

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.

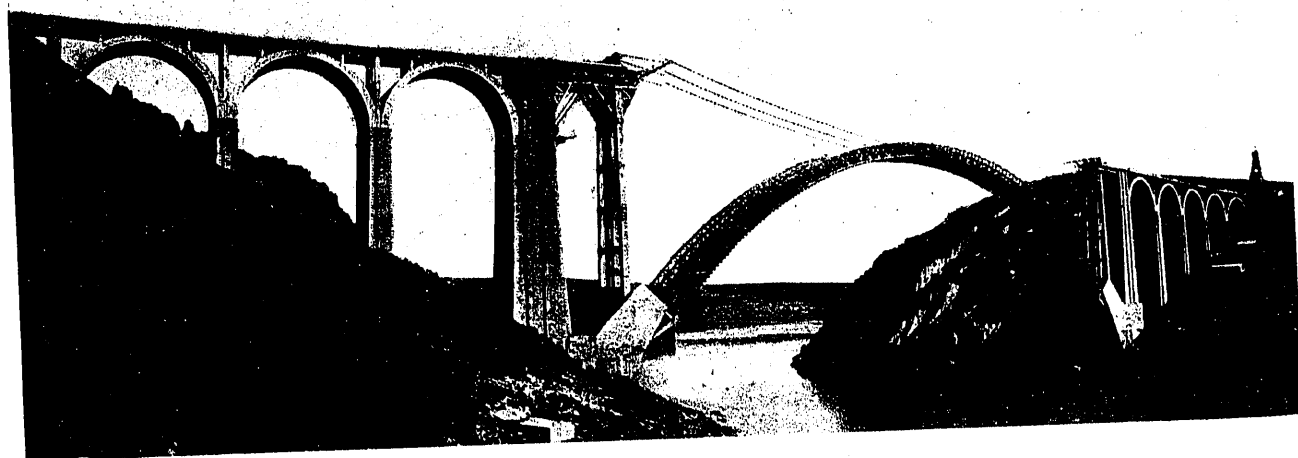
Refiérese este primero a los antecedentes, proyectos estudiados, adopción de un gran arco y modificaciones realizadas en el proyecto primitivo y durante la construcción de la obra. El segundo artículo comprenderá un resumen del cálculo del puente, salmeres, autocimbra y plan de hormigonado. Y por último,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

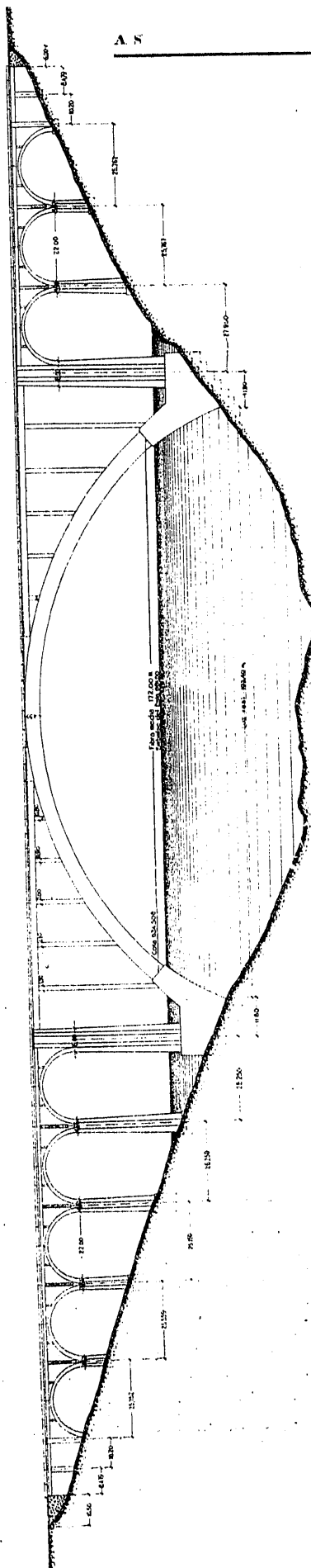
En resumen: los tres arcos de hormigón que actualmente están construídos, y que van a la cabeza de estas obras, tienen las siguientes características generales:

