

Puentes originales del Ferrocarril de Málaga a Córdoba y Granada (1860-1874)

Antonio Burgos Núñez
Universidad de Granada

Resumen

El ferrocarril de Málaga a Córdoba y Granada (Sur de España) fue construido entre 1860 y 1874. Incluía un singular conjunto de puentes metálicos, que pueden considerarse como arquetipos de la tipología de tramos rectos de celosía en España. En este artículo se describe y analizan estas notables obras de Ingeniería, insistiendo sobre los atributos que las distinguen como tempranas realizaciones de la Construcción contemporánea.

Abstract

The Malaga-Cordoba-Granada railway (Southern Spain) was built between 1860 and 1874. A group of splendid metal bridges was included. They could be considered as an archetype of lattice girder bridges in Spain. This article describes and analyzes these remarkable works of Engineering. The attributes that distinguish them as early models of contemporary systems of Construction were focused.

Las ciudades de Málaga y Córdoba quedaron unidas por un camino de hierro en 1864, el cual se amplió en 1874 con un ramal a Granada. Gestionadas por una misma compañía ferroviaria, desde el punto de vista constructivo ambas líneas también pueden considerarse como una unidad, pues fueron concebidas por los mismos creadores y con aplicación de los mismos principios de diseño.

Los aproximadamente 300 km de recorrido de ambas líneas tuvieron que desplegarse por un espacio topográficamente difícil. Su infraestructura fue por ello compleja y tuvo que conformarse a partir de numerosos elementos de Ingeniería especiales, entre los que destaca un particular conjunto de puentes.

Originalmente entre las dos líneas sumaban más de dos decenas de puentes, todos ellos formados por tramos rectos de vigas metálicas de celosía. Diseñados de forma unitaria, constituyeron una de las primeras y más representativas aplicaciones de la tipología en España. La admiración que causaron entre sus contemporáneos se reflejó en abundantes testimonios gráficos y escritos.

Sin embargo, en la actualidad su conocimiento es incompleto, en parte debido a su corto periodo de vida (fueron profundamente reformados apenas medio siglo después de su construcción). A pesar de su importancia para la Historia de la Construcción, esta y otras circunstancias han dificultado que se abordara en profundidad su estudio.

El presente artículo se plantea con la intención de subsanarlo, contemplando su análisis desde varias dimensiones, que van desde la identificación completa

y detallada de los puentes originales, su caracterización técnica, la confirmación de su autoría y la reseña de su evolución hasta nuestros días.

Con ello se aspira a contribuir al reconocimiento del conjunto de los puentes del Ferrocarril de Málaga a Córdoba y Granada como obra destacada de Ingeniería, de particular trascendencia para el desarrollo de la Construcción Metálica en España.

EL FERROCARRIL DE MÁLAGA A CÓRDOBA Y GRANADA, UNA GRAN OBRA DE INGENIERÍA

Antecedentes

A mediados del siglo XIX el hasta entonces próspero polo de empresas siderúrgicas formado en torno a la ciudad de Málaga se enfrentaba a una amenaza que comprometía seriamente su futuro. Estando obligadas a obtener su combustible básico, el carbón mineral, con un elevado coste, su producción estaba en clara desventaja con la de las nuevas y muy competitivas empresas del norte de España (García Montoro 2007). En esta tesitura, en diversos ámbitos se pensó que su salvación podría estar en el tendido de una línea férrea que conectara la costa malagueña con los yacimientos de carbón de Bélmez y Espiel, al norte de la provincia de Córdoba (Del Valle 1861). La construcción de la línea favorecería la ampliación del hinterland del puerto de Málaga, razón añadida que también contribuyó a que se impulsara su construcción (Lacomba 1974).

En diciembre de 1859 estas inquietudes cristalizarían en la concesión oficial de la línea de Córdoba a Málaga. Se hizo con ella un grupo de industriales malagueños encabezados por Jorge Loring Oyarzábal, acabando con las disputas que este por entonces atractivo ferrocarril había ocasionado entre diversos intereses empresariales (Cuéllar y Sánchez Picón 2008).

Además de los miembros andaluces (Loring, Heredia, Larios), se incorporaron a la nómina de la sociedad del Ferrocarril de Córdoba a Málaga,¹ renombrados empresarios foráneos: Basile Parent, Pierre Schaken y Jean François Cail (*Chemin de Fer de Cordoue à Malaga. Statuts* 1861). La línea de Córdoba a Málaga representaba para ellos otra oportunidad de continuar sus provechosos negocios en España.

Aparte de asegurarse el suministro de material móvil y la posterior gestión, Parent-Schaken se reservó la ejecución de la línea. Se encargaría de ella una compañía de su órbita, la Vitali, Picard et Cie., la cual estaba dirigida por el aristócrata francés Philippe Vitali. Como ingeniero, este ya había trabajado para Parent-Schaken en la construcción del Ferrocarril de Córdoba a Sevilla. Hombre de plena confianza de la casa matriz (Belhoste y Claeys 2017), p.46-47, significativamente entró a formar parte del accionariado de la compañía malagueña.

La primitiva línea de Málaga a Córdoba: planteamiento y construcción

En línea recta, las ciudades de Málaga y Córdoba se encuentran separadas por una distancia aproximada de 120 km. Esta alineación, sensiblemente orientada en la dirección norte-sur, marcaría a grandes rasgos el trazado. El recorrido así era el menor posible, pero encontraría la gran dificultad de tener que atravesar perpendicularmente las sierras de la cordillera Penibética, que se alinean de este a oeste a lo largo del litoral mediterráneo andaluz.

Para ello, la mejor opción, contemplada ya en los primeros estudios, encargados por Martín Larios a un ingeniero inglés llamado Wilson, era desplegarlo por el valle del río Guadalhorce, a lo largo del cual se encuentran llanuras de cierta entidad. Sin embargo, antes de desembocar en la gran depresión del Guadalquivir, había que atravesar el desfiladero de los Gaitanes, obstáculo que se presumía insalvable. De ahí que en el primer proyecto oficial, redactado en 1857 por el ingeniero de caminos Máximo Perea

(Monterde 1859), se plantease un largo rodeo hacia el oeste para evitarlo (figura 1).

Sin embargo, cuando tomó cuerpo la iniciativa, los promotores siguieron apostando por el trazado inicial de Wilson, el que pasaba por los Gaitanes y terminaba en Almodóvar (donde debía enlazar con la línea de Córdoba a Sevilla). De hecho así lo acordaron en el contrato con la constructora Vitali, Picard et Cie. (*Gaceta de los caminos de hierro* 1862b). No obstante, decidieron modificar su recorrido en la parte norte para terminar en la ciudad de Córdoba y de ese modo conectar las importantes poblaciones de la Campiña Sur cordobesa.

De esta forma, el trazado entre Málaga y Córdoba quedó definitivamente cerrado con una longitud de 192 km. Desde el punto de vista constructivo, en él se distinguían claramente tres unidades (figura 1):

Partiendo de Córdoba, la línea recorría más de 120 km por la depresión del Guadalquivir, atravesando un terreno ondulado -la campiña cordobesa- en el que las principales dificultades eran el cruce de, además del gran río andaluz, otros cursos de agua de cierta importancia. Pero al entrar en la provincia de Málaga, el trazado se ceñía al recorrido del río Guadalhorce, no teniendo más remedio que transitar por el desfiladero de los Gaitanes. Pasadas las angosturas, la línea se desplegaba por el curso bajo del Guadalhorce, hasta prácticamente su desembocadura. Se trataba de la parte menos comprometida del trazado, que discurría entre valles amplios y llanos

La materialización de la línea comenzó en 1860, aún sin haberse constituido oficialmente la compañía del camino de hierro. Los trabajos arrancaron en Málaga, movilizándose ingentes recursos humanos y materiales² de forma que en octubre de 1862 pudieron inaugurarse los primeros 17 km.³ Continuaron después con resolución las obras hasta la población de Álora, completándose los 38 km restantes hasta Álora un año después (*Gaceta de los caminos de hierro* 1864a).

Por entonces ya se había comenzado el trabajo en el valle de Álora y los tajos de los Gaitanes, «territorio en su mayor parte inaccesible aún para los caballos». Para ello se tuvo que organizar una notable infraestructura a pie de obra, que incluía canteras, hornos de cal, talleres para encofrados de los túneles y fábricas de ladrillo. Fueron necesarios asimismo un camino de servicio de 20 km, casas para técnicos y obreros, cantinas e incluso un hospital (*Gaceta de los caminos de hierro* 1862b).



Figura 1. Trazado definitivo de la línea y propuestas previas (Larios-Wilson, 1852 y Perea, 1857). Archivo General de la Administración, signatura 04/087/25-7402

La explanación en esta sección sólo pudo progresar a base de voladuras. Una óptima dirección de las obras permitió un avance sostenido, del que da idea el gran consumo de pólvora, cifrado en media tonelada diaria. (*Gaceta de los caminos de hierro* 1862a). De hecho, no fue suficiente la producción de la fábrica de pólvora de Granada, teniéndose que recurrir, previa autorización del gobierno, a su adquisición en el extranjero (*Gaceta de los caminos de hierro* 1863).

