

El puente de Villanueva de la Reina sobre el Guadalquivir (Jaén). Diseño estructural y constructivo de una obra histórica de hormigón armado

The Villanueva de la Reina Bridge Over the Guadalquivir (Jaén). Structural and Constructive Design of a Historic Reinforced Concrete Work

Antonio Burgos Núñez^{*,a}

^a Universidad de Granada

Recibido el 5 de marzo de 2023; revisado el 1 de junio de 2023; aceptado el 5 de julio de 2023

RESUMEN

En la parte central de la provincia de Jaén, sobre una carretera poco transitada, se localiza un puente histórico de hormigón armado. Fue construido a principios del siglo XX y todavía se mantiene en uso en nuestros días. Este puente tiene una configuración insólita, estando formado por tramos rectos de vigas trianguladas de hormigón armado. A pesar de ser una obra muy original, relevante para la Historia de la Ingeniería en España, su conocimiento hasta ahora era limitado

En el presente artículo se hace una introducción a su historia y se describe técnicamente su configuración y las particularidades de sus elementos, a partir de una revisión global en la que se incluyen los planteamientos de diseño originales y las modificaciones introducidas durante su ejecución.

PALABRAS CLAVE: Puentes, hormigón armado, estructura, proyecto, construcción, patrimonio.

©2023 Hormigón y Acero, la revista de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE). Publicado por Cinter Divulgación Técnica S.L. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

ABSTRACT

In the central part of the province of Jaén, on a road with little traffic, there is a historic reinforced concrete bridge. It was built at the beginning of the 20th century and is still in use today. This bridge has an unusual configuration, being made up of straight sections of triangular reinforced concrete beams. Despite being a very original work, relevant to the History of Engineering in Spain, its knowledge has been limited until now.

This article aims an introduction to its history and a technical description of its configuration and the particularities of its elements, based on a global review that includes the original design approaches and the modifications introduced during its construction.

KEYWORDS: Bridges, reinforced concrete, structure, design, construction, heritage.

©2023 Hormigón y Acero, the journal of the Spanish Association of Structural Engineering (ACHE). Published by Cinter Divulgación Técnica S.L. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0) License

1. INTRODUCCIÓN

El hormigón armado surgió como resultado de un largo proceso de gestación, que comenzó en el último tercio del siglo XIX. A comienzos del XX, sustentado todavía sobre bases empíricas, tuvo una expansión fulgurante, gracias a la iniciativa de empresas variopintas. Esta extraordinaria difusión atrajo la atención de técnicos solventes, que

finalmente lograron consolidarlo plenamente como material de construcción, a partir de su formulación teórica y de la demostración de su validez mediante su implementación racional en audaces e innovadoras construcciones [1].

Uno de los ámbitos donde el nuevo material avanzó más rápidamente fue el de los puentes. Su gran versatilidad propició su generalización, configurándose desde los comienzos dos tipologías básicas: el arco y el tramo recto.

Los arcos de hormigón armado se levantaron con esquemas

* Persona de contacto / Corresponding author:
Correo-e / e-mail: abn@ugr.es (Antonio Burgos Núñez)

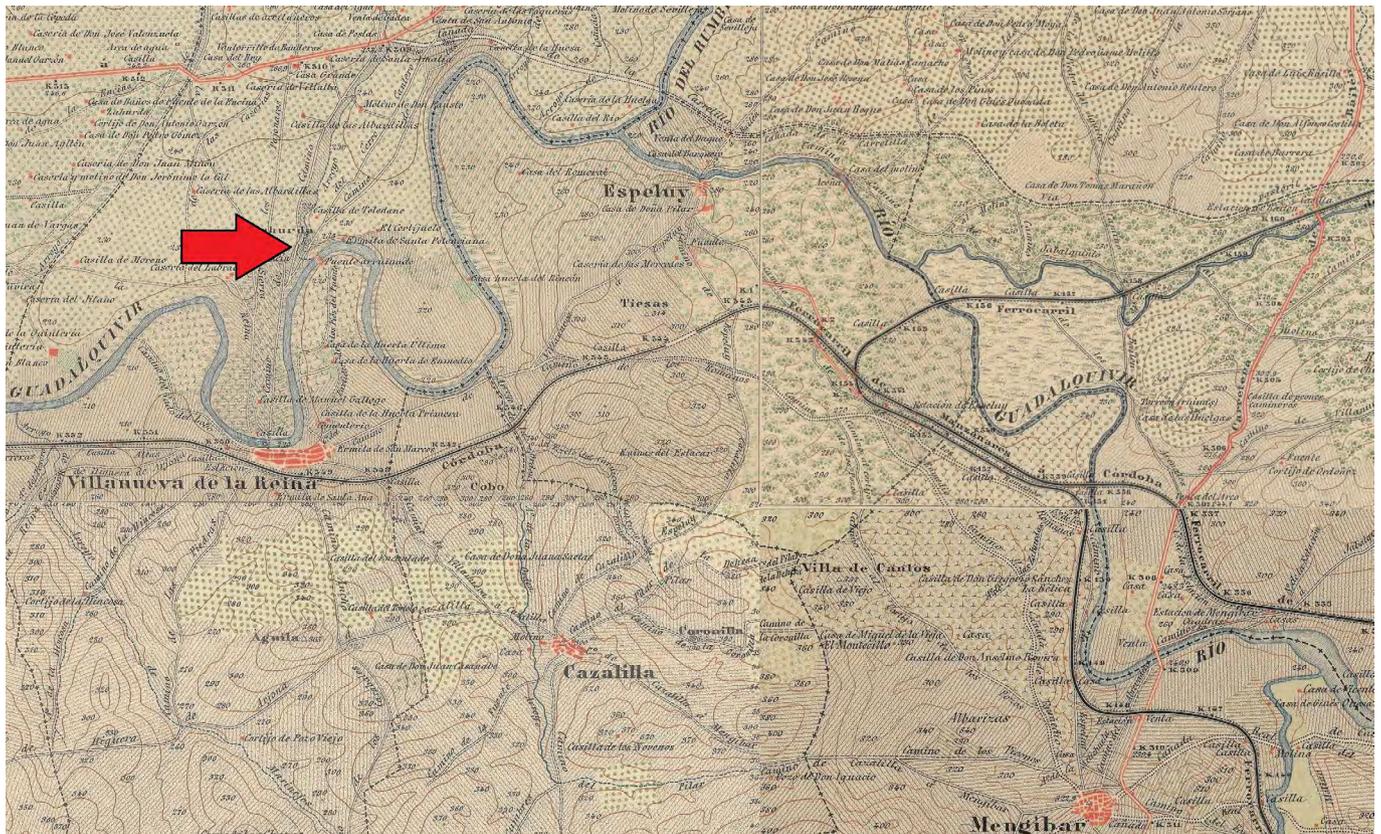


Figura 1. Recorrido de la carretera de la Venta de Santa Amalía a la Venta del Sereno, aún sin ejecutar en 1900. En el plano consta la localización del primitivo puente romano sobre el Guadalquivir junto a Villanueva de la Reina. Montaje de las hojas 904, 905, 925 y 926 del MTN. Cartografía © Instituto Geográfico Nacional de España.

heredados de los puentes de fábrica, en particular de los diseños que Paul Sejourné había materializado brillantemente en sus puentes de fábrica. Frente a esta apropiación, los puentes de tramos rectos se conformaron con un lenguaje original, desarrollándose el modelo de sección transversal en π como fórmula prácticamente universal.

No obstante, en la etapa de experimentación surgieron propuestas a partir de planteamientos propios de otros materiales de construcción. Tal fue el caso de los puentes de vigas trianguladas de hormigón armado, que reiteraban el consabido esquema de tablero sobre dos cuchillos longitudinales, el cual había devenido solución prácticamente universal en el Ochocientos para los tramos rectos hechos con hierro.

Ciertamente, la versión hormigonada de estos puentes tuvo en general una aceptación muy pequeña. Fuera de España se construyeron algunos ejemplares [2], pero la tipología no tuvo continuidad. Solamente trascendió la brillante propuesta de viga sin diagonales desarrollada por Vierendeel, cuyas aplicaciones no obstante también fueron limitadas [3].

Pero en España sí que tuvieron una amplia aplicación. Se usaron frecuentemente como alternativa a los puentes arco para luces significativas (25-30 m), dispuestos siempre en tramos isostáticos para obviar las dificultades de cimentación de aquellos [4]. En el primer tercio del siglo XX se construyeron 17 puentes de este tipo, repartidos por toda la geografía nacional.

En esta inusual difusión tuvo mucho que ver la influencia del gran ingeniero Juan Manuel de Zafra, que inauguró la

tipología en 1909 con el puente sobre el río Vélez en Málaga. Su propuesta fue adoptada después por otros técnicos, que experimentaron con ella en diversos puentes construidos en la década de 1910. Finalmente, el propio Zafra consagró la fórmula incluyéndola en la Colección de Modelos Oficiales de Puentes de Carretera [5]. Con sus patrones se levantaron hasta cinco ejemplares más, completando los 17 puentes de este tipo que entre 1909 y 1932 se hicieron en España. Integrados en infraestructuras ferroviarias, se construyeron cinco más para las líneas de los Ferrocarriles Suburbanos de Málaga. El resto se utilizó en carreteras, como solución especialmente indicada para puentes de grandes luces. Entre ellos son especialmente significativos el del río Caudal en Mieres -Asturias- (tres tramos de 28 m de luz) el viaducto sobre el río Andarax en Almería (cinco tramos de 32 m de luz) y los puentes de Sabero-León- y Serradilla -Cáceres- (con sendos tramos centrales de 28 m y 32 m de luz, respectivamente).

