella de dos o tres calentadores eléctricos de mil vatios cada uno, que mantenían la temperatura en su interior entre ocho y diez grados, se pudo hormigonar durante todo el invierno 1940-41, que, como todos recordamos, fué extremadamente frío.

El apisonado del hormigón del arco se hizo a mano, con pisones más o menos grandes, según permitían las separaciones de los hierros, pero siempre enérgico y cuidadoso.

Las dosificaciones y resistencias son las que ya se indicaron al hablar del laboratorio.

Durante la construcción del arco se desmontó el grupo central de cable que soportaba la pasarela pro-



visional, pues aun cuando su permanencia significaba una dificultad para colocar, en el sitio que le correspondía, cada uno de los elementos triangulares de la estructura metálica, por estar dicho grupo en la vertical de bajada de las cargas transportadas por el cable aéreo, al no ser los elementos numerosos y, en cambio, ser necesario para soportar el peso complementario del auto-cimbra, y pudiendo además ser desviadas las cargas para que pudiesen ser depositadas en su sitio por personal colocado en los cables laterales, no se desmontó hasta que dió principio el hormigonado, por ser ya más frecuentes los viajes del cable, no ser necesario como elemento resistente, y cruzar el arco, dejándose, en cambio, los grupos laterales, que se utilizaron previa colocación de un ligero quitamiedos, para pasos del personal, de los tableros ya construídos, al arco en construcción, facilitando enormemente el acceso al mismo.

En el sitio correspondiente se dejaron los hierros que habían de ser solapados con los que en los pilares de las palizadas estaban proyectados, hornigonándose las vigas de apoyo de éstas sobre el arco, de las que parte estaban embutidas en la masa del mismo, y convenientemente armadas, para el trabajo a que habían de ser sometidas.

Como ya hemos dicho, al terminar el hormigonado de la rosca número dos, se puso en carga, valiéndose de los gatos preparados para la corrección en clave, haciéndose lo mismo con las roscas tres y cuatro.

6. *Maniobra de corrección en clave.* — Ya hemos indicado las razones que aconsejaron realizar esta maniobra, sin que tengamos necesidad de insistir sobre ellas; tan sólo detallaremos aquí, aunque sea someramente, para no dar demasiada extensión a este artículo, las particularidades de la mencionada maniobra.

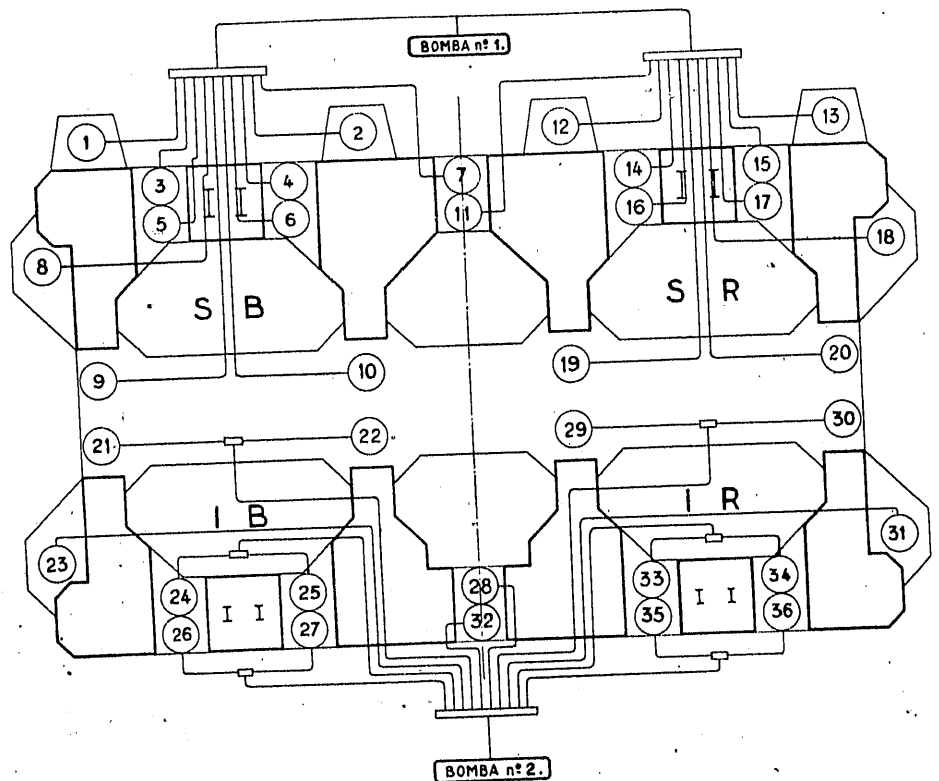
Para realizarla se contaba con 36 gatos hidráulicos, cuyo émbolo tenía 500 cm.² de sección, estando provisto cada uno de un seguro, que impedía el retroceso del émbolo, aunque se quedara sin presión. Tanto unos como otros fueron adquiridos de la industria española, y probados a 800 atmósferas; es decir, capaces de producir una carga cada uno de 400 toneladas. También se contaba con dos bombas de alimentación, de fabricación nacional, de 750 atmósferas de presión máxima, con dos velocidades, regula-