	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

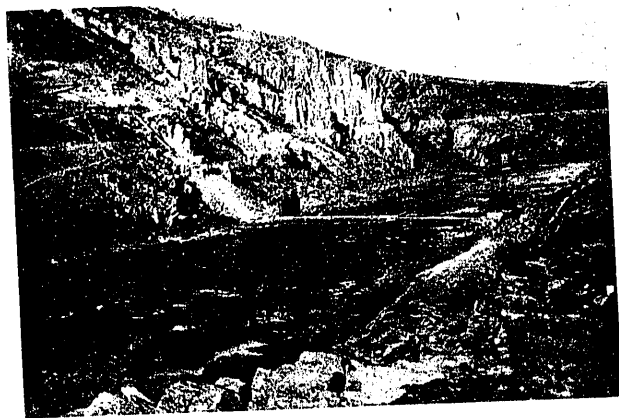
En lo que al porvenir respecta, se ofrece un amplio campo para continuar el trayecto en el cual constituye hoy el Esla el jalón más avanzado, limitándose más bien el camino por dificultades de realización práctica que por los conocimientos teóricos, actualmente en período éstos de interesantes estudios.

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.

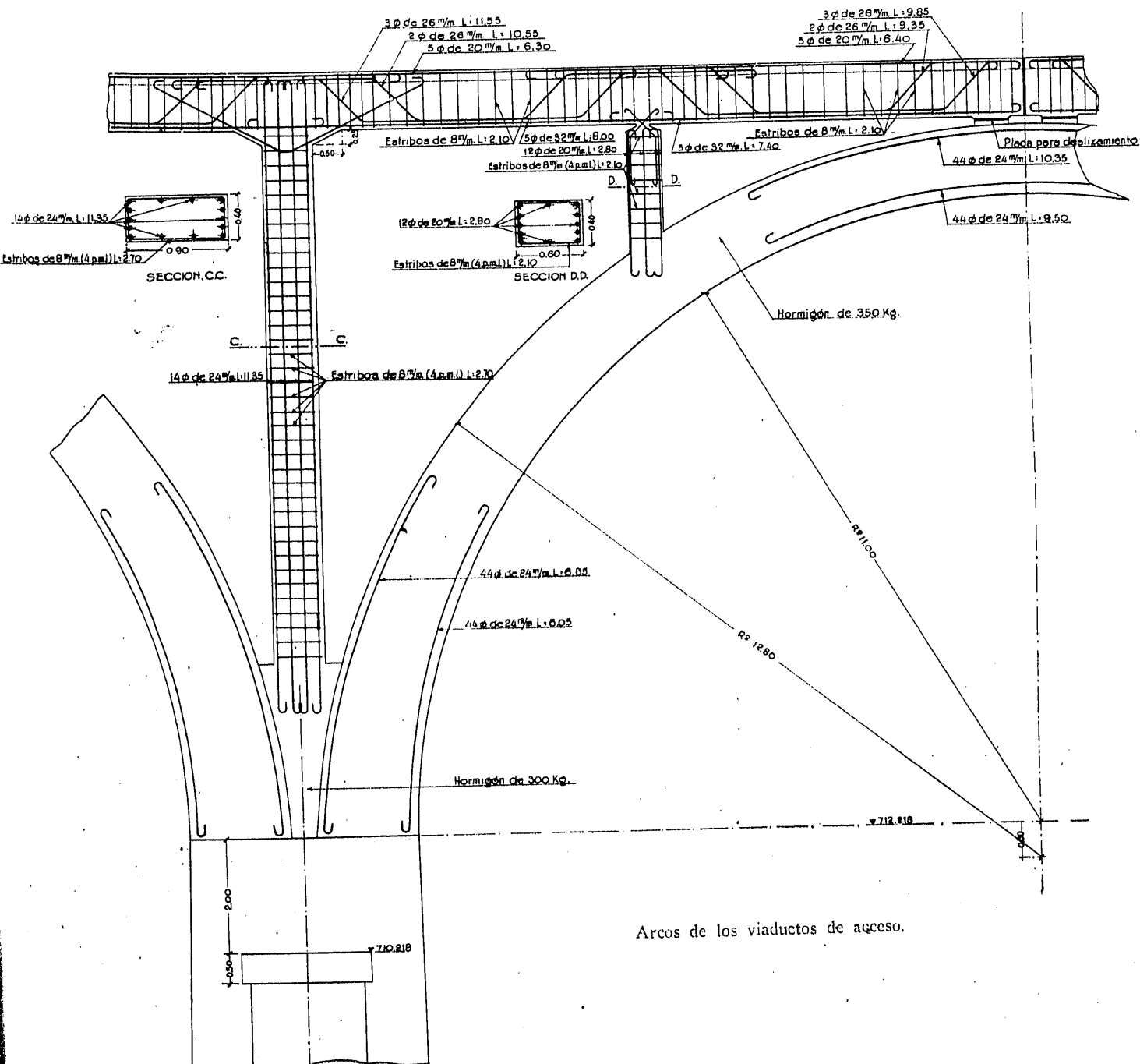


Margen izquierda: Salmeres y pilas de los viaductos de acceso