Uno de los puentes más notables del periodo anterior a la normalización fue el que se presenta en esta investigación. Se trata de un gran viaducto de 220 m de luz, resuelto con tramos rectos isostáticos de 20 m cada uno. La superestructura es de hormigón armado, con un tablero superior apoyado sobre dos cuchillos formados por vigas trianguladas de hormigón armado. Una parte del puente se encuentra sobre el cauce del río, apoyándose sobre pilas de fábrica. El resto del puente se ubica en la zona inundable del río (margen derecha), habiendo sido sustituidas en esta parte las pilas por caballetes o palizadas de hormigón armado.

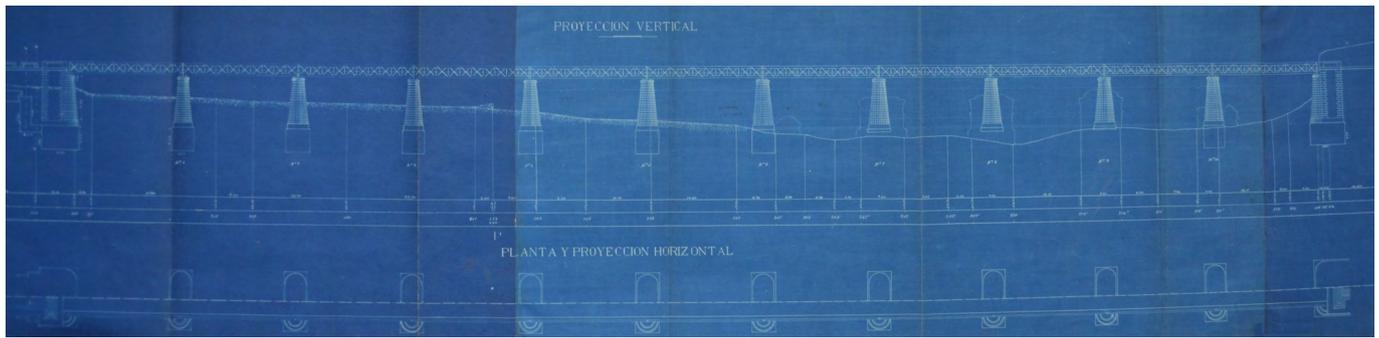


Figura 2. Alzado del puente sobre el Guadalquivir en Villanueva de la Reina (Jaén). Proyecto de Francisco Aedo. 1909. A la derecha figuran las cinco pilas a construir sobre restos romanos, que se representan. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31313.

Tanto por sus notables dimensiones como por la particularidad de su tipología, es una realización significativa de la Ingeniería Española, plenamente merecedora de un estudio en el que se aclaren sus orígenes, se identifiquen sus creadores y se concreten con detalle sus peculiaridades estructurales y constructivas.

Por otra parte, a pesar del tiempo transcurrido y sin recibir apenas mantenimiento, el puente se encuentra aún en uso, soportando el tráfico normal de carretera. Apremia que se conozca su existencia, se tome conciencia de su importancia como bien patrimonial y se adopten medidas para su salvaguarda. A ello pretende contribuir este trabajo como uno de sus objetivos principales.

La base de la investigación ha sido la consulta y análisis de la documentación técnica original, conservada principalmente en el Archivo Histórico Provincial de Jaén. La metodología se ha completado con reconocimientos técnicos *in situ*, apoyados con levantamientos elementales y realización de reportajes fotográficos.

2. CONCEPCIÓN GENERAL DE LA OBRA. UN PUENTE METÁLICO COMO PLANTEAMIENTO INICIAL

Tras el formidable esfuerzo llevado a cabo en la segunda mitad del siglo XIX, hacia 1900 la red de carreteras del Estado en líneas generales podía darse por completada. No ocurría lo mismo con las carreteras de segundo nivel (provinciales), que arrastraban un considerable atraso [6]. En las décadas siguientes, el esfuerzo de la Administración se iba a concentrar en el despliegue de estas infraestructuras.

En este contexto hay que situar la construcción de una carretera de tercer orden en la provincia de Jaén, concebida como conexión transversal de dos grandes ejes viarios, la carretera de Madrid a Cádiz y la de Bailén a Motril y el importante nudo ferroviario de Espeluy. Comenzada su construcción en 1904, dos años después se encargó al ingeniero de Caminos Francisco Aedo Villalobos el proyecto de su tramo más complicado, que incluía el paso del río Guadalquivir junto a la localidad de Villanueva de la Reina (figura 1).

El punto de cruce del gran río andaluz fue determinante en la elección del trazado. Próximo a Villanueva se encontraba un viejo puente romano arruinado, pero tres de cuyas pilas

aún seguían en pie (otras dos estaban semiderruidas), dando prueba de la solidez de sus cimientos. Priorizando la economía de la construcción, se decidió aprovecharlos en la nueva obra, a pesar de que se tendrían que demoler las pilas existentes «para darles forma adecuada a un puente moderno» [7].

Esta decisión, por tanto, condicionó el diseño del nuevo puente, cuyas dimensiones tuvieron que ajustarse a la disposición de los elementos existentes. De este modo, se proyectó un viaducto con once tramos rectos de 20 m de luz (figura 2), precisamente la separación que había entre las cinco pilas romanas [8].

El régimen de avenidas del Guadalquivir obligaba a realizar una solución de tanta envergadura, que tal vez pueda parecer desmesurada para poco más que un camino vecinal en una de las provincias menos desarrolladas de España. Pero su construcción también estaba justificada como alternativa para el cruce del Guadalquivir en caso de dificultades en los puentes cercanos, el colgante de Mengibar y el romano de Andújar (que sí podrían dejar cortadas carreteras de primer orden).

El aprovechamiento de las cimentaciones romanas facilitaba la construcción del puente al evitar los agotamientos en la zona del cauce. Para las nuevas pilas de la margen izquierda, de suave pendiente y habitualmente en seco, se proyectaban macizos de hormigón de profundidad suficiente para alcanzar el nivel competente de arcillas (figura 2).

En los reconocimientos practicados para diseñar la cimentación de estas se encontró un nivel competente de naturaleza arcillosa (margas) a cierta profundidad, bajo una gruesa capa de acarros. No era un terreno que ofreciese completa garantía de estabilidad, siendo muy posible que a lo largo de la vida del puente alguna de las pilas sufriera asientos, con la consiguiente desnivelación de las vigas principales apoyadas en ellas. Por ello, el ingeniero Aedo planteó un puente de tramos isostáticos independientes, en contra de la solución habitual de viga continua sobre varios apoyos, en la que un asiento de alguna de las pilas acarrearía «si no la ruina de la obra, al menos averías de costosisima reparación y que no compensarían el ahorro de hierro que se obtendría». Por otro lado, los tramos isostáticos eran más fáciles de poner en obra por lanzamiento [9].

Fijada así la organización general del puente, la superestructura se resolvió con la solución habitual de la época: dos cuchillos de vigas trianguladas como elementos principales sobre los que se apoyaba un tablero intermedio (figura 3). Estas vigas principales eran del tipo de cruces de San Andrés, con diagona-

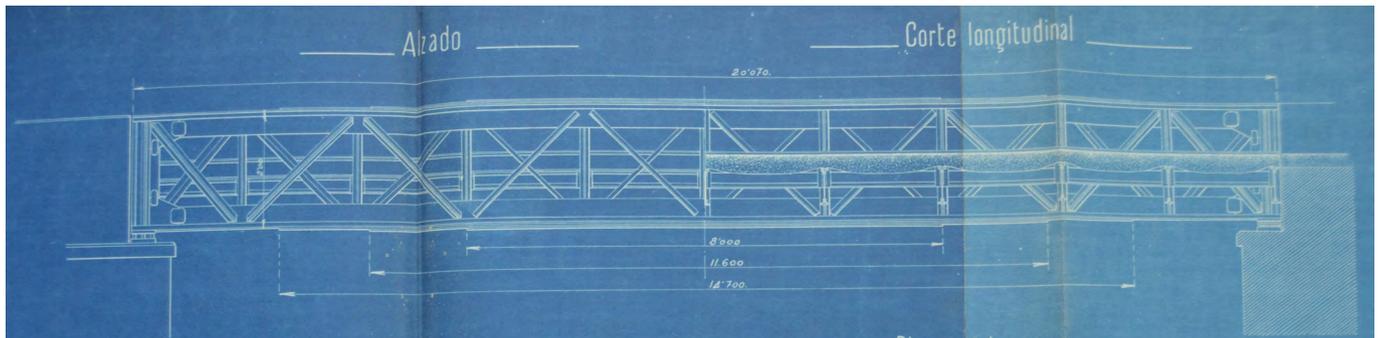


Figura 3. Alzado y corte longitudinal de los tramos metálicos. Proyecto de Francisco Aedo. 1909. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31313.

TREN TIPO DE CARROS DE 6 TONELADAS PARA CARRETERAS .