Por su parte, en la sección de la campiña cordobesa se trabajaba paralelamente desde 1862, una vez concretado su recorrido definitivo. Aquí las obras no eran tan complicadas, por lo que se desarrollaron con regularidad a lo largo de 1863. Los esfuerzos se concentraron mayormente en la construcción de los grandes viaductos, como el del Guadalquivir, el cual se terminó a finales de 1864 (*Gaceta de los caminos de hierro* 1864b).

Todavía tendría que transcurrir casi un año hasta la completa finalización de los trabajos de construcción. La inauguración oficial de la línea tuvo lugar en agosto de 1865 (*Gaceta de los caminos de hierro* 1865).

El ramal de Granada, una línea añadida al proyecto primitivo

Cuando se empezó a plantear su construcción, uno de los mayores interesados en la concesión ferroviaria de Málaga a Córdoba, fue el conocido capitalista José

de Salamanca. Sin embargo, aunque salió derrotado de la primera competencia con la oligarquía malagueña, nunca renunciaría a la participación en este negocio ferroviario. En 1861 volvería a la carga haciéndose con la adjudicación de la conexión ferroviaria de Málaga con Granada (*Gaceta de Madrid* 1861b).

En el contrato de esta nueva concesión se estipulaba que la empresa adjudicataria quedaba obligada “a ejecutar de su cuenta todas las obras necesarias para el completo establecimiento de un ferro-carril, que partiendo del de Córdoba á Málaga en Campillos, ó en el punto que se fije por el Gobierno [...] se dirigirá por el Humilladero, Molina, Antequera, Archidona, Loja, Huétor, Tocón, Íllora y Pinos á Granada”. (*Gaceta de Madrid* 1861a).

José de Salamanca maniobró con habilidad para forzar el acuerdo con la compañía de Córdoba a Málaga. Sin pérdida de tiempo, en 1863, inició por su cuenta la materialización de su línea entre Granada y Loja, cuya construcción era relativamente sencilla.

Temerosos entonces los propietarios del ferrocarril de Córdoba a Málaga de que Salamanca pudiera aprovechar su concesión para trazar desde allí una segunda línea más directa hacia Málaga, decidieron llegar a un acuerdo con él e incorporar esta segunda concesión a la sociedad original (*Gaceta de los caminos de hierro* 1864c). El acuerdo, consignado en mayo de 1863, constituyó el origen de la futura gran compañía de los Ferrocarriles Andaluces.



Figura 2. Viaducto del Guadalquivir, en las proximidades de Córdoba. 204 m de luz, cuatro tramos continuos sobre pilas metálicas tubulares(Spreafico 1867). Patrimonio Nacional, Real Biblioteca. Signatura FOT/259

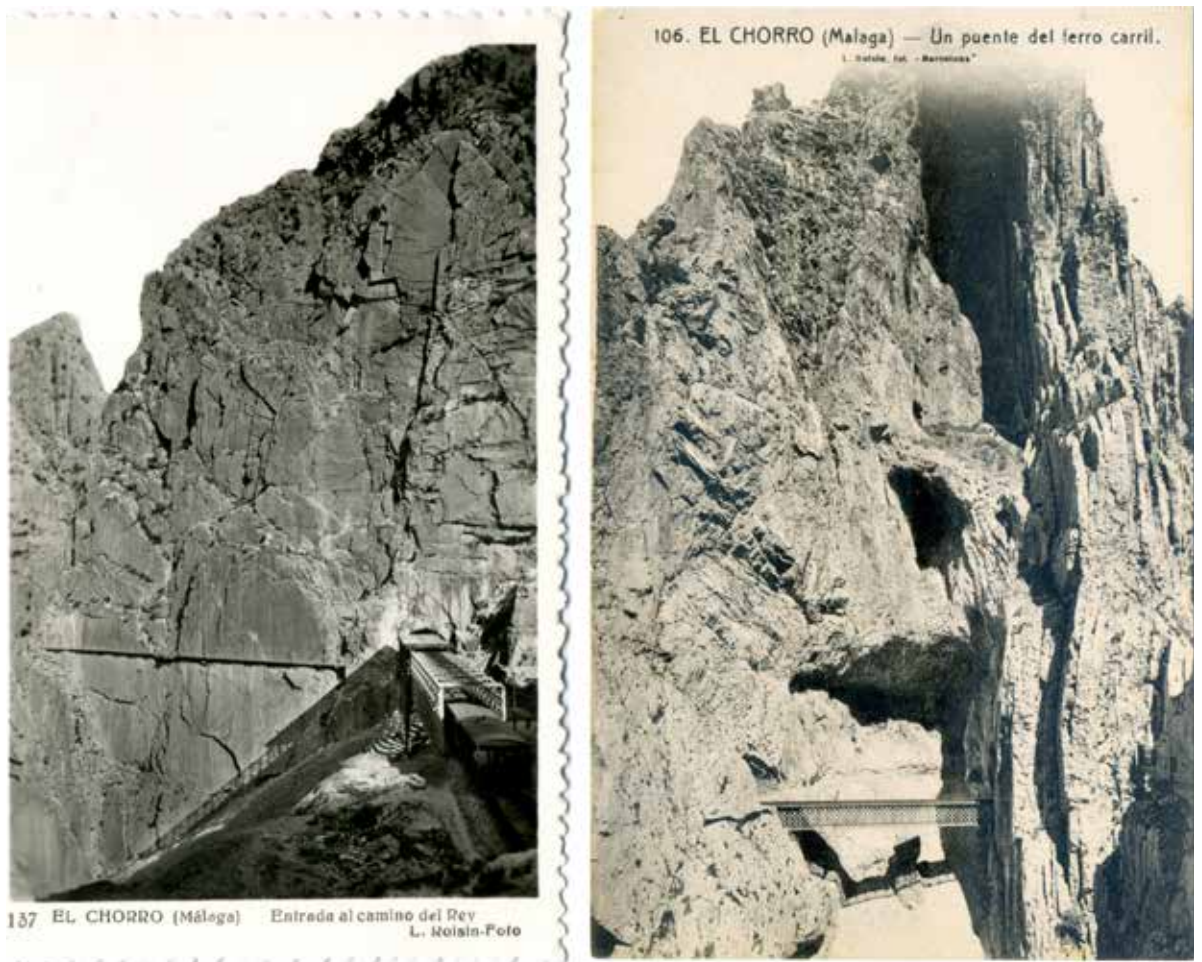


Figura 3. Composición de dos imágenes del recorrido del Ferrocarril Córdoba-Málaga por el desfiladero de los Gaitanes. Izqda, el puente del Gaitán enfila la pared vertical de 200 m de altura; dcha., puente del Tajo o de la Falla Grande. Postales comerciales de principios del siglo XX. Colección particular del autor

Salamanca aportaba la parte de la línea ya construida, quedando pendiente la sección entre Loja y el punto de conexión con la línea de Córdoba, que sería fijado en la localidad de Bobadilla (desde donde previamente se había construido un ramal destinado a enlazar la importante ciudad de Antequera). De su ejecución se haría cargo la compañía de Vitali y Picard (Laveleye 1867), participando así de la misma idiosincrasia que la línea original. La sección oriental, ejecutada por la compañía de Salamanca, mostraría una significativa diferenciación constructiva

Magnitud de la infraestructura

Como todos los caminos de hierro peninsulares, la ejecución del Córdoba-Málaga era compleja. En dos de sus tres unidades, la Campiña Cordobesa y el Valle bajo del Guadalhorce en las proximidades de Málaga, era obligada la construcción de numerosos puentes y obras especiales. Algunos de ellos muy notables, como el viaducto del Guadalquivir en Córdoba (figura 2)

Pero lo que ciertamente distinguía a este ferrocarril era el paso por el desfiladero de los Gaitanes. A partir de Álora, el valle del Guadalhorce se va estrechando hasta quedar reducido de una garganta de unos 5 km de longitud, con paredes cortadas a pico, verticales, de más de cien de metros de altura (figura 3).

Una descripción del trazado contemporánea a su construcción nos permite hacernos una idea de la envergadura de las obras necesarias (*Gaceta de los caminos de hierro* 1865).

[...] pasado el túnel de Bombichar de 740 metros de longitud, se entra en el de la Pintada, de 467; sigue el de la Almona, de 436, enlazado con el de la Fuente de 77, por un magnífico viaducto de pilas metálicas, a 57 metros sobre el nivel del Guadalhorce, cuyo curso parece espiar todos los giros de esta línea para salirle al encuentro constantemente.

A continuación se entra en el túnel número 5, del Chorro, de 248 metros de longitud, y después sobreviene el del Tajo, de 243. Aquí se nota un raro accidente de la naturaleza: la montaña está hendida en dos puntos y presenta dos grietas profundísimas que la dividen desde la cima a la base, con paredes casi verticales; para unir las ha sido preciso colocar dos puentes á inmensa altura, de 6 y 40 metros de longitud [...].

