

El puente de hierro sobre el río Guadalimar y su originalidad estructural. Una obra de dos grandes ingenieros

Antonio Burgos Núñez

El Plan General de Carreteras de 1860 ya incluía el itinerario de Bailén a Baeza, pensado para conectar esta última población (y especialmente el pujante núcleo minero de Linares) con la carretera de Madrid a Cádiz por Ocaña y Córdoba, el siempre vital eje de comunicación de Andalucía con el centro de la Península (figura 1).

Se trataba de una carretera de apenas treinta kilómetros, pero que no obstante encontraba en su corta longitud dos importantes dificultades: el paso del río Guadalquivir y el aún más complicado del Guadalimar. Este último estaba incluido en el tramo de Linares a Baeza, cuyo trazado fue materializándose en primer lugar, sin excesivas dificultades, durante la década de 1870. El proyecto y construcción de la carretera fueron desarrollados por José María Iturralde, un notable ingeniero de Caminos muy vinculado a la provincia de Jaén.

Para el paso del río Guadalimar, se contempló la construcción de un puente de tres tramos rectos, constituido por vigas metálicas de alma llena apoyadas sobre pilas y estribos de fábrica (figura 2).

El ingeniero Iturralde puso todo su empeño en proyectar de modo racional este puente, aplicando las nuevas herramientas de Cálculo Estructural. Además de diseñarlo con eficacia, probablemente pensaba en consagrarlo como modelo de la tipología, estímulo que debió llevarle a publicar con todo detalle los pormenores de su diseño en la Revista de Obras Públicas (Iturralde 1886). Precisamente por esta intervención puede ser recordado como un competente ingeniero estructural.

Inaugurado en 1889, el puente se mantuvo durante medio siglo con esta configuración original. Fue concebido, como ya se expuso, como un puente de carretera, pero no tardaría en ser compartido por otro medio de transporte. Desde principios del siglo XX, una de las líneas de la red de tranvías de Linares y Úbeda, el *Ferrocarril de la Loma*, pasaba por encima de él, sumando de modo necesariamente no contemplado en su diseño sus cargas a las de la carretera.

Con todo, su comportamiento fue satisfactorio, no planteándose su refuerzo hasta mucho tiempo después. En efecto, no sería hasta después de la Guerra Civil, cuando, asumido el control de la compañía por el Estado, se tuvo que acometer una reforma general de la infraestructura y el material móvil (Mendizábal-Peña 1943).

El encargado de llevarlo a efecto fue César Villalba Granda, otro aún más si cabe brillante ingeniero especialista en puentes y estructuras, quien planteó una poco convencional solución para reforzarlo: unas vigas trianguladas parabólicas en vientre de pez (figura 3)

Producto de estas dos actuaciones separadas en el tiempo, pero ambas desarrolladas aplicando con sensatez los procedimientos de la Mecánica de Estructuras, el puente presenta su actual singularidad. Dejando aparte las cuestiones patrimoniales, se considera que debido a ello, tiene interés el conocimiento de su proceso de diseño y construcción.



Figura 1

Carretera de 2º orden de Bailén a Baeza. Composición a partir de las hojas 905, 906, 925 y 926 del M.T.N. Alrededor de 1902. Instituto Geográfico Nacional

EL PUENTE DE JOSÉ ITURRALDE (1889-1942)

José M^a Iturralde y sus planteamientos estructurales y constructivos para el puente del río Guadalimar

Tras finalizar sus estudios, José María Iturralde (1841-1903) se incorporó al cuerpo de ingenieros de Caminos en 1865. Inicialmente fue a destinado a la provincia de Córdoba, pasando en 1872 a la de Jaén. Durante nueve años trabajó prácticamente en solitario como único ingeniero, hasta que en 1881 fue nombrado Jefe de Obras Públicas de la provincia. Desempeñó el cargo hasta 1894, en que fue trasladado a la de Granada. Iturralde desarrolló en este tiempo una intensa actividad como proyectista y constructor obras civiles de diversa naturaleza (nota 1).

En esta producción nos interesa destacar sus tres puentes de hierro, todos ellos de tramos rectos. Fueron las realizaciones postreras de una tipología, la de vigas de alma llena, que sin embargo y pese a la predilección de Iturralde ya había prácticamente agotado su recorrido.