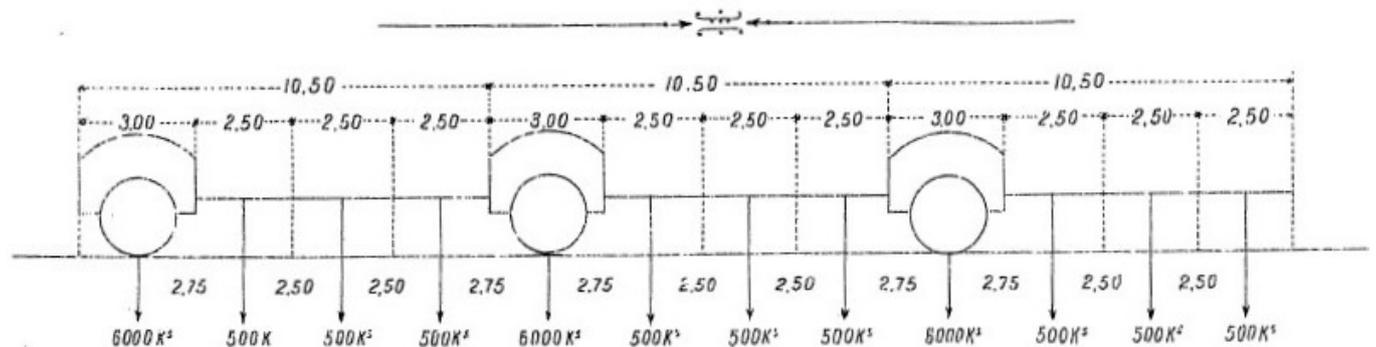


Figura 4. Croquis del tren de carros tipo para puentes de carreteras incluido en la Instrucción para redactar puentes metálicos de 1902. Publicado en la Revista de Obras Públicas de 5 de junio de 1902. Biblioteca del Hospital Real, Universidad de Granada.

les y contradiagonales en todos los recuadros. De este modo, a pesar de sus excepcionales dimensiones, el ingeniero Aedo presentó un diseño solvente y ya suficientemente contrastado.

Las dimensiones de los elementos estructurales fueron determinadas conforme a la entonces vigente instrucción para la redacción de proyectos de puentes metálicos de 1902.

En ella se prescribía (artículo 5), una sobrecarga de uso debida por un lado al peso de los carruajes que debían circular por su zona central y por otro a una acumulación de personas en los andenes. La norma facilitaba un croquis del tren tipo de carros, los cuales no debían tener un peso menor de 60 kN (figura 4).

Aedo asimiló ambas sobrecargas a una carga estática uniforme de 25 kN/m, añadiendo además el peso propio de la estructura metálica y la concarga originada por una capa de firme de rodadura de 23 cm de espesor (figura 5). En números redondos, representa una sobrecarga de 5 kN/m². La tensión de trabajo máxima para los elementos principales se fijó en 60 N/mm²[10].

Subordinado a este gran puente se proyectaba otro de dimensiones mucho menores, necesario para salvar un arroyo que pasaba a unas decenas de metros. Aedo optó para esta obra por una solución todavía más sencilla, con un tablero de viguetas apoyado sobre dos vigas armadas de sección en doble T de diez metros de luz (figura 6).

La propuesta de puente metálico era coherente y estaba del todo justificada en el plano técnico. Pero necesariamente implicaba la utilización de una gran cantidad de hierro

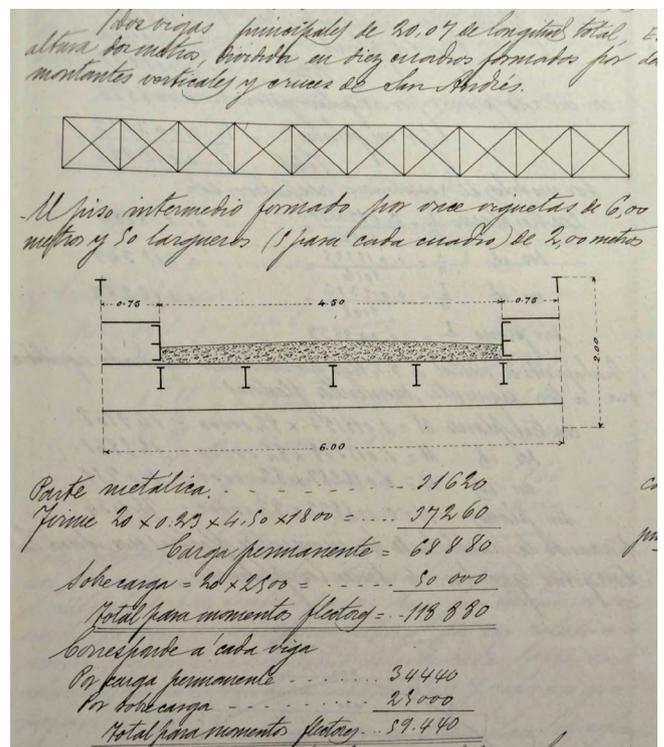


Figura 5. Desglose de la carga considerada para el cálculo a flexión de los cuchillos. Proyecto de Francisco Aedo. 1909. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31313.

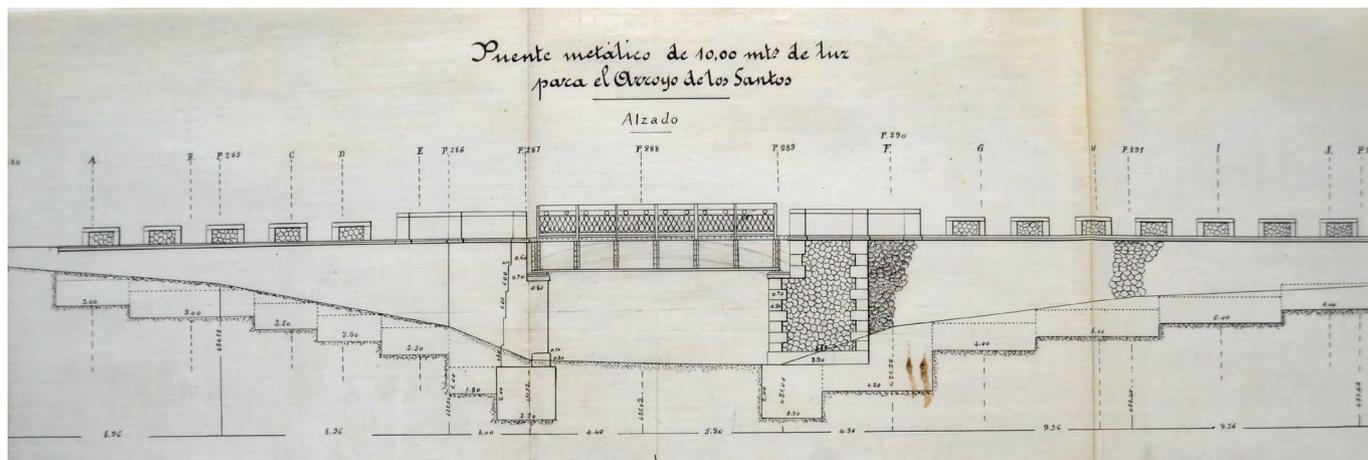


Figura 6. Puente metálico sobre el Arroyo de los Santos (Jaén). Proyecto de Francisco Aedo. 1909. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31313.

laminado. Su materialización supondría necesariamente un extraordinario esfuerzo económico para la Administración.

Con todo, el proyecto sería aprobado por la Dirección General de Obras Públicas. Pero esta, recelando de su considerable coste, incluyó la recomendación de estudiar la posibilidad de utilizar acero en lugar de hierro laminado [11]. Sus elementos serían así más livianos y la economía de material redundaría en un precio menor para la Administración.

La solución definitiva para el puente quedó en suspenso y mientras tanto se dio orden de comenzar los trabajos de construcción de la carretera. Su última sección se terminó en 1913, eso sí, con la tremenda solución de continuidad del río Guadalquivir. Como remedio temporal para franquearlo se habilitó una barca [12].

3. DISEÑO DEL PUENTE DE HORMIGÓN ARMADO

3.1. Una innovadora superestructura

Finalmente, en 1916 la Administración decidió resolver de una vez por todas la construcción del gran puente. Por entonces, la situación respecto a su coste había empeorado. En plena Gran Guerra, el hierro había incrementado enormemente su precio, tanto que la opción de un puente metálico era ya claramente inabordable. Por las características de la obra, la única alternativa posible era la construcción de una obra de hormigón armado.

Se encargó de diseñarla Francisco Navarro Navarro, un joven ingeniero de caminos que con ella llevaría a cabo la realización más significativa de su trayectoria profesional. Nacido en 1888, se incorporó en 1911 como ayudante a la Jefatura de Obras Públicas de la provincia de Badajoz. De allí pasó, ya como ingeniero, a la provincia de Jaén, donde estuvo destinado hasta 1922. Falleció prematuramente en 1932 [13].

Su proyecto, presentado en 1917, tomaba prestados los argumentos principales del diseño previo de Aedo: la misma configuración general de vigas rectas en tramos isostáticos

(para garantizar la sección de desagüe) y la subordinación de las luces al aprovechamiento de las pilas romanas [14].

Su principal aportación fue la utilización de vigas de hormigón armado, inequívocamente inspiradas en los diseños de Juan Manuel de Zafra para los puentes de los Ferrocarriles Suburbanos de Málaga [15].

Navarro emuló a Zafra asumiendo el peculiar esquema de funcionamiento estructural ideado por este último. Así, el fundamento del trabajo del puente era la interacción entre una losa de hormigón armado que formaba el tablero y los dos cuchillos, constituidos por vigas Pratt mixtas de dos metros de canto (figura 7).