Sigue el túnel de Miguel, de 230 metros, y el de Rocas Lanas de 326, entre los cuales hay un puente de 80 me-

tros de longitud; después los del Tajo del Gaitán, de 368; Canuto de 163, Turón, de 595. Gaitán, de 567. Bogantes, de 262 y Valdeyeso de 355. Entre estos dos últimos hay otro puente de 40 metros.

En total trece túneles, cinco puentes y un viaducto, sólo en el tramo de los Gaitanes. A ellos había que añadir las importantes construcciones de la sección del Bajo Guadalhorce (túnel de Álora y puentes de Campanillas, Pizarra y Las Mellizas), así como los numerosos puentes de la Campiña Cordobesa, entre los que sobresalían los viaductos de Puente Genil y de Córdoba sobre el Guadalquivir. Por su parte, la línea de Granada añadiría) añadiría otros cuatro puentes más y el soberbio viaducto del Barrancón (figura 4).

Pasados ciento cincuenta años desde su construcción, no deja de producir asombro la envergadura y complejidad de esta infraestructura. Tanto por el número de obras construidas, como por su entidad y las dificultades que tuvieron que afrontarse para su materialización, se trata sin duda de una de las grandes realizaciones de la Ingeniería española contemporánea.

Los artífices de la construcción

La materialización del ferrocarril de Córdoba a Málaga y Granada, en particular de sus puentes, constituyó una decidida apuesta por la construcción metálica. Excluida la fábrica como presupuesto de diseño, todos los puentes se harían con hierro laminado, de la tipología de tramos rectos. Pero, contrariando a las preferencias oficiales del momento, sus creadores implementaron las vigas de celosía de forma generalizada, incluso para puentes de luces reducidas. De ese modo realizaron una notable contribución a su generalización en nuestro país.⁴

El diseño genérico de estos puentes, entre los que se observa cierta uniformidad, surgió del esfuerzo conjunto de varios ingenieros franceses y españoles. Los primeros, integrados en la empresa contratista Vitali, Picard y Cia, tendrían como máximo representante al ya mencionado Philippe Vitali, ingeniero graduado en la École Centrale de Paris en 1851. No debió ser sin duda ajeno a las cuestiones técnicas, aunque de ellas parece que se ocupó principalmente un compatriota apellidado Dupuy. Aunque no se ha podido localizar demasiada información sobre este competente ingeniero, diversos testimonios lo identifican inequívocamente como el máximo responsable

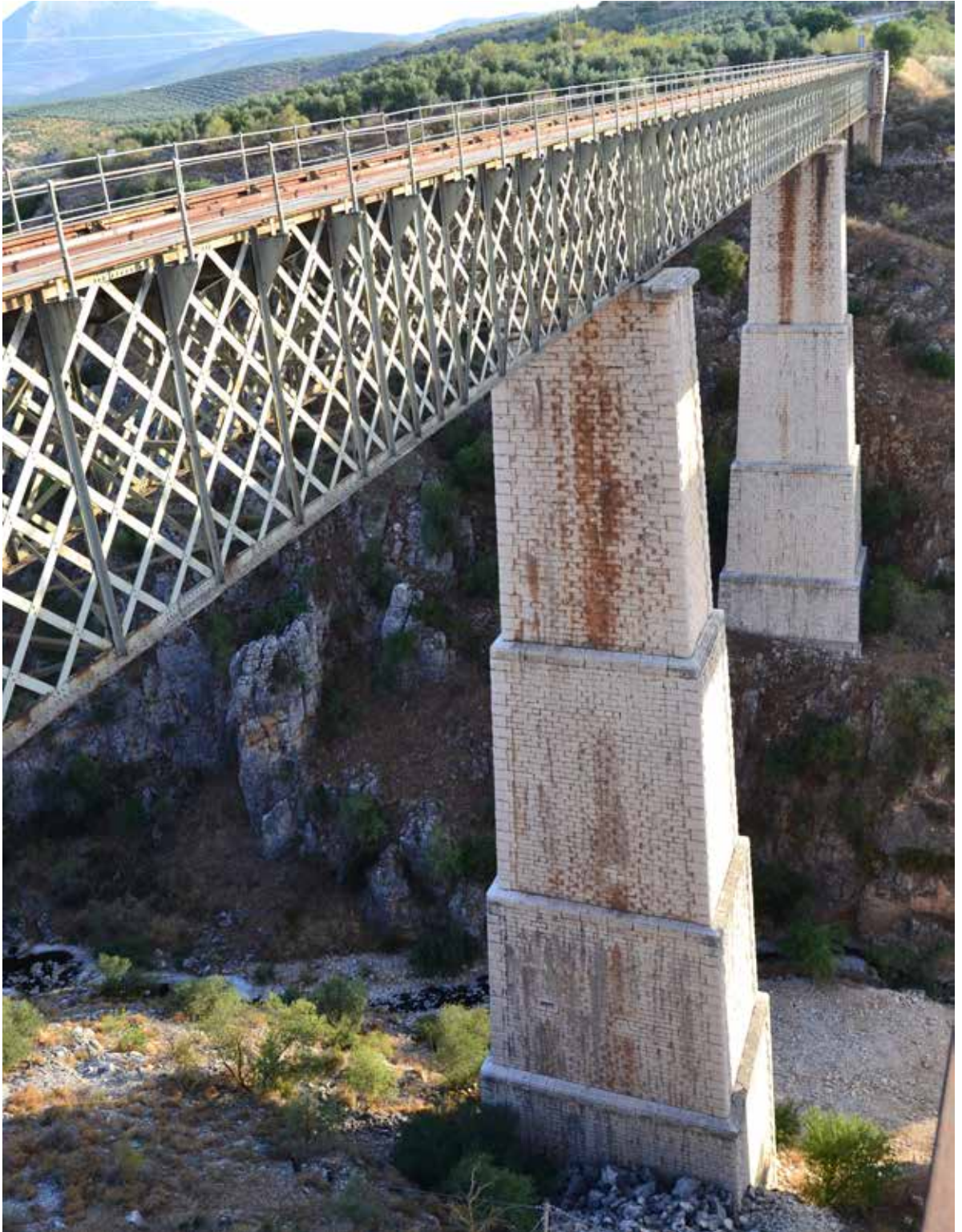


Figura 4. Viaducto del Barrancón sobre el arroyo de Río Frío (Granada). 120 m de luz en tres tramos continuos, sobre pilas de fábrica de 46 m de altura. Imagen actual, tomada por el autor

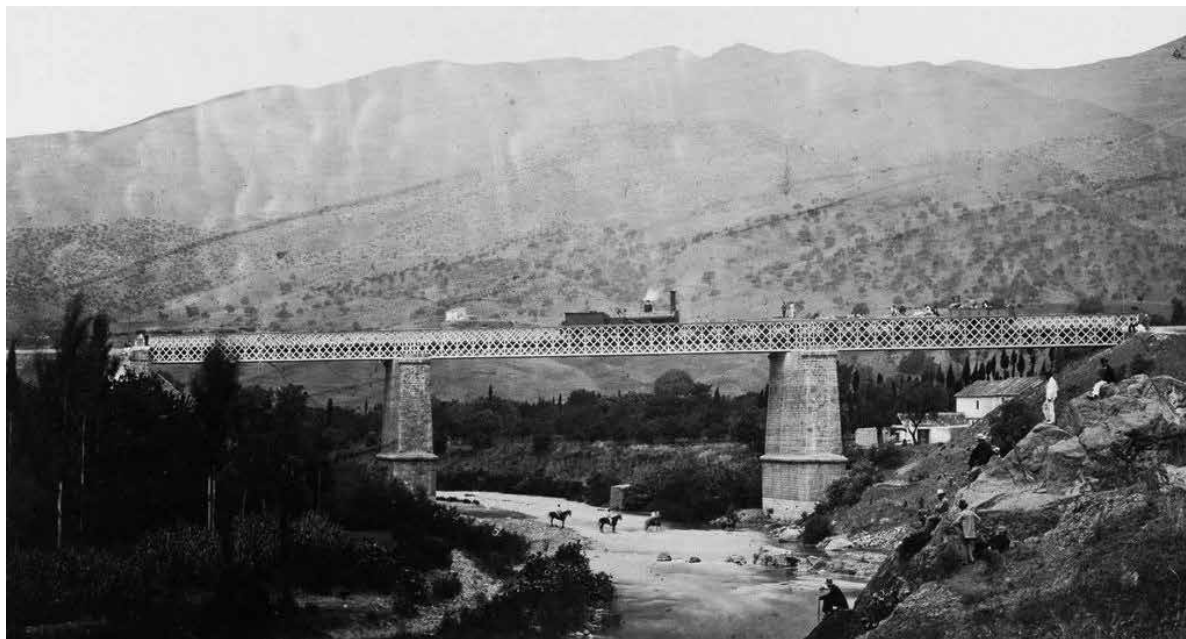


Figura 5. Puente de las Mellizas sobre el río Guadalhorce. 204 m de luz, 83 m de luz en tres tramos rectos continuos sobre pilas y estribos de fábrica. Proyecto de Pedro de Mesa. Imagen de (Spreafico 1867). Patrimonio Nacional, Real Biblioteca. Signatura FOT/259

técnico por el lado francés.⁵ En cuanto a la participación española, hay que dejar claro que su importancia fue cuanto menos equiparable en importancia a la foránea. En el diseño de la línea, en su conjunto y en el de cada uno de sus elementos de modo individualizado, intervinieron sobresalientes técnicos españoles cuya intervención no puede de ningún modo presumirse como meramente burocrática.