Los puentes de vigas rectas en el segundo tercio del siglo XIX. A partir de diversas propuestas surgieron diferentes familias. La de las vigas de alma llena

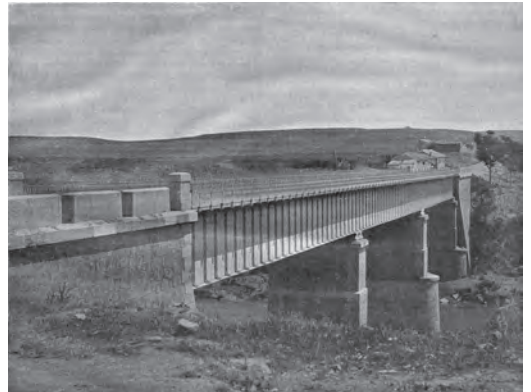


Figura 2

Configuración original del puente de hierro sobre el río Guadalimar. Revista de Obras Públicas. Biblioteca del Hospital Real. Universidad de Granada

surgió en Gran Bretaña, gracias principalmente a los avances conseguidos por William Fairbairn en la aplicación del hierro laminado a la construcción. Su utilización por Stephenson en los puentes tubulares de Conway y Britannia constituyó un hito que impulsó la implantación de este tipo de puentes en Europa (Serna 2006).



Figura 3
Puente de hierro sobre el río Guadalimar tras la reforma de 1942. (Mendizábal-Peña 1943). Biblioteca Ferroviaria. Fundación de los Ferrocarriles Españoles

Particularmente en España, fue la tipología elegida para la introducción de los puentes metálicos. El ingeniero Joaquín Sánchez Blanco construyó en 1860 el primero en la línea de Ferrocarril de Madrid a

Alicante (Sánchez-Blanco 1860). Acto seguido, Eugenio Barrón la aplicó en el viaducto de la Calle Segovia en Madrid (Barrón 1861) y Salustio García Regueral en el puente tubular sobre el río Eo (García-Regueral 1861). Finalmente, una comisión formada al efecto, constituida por los ingenieros Del Valle, Martí y Mayo, terminó de normalizar la tipología con los proyectos de los puentes de Encinas, Zueros y Víboras (Navarro 2001). En la provincia de Jaén, junto a este último del Víboras también proyectaron el de Calancha sobre el Guadalquivir (figura 4).

Pero tras esta fulgurante irrupción en los primeros años 1860, los puentes de vigas de alma llena fueron enseguida postergados por las celosías tipo Town, cuya difusión fue notablemente favorecida por los técnicos foráneos venidos a España a implantar las nuevas líneas de ferrocarriles (Mendizábal 1928, vol.1). Así mismo, notables realizaciones autóctonas, como el puente sobre el Guadalhorce (carretera de Málaga a Cádiz) de Pablo de Alzola contribuyeron al éxito generalizado del nuevo modelo.