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-



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.

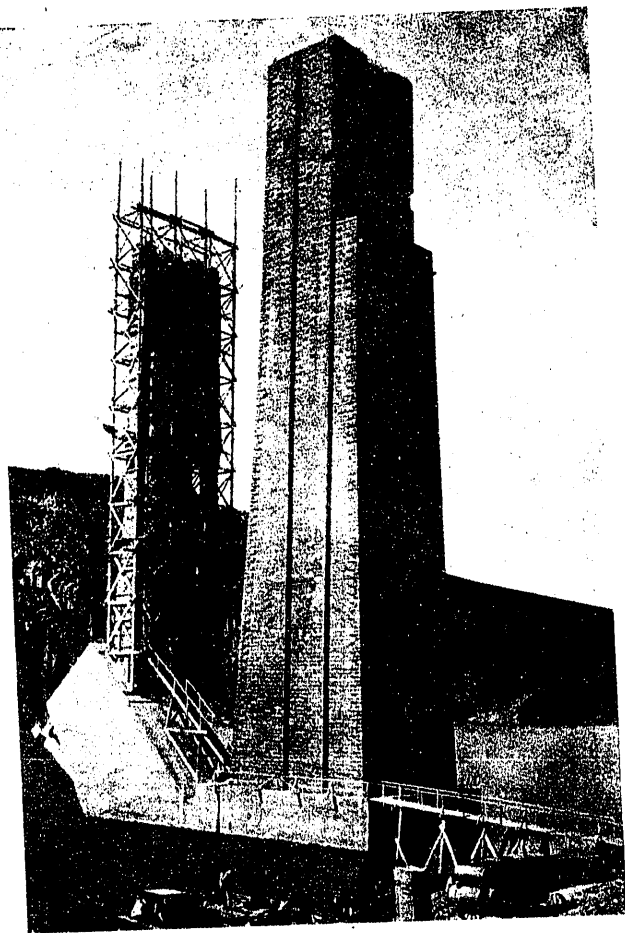
Aprobada esta primera modificación en 9 de noviembre de 1934, que correspondía no solamente al aumento de dosificación, sino al de armaduras y su disposición, dió ello lugar a que se ordenase la redacción de un proyecto definitivo y completo, en el cual se tuviesen en cuenta cuantas modificaciones fuera 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-