En esta estrecha colaboración hispano-francesa inicialmente destaca la actividad del ingeniero de caminos Pedro de Mesa y Arroquia. Su andadura profesional arrancó en la Málaga, donde trabajó entre 1848 y 1855 al servicio del Estado. Después pasó a Asturias, incorporándose como responsable técnico de la compañía del Ferrocarril de Langreo. Contribuyó al despliegue de esta infraestructura con trabajos notables, como la implementación, pionera en España, de unos «drops» o máquinas automotoras para el embarque de carbón desde la misma vía férrea (Saavedra 1858).

Su incorporación a la compañía del Ferrocarril de Córdoba a Málaga fue convenida en 1860 (Martínez Cobo 2008). Mesa empezó su andadura como técnico principal concretando, ya con carácter de proyecto ejecutable, el trazado por la parte malagueña, especialmente la sección del Bajo Guadalhorce, por don-

de dieron comienzo las obras.⁶ Expresamente consta su autoría en el caso del puente del río Campanillas,⁷ siendo con toda seguridad también creaciones suyas tres puentes más sobre el río Guadalhorce (Pizarra, las Mellizas y Gobantes), objeto de un proyecto único presentado en 1862 (figura 5).⁸

Mesa abandonó la compañía en 1862, reincorporándose al servicio del Estado. Pese a dejar su impronta en la primera definición constructiva de la línea, no llegó a determinar con precisión el trazado en la sección del Gaitán. De ello se encargaría otro brillante ingeniero español, Antonio Arriete y Porrata.

Con su contratación, la compañía se hizo con los servicios de un técnico versátil y experimentado. Formado como ingeniero militar, en 1832 se cambió al cuerpo de ingenieros de caminos, beneficiándose de una reorganización circunstancial de este último que se produjo por falta de personal (Rumeu de Armas 1980), p.402-403. Arriete comenzó su andadura como ingeniero civil en la provincia de Santander, desde donde en 1839 dirigiría la construcción de un «camino carbonero» entre Langreo y Gijón por el que sería bien reconocido (*Gaceta de Madrid* 1839). Posteriormente pasaría al importante distrito de Barcelona, donde desde 1848 estaba cargo de la jefatura



Figura 6. Viaducto del Chorro, provincia de Málaga. 300 m de luz en ocho tramos continuos sobre pilas metálicas y de fábrica. Proyecto de Antonio Arriete. Imagen de (Spreafico 1867). Patrimonio Nacional, Real Biblioteca. Signatura FOT/259

de Obras Públicas. Este destino tendría una especial trascendencia para su trayectoria posterior, pues allí desempeñó la supervisión de la construcción de varios ferrocarriles catalanes, entre ellos el de Barcelona a Mataró, primer camino de hierro español. Precisamente, con esta infraestructura entró en contacto con la nueva tipología de puentes de tramos rectos metálicos de celosía, como el del río Besós, cuya prueba de carga verificó personalmente en diciembre de 1850.⁹

Después de Barcelona continuó su progresión en el cuerpo de ingenieros de caminos, formando parte al menos desde agosto de 1853 de la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos (*Gaceta de Madrid* 1853). Como miembro de este importante organismo técnico nacional,¹⁰ Arriete supervisó la construcción de varias líneas de ferrocarril. En abril de 1860, ya con el rango de inspector general del cuerpo de Caminos, fue nombrado su vicepresidente (*Gaceta de Madrid* 1860).

No cabe duda de que cuando le contrató, la compañía del Ferrocarril de Córdoba a Málaga incorporó a uno de los grandes especialistas españoles en tendidos ferroviarios. Sin duda lo iba a necesitar ante la magnitud de la tarea que tendría que afrontar.

Arriete tendría que resolver el complicado paso de los Gaitanes, que Pedro de Mesa no habría pasado de perfilar. Con las obras en marcha tuvo que adaptar los diferentes elementos previamente diseñados y proyectar los nuevos que iban revelándose necesarios

a medida que avanzaba la ejecución. De ese modo, tuvo que adaptar el esquema original de de Mesa para el puente del Chorro, que Arriete amplió hasta formar el gran viaducto curvo hoy recordado como una de las construcciones más representativas de la línea (figura 6).

El avance a lo largo de los tajos del Gaitán requirió otros cuatro puentes más de un vano, todos ellos con luces del orden de 50m. Y tras atravesar la gran muralla rocosa, otros tantos puentes del recorrido por el valle del Guadalquivir (Arroyo Tinajas, río Cabra, Guadajoz). En esta sección sería más intensa la colaboración con Dupuy y los ingenieros franceses de Vitali y Picard, a los que podría atribuirse el diseño de los dos grandes viaductos (Genil y Guadalquivir).

En cualquier caso, el diseño de la mayoría de estas obras se hizo en paralelo a la construcción de la propia línea, mientras esta avanzaba sobre el terreno. Casi todos los proyectos de los puentes de esta parte están fechados en 1865, a posteriori de su realización. Los ingenieros de la línea pusieron en práctica cierta estandarización de los diseños, con diferentes patrones reconocibles. En esta regularización tendrían un papel destacado el equipo de ayudantes de obras públicas de la Compañía, cuyo miembro más conocido sería Gabriel Arrabal.¹¹ También consta la participación de Pablo Espinar y A. Gámez, cuyas firmas figuran en algunos de los documentos técnicos.

En cuanto a la línea de Granada, su proyecto general (Milla 1862) había sido redactado por Francisco



Figura 7. Puente sobre el río Genil en Loja (Puente Quebrada). Puente oblicuo de 90 m de luz en dos tramos continuos. Proyecto del ingeniero Dupuy. Postal comercial de principios del siglo XX. Colección particular del autor

Milla y Beltrán, un ingeniero de caminos que inmediatamente después de la construcción de la línea pasó a ocupar la jefatura provincial de Obras Públicas de Córdoba. Su puesta en práctica, por circunstancias administrativas ya explicadas, fue obra de dos compañías diferentes, cada una de las cuales aplicó sus propios criterios técnicos.

La definición del tramo oriental (comprendido entre Granada y Loja), fue obra de técnicos vinculados al empresario José de Salamanca. De estos facultativos sólo se ha podido identificar a una persona llamada Bibiano Guinea, firmante de una modificación del proyecto.¹² En esta parte la línea discurre por la planicie de la Vega de Granada, no presentando excesivas complicaciones para su construcción. Únicamente fueron necesarios cuatro modestos puentes para cruzar los arroyos de la margen derecha del Genil.

En cambio, la parte oriental (de Bobadilla a Loja) sí que presentaba un trazado dificultoso, económicamente muy gravoso para la compañía, por lo que su materialización se prolongaría algunos años. En paralelo al tendido de la línea principal se hizo un ramal

de conexión para la importante ciudad de Antequera, el cual estaba terminado en 1865. Después los trabajos se paralizaron, no retomándose la actividad hasta comienzos de 1868. La línea no quedaría sin solución de continuidad hasta comienzos de la década siguiente (Romualdo 1974).

En este momento daría un paso al frente Charles Dupuy, que firmó con exclusividad los proyectos de todos los puentes (Peña de los Enamorados, Barrancón, Plines y Puente Quebrada). Obras todas de gran entidad, participan de los rasgos de diseño básicos de sus precedentes de la línea de Córdoba y Málaga (figura 7).