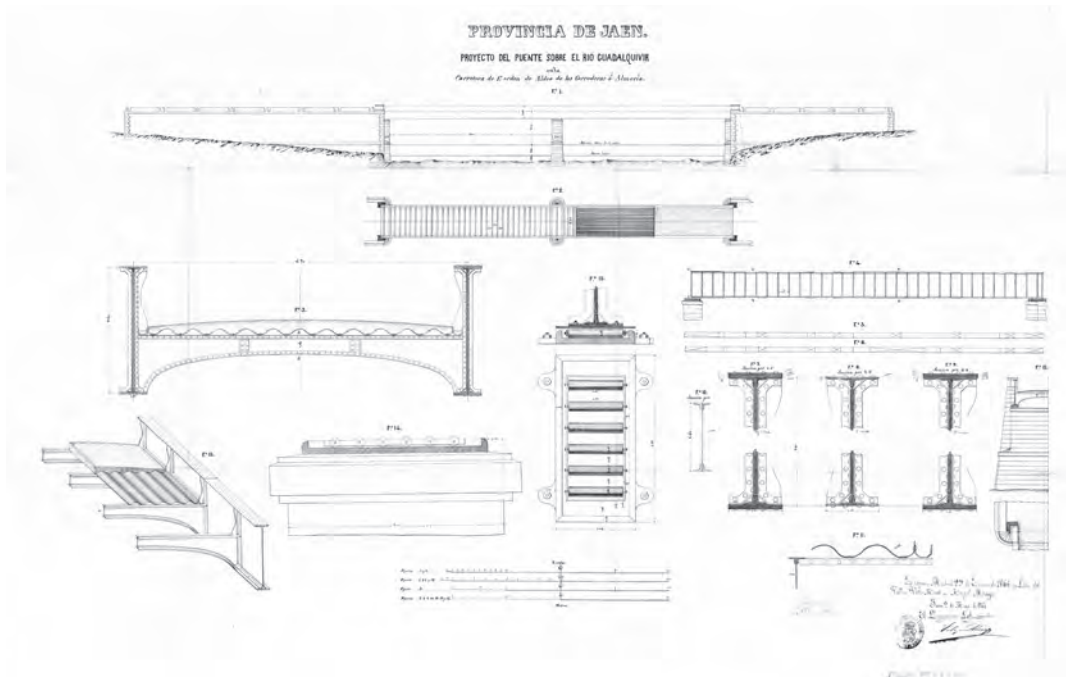


Figura 4
Tramos de hierro para el puente de Calancha sobre el Guadalquivir. Lucio del Valle, Ángel Martí y Víctor Mayo, ingenieros de caminos. 1861. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/24/2345

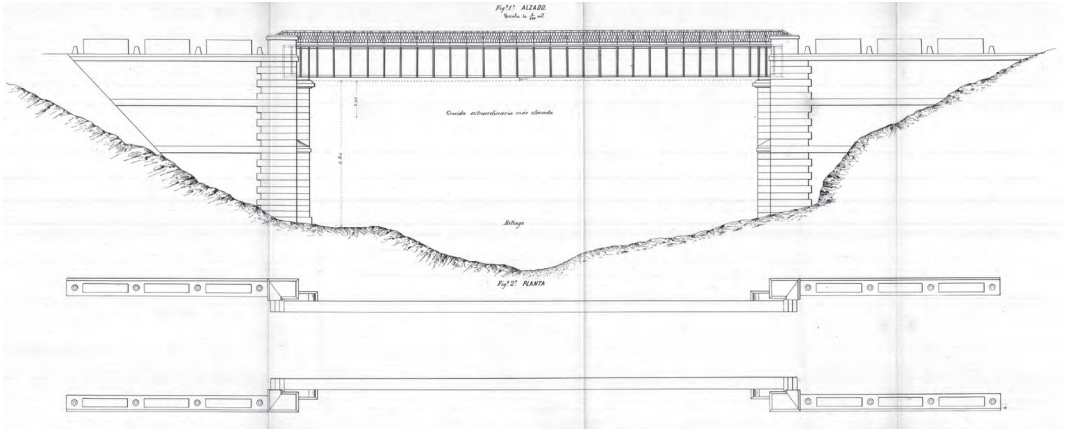


Figura 5
 Puente de La Cerrada sobre el río Guadalquivir. José Iturralde, 1881. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/24/2329

En 1880 las vigas de alma llena eran ya un modelo superado, con aplicación restringida a puentes de luces reducidas. A pesar de eso, Iturralde los adoptó para dos proyectos de puentes de carretera de la provincia de Jaén: uno sobre el Guadalquivir en el paraje denominado La Cerrada y el del Guadalimar, que nos ocupa en esta investigación. Resolvió ambos con el mismo diseño: ramos rectos de 30 m de luz formados por dos vigas de palastro de alma llena, sección doble T. Para el de La Cerrada dispuso un tramo único isostático (figura 5).

Para el del Guadalimar, en cambio, se decantó por la disposición hiperestática de tres vanos en continuidad (figura 6)

Esta disposición conllevó la adopción de vigas principales diferentes, racionalmente adaptadas a los diferentes esfuerzos de cálculo (figura 7)

De este modo, mientras que para el de la Cerrada tomó vigas de 2,00 m de canto, con palastros acumulados en las alas del centro del vano (adaptados a la ley de fletores propia de un vano isostático, con valor máximo $ql^2/8$ en el centro del vano y nulo en los apoyos), en el del Guadalimar proyectó una viga con sección transversal constante de 3,00 m de canto.

Para la determinación de las leyes de esfuerzos en este último, siguió el método de E. Collignon, considerando una carga homogénea de 715 kg por metro de viga correspondiente a las cargas permanentes y una sobrecarga constituida por cuatro fuerzas de 4,5 toneladas, correspondientes a dos carruajes de prueba. Para tener en cuenta la alternancia de esta última tuvo en cuenta hasta cinco hipótesis diferentes (Iturralde 1886).

El tablero, superior, se formaba en una original disposición por planchas combadas de palastro (figura 8).