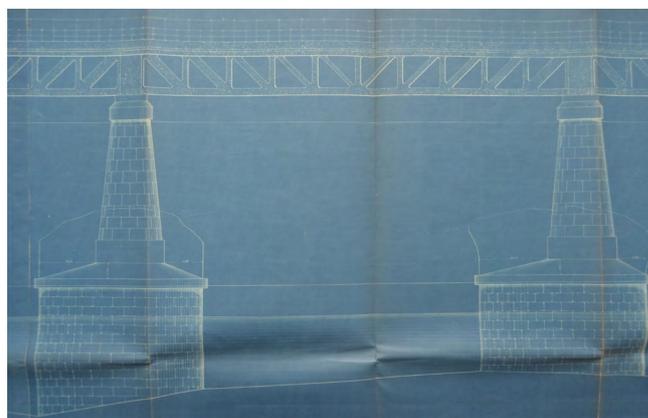


Figura 7. Puente sobre el Guadalquivir. Proyecto de Francisco Navarro. 1917. Detalle de uno de los tramos apoyado en las pilas levantadas sobre los primitivos cimientos romanos. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31316.

Y como en las vigas de Zafra, sus elementos fueron dimensionados conforme a la forma de trabajo de una viga articulada. El cordón superior quedaba subsumido en el tablero. En el inferior, sometido teóricamente a tracción, la resistencia se confiaba a unas pletinas de chapa convenientemente dispuestas (mayor concentración en el centro del vano). Los montantes, comprimidos, estaban reforzados con perfiles metálicos. Y en las diagonales, unas horquillas unidas con pasadores a las pletinas del cordón inferior servían para resistir los esfuerzos de tracción. Tanto

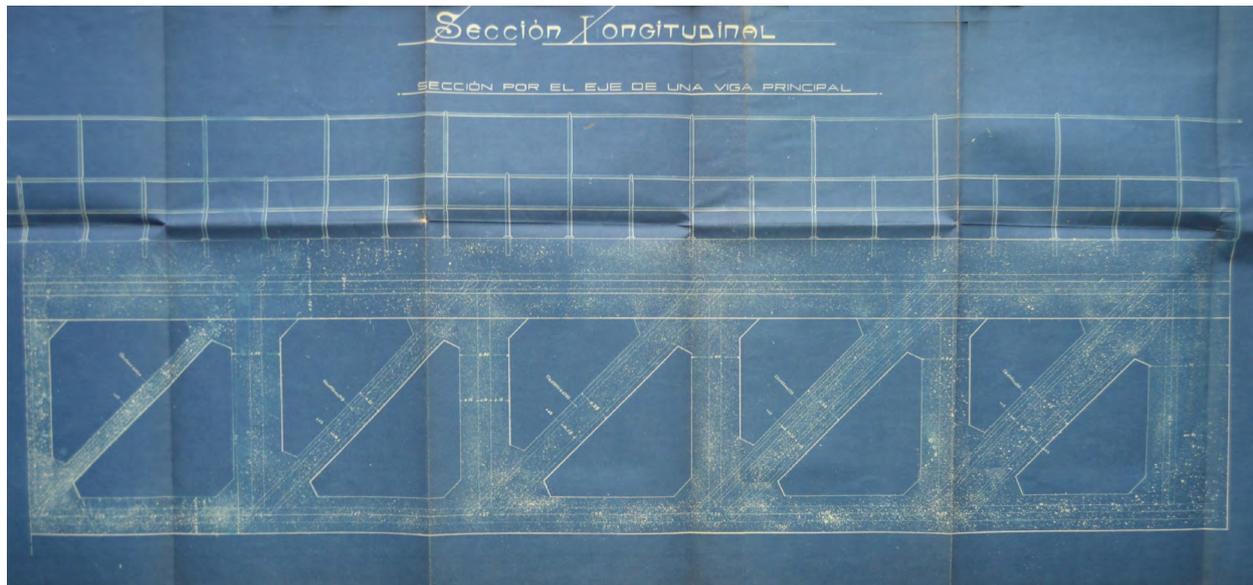


Figura 8. Puente sobre el Guadalquivir. Disposición original de armaduras en los tramos de 20 m, según el proyecto de Francisco Navarro de 1917. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31316.

pletinas como horquillas eran envueltas en hormigón, haciendo que toda la estructura trabajase monolíticamente. Como se explicará más adelante, las dimensiones de estas armaduras y pletinas tendrían que ser revisadas más adelante en un proyecto reformado (figura 8).

El cordón inferior tenía una sección transversal con un ancho de 40 cm y un canto de 30 cm. Estaba armado con pletinas de acero de 10 mm de espesor y 120 mm de altura, que se disponían respondiendo a la ley de momentos flectores. En toda la longitud del cordón se disponían 10 pletinas, aumentando paulatinamente su número desde los apoyos, hasta sumar 16 en el centro del vano. Según indicaba el proyectista, se contemplaban «16 pletinas de 120 mm de anchura y 10 mm de espesor en las dos mallas centrales de la celosía, agrupadas en dos mazos de 8 cada uno, para su fácil manipulación y servicio; a medida que se avanza hacia los apoyos se quita una pletina de cada mazo y en las mallas extremas se ha reducido a 5 el número de pletinas por mazo» [14].

En cuando al cordón superior, siguiendo los criterios de diseño de Zafrá para los puentes de Málaga, Navarro confiaba en la sección de hormigón para resistir los esfuerzos

de compresión a que estaría sometido, según el sistema de trabajo asumido. No obstante, para facilitar el amarre de las horquillas de las diagonales, se embebían en su seno otras tres pletinas como las utilizadas para el cordón inferior.

Los montantes tenían todos la misma sección transversal cuadrada de 40 x 40 cm formaban con un perfil metálico de sección transversal en doble T (de 100 mm de canto). En cambio, las diagonales eran de sección variable (de 44 x 40 cm en los apoyos hasta 14 x 40 cm en el centro del vano) y se armaban con cuatro barras de sección transversal cuadrada de 24.30 mm de lado, en forma de horquillas y que se anclaban a unas pletinas dispuestas al efecto en el cordón superior. El tablero era una losa de 20 cm de canto armado con una malla inferior de barras de 12 mm de diámetro colocadas con una separación de 10 cm.

Para el puente sobre el arroyo de los Santos, dada su menor entidad, se recurrió a la configuración básica puesta a punto también por Zafrá unos años antes en los puentes de los ferrocarriles de vía estrecha malagueños. Fue la típica sección transversal π , fórmula que después sería institucionalizada en la colección de modelos oficiales (figura 9).

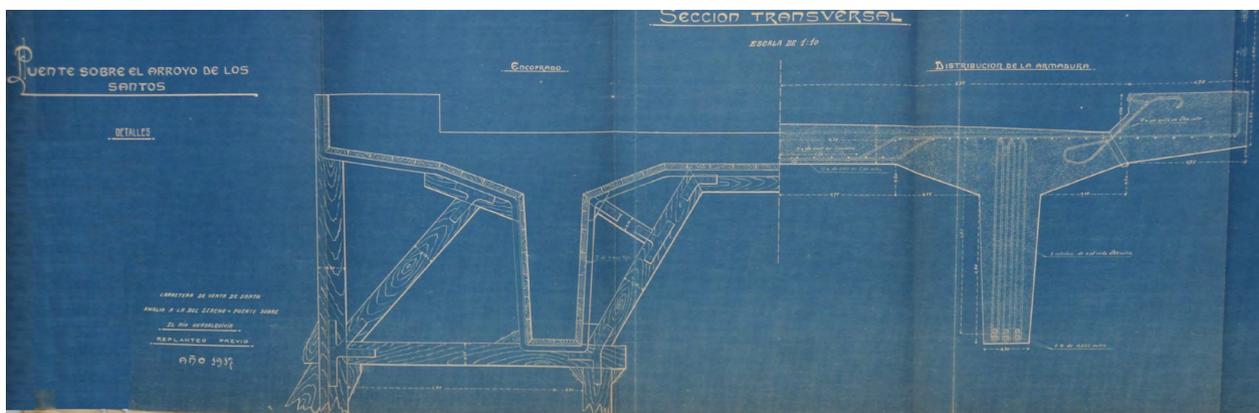


Figura 9. Esquema constructivo y de armado del puente sobre el arroyo de los Santos. Sección transversal incluida en el proyecto de Fco. Navarro de 1917. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31316.

Las armaduras de ambos puentes se determinaron racionalmente partiendo de planteamientos básicos ya cercanos a las hipótesis actuales de diseño de elementos de hormigón armado. En efecto, para el cálculo de las vigas del puente principal fueron consideradas la conservación de secciones planas, la fisuración de la parte traccionada del hormigón, el equilibrio interno entre las tracciones de la armadura y las compresiones de la cabeza de hormigón y el momento actuante. Se utilizaron las ecuaciones generales prescritas en el manual de Zafra para una pieza rectangular con armaduras disimétricas [16], cuyos diagramas se reprodujeron en el proyecto (figura 10).

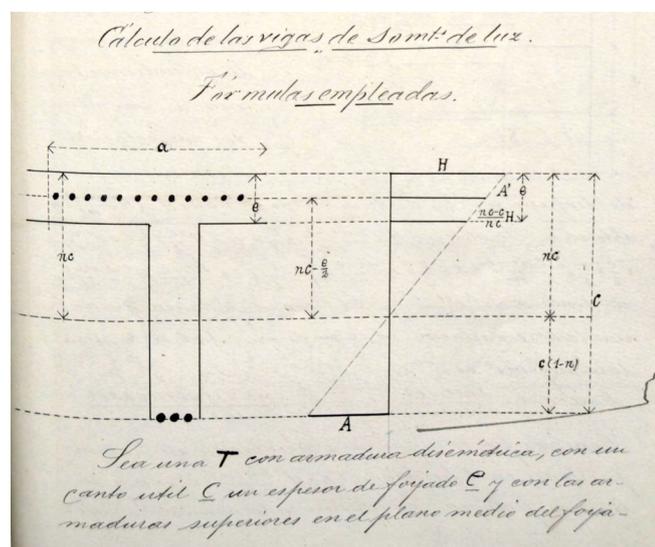


Figura 10. Esquema de trabajo del hormigón armado adoptado por el ingeniero Francisco Navarro en los cálculos. Proyecto de 1917. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31316.