LOS PUENTES DEL FERROCARRIL DE MÁLAGA A CÓRDOBA Y GRANADA, ESTUDIO CONSTRUCTIVO

Caracterización general

Originalmente, todos los puentes del ferrocarril de Málaga a Córdoba y Granada eran de tramos rectos y vigas metálicas de celosía, configuración recientemente

Puente	configuración	tipo	Ingeniero
Río Campanillas	21+21	celosía	De Mesa
Río Guadalhorce, Pizarra	40+40	Celosía	De Mesa
Río Guadalhorce, Las Mellizas	25+35+25	Celosía	De Mesa
Barranco de la Fuente	50	Celosía	Arriete
Gaitán	50	celosía	Arriete
Puente del Tajo I (falla chica)	6	Alma llena	Arriete
Puente del Tajo II (falla grande)	40	Celosía	Arriete
Puente del terraplén del km 52	68	Mixto	Arriete
Río Guadalhorce, Gobantes	20+20	Celosía	De Mesa
Arroyo Tinajas	35	Celosía	Arriete
Río Genil, Puente Genil	140	Celosía	Arriete
Río Cabra, Aguilar	14+19+14	Celosía	Arriete
Río Guadajoz I	10+45	Celosía	Arriete
Río Guadajoz II	45	Celosía	Arriete
Río Guadajoz III	15	Celosía	Arriete
Río Guadajoz IV	45	Celosía	Arriete
Guadalquivir	4x50	Mixto	Arriete
Río Guadalhorce, Batán Viejo	-	Celosía	Dupuy
Río Guadalhorce, Peña Enamorados	35	Celosía	Dupuy
Barrancón, Río Frío	35+48+35	Celosía	Dupuy
Río Plines	35	Celosía	Dupuy
Río Genil, Puente Quebrada	45+45	Celosía	Dupuy

Tabla 1. Relación de puentes construidos en la línea principal y en la de Granada (no se incluyen los construidos por la compañía de J. Salamanca). Tabla elaborada por el autor.¹⁵

desarrollada. De hecho en el camino de hierro andaluz tuvo una de sus primeras aplicaciones en España.

Si bien existieron algunos antecedentes notables,¹³ se puede considerar que la tipología de puentes de tramos rectos arrancó con las realizaciones del ingeniero norteamericano Ithiel Town en las primeras décadas del siglo XIX. Este popularizó un característico tipo de puente, constituido por dos vigas principales formadas por sendas carreras longitudinales, a modo de alas, conectadas mediante un alma de listones entrecruzados en diagonal.

La fórmula de Town, concebida inicialmente para ser construida con madera, pronto fue trasladada al dominio de la construcción metálica. La transposición se verificó en Europa durante la década de 1840, más concretamente en Irlanda (James 1980). Después las celosías metálicas tendrían una difusión extraordinaria, aunque durante algunos años verían comprometido su liderazgo por la aparición de las vigas de alma llena (dentro de la misma tipología de puentes de tramos rectos). Superada esta casi totalmente en la década de 1860, las celosías metálicas se convirtieron



Figura 8: Puente sobre el río Campanillas, cerca de Málaga. 204 m de luz, 42 m de luz en dos tramos rectos continuos sobre pila central y estribos de fábrica. Archivo Histórico Ferroviario, signatura A-0012-003

serían la tipología predominante en la Ingeniería de puentes hasta las primeras décadas del siglo XX (Mendizábal 1928).

En España, los tramos rectos empezaron a implementarse en pleno apogeo de las vigas de alma llena, que inicialmente gozaron de la preferencia de los organismos técnicos oficiales. Sin embargo, las celosías metálicas no tardaron en desbancarlas, principalmente gracias a su franca utilización por parte de las empresas constructoras foráneas venidas a España para el tendido de las nuevas infraestructuras ferroviarias. Los nuevos caminos de hierro constituyeron de esta suerte formidables vectores para su implantación en nuestro país.

El de Córdoba a Málaga y Granada sería uno de que más decididamente apostara por la tipología. En sus dos líneas se construyeron veinticinco puentes (tabla 1), formados por tramos de luces de entre 15 y 50 m. Veinte de ellos fueron realizados con cuchillos de vigas de celosía canónica. Dos más, entre ellos el gran viaducto del Guadalquivir, estarían a medio camino entre las celosías y las vigas trianguladas. Y los tres restantes casi con toda seguridad se resolvieron con vigas de alma llena.¹⁴

En los veinte puentes de celosía pura se reconoce cierta homogeneidad de diseño, con rasgos propios de un estadio incipiente en el desarrollo de la tipología. Particularmente desde el punto de vista del diseño estructural, hubo una cuestión destacable. Poco antes de la construcción de estos puentes andaluces se habían puesto de manifiesto las ventajas de la configuración estructural hiperestática, con la que se habían resuelto notables puentes de grandes luces.¹⁶ Aunque no se había desarrollado plenamente su formulación teórica, era una circunstancia conocida por

los ingenieros del ferrocarril de Málaga, que intencionadamente aplicaron con preferencia al proyectar sus puentes. Sus dimensiones respondían principalmente a las necesidades estructurales, siempre teniendo presente este hecho.

En efecto, todos ellos se formaron con dos cuchillos de vigas de celosía, con alma de barras planas entrecruzadas en diagonal, inclinados a 45°. Esta geometría elemental se reforzaba con montantes de sección en T (formados con angulares) distribuidos regularmente formando recuadros. La separación entre estos montantes, la densidad de entrecruzamientos y el canto estaban en función de la necesidad estructural, correspondiendo una mayor densidad de elementos metálicos a los tramos de mayor luz. Todas las uniones eran roblonadas.

De este modo, en los tramos de luces menores (hasta 20 m de luz) los recuadros eran cuadrados de 2,00 m de lado con tres niveles de cruzamientos por recuadro. Se trata de la configuración proyectada por Pedro de Mesa para el puente del río Campanillas, el primero de la línea (figura 8). Posteriormente sería aplicada en los puentes de Gobantes y del río Cabra.

Para los tramos con luces de hasta 40 m las vigas tenían del orden de 3,00 m de canto, con recuadros rectangulares (montantes con separación de 2,00) m y cuatro niveles de entrecruzamiento. Así eran los puentes de Pizarra y las Mellizas, sobre el Guadalhorce, proyectados por Pedro de Mesa (figuras 5, 9 y 10)

Con esta misma configuración de enrejado, pero pasando a tablero superior, proyectó Antonio Arriete el Viaducto del Chorro (figura 11).

Esta configuración sería aplicada por Arriete en tramos biapoyados de hasta 50 m de luz, como el del arroyo de las Tinajas (figura 12).

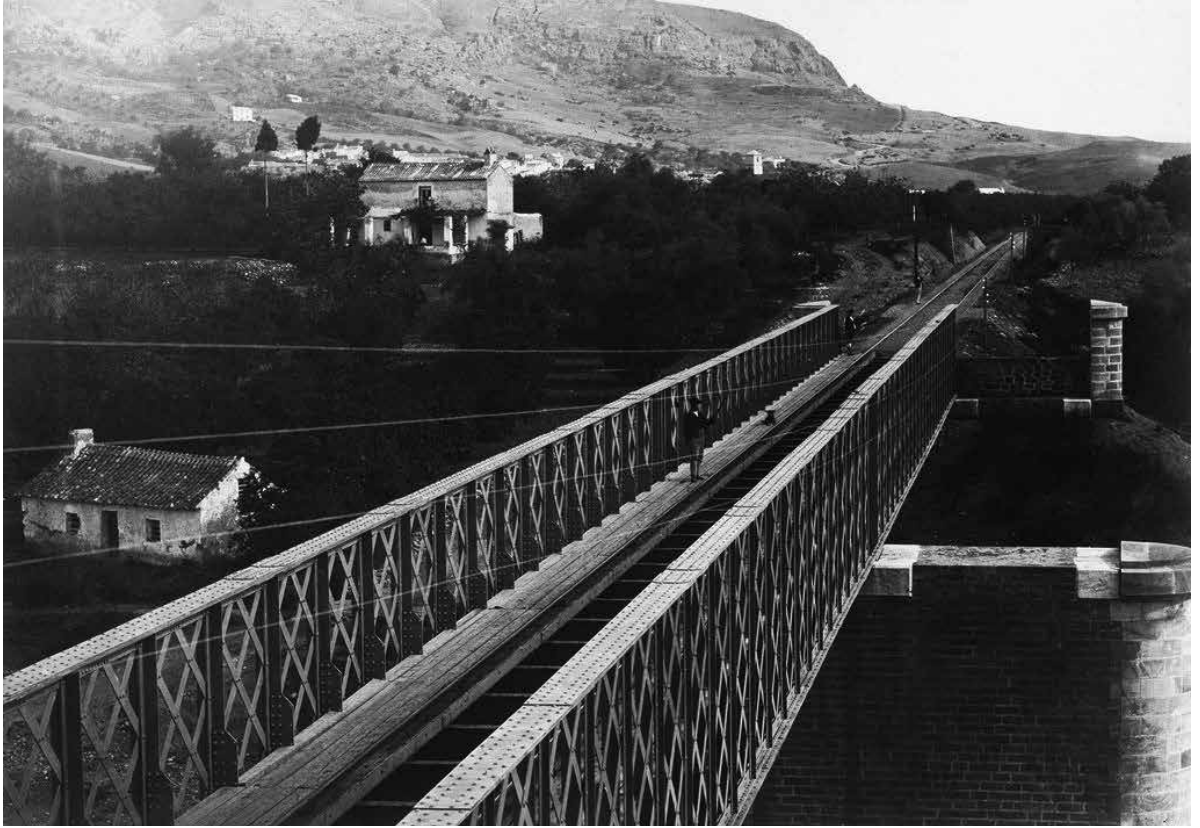


Figura 9. Puente de Pizarra sobre el río Guadalhorce (Spreafico 1867). Patrimonio Nacional, Real Biblioteca. Signatura FOT/259