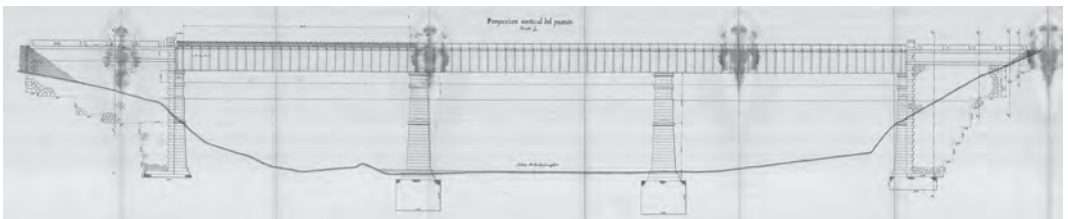


Figura 6
 Puente sobre el río Guadalimar. Plano tomado del proyecto reformado. José Iturralde, 1887. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/24/2351

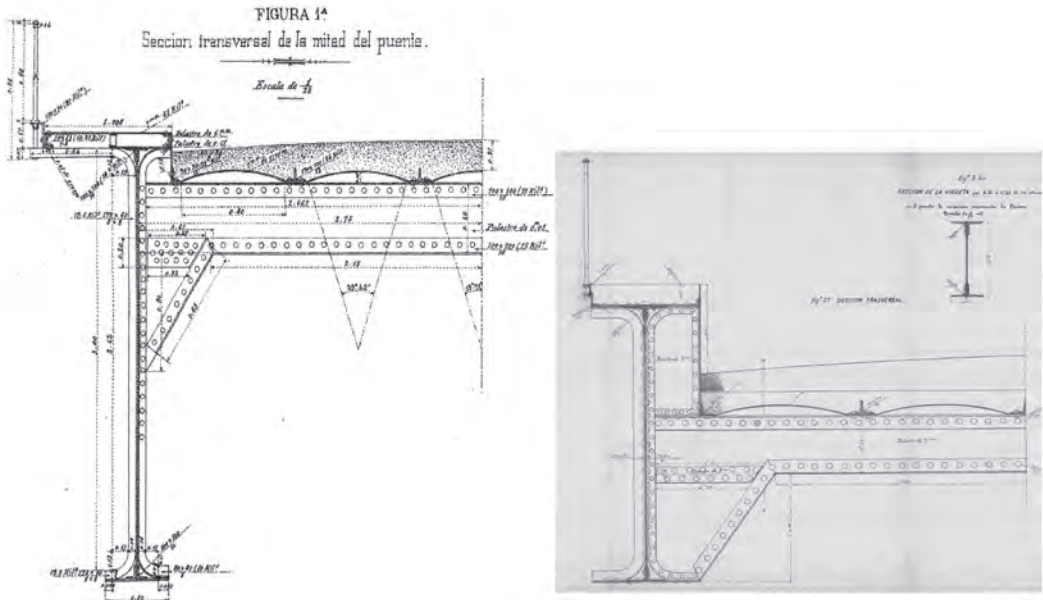


Figura 7
Comparación de la sección transversal de las vigas en los puentes del Guadalimar (izqda) y La Cerrada (dcha). Biblioteca de la Universidad de Granada y Archivo General de la Administración, respectivamente