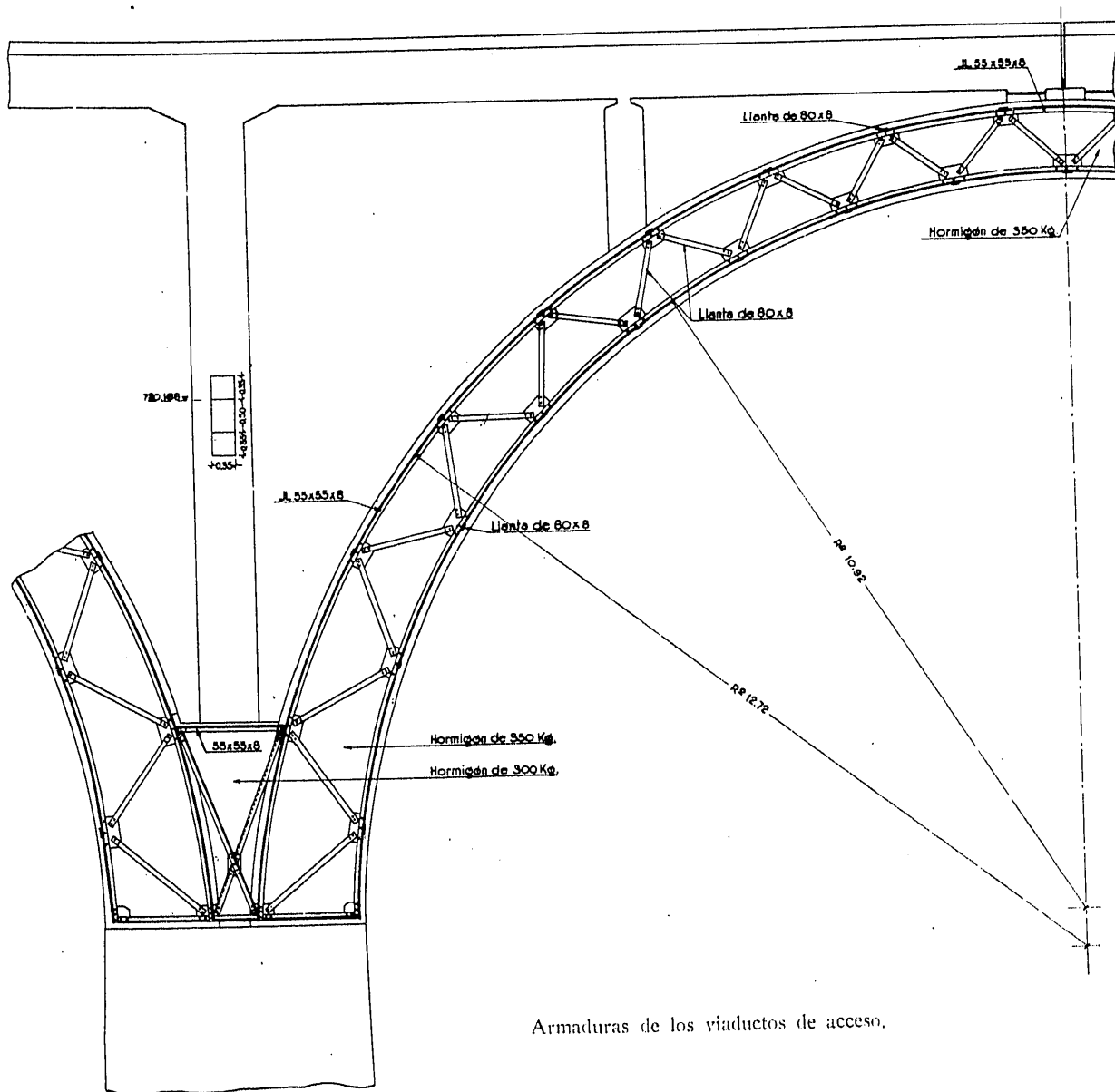


Pila-estribo y construcción de la primera palizada.

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.

Encuadra 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.; pórticos, 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.

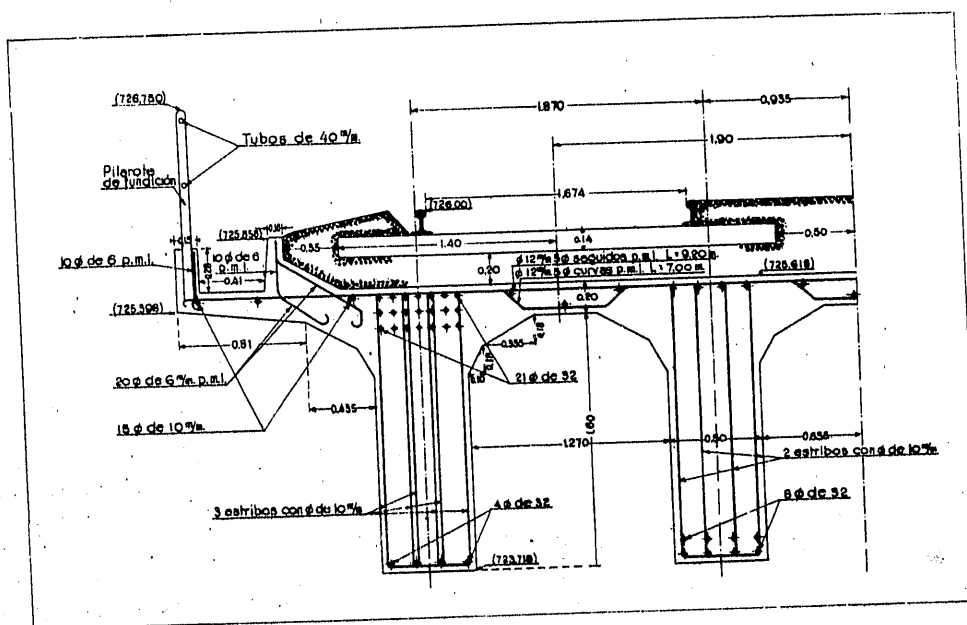
Comprendiase en el proyecto primitivo, bajo la denominación de estribos, una estructura formada por dos pequeñas bóvedas de 8 m. de luz; pero la gran cantidad de productos de desmonte procedentes de las obras de explanación, así como las diferencias entre el terreno natural y el supuesto, que no se adaptaban 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.