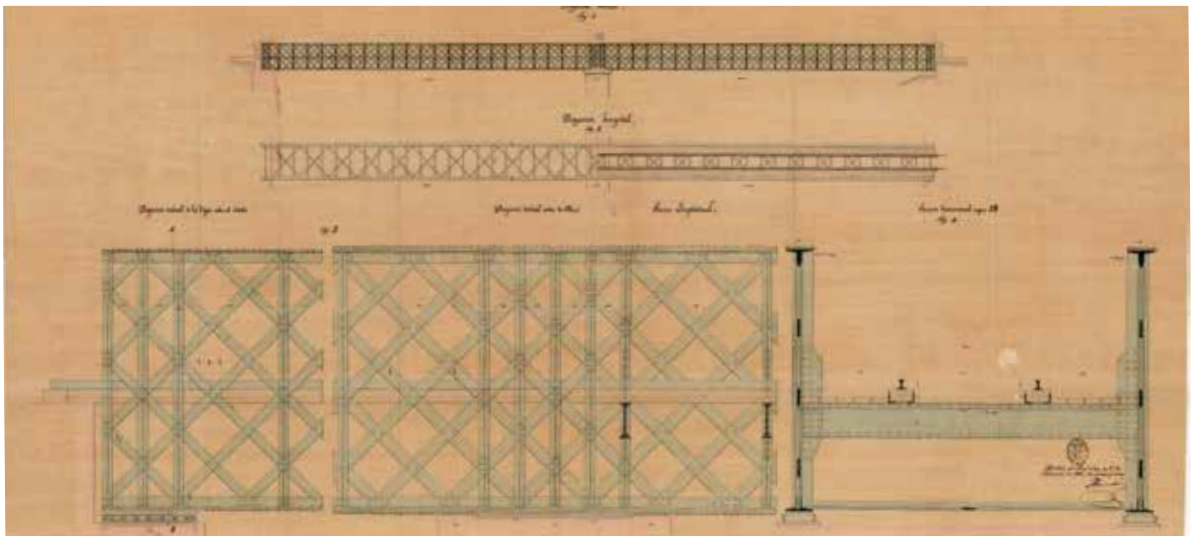


Figura 10. Proyecto del puente sobre el río Guadalhorce en Pizarra. Alzado, detalles de cuchillos y sección transversal (de Mesa 1862). Archivo General de la Administración, signatura 04/087/25-07042

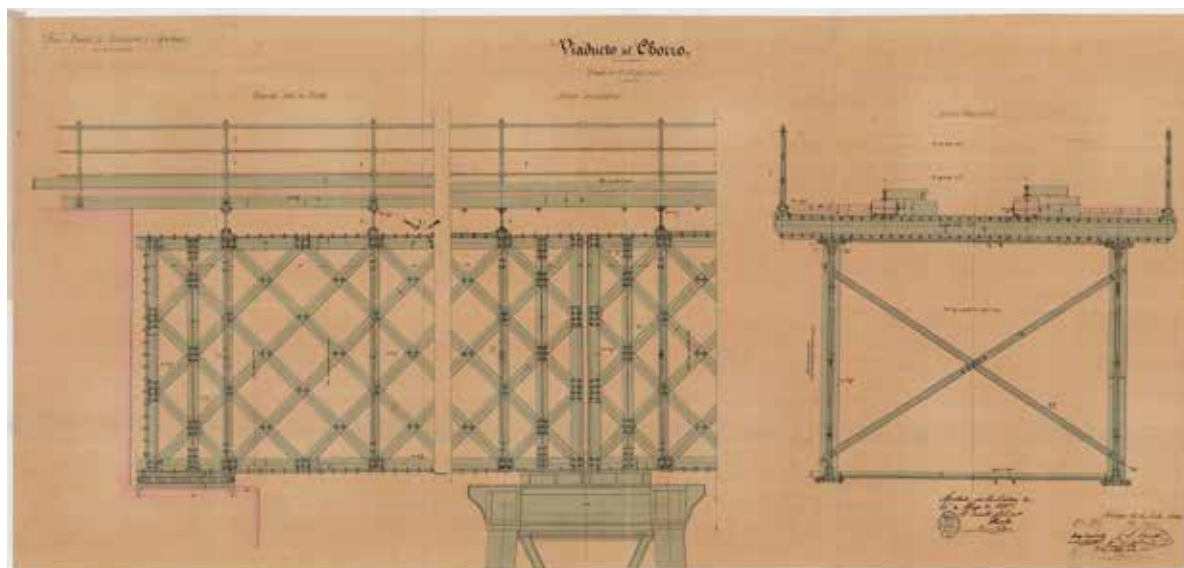


Figura 11. Detalle de los cuchillos de celosía y sección transversal de los tramos rectos del Viaducto del Chorro. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/25-07041.

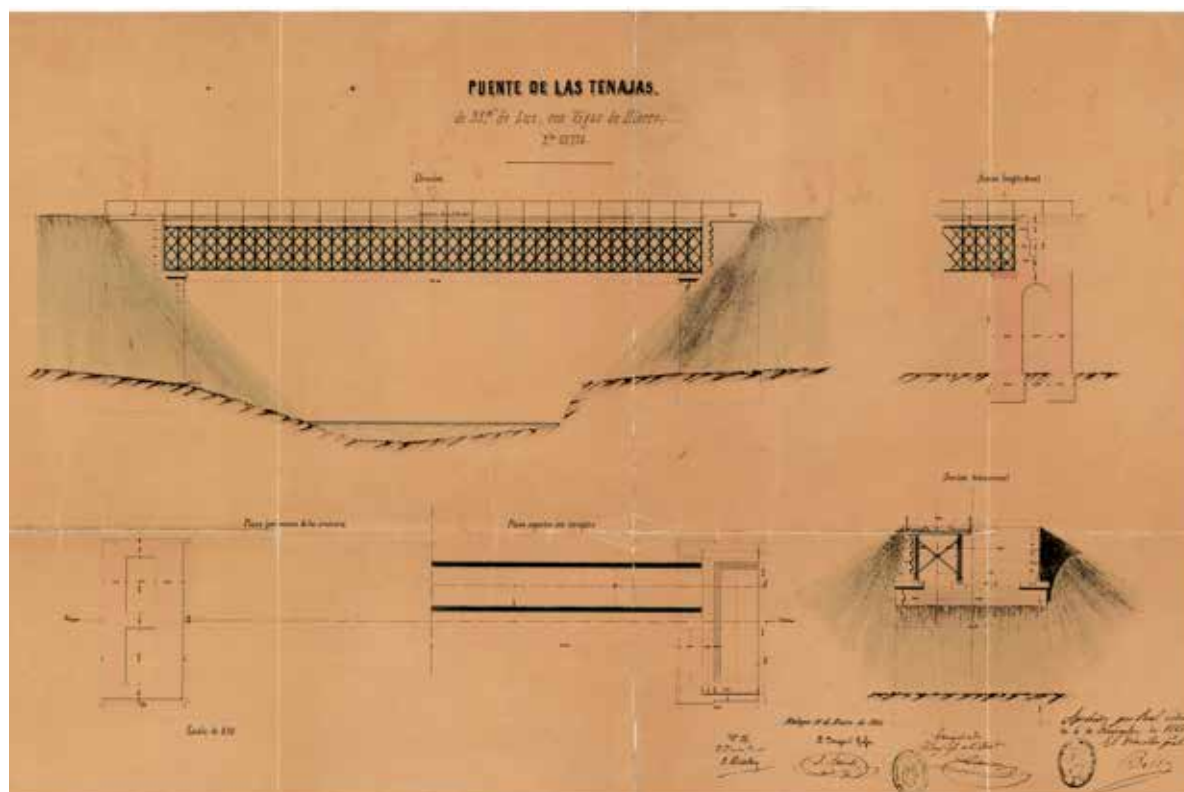


Figura 12. Puente de 45 m de luz sobre el arroyo de las Tinajas Alzado y detalles. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/25-07041.