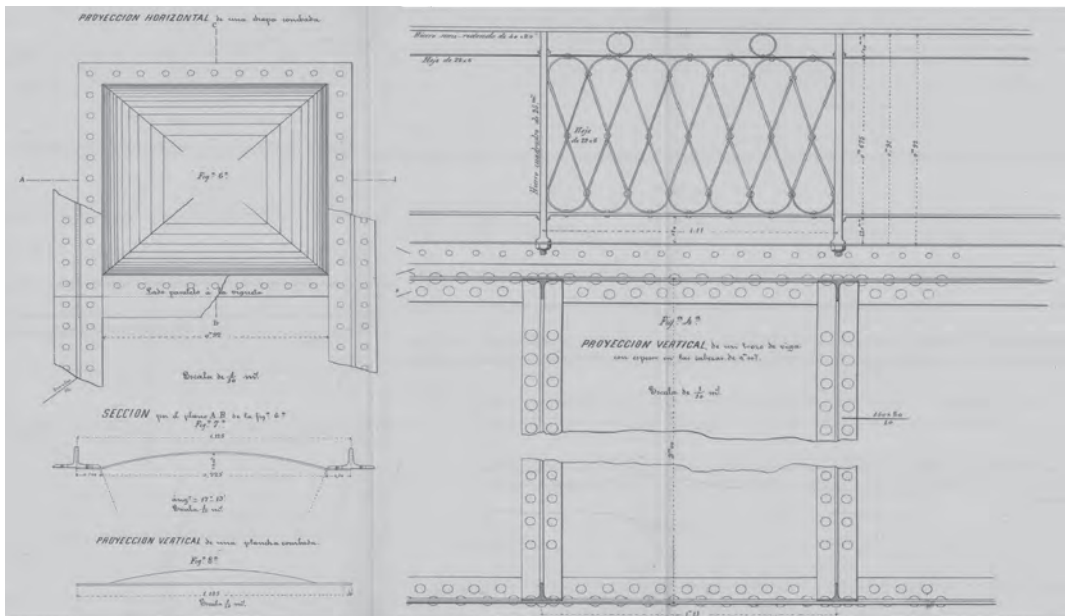


Figura 8
Detalles de las chapas combadas de palastro para el tablero y diseño de la barandilla; puentes de La Cerrada y Guadalimar. José Iturralde, 1881. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/24/2329

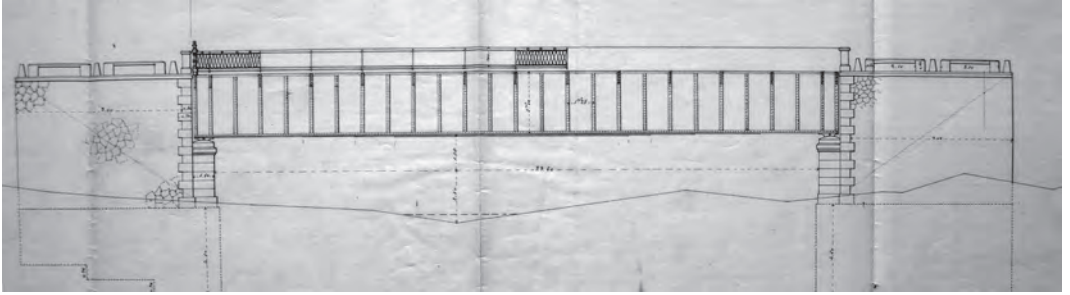


Figura 9

Puente sobre el río Guadiel, carretera de 2º orden de Bailén a Baeza. Prudencio Guadalfajara, 1892. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31922

Estas descansaban sobre viguetas transversales en doble T, las cuales se empotraban en las vigas principales mediante las correspondientes uniones roblonadas. Iturralde también calculó los esfuerzos en dichas viguetas contemplándolas en configuración estructural hiperestática de doble empotramiento

Como concesión ornamental, el puente se remataba con una original barandilla de hierro fundido con motivos helicoidales (figura 8).

Como ya se ha comentado, cuando se proyectó el puente la tipología de vigas de alma llena ya estaba claramente en retroceso. Sin embargo, Iturralde se convirtió en su último y más ferviente partidario, defendiendo su conveniencia apoyándose principalmente en argumentos de economía de hierro. Preparó un estudio comparativo con otros puentes similares (Iturralde 1886), del cual se desprendía que en el del Guadalimar se conseguía una importante mejora respecto a otros puentes de vigas alma llena (como el del río Víboras). Del mismo modo, resultaba económico con relación a las celosías tipo Town, aplicadas en puentes como el del Guadalhorce y el de Calancha (que pese a ser proyectado con vigas de alma llena finalmente se construyó con celosías).

Convencido de su idoneidad, de hecho volvió de nuevo a aplicar el modelo veinte años más tarde, ya en su etapa granadina. Efectivamente, en 1891, para la carretera de tercer orden de Cúllar de Baza a Huéscar proyectó un puente sobre el río Galera que no era «sino la reproducción sin alteración alguna» del puente sobre el río Guadalimar (nota 2). Y aunque diseñado por el ingeniero Prudencio Guadalfajara en 1892, también es claramente deudor de las

obras de Iturralde el otro puente de la carretera de Bailén a Baeza, el del río Guadiel (figura 9) (nota 3)

Materialización del puente

Como era habitual en esta etapa temprana de los puentes de hierro en España, su construcción tuvo muchas vicisitudes. De partida, el proyecto de los apoyos de fábrica quedó desgajado del de la parte metálica, de cuya fabricación siempre se encargaban empresas foráneas. No obstante, se había partido de una configuración básica general previamente definida por Iturralde como ingeniero responsable, cuyos detalles debían ser concretados en proyecto aparte.

El proyecto de la parte de fábrica fue redactado por el propio Iturralde en 1876. Pilas y estribos fueron levantados conforme a este documento inmediatamente (en noviembre de 1879 ya se habían recibido por la Administración). Y a la espera de la construcción del puente metálico, se habilitó un tablero provisional de madera.