En los cálculos de dimensionamiento se mantuvieron las acciones consideradas en el puente metálico. La referencia continuó siendo la Instrucción de puentes metálicos de 1902.

Estando el hormigón armado en una etapa incipiente, no se consignaron con precisión las características de sus materiales constituyentes. En el proyecto sólo se contempla el uso de cemento artificial de fraguado lento (debía ser obligatoriamente de un fabricante acreditado). Con relación a los áridos, se indicó la utilización de arena limpia y redondeada, de dos a tres milímetros de diámetro y de naturaleza granítica, que se podía extraer de un arroyo cercano (Arroyo Escobar). No se recogieron prescripciones especiales respecto a la grava en el proyecto. De forma general, el proyectista asumió los planteamientos expresados por Juan Manuel de Zafra en su ya por entonces ampliamente difundido manual. En la misma línea se adoptaron los valores para las tensiones de trabajo: 120 N/mm² para el límite elástico del acero y del orden de 5 N/mm² para el hormigón a compresión.

Ambas configuraciones (puente grande y puente menor) pecaban de numerosas imperfecciones que los avances en la práctica constructiva no tardarían en poner de manifiesto. No obstante, no por ello se debe dejar de reconocer el sincero esfuerzo realizado por el ingeniero Navarro para aplicar racionalmente un sistema constructivo que todavía no estaba suficientemente contrastado.

3.2. Cambios en las pilas y en la cimentación

Respecto al proyecto primitivo del puente metálico de 1907 se incorporaba otro cambio trascendente. En dicho documento se planteaba que, además de las pilas levantadas sobre los cimientos romanos, se construyeran unas nuevas pilas de fábrica convencionales (macizas y de sección prismática) para los tramos de la margen izquierda, desplegados en la zona de avenidas. La cimentación de estas nuevas pilas se situaba en el nivel competente de margas arcillosas, por encima del cual había una capa de materiales de acarreo de bastante potencia. Por su propia experiencia en obras cercanas, Navarro era consciente de que para alcanzar el firme serían necesarios procedimientos de ejecución complicados, que incluían costosos agotamientos. Por eso, en su nuevo proyecto decidió adoptar otro modelo para estas pilas nuevas.

En primer lugar, cambió las pilas macizas por palizadas de entramado de hormigón armado infinitamente más livianas. Las cuales, además, tenían la ventaja añadida de mejorar la sección de desagüe (figura 11).



Figura 11. Palizadas de entramado de hormigón armado en el puente de Villanueva de la Reina sobre el Guadalquivir, construidas conforme al proyecto de 1917. Foto del autor.

Por otra parte, para no tener que profundizar en la capa de acarreos, estos entramados transmitirían directamente las cargas al estrato competente de margas mediante una cimentación profunda con pilotes. También serían estos elementos de hormigón armado, presentando sección transversal cuadrada y cuatro perfiles metálicos en doble T como armaduras (figura 12). Fabricados a pie de obra, se introducirían después en el terreno mediante hincas con martinete.

En cuanto a las pilas levantadas sobre los cimientos romanos, el proyecto contemplaba también algunas actuaciones. Con el paso del tiempo se habían producido en ellos soca-

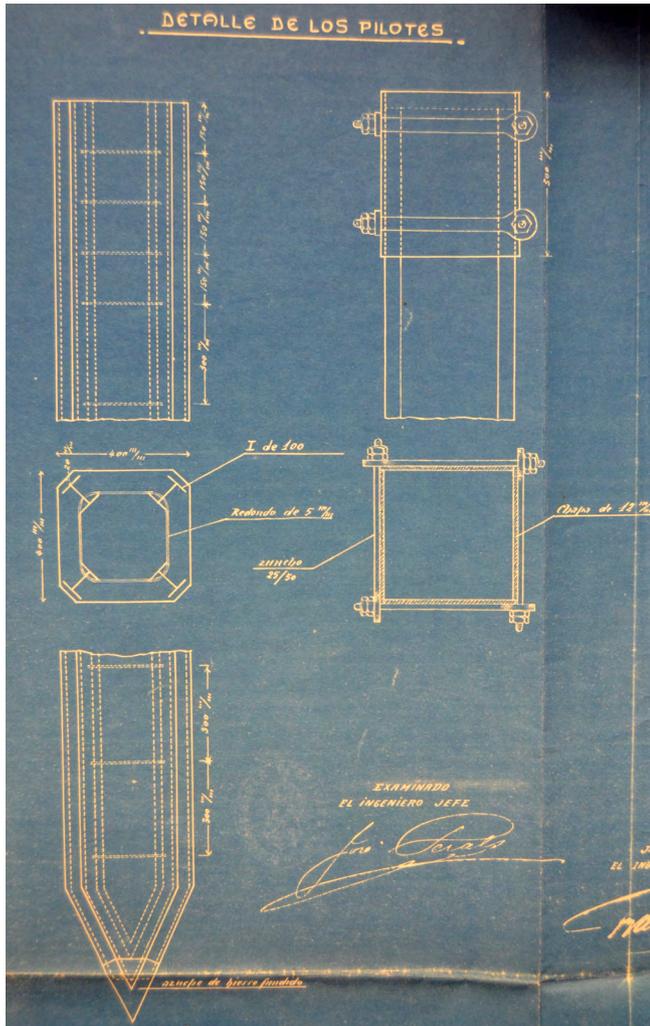


Figura 12. Pilotes hincados de hormigón armado para las palizadas del puente. Derecha, diseño inicial, según el proyecto de 1917. Francisco Navarro, ingeniero. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31316.

vaciones que era preciso taponar. A tal efecto, se deberían rodear con un recinto de tablestacas para dejarlos en seco y rellenar todo con hormigón hidráulico (ejerciendo las tablestacas de encofrado). Confiaba el ingeniero autor del proyecto que con estas medidas se lograría una notable economía, al limitar los agotamientos a las pilas que debían construirse sobre los cimientos romanos.

Se remataba así el renovado diseño de ambos puentes, cuya construcción no debía tardar en emprenderse. En 1919 el proyecto pasó la revisión del Consejo de Obras Públicas, que introdujo algunas medidas conducentes a mejorar la ejecución de las vigas y la durabilidad de los pilotes [17].

4. EL PROCESO CONSTRUCTIVO Y LA OBTENCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEFINITIVA

La subasta del puente se verificó el 29 de noviembre de 1919, resultando adjudicataria la Sociedad General de Construcciones Lizundia. Era esta una compañía creada por el ingeniero Victoriano Lizundia, técnico que había acumulado una amplia experiencia en construcciones con hormigón armado en las primeras décadas del siglo.

Desde 1904 hasta 1917 Lizundia había formado parte del plantel de ingenieros de la *Société des Ciments Portland de Sestao*. Era esta una de las más importantes y activas empresas constructoras de los comienzos del hormigón armado en España, cuyas realizaciones comprendían tanto Obra Civil como Edificación. Consta expresamente que Lizundia participó en la construcción del monumental puente de San Adrián sobre el Ebro en Azagra (Navarra). Mantuvo esta línea con su propia compañía, encargándose, además del puente de Villanueva de la Reina, de otras importantes obras como el acondicionamiento de la Playa de San Diego en La Coruña y sobre todo de la estructura del Hotel Real en Santander [18].

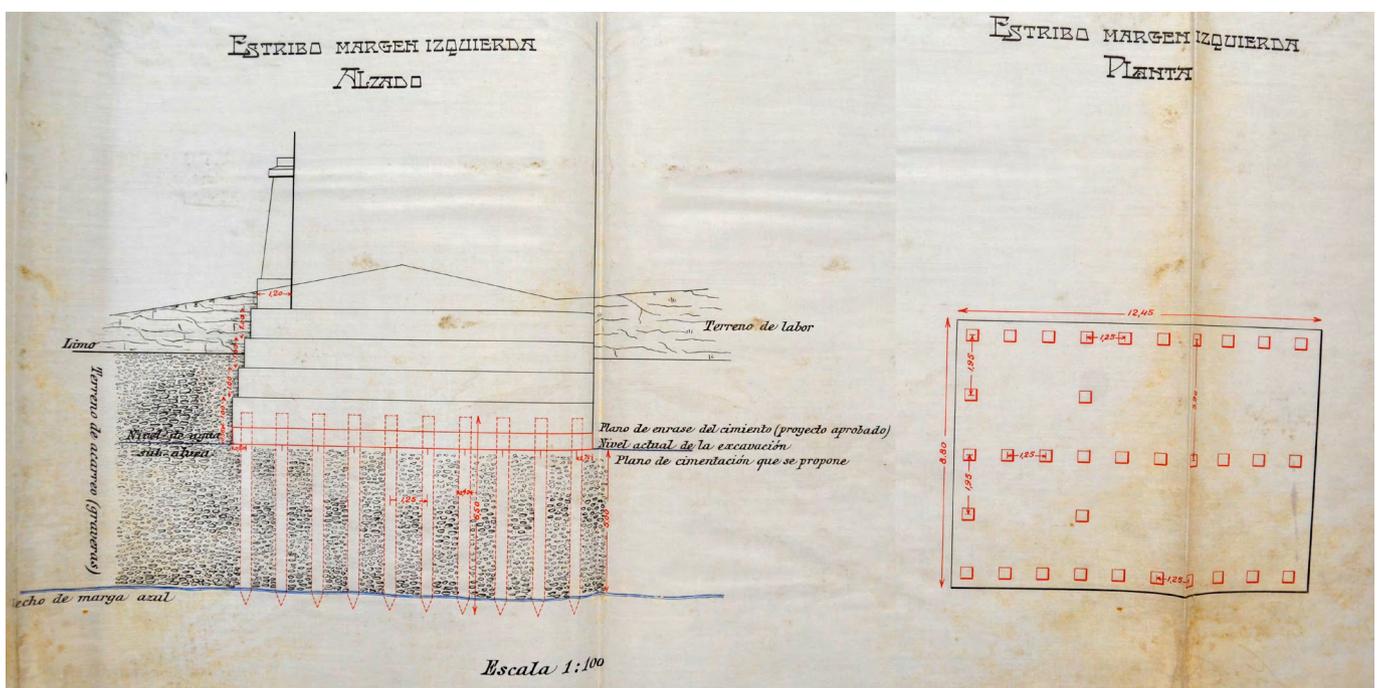


Figura 13. Cimentación profunda mediante pilotes para el estribo de la margen izquierda. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31317.