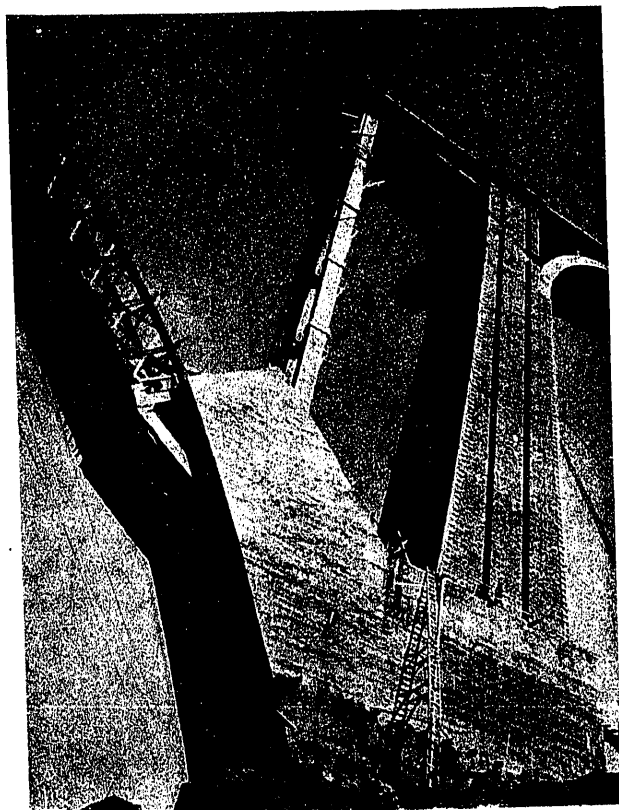
Construcción de arcos y tímpanos de los viaductos de acceso y cimbra del arco principal.

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 $y = x^2 : 6RP$; 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 cinientos 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



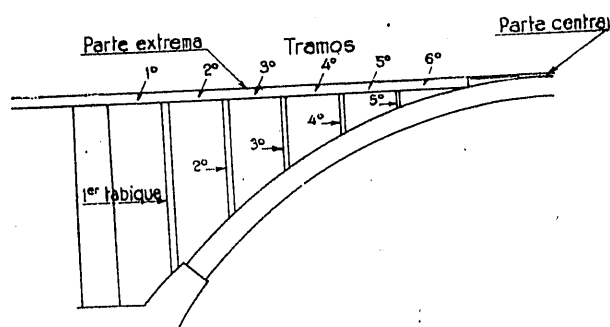
Arranque del arco y atado de la cimbra.



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

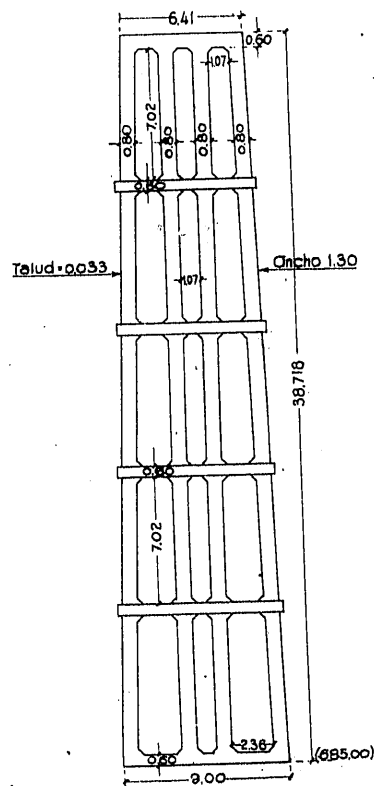
12 Kg., y en el trabajo de los arcos, de 48,6 a 46,5 Kg./cm.².