El posterior y definitivo proyecto de los tramos de hierro, fue sometido a la supervisión de la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos en julio de 1882. Aún reconociendo el excelente trabajo desarrollado por el ingeniero de Jaén, este organismo creyó oportuno introducir algunas modificaciones, las cuales fueron incluidas en el proyecto definitivo que vio la luz en 1885. Acto seguido salieron a subasta, siendo adjudicados a la empresa belga *Établissement Joseph Paris*, representada en España por el cónsul Carlos Vanden Eyden.

Sus componentes fueron fabricados en las instalaciones de la empresa en Marchienne-au-Pont (Bélgica), y transportados en ferrocarril hasta la estación de Baeza (a unos centenares de metros del emplazamiento del puente). Allí fueron oficialmente recibidos en febrero de 1887 por el ingeniero Joaquín de Zayas, recientemente incorporado al servicio en la provincia de Jaén.

Se hizo entonces pública una importante discrepancia con las dimensiones de las vigas consideradas en el anteproyecto, cuyo canto era notablemente menor. Esto obligaba a la rectificación de la parte de fábrica, previamente construida. Ante la perspectiva de tener que rebajar los niveles de apoyo, una avenida extraordinaria del río Guadalimar, proporcionó a Iturralde el argumento definitivo que justificaba la necesidad de incrementar la sección de desagüe. Se resolvió la discrepancia elevando la rasante del puente, modificación que fue aprobada por la superioridad en el verano de ese año de 1887.

Corregidos los apoyos, se procedió al montaje de los elementos metálicos. La construcción del puente se completó el 30 de noviembre de 1889. Su liquidación fue suscrita por el ingeniero Ignacio Toll, último supervisor de la obra (nota 3).

EL PUENTE TRANSFORMADO POR CÉSAR VILLALBA GRANDA (1942)

César Villalba Granda y los arcos metálicos

César Villalba Granda (1893- 1950) fue otro de los miembros notables de la generación de ingenieros del 27 (Sáenz-Ridruejo 2011). Antes de la Guerra Civil, este gran «especialista de Alta Mecánica y estructuras hiperestáticas» (nota 4), había destacado por sus magníficos puentes de hormigón armado. Contribuyó notablemente a su desarrollo en España tanto desde el punto de vista del diseño (con soluciones estructurales que abarcaban desde los tramos rectos del tipo Vierendeel hasta arcos de gran luz) como con originales planteamientos constructivos, como el descimbrado con gatos introducido por él en el puente de Pizarra (Villalba-Granda 1936).

Sin embargo, al reanudar la actividad tras la contienda dio cierto giro a su carrera, promoviendo la recuperación de los puentes metálicos. En 1941, con ocasión de la construcción del puente de Tortosa (obra

muy significativa por tratarse del primero en el que se utilizó la soldadura en España), se expresaba así en la Revista de Obras Públicas (Villalba-Granda 1941):

Los puentes metálicos han sido modernamente, en España, bastante abandonados para emplear casi exclusivamente los de hormigón. Permítasenos algunas digresiones a este respecto ... Decimos que en circunstancias normales, en vez de dirigir casi exclusivamente la construcción hacia el empleo de obras de hormigón, lo que hay que hacer es adaptarse a las nuevas formas y métodos de construcción, que en muchos casos, como en este de Tortosa, tendrían adecuado empleo y aún no limitarse a la estricta separación entre obras de hormigón y metálicas, sino adaptar las estructuras mixtas, como acertadamente ya se está realizando en los puentes del Tordera (Barcelona) y Posadas (Córdoba).

Se refería Villalba a dos singulares puentes mixtos españoles, resueltos con tablero de hormigón sobre dos cuchillos de vigas metálicas parabólicas con configuración Warren. Era una solución (aunque incorporando sólo los cuchillos) que él mismo acababa de poner en práctica para el refuerzo del puente del Guadalimar.

El refuerzo del puente del Guadalimar, un innovador y trascendente planteamiento estructural

En 1940 la utilización del puente por el Ferrocarril de la Loma se hacía en precario, con gran perjuicio para el servicio, por lo que se encargó su refuerzo a la Jefatura de Puentes y Estructuras. César Villalba, que estaba adscrito a este organismo técnico central, se hizo cargo de su redacción. (con la colaboración del ingeniero de la demarcación, Sebastián de Lara Barberán). El proyecto fue presentado en enero de 1941 (nota 5).

Para concretar el tipo de refuerzo más apropiado, se procedió a un reconocimiento general del puente existente. Se realizaron diversos ensayos, determinándose que los elementos metálicos del puente se encontraban muy afectados por la fatiga, tanto que no podía plantearse su refuerzo mediante la colocación de palastros adicionales. La disminución de la luz tampoco era viable, dada la importante altura a la que se encontraban las vigas principales y el notable coste que supondría construir nuevas pilas con sus respectivas cimentaciones.