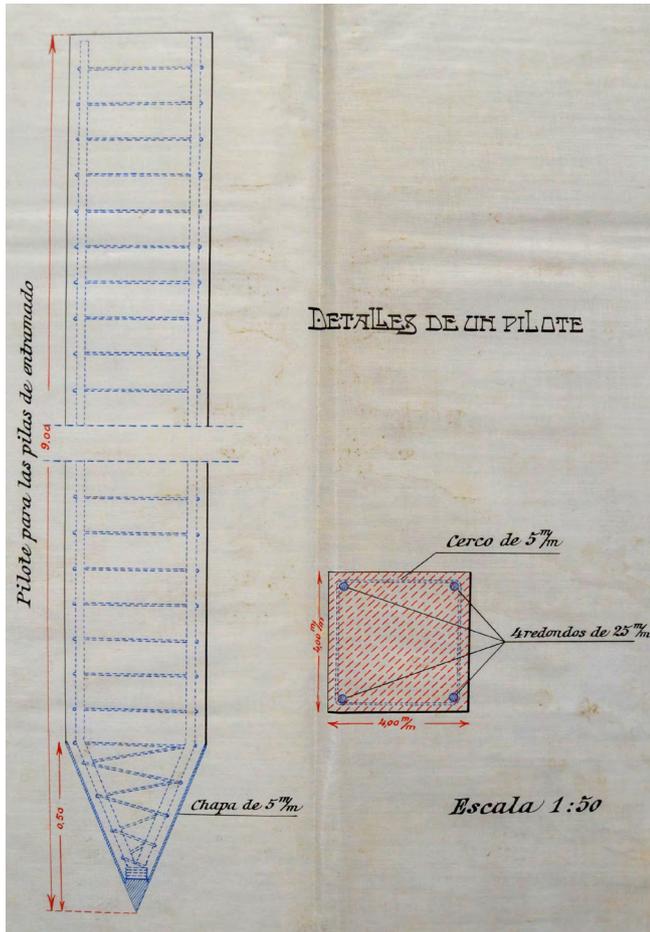


Figura 14. Configuración definitiva de los pilotes incluida por Fco. Navarro en un proyecto reformado de 1922. Archivo Histórico provincial Jaén, signatura 31317.

El acta de replanteo se levantó en julio de 1920, dando comienzo con ella oficialmente unas obras problemáticas que iban a dilatarse durante una década.

Nada más principiar la ejecución de la cimentación se hizo patente la necesidad de realizar agotamientos importantes. Correspondía a la Administración la realización de estos trabajos, que incluían la construcción de ataguías y el recalce mediante pilotes del estribo de la margen izquierda (figura 13). Fueron realizados conforme a un proyecto redactado por el ingeniero Navarro, en el cual se modificaba el diseño inicial de los pilotes, cambiando el armado con perfiles por redondos de 16 mm de diámetro [19].

Mientras se llevaban a cabo los arduos trabajos de consolidación de las pilas, la contrata revisó a conciencia la constitución de los elementos de hormigón armado. Su contrastada experiencia le capacitaba para detectar deficiencias y proponer mejoras significativas, lo que le llevó en más de una ocasión a enfrentarse con el ingeniero Navarro, proyectista y responsable facultativo de la construcción del puente por parte de la Administración.

Las discrepancias comenzaron con el diseño de los pilotes. El consejo de Obras Públicas había solicitado la sustitución de los perfiles en doble T previstos por Navarro. En respuesta, este presentó un nuevo modelo, con cuatro redondos de 16 mm de diámetro como armado. Ante esto, la contrata Lizundia observó que estas barras no ofrecían suficiente resistencia para la manipulación del pilote una vez fabricado y que para poder ser levantados por la grúa sin daño deberían llevar al menos 4 barras de 25 mm de diámetro [20] (figura 14).

Si bien esta sugerencia fue admitida, no ocurriría lo mismo con la de sustituir las pletinas de armado de los cordones inferiores de las vigas principales por barras. Razonaba el contratista que «la fabricación de esas pletinas en largos de veinte metros, que son necesarios para el puente, ofrecen dificultades, así como su transporte y manipulación», por ser susceptible de doblarse por ser láminas delgadas». Además, sostenía que podían quedar debilitadas por los taladros que había que practicarles para enlazar las barras de los montantes y diagonales [21].

En su lugar, proponía la utilización de redondos para obtener un armado más racional, pues estos eran más fáciles de manipular, proporcionaban mayor adherencia y con ellas se podía prescindir de los pasadores de conexión con las armaduras de las diagonales (figura 15).

Pero el ingeniero Navarro se negó en redondo a admitir este cambio, argumentando que no estaba justificado técnicamente y que su implementación beneficiaba únicamente a la contrata [22].

En efecto, aunque debido a la peculiar concepción estructural de este elemento, es complicado establecer comparaciones entre ambas soluciones, una evaluación elemental de capacidades mecánicas viene a apoyar las tesis del ingeniero Navarro. Según la idea del creador del modelo, J.M. de Zafra, la viga de metal hormigonado debía asimilarse a una estructura articulada, en la que el cordón inferior debía diseñarse para trabajar genéricamente a tracción [23]. Si se considera la capacidad mecánica del acero a tracción, en el caso de las pletinas (2 mazos de 8 pletinas de 120x10 mm en el centro

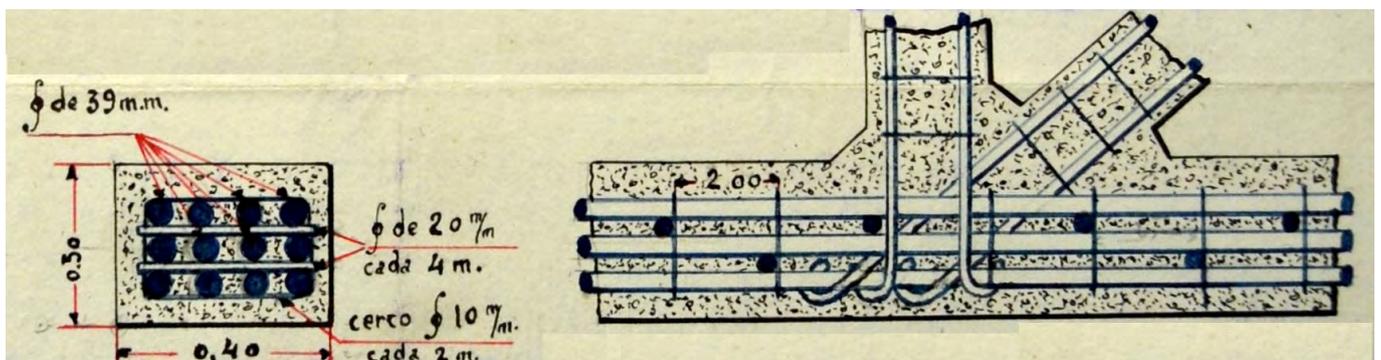


Figura 15. Sustitución de pletinas por barras en los cordones inferiores de las vigas del puente de Villanueva. Modificación propuesta por Victoriano Lizundia en 1922. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31315.