dor automático de presión, acoplables a un motor eléctrico, con sus manómetros, etc. La unión entre los gatos y las bombas se hizo con tubería de aceros estirados, de 12 mm. de diámetro exterior, por intermedio de un distribuidor colocado entre las bombas y los gatos, que permitía, por medio de una llave colocada en cada acometida, anular los gatos que fuesen necesarios. Estos se colocaron según indica el adjunto dibujo, y agrupados en las cuatro secciones siguientes:

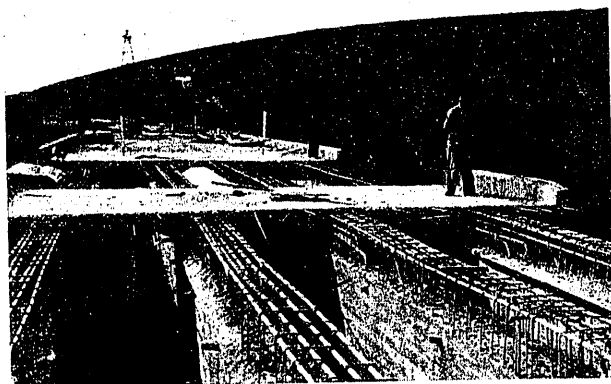
- | | |
|--|----------------------------------|
| S R. Cabeza superior, aguas arriba | } Acoplados a la bomba número 1. |
| S B. Cabeza inferior, aguas abajo | |
| I R. Cabeza inferior, aguas arriba | } Acoplados a la bomba número 2. |
| I B. Cabeza inferior, aguas abajo | |

Esta distribución se hizo, en primer lugar, para poder comprimir a la vez, y con mayor presión, la cabeza superior que la inferior, y en previsión de que, si por deformaciones no previstas, o mal funcionamiento de los gatos, se alteraba el eje del arco en planta, poder actuar aguas arriba o aguas abajo, para restablecerlo a la posición conveniente.

La primera dificultad que hubo de resolverse fué



Distribución de los gatos para la corrección en clave y, sus tuberías de alimentación.



Vigas del pórtico, hormigonadas, a falta de hormigonar el forjado.