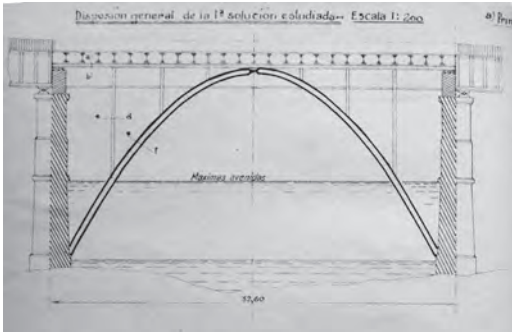


Figura 10
Propuesta de refuerzo del puente con arcos triarticulados. César Villalba, 1941. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31970

Se imponía, pues, un refuerzo mediante la adición de cuchillos adicionales, alternativa favorecida por la circunstancia de no existir arriostramientos transversales entre las vigas existentes. Villalba adoptó como premisa básica para su diseño que la estructura existente siguiera resistiendo las acciones permanentes, mientras que con la nueva se aguantarían las sobrecargas.

Estudió la idoneidad de varias estructuras de refuerzo, planteando en primer lugar una atrevida solu-

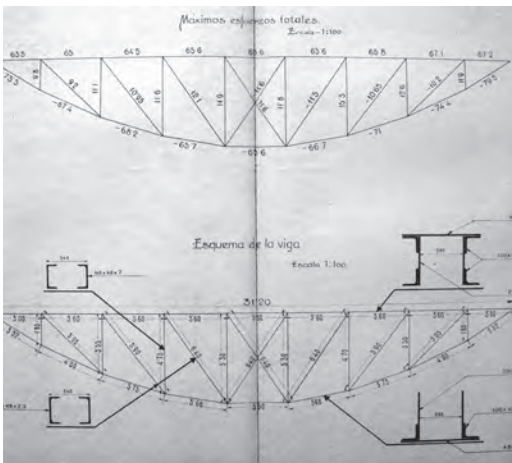


Figura 11
Esfuerzos máximos y configuración de los cuchillos de refuerzo. César Villalba, 1941. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31970

ción constituida por arcos gemelos triarticulados de directriz parabólica (figura 10). No obstante, descartó esta opción por su gran peso y por el riesgo de que al estar los apoyos inferiores muy bajos, en una crecida pudieran ser objeto de choques con cuerpos arrastrados, lo que ocasionaría el inmediato colapso.

Descartados los arcos, Villalba se decantó por una solución más convencional. Estudió tres posibles soluciones: Pratt semiparabólica, Pratt parabólica y Warren parabólica. Verificó cuál de ellas respondía mejor a una hipótesis general de carga lineal uniformemente repartida correspondiente al tren de cargas contemplado en la legislación vigente. La opción más favorable resultó ser la Pratt con cordón superior recto e inferior parabólico, que una vez elegida estudió con detenimiento. Original e innovador en sus diseños de hormigón armado, adoptó aquí una postura más ortodoxa. Mediante procedimientos de Estática Gráfica (Cremona), calculó, para distintas ubicaciones del tren de sobrecarga oficial, los esfuerzos en los cuchillos y siempre en la hipótesis tradicional de estructura articulada. En virtud de este planteamiento, todas las barras quedaban sometidas a esfuerzos axiales (figura 11) pudiendo determinar las secciones transversales necesarias para la tensión de trabajo del hierro laminado.

Los diferentes elementos se constituyeron a partir de perfiles en U, angulares y platabandas, de hierro laminado y unidos todos mediante roblonado. Los cordones superiores se dispusieron en forma de π , de fácil acoplamiento con la estructura de 1889. Montantes y diagonales se resolvieron con sección



Figura 12
Disposición de los cuchillos parabólicos de refuerzo. Fotografía del autor



Figura 13
Detalle de los cuchillos parabólicos de refuerzo. Fotografía del autor



Figura 14
Vista general del puente en la actualidad. Fotografía del autor

transversal rectangular, mientras que para el cordón parabólico inferior se adoptó una sección en U (figura 11).

Los dos cuchillos, de 31,20 m de luz, tenían un canto máximo de 5,30 m. Se disponían dos por vano, por el interior de las vigas primitivas de alma llena y con una separación de 2 m. Estos cuchillos se arriostraban transversalmente mediante perfiles mixtos y tenían sus propios aparatos de apoyo (figuras 12 y 13).