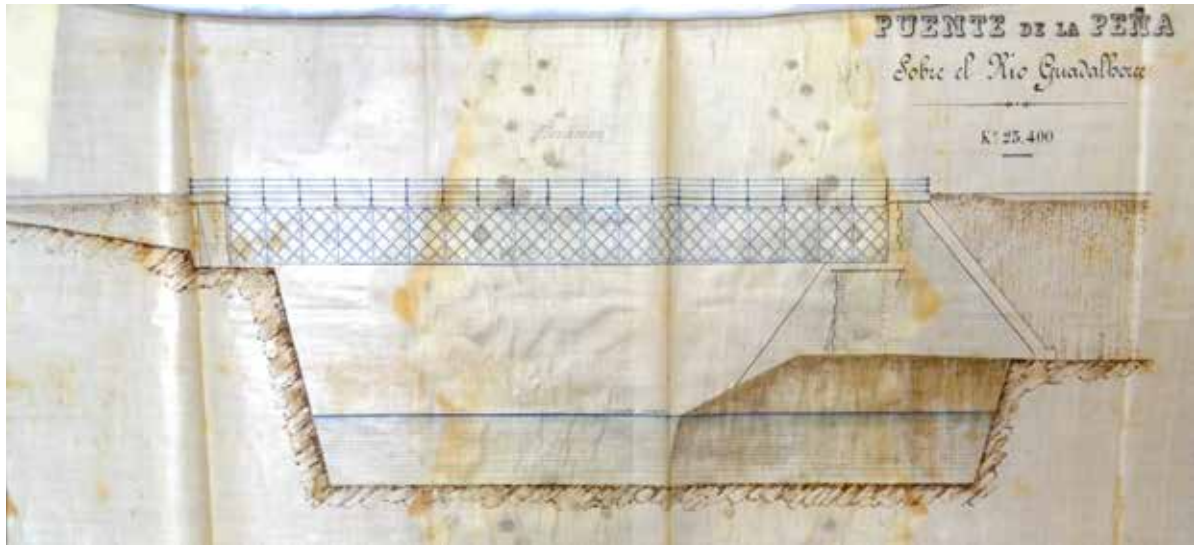


Figura 13. Proyecto del puente de la Peña de los Enamorados sobre el río Guadalorce Archivo Histórico Ferroviario, signatura A-0041 – 003

Sería también adoptada después, expresamente con las mismas consideraciones, para el puente de la Peña de los Enamorados. Su proyecto fue realizado por Dupuy en 1868 (figura 13).

Siguiendo este criterio, los entrecruzamientos del enrejado se hacían más densos a medida que aumentaba la complejidad estructural. Así por ejemplo, el

puente de entrada al Gaitán (figura 3), un tramo biapoyado de 50 m de luz, presentaba siete niveles de barras planas cruzadas (figura 14).

De la estricta sujeción a las vigas de celosía pura solo se sustrajeron dos puentes. En el viaducto sobre el Guadalquivir la diferencia, más bien ligera, consistía en el empleo de angulares en la celosía en lu-

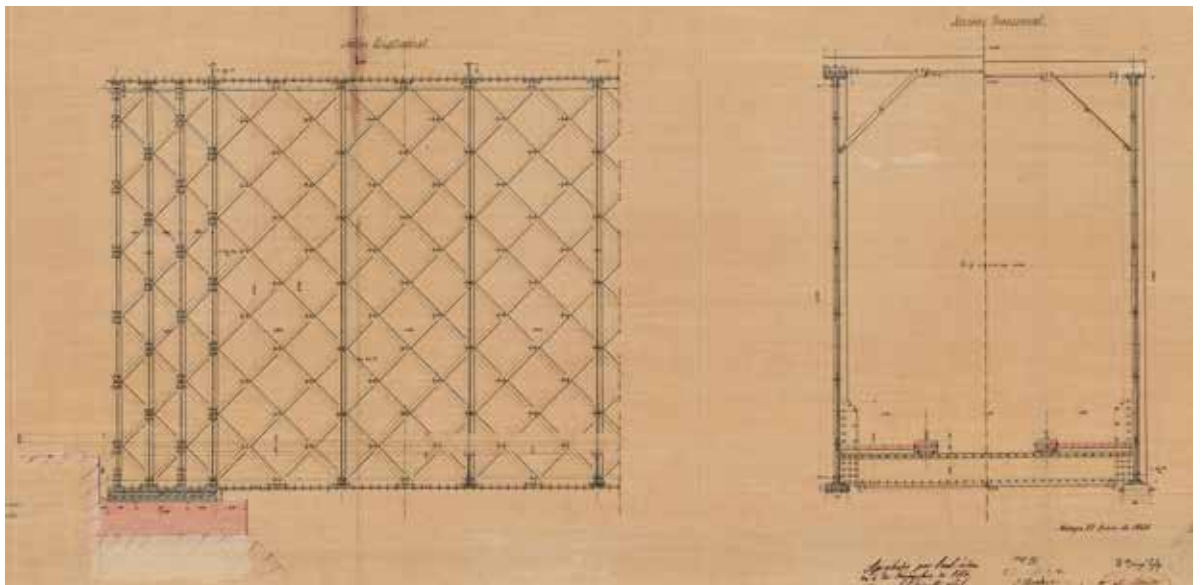


Figura 14. Detalle de los cuchillos y sección transversal del tramo del puente de entrada al Tajo del Gaitán. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/25-07041

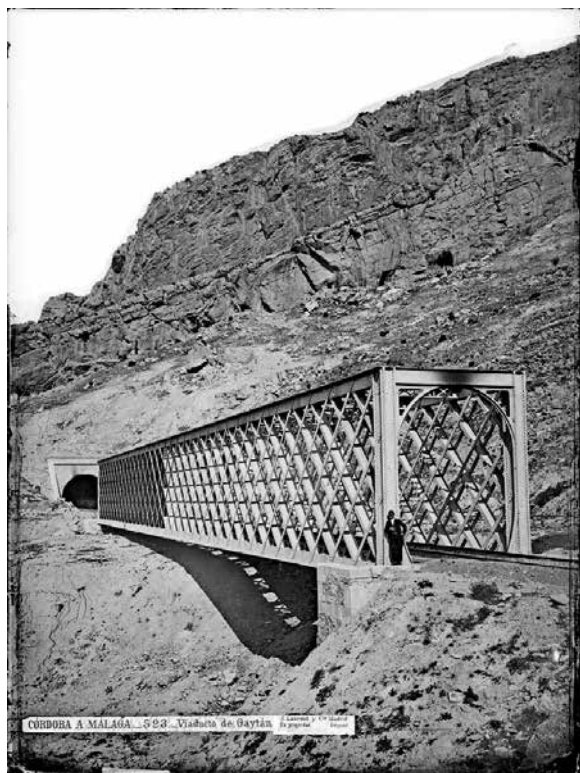


Figura 15. Puente de 68 m de luz construido en sustitución del terraplén del km 52. Fotografía tomada por Jean Laurent. Archivo Ruíz Vernacci, Fototeca del Patrimonio Histórico, signatura VN-05180.

gar de hierros planos. En cambio, sí que había una notable disparidad en el caso del puente más comprometido estructuralmente de la línea, el tramo isostático de 68m de luz del terraplén del km 52, que tuvo que ser construido de forma sobrevenida.¹⁷ El ingeniero Arriete eligió un esquema más cercano a las vigas trianguladas, en el que los cuchillos se formaban por dos series de diagonales: la principal de perfiles en doble T y la contraria constituida por palastros acoplados a ellos interior y exteriormente (figuras 15 y 16).

Según se ha podido venir apreciando, un rasgo común en todos los puentes fue la uniformidad del enrejado, invariable en toda la longitud de los cuchillos. No se siguió, pues, la práctica luego bastante habitual de adaptar la densidad de los entrecruzamientos al esfuerzo cortante.¹⁸ En su lugar, junto a los apoyos, se reforzaba la celosía con montantes o diagonales suplementarios. Por su parte, los aparatos de apoyo siempre eran muy básicos y estaban formados por rodillos que permitían el desplazamiento longitudinal (figura 17).

Con más libertad fue planteada por los proyectistas la posición del tablero, encontrándolos mayormente tanto intermedios (a un tercio del canto de los cuchillos) como superiores. De Mesa prefería los primeros, mientras que Arriete y Dupuy fueron más proclives a estos últimos. No obstante, también se proyectaron algunos puentes con tablero inferior.

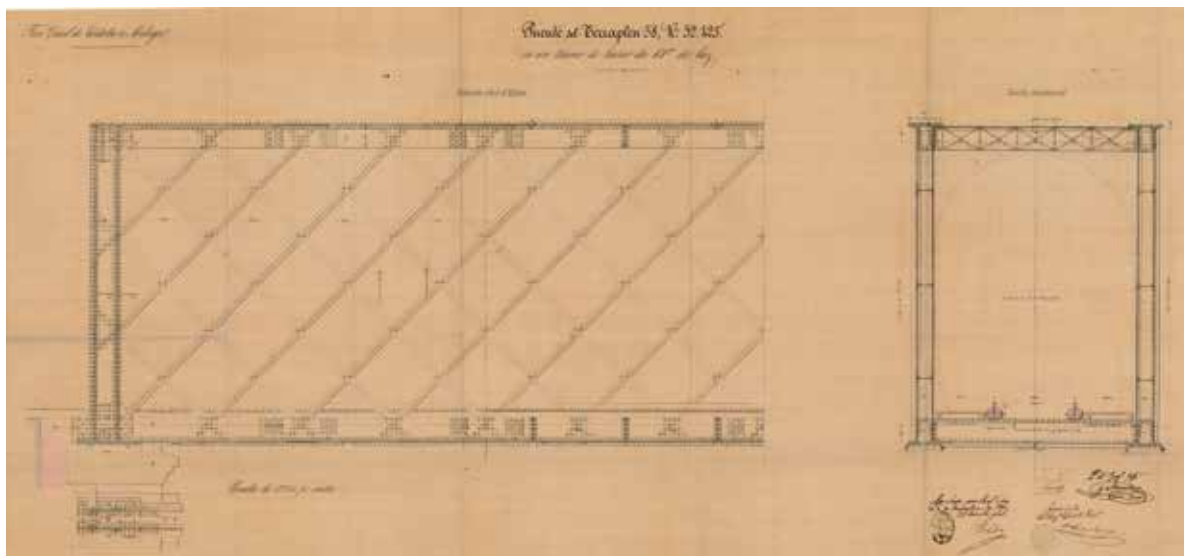


Figura 16. Proyecto del puente del terraplén del km 52., detalles de cuchillos y sección transversal. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/ 25-07041.