desmontar las rótulas que, según ya se dijo, estaban colocadas en el sitio que habían de ocupar los gatos 3, 4, 5, 6, 14, 15, 16 y 17, para soportar el empuje de la rosca número uno, convenientemente ampliada en aquel punto, durante el hormigonado del arco, y para ello, una vez acoplados los gatos, con una pequeña presión de 75 toneladas, se intentó sacar las rótulas, sin haberlo podido conseguir, y hubo necesidad, por lo tanto, de aumentar la presión hasta 500 atmósferas los de la cabeza superior, que eran los 2, 12, 7, 11, 9, 10, 19 y 20, o sea en total 2 000 toneladas, y los 1, 8, 13 y 18 a 300 atmósferas, que suponen otras 600 toneladas, no habiendo dado a éstos la misma presión que a los primeros por estar muy separados de ellos y poder, por consiguiente, producir flexiones perjudiciales en la cabeza superior; los de la cabeza inferior se pusieron todos ellos a 300 atmósferas, o sea un total de 2 400 toneladas; con ello se consiguió que la clave abriese un milímetro en la cabeza superior y dos en la inferior, pudiendo en aquel momento ser quitadas las rótulas que ocupaban el sitio de los gatos 4, 6, 14 y 16, los cuales, inmediatamente, se montaron y acoplaron. En este momento se dió a los gatos de la cabeza superior instalados un total de 2 800 toneladas, y a los de la cabeza inferior, 2 400, quedando abierta la clave 4 milímetros en la primera y 10 en la segunda, y pudieron ser quitadas las otras dos rótulas, que permitieron la instalación completa de la batería. Entonces, se pusieron todos los de la cabeza superior a una presión de 325 atmósferas, y los de la inferior a 300, consiguiéndose abrir la clave 12 y 10 centímetros, respectivamente, elevándose al mismo tiempo 12 centímetros, respecto a su situación antes de la maniobra. En total, la presión necesaria para poner en movimiento la enorme masa del arco fué de 5 600 toneladas.

La maniobra se efectuó en la primera quincena

de noviembre de 1941, y duró aproximadamente quince días, aun cuando la verdadera corrección se hizo en los dos últimos, pues los anteriores se invirtieron en la colocación de los gatos que ocupaban el lugar de las rótulas que se desmontaron, en corregir fugas en las uniones y en rectificar la posición de algunos gatos que se acodalaban.

Una vez terminada esta operación, se rellenó con hormigón de 500 kilos de cemento la parte no ocupada por los gatos, y después de veintiocho días, mediante una puesta en presión de todos ellos, a la misma que sirvió para hacer la corrección, se aflojaron los seguros y se desmontaron todos los gatos, rellenándose con hormigón de las mismas características que el primero el sitio que éstos ocupaban.

7. *Palizadas y tableros de los pórticos.* — Terminada la corrección en clave del arco, se comenzó la construcción de las palizadas, y terminadas éstas, la de los tableros, sin que ocurriese ninguna cosa digna de mención, terminándose en octubre de 1942.

8. *Barandilla.* — Por dificultades en la adquisición de tubo, se ejecutó la barandilla de hormigón armado, terminándose a fines de noviembre de 1942.

f) Trabajos finales.

Una vez terminados los pórticos, se procedió a desmontar el cable transbordador, al arreglo, clasificación y apilado de la madera sobrante y demás trabajos auxiliares, para dejar la obra en condiciones de prestar servicio.

g) Pruebas.

Al no disponer de un tren de pruebas, por no haber llegado la colocación de la vía al viaducto, he-



Arco principal, terminado, a falta de desmontar los andamios de los últimos tramos del forjado.

mos procedido a la carga estática del tramo número 2, o sea el que insiste sobre las dos palizadas de mayor altura; para ello, y con arreglo a la Instrucción, hemos hallado que la carga uniformemente repartida equivalente a la sobrecarga, y al impacto, teniendo en cuenta la relación de pesos entre los de un tramo metálico y el de hormigón que nos ocupa, arroja un total de 450 toneladas. Esta carga se ha hecho con balasto, sujeto lateralmente por un paramento de sacos llenos del mismo material.

No se ha apreciado ninguna flecha, ni desviaciones en la verticalidad de las palizadas.

h) Coste de las obras.

El importe total de estas obras se eleva a pesetas 11 495 193,38.

i) Condiciones atmosféricas.