EL PUENTE DEL GUADALIMAR EN LA ACTUALIDAD

El refuerzo del puente se planteaba ya desde su propia concepción como una solución provisional, toda vez que se había decidido la construcción de un nuevo puente aguas arriba. A pesar del gran esfuerzo comprometido en la reforma del puente, las condiciones de uso no mejoraron. En el proyecto de refuerzo se contemplaba que las vías del ferrocarril discurrieran por el centro del puente, lo cual no era compatible con la circulación creciente de vehículos. Se propuso desplazar a un lado la vía, lo cual suscitó dudas sobre la estabilidad del puente, que aconsejaron que el tránsito de los trenes sobre él se efectuase con una sola locomotora y a velocidad moderada (nota 6).

La construcción del nuevo puente aguas arriba se materializó en la década de los 1950, quedando el puente utilizado en exclusiva por el ferrocarril de la Loma en los años 1960. Desde entonces y hasta nuestros días subsiste como una obra de paso marginal, con uso muy limitado.

En esta situación, ha quedado prácticamente abandonado a su suerte y completamente falto de mantenimiento. El puente presenta desperfectos importantes, siendo especialmente evidente la oxidación de sus componentes metálicos, además de grietas preocupantes en sus partes de fábrica, incluso con desplazamientos de sillares. Sin embargo, por el momento conserva sus elementos primitivos, incluso la original barandilla diseñada por José María Iturralde en 1881.

NOTAS

1. Los datos biográficos sobre José María Iturralde han sido proporcionados por Fernando Sáenz Ridruejo.
2. Así consta en el informe sobre el puente de Galera realizado por la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos en octubre de 1892. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/24/3693.
3. Las circunstancias de la construcción del puente se han podido conocer a partir de su expediente de construcción, que conserva en el Archivo Histórico Provincial de Jaén. Signatura 31970
4. Con tan afortunada catalogación se incorporó al Consejo de Obras Públicas en noviembre de 1945. Archivo General del Ministerio de Fomento, Legajo 5709.
5. Se conserva una copia en el Archivo Histórico Provincial de Jaén (signatura 31970). Gracias a este documento se ha podido conocer la actuación de César Villalba Granda para el refuerzo del puente.
6. Según consta en el oficio elevado en 1943 por el ingeniero encargado del Ferrocarril Eléctrico de la Loma a la Jefatura de Puentes y Estructuras. Archivo Histórico Provincial de Jaén, signatura 31970.

LISTADO DE REFERENCIAS

- Barrón, E. 1861. Madrid. Prolongación de la calle Bailén y puente de hierro para la de Segovia. *Revista de Obras Públicas*, 18: 217-224.
- González-Regueral, S. 1861. Puente de hierro sobre el río Eo. *Revista de Obras Públicas*, 15: 181-189.
- Iturralde, J.M. 1886. Tramos metálicos para el puente del Guadalimar, en la carretera de Bailén a Baeza, provincia de Jaén. *Revista de Obras Públicas*, 11: 177-185.
- Mendizábal-Peña, A. 1943. *Explotación de ferrocarriles por el Estado: memoria relativa al período 1 de julio de 1941-30 de diciembre de 1942*. Madrid: Rafael Calleja.
- Mendizábal, D. 1928. *Estudio y construcción de tramos metálicos*. Vol. 1. Madrid: Sucesores de Rivadeneyra
- Navarro, J. R. 2001. *El puente moderno en España, 1850-1950: la cultura técnica y estética de los ingenieros*. Vol. 1. Madrid: Fundación Juanelo Turriano.
- Sáenz-Ridruejo, F. 2011. Sánchez del Río, Villalba, Martín Gil y otros ingenieros de la Generación del 27. En *Ildelfonso Sánchez del Río Pisón, el ingenio de un legado*. Libro del catálogo de la exposición, dirigido por P. Cassinello y B. Revuelta. Madrid: Fundación Juanelo Turriano
- Sánchez-Blanco, J. 1860. Descripción del puente construido en el Ferrocarril de Madrid a Alicante, sobre el río Jarama. *Revista de Obras Públicas*, 15: 181-189.
- Serna, J. 2006. *Los puentes del tren*. Madrid: Fundación Esteyco.
- Villalba-Granda, C. 1936. El puente sobre el río Guadalhorce en Pizarra, Málaga. *Revista de Obras Públicas*, 2693:185-190.
- Villalba-Granda, C. 1941. El puente de Tortosa. *Revista de Obras Públicas*, 2693:185-190.