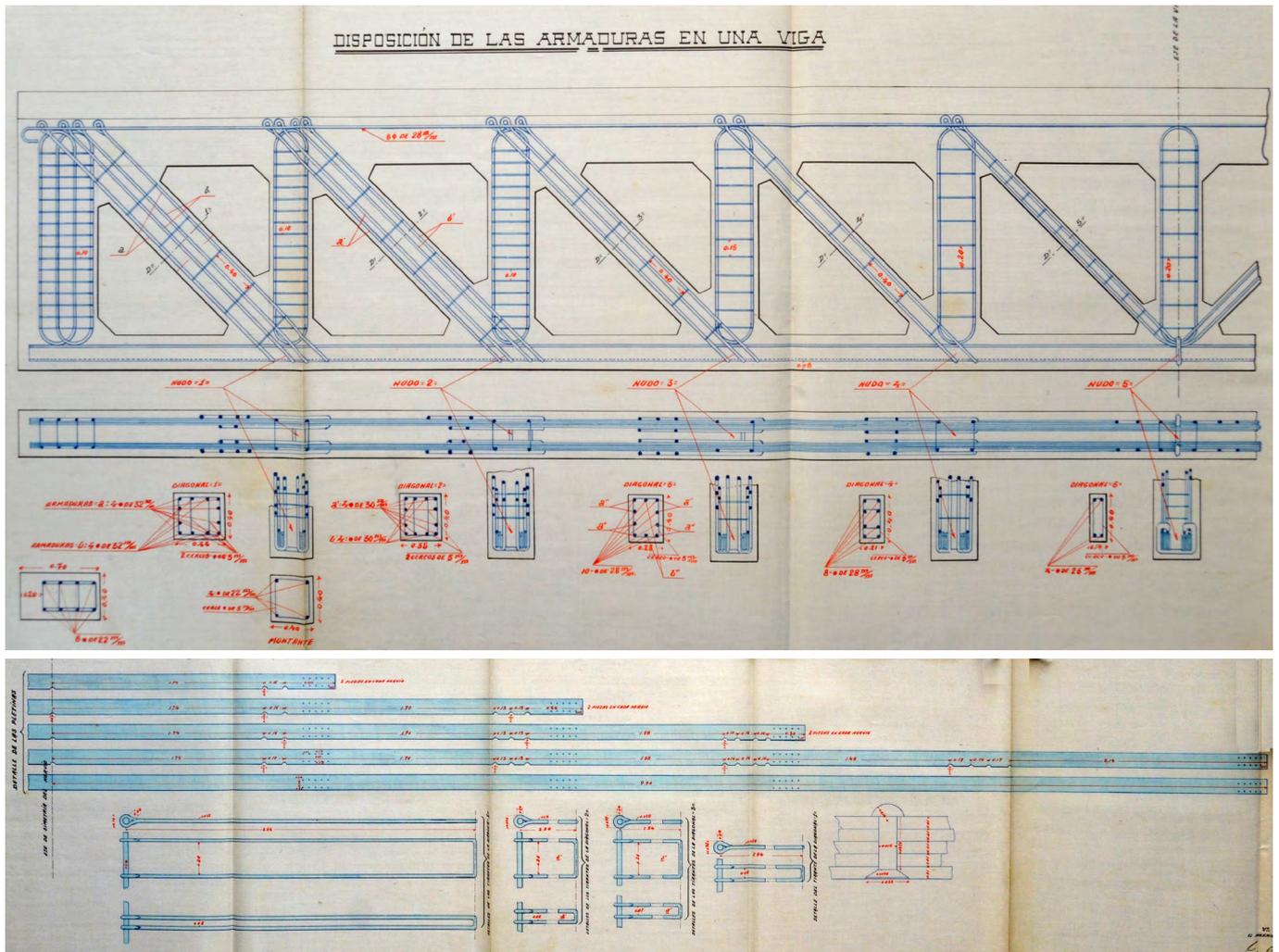


Figura 16. Puente sobre el Guadalquivir. Proyecto reformado de Francisco Navarro. 1923. Disposición definitiva de armaduras en las vigas principales. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31317.

del vano) se tendría una capacidad de $16 \times 120 \times 10 \times 120 = 2300 \text{ kN}$, mientras que, en la propuesta de Lizundia, el valor obtenido sería $12 \times \pi \times 39^2 / 4 \times 120 = 1720 \text{ kN}$.

En apoyo de esta decisión del ingeniero Navarro y su fórmula de las pletinas cabe reseñar que el propio Zafra la mantuvo para su diseño de los patrones de la Colección Oficial de puentes de hormigón armado, publicada en 1921, con la que en lo sucesivo se levantaron todos los puentes españoles de este tipo [24].

La situación se complicaría aún más inmediatamente después, cuando Lizundia revisó la configuración de las vigas principales y detectó deficiencias significativas, las cuales no dudó en poner de manifiesto con toda crudeza en un oficio remitido a la Dirección Facultativa, donde entre otras cosas se manifestaba que «al proceder a redactar la obra de los hierros que constituyen la parte metálica del tablero del puente sobre el río Guadalquivir que estamos construyendo en Villanueva de la Reina, observamos que no coinciden los diferentes documentos que forman el Proyecto; notando, que hay elementos de obra, como las cabezas superiores de las vigas que tienen exceso de hierro, para los esfuerzos a que han de estar sometidas, y en cambio, en las diagonales no se ha previsto suficiente hierro, no siendo posible obtener la esta-

bilidad necesaria, si sólo se disponen en ellos, el escaso hierro que aparece en el proyecto» [25].

Navarro se vio obligado a revisar la configuración de las vigas para los tramos de 20 metros. En 1923 presentó un proyecto reformado, en el cual, pese a reafirmarse en la bondad de sus cálculos, reconocía haber seguido una hipótesis de comportamiento imperfecta. Manifestaba, además, que al dibujar los planos se habían cometido errores, reflejándose en ellos una armadura inferior a la calculada. Visto lo cual, se presentaba una nueva configuración de armaduras, asumiendo buena parte de las propuestas de la contrata [26]. Se mantenía invariable, como ya se ha explicado, la armadura de pletinas inicialmente concebida para el cordón inferior. En cambio, se rectificaron los armados de montantes y diagonales, adoptando los propuestos por el contratista Lizundia. Así, para los primeros se dispusieron 4 redondos de diámetro 22 mm en las esquinas y cercos de 5 mm con una separación de 10 cm. En las diagonales se colocaron armados variables, ya con barras redondas de 32, 30, 28 y 26 mm repartidas perimetralmente en número decreciente desde los apoyos al centro del vano (figura 16).

También se hicieron modificaciones en el cordón superior, que siguió no obstante dimensionado para resistir compresiones contando con la capacidad del hormigón. Sin embargo, para el

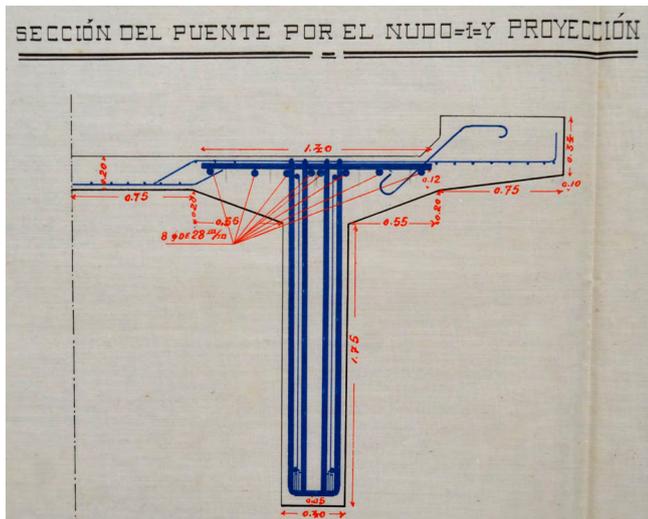


Figura 17. Puente sobre el Guadalquivir. Proyecto reformado de Francisco Navarro. 1923. Semi-sección del tablero y detalle de conexión con las vigas principales. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31317.

anclaje de las horquillas de las diagonales se cambió el sistema de pletinas por un grupo de 8 barras de 28 mm de diámetro que recorría toda la longitud de la cabeza de la viga (figura 17).

No quedaron de esta forma concluidas las intervenciones de mejora de las vigas verificadas durante la ejecución del puente. En 1925, el ingeniero Ricardo López Molero (sucesor de Francisco Navarro al frente de la Dirección Facultativa) hizo notar la necesidad de implementar algún sistema de arriostramiento transversal, cosa que no se había tenido en cuenta anteriormente [27]. Se trataba de un significativo déficit del diseño original, tampoco advertido por el contratista. Probablemente, se confiaba en la capacidad resistente del tablero ante acciones horizontales. Tal era la creencia de Zafra, que no obstante introdujo en sus puentes riostras transversales que unían cada cierta longitud los cordones inferiores.

Esta cuestión quedó resuelta sobre la marcha, mediante el añadido de unas cruces de San Andrés transversales en montantes alternos (figura 18). No habiéndose podido localizar documentación técnica relativa a la construcción de estos elementos, se deduce que fueron prefabricados antes de ser incorporados a la estructura. Observados a conciencia, destaca su perfecta geometría (en una pieza por otra parte requeriría un encofrado muy complicado), lo cual podría confirmar esta hipótesis.

Las dificultades del proceso de construcción de la superestructura de hormigón armado, con todas sus vicisitudes, no constituyeron sin embargo el obstáculo principal para la materialización del puente. Las mayores dificultades se encontraron en la consolidación de las pilas romanas, cuyo aprovechamiento había sido la premisa básica del diseño del puente desde su diseño original. Paradójicamente, esta decisión había sido tomada por consideraciones de ahorro.

En 1928, después de siete años de luchas y vicisitudes de todo género [25], en los que hubo que ampliar cuatro veces el plazo de ejecución, quedaron terminados los trabajos de cimentación en las pilas. La liquidación definitiva de todas las obras del puente se verificaría en 1930, entrando inmediatamente en servicio.



Figura 18. Arriostramientos transversales en cruz de San Andrés, incorporados con posterioridad a la ejecución de las vigas principales a instancias del ingeniero López Molero. Foto del autor.

5. PERIODO EN SERVICIO Y SITUACIÓN ACTUAL

Durante los cincuenta años que comprende el periodo de vida útil no se registraron incidencias oficialmente.