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.

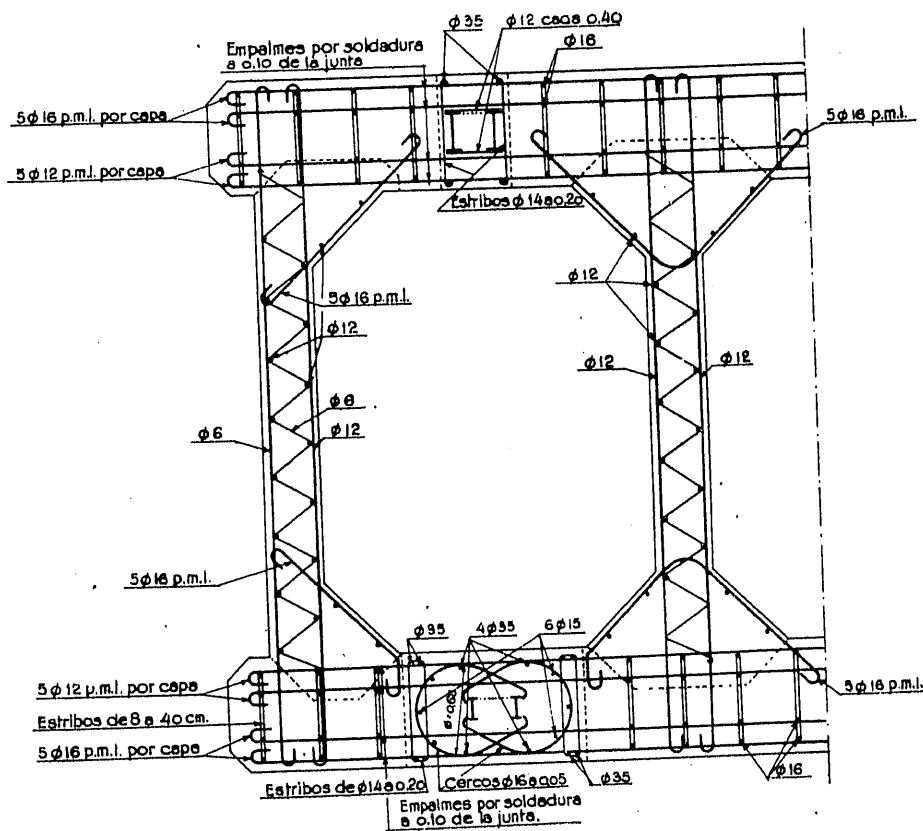
que consistía en pilas sobre el gran arco que sostenían bóvedas de hormigón en masa de 11,50 m. de luz. Presentaba esta solución graves inconvenientes:

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.

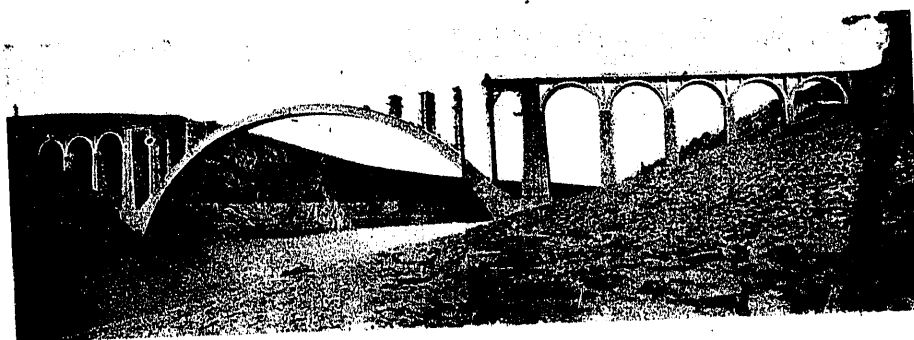
Estudiados detenidamente en el proyecto los efectos producidos por la acción del viento y por las variaciones térmicas, longitudinales y transversales, condujo este estudio, en lo que a torsiones por acción del viento se refiere, a momentos que obligaron a armados adecuados en los tabiques y cartabones 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 570 219,556 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.