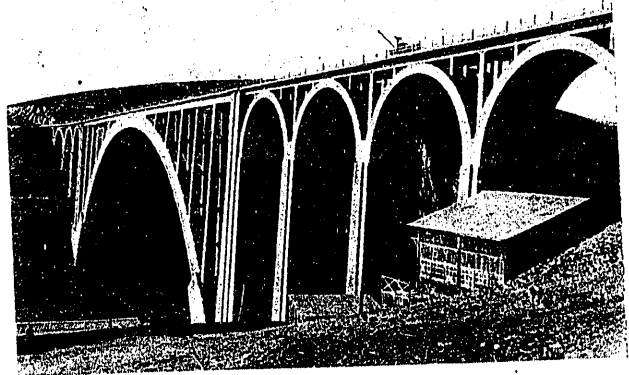
Las condiciones atmosféricas en que se han ejecutado las obras han sido extremadamente duras, como se desprende del siguiente cuadro, que comprende la época de construcción del arco, palizadas, etcétera, o sea desde el año 1939 a octubre de 1942.

| | | | | |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|
| Días de buen tiempo. | 158 | 209 | 214 | 205 |
| " " mal tiempo. | 28 | 33 | 27 | 10 |
| " " viento | 53 | 42 | 40 | 25 |
| " " lluvia | 69 | 40 | 32 | 33 |
| " " niebla | 32 | 12 | 27 | 1 |
| " " hielos | 25 | 30 | 25 | 30 |

Es de tener en cuenta que en los días de mal tiempo y lluvia, generalmente, les acompañaba un viento fuerte, y que los clasificados como buen tiempo fueron los únicos que permitían el trabajo. La velocidad del viento en los días indicados sobrepasaba la de un kilómetro por minuto, y los señalados con hielos indican los que la temperatura era inferior a 2º durante las veinticuatro horas.

j) Accidentes del trabajo.

Hemos dejado para último punto a tratar, los accidentes del trabajo ocurridos durante la ejecución de las obras, por ser para el personal que ha intervenido en las mismas un motivo de satisfacción haber podido dar cima a la construcción sin que durante el tiempo que estuvieron encargados ocurriese ningún accidente mortal. El más grave de los accidentes fué el ocurrido a un obrero que estaba encargado del buen arrollamiento de los cables, en los tambores del cabrestante del transbordador aéreo, al que hubo que amputarle una pierna a la altura de la rodilla, y



Viaducto, completamente terminado.

habiendo quedado, por lo tanto, con una incapacidad permanente; el resto de los accidentes han sido leves, pudiendo dar idea de ello la siguiente relación, que se refiere al período comprendido desde noviembre de 1937 a final de 1940, durante el cual las obras se ejecutaron por administración directa.

Ocurrieron en el indicado período 21 accidentes, uno de los cuales fué el anteriormente reseñado; del resto, cuatro curaron antes de los siete días; once, antes de dos semanas; dos, a los veintidós días; uno, al mes, y dos al mes y medio; en este tiempo, el número de jornales empleados fué de unos 90 000, resultando, por ello, un tanto por ciento muy bajo.

No podemos dar detalles de los que ocurrieron durante la construcción de las obras por contrata, por no existir en nuestro archivo los datos necesarios, y en el período de hormigonado de las obras, cuyo trabajo estuvo destajado al Sr. Barredo, quien lo llevó a cabo con gran actividad y pericia, el número de accidentados ha sido muy parecido al antes reseñado, desde luego, ninguno de gravedad.

Con esto damos por terminada la descripción de las obras del viaducto Martín Gil, cuyos antecedentes y somera descripción nos proponíamos exponer en estos artículos, sin que en ellos, para no hacerlos demasiado extensos, hayamos podido hacer otra cosa que esbozar las cuestiones en ellos tratadas.

Finalmente hemos de hacer constar que ha sido posible dar cima a esta obra gracias a la colaboración y entusiasmo de todos los que intervinieron en el proyecto, como en la ejecución, y a las facilidades que dentro de las normas en vigor hemos encontrado en todo el personal del Ministerio de Obras Públicas, y muy especialmente en el Excmo. Sr. Ministro, D. Alfonso Peña, cuyo interés durante toda la construcción ha sido extraordinario, facilitando nuestro cometido y la realización rápida de la obra.