Sin embargo, durante una visita de inspección cursada en 1989 se pusieron de manifiesto importantes daños estructurales, que obligaron a hacer una de reparación de gran envergadura. Muchos de sus elementos presentaban una fisuración excesiva, probablemente debida en primera instancia a la circulación de cargas mayores que las contempladas, luego agravada por problemas de durabilidad. Para salvaguardar su integridad se introdujeron encamisados de chapa en el cordón inferior y las diagonales (figura 19). La obra de reparación fue proyectada por el ingeniero César Fernández Torres y dirigida por su colega Francisco Varo Llamas [26].



Figura 19. Tramos de la margen izquierda, sobre la zona inundable del Guadalquivir. Se observa el refuerzo de cordones y diagonales atornillado al tablero. Foto del autor.

Aunque en el plano técnico las medidas adoptadas podrían ser objeto de deliberación (podría analizarse en profundidad



Figura 20. Tramos de la margen derecha, con las pilas levantadas sobre los cimientos romanos. Foto del autor.

la transferencia de esfuerzos entre la estructura antigua y los refuerzos), no cabe duda de que esta actuación ha permitido que el puente haya podido mantenerse en servicio hasta nuestros días.

En cualquier caso, desde el punto de vista patrimonial merece alta consideración, ya que, frente a la práctica habitual (en la reparación de los puentes de tramos rectos de hormigón armado) de introducir una nueva estructura formada por vigas prefabricadas, aquí prevaleció la conservación de la forma original de una obra de gran singularidad. Además, se llevó a cabo respetando principios como la preservación de los elementos originales accesorios (la elegante barandilla primitiva) y se distingue con claridad la obra antigua de los elementos incorporados en la nueva intervención. Por ello, con toda propiedad puede considerarse una restauración (figura 20).

Así continua el puente en la actualidad favorecido por el carácter secundario de la infraestructura de la que forma parte. La circulación que soporta es escasa, por lo que las acciones sobre él están en consecuencia reducidas. De forma que cumple con solvencia su función y de momento parece que su sustitución (que sería obra de enorme envergadura) no está planteada. No obstante, el tráfico sobre él no está limitado, lo cual entraña un riesgo importante, que debía ser objeto de estudio técnico. En otro orden de cosas, dada su singularidad histórica (figura 16), sería importante para su preservación su inclusión en el catálogo general del Patrimonio Histórico Andaluz.

6. CONCLUSIONES

Tanto por sus dimensiones como por la originalidad de su diseño, el puente de Villanueva de la Reina sobre el río Guadalquivir es una obra de Ingeniería de gran singularidad.

Con la investigación que se presenta se ha contextualizado con exactitud esta obra en su marco histórico y se ha identificado a sus creadores.

Se ha contrastado el planteamiento general adoptado para su configuración, el cual respondía a un esquema de puente metálico que aprovechaba la cimentación de una antigua obra histórica, cuya existencia se ha confirmado documentalmente.

Se ha puesto de manifiesto la originalidad de su diseño estructural de hormigón armado, propio de una etapa de experimentación en la que esta técnica constructiva no estaba normalizada.

En el artículo se ha explicado cómo la configuración de la estructura principal del puente es el resultado en primer lugar del planteamiento realizado por el proyectista principal, que luego fue modificado para introducir propuestas atinadas por parte de los técnicos de la dirección facultativa y de los de la empresa contratista que llevaron a cabo su ejecución material.

Se han revelado las peculiaridades de la cimentación, en la que se utilizaron de forma pionera pilotes hincados de hormigón armado.

Con la investigación se aportan argumentos relevantes para defender su conservación como parte del Patrimonio Histórico de Andalucía.

Referencias

- [1] Simonnet, C. (2005) *Le Béton, histoire d'un matériau. Économie, technique, architecture*, Parenthèses, Paris. pp.137-149.
- [2] Kersten, C. (1909) *Puentes de hormigón armado*. Guía teórica y práctica. P. Orrier Editor. Madrid. pp. 223-237.
- [3] Magny, A.V. (1932) *La construction en béton armé, théorie et pratique*, Librairie Polytechnique Ch. Béranger, Paris et Liège. pp. 509-516.
- [4] Ribera, J.E. (1932) *Puentes de fábrica y de hormigón armado*, Vol. 4, Sucesores de Rivadeneyra, Madrid. pp. 38-51.
- [5] del Cuvillo, R. (2007) *Colecciones oficiales de obras de paso de carreteras: siglos XIX y XX*, Colegio Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. pp. 31-40.
- [6] Sáinz, L. (1898) Carreteras, *Revista de Obras Públicas*, 1180, 291-296.
- [7] Aedo, F. (1907) *Proyecto de carretera de 3er orden de la Venta de Santa Amalia en la de Madrid a Cádiz a la del Sereno en la de Bailén a Málaga. Sección primera, entre Espeluy y la Venta de Santa Amalia*, Archivo Histórico Provincial de Jaén. p.2.
- [8] Aedo, F. (1909) *Proyecto de puente metálico sobre el río Guadalquivir, carretera de 3er orden de la Venta de Santa Amalia en la de Madrid a Cádiz a la del Sereno en la de Bailén a Málaga*, Archivo Histórico Provincial de Jaén, p. 3.
- [9] Aedo, F. (1909) *Proyecto de puente metálico sobre el río Guadalquivir, carretera de 3er orden de la Venta de Santa Amalia en la de Madrid a Cádiz a la del Sereno en la de Bailén a Málaga*, Archivo Histórico Provincial de Jaén. pp. 20-22.
- [10] Aedo, F. (1909) *Proyecto de puente metálico sobre el río Guadalquivir, carretera de 3er orden de la Venta de Santa Amalia en la de Madrid a Cádiz a la del Sereno en la de Bailén a Málaga*, Archivo Histórico Provincial de Jaén. pp. 6-8.
- [11] Navarro, F. (1917) *Proyecto de puente sobre el río Guadalquivir. Carretera de 3er orden de la Venta de Santa Amalia a la del Sereno*, Archivo Histórico Provincial de Jaén. p. 4.
- [12] Lanzas, D. (1913) *Proyecto de una barca para el río Guadalquivir*, Archivo Histórico Provincial de Jaén. p. 1.
- [13] Expediente personal del ingeniero de Caminos Francisco Navarro y Navarro. Archivo General del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.
- [14] Navarro, F. (1917) *Proyecto de puente sobre el río Guadalquivir. Carretera de 3er orden de la Venta de Santa Amalia a la del Sereno*, Archivo Histórico Provincial de Jaén. pp. 1-3.
- [15] de Zafra, J.M. (1910) Puentes de hormigón armado para ferrocarril, *Revista de Obras Públicas*, 1833, 533-538.
- [16] de Zafra, J.M. (1911) *Construcciones de hormigón armado*, V. Tordesillas, Madrid. pp. 533-538.
- [17] Dirección General de Obras Públicas (1919) *Dictamen relativo al proyecto del puente sobre el río Guadalquivir y del puente sobre el arroyo de los Santos, en la carretera de Venta de Santa Amalia a la del Sereno*. Archivo Histórico Provincial de Jaén. pp. 1-5.
- [18] Cobos, F. (1917) *Progresos de Santander*, La Ilustración Española y Americana, 30 (61), 15 de agosto de 1917, p.478.
- [19] Navarro, F. (1920) *Carretera de 3er orden de Venta de Santa Amalia a la del Sereno. Proyecto de ataguías y recalce de las pilas del puente del Guadalquivir*. Archivo Histórico Provincial de Jaén, pp. 2-3.
- [20] Lizundia, V. (1921) *Oficio dirigido al encargado de las obras de los puentes sobre el Guadalquivir y el Arroyo de los Santos, emitido en Bilbao el 28 de febrero de 1921*. Archivo Histórico Provincial de Jaén. p.1.
- [21] Lizundia, V. (1922) *Oficio dirigido al Director General de Obras Públicas, emitido en Bilbao el 6 de mayo de 1922*. Archivo Histórico Provincial de Jaén
- [22] Navarro, F. (1922) *Oficio dirigido por Francisco Navarro al ingeniero Jefe de Obras Públicas el 26 de septiembre de 1922*. Archivo Histórico Provincial de Jaén. p. 1.
- [23] de Zafra, J.M. (1907) *Compañía de los Ferrocarriles Suburbanos de Málaga. Proyecto de puente de hormigón armado sobre el río Vélez*. Archivo General de la Administración, p.2.
- [24] de Zafra, J.M. (1921) *Colección de modelos de puentes para carreteras*. Archivo General del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
- [25] Lizundia, V. (1922) *Oficio dirigido al encargado de las obras de los puentes sobre el Guadalquivir y el Arroyo de los Santos, emitido en Bilbao el 14 de noviembre de 1922*. Archivo Histórico Provincial de Jaén. p.1.
- [26] Navarro, F. (1923) *Proyecto reformado de los tramos de 20 mts. para el puente sobre el río Guadalquivir, carretera de 3er orden de la Venta de Santa Amalia a la del Sereno*. Archivo Histórico Provincial de Jaén. pp. 5-6.
- [27] López Molero, R. (1925) *Oficio del ingeniero López Molero al Director General de Obras Públicas, emitido en Jaén el 7 de noviembre de 1925*. Archivo Histórico Provincial de Jaén.
- [28] Acuña, J. (1928) *Puentes sobre el río Guadalquivir y sobre el arroyo de los Santos, carretera de 3er orden de la Venta de Santa Amalia a la del Sereno. Tercer presupuesto adicional al de agotamientos, aprobado para realizar las fundaciones y recalces de las pilas del puente*. Archivo Histórico Provincial de Jaén. p. 2.
- [29] Rubiato, F.J. (2005) *Los puentes del Guadalquivir*, Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid. pp. 150-154.