Figura 17. Detalle de la celosía con refuerzos a cortante y aparatos de apoyo del tramo metálico sobre los estribos. Viaducto del Barrancón, fotografía del autor

Además de los puentes resueltos con la solución principal de celosía, tanto la línea de Córdoba como la de Granada incluían buen número de puentes sen-

cillos, con luces inferior a 10 m. Se resolvieron por lo general con entramados de vigas armadas en doble T (figura 18). En cuanto a los pasos superiores, quedaron resueltos por el sencillo expediente de formar un forjado de palastro sobre viguetas metálicas.¹⁹

Además de la superestructura metálica, los apoyos de los puentes constituyeron un importante capítulo del diseño, implicando en ocasiones obras de gran envergadura. Como norma general se recurría a la fábrica. En algunas ocasiones estas obras alcanzaron dimensiones monumentales, como en el caso de las pilas de 45 m de altura del viaducto del Barrancón (figura 4).

Aunque también se recurrió con frecuencia a las pilas metálicas, que fueron de dos tipos: tubulares gemelas de fundición (figuras 3 y 7) y triangulaciones metálicas ligeras. Se formaban estas últimas con cuatro soportes de sección circular arriostrados a distintos niveles en varias direcciones (figura 19)

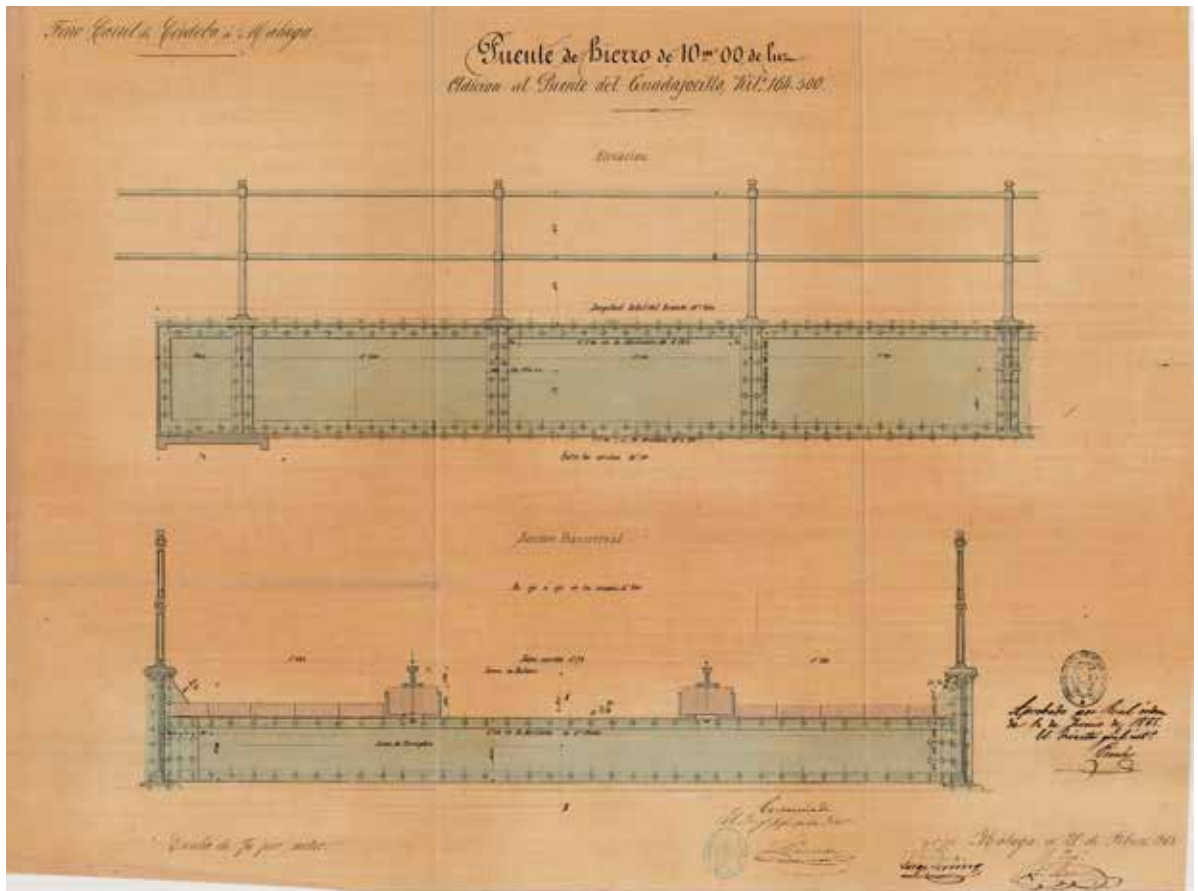


Figura 18. Tablero formado por entramado de vigas armadas para el tramo de 10 m del primer puente sobre el río Guadajoz (mismo esquema que el primer puente del Tajo, Falla Chica). Archivo General de la Administración, signatura 04/087/25-07041

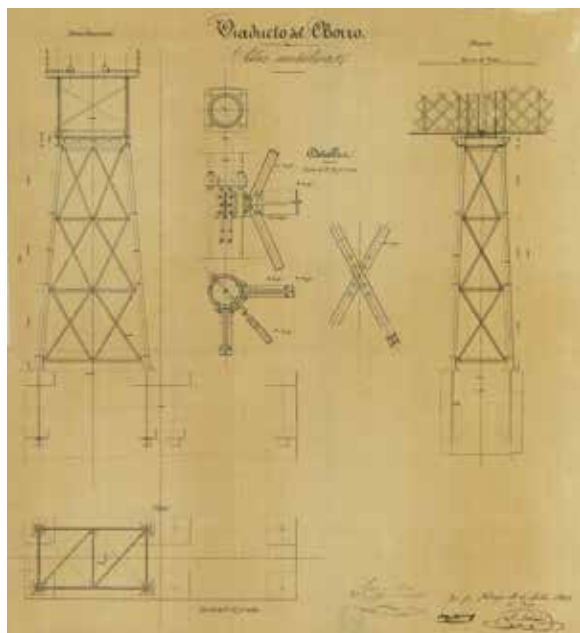


Figura 19. Detalle de las pilas metálicas del viaducto del Chorro. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/25-7402

Una destacada exigencia de proyecto fue la disposición de pilas y estribos de doble anchura, habilitados para una hipotética ampliación de la línea a doble vía. Esta adoptada fue adoptada en todo el recorrido de la línea de Córdoba (exceptuando la zona de los Gaitanes) tanto para los puentes con apoyos de fábrica (figura 9) como en los de pilas metálicas (figura 20).

Los puentes de la línea de Granada, en la sección adjudicada inicialmente al empresario José de Salamanca, se levantaron ajenos al diseño del resto de las líneas. Son muy escasas las referencias a ellos y las alteraciones experimentadas por la línea no han deja-

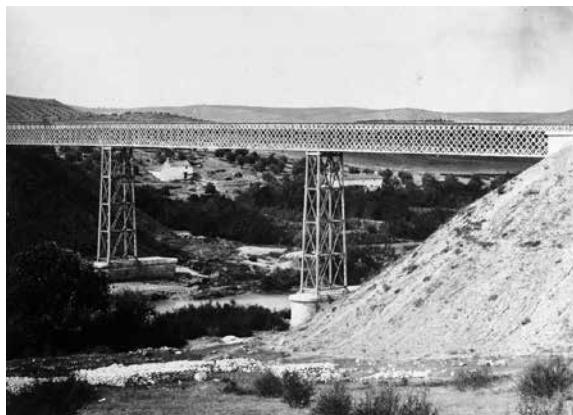


Figura 20. Puentes sobre el río Genil en Genil (Spreafico 1867). Los basamentos de fábrica de las pilas tienen doble anchura Patrimonio Nacional, Real Biblioteca. Signatura FOT/259

do evidencias. De atender a los proyectos presentados en 1864 se resolverían indistintamente con celosías y entramados sencillos de vigas de alma llena. Contrariamente a los puentes de De Mesa, Arriete y Dupuy, se dispusieron siempre tramos aislados sin continuidad. Tal sería el caso del puente sobre el arroyo Milano, en las proximidades de Loja, que estaba formado por tres tramos isostáticos de 11 m de luz (figura 21).

Para cerrar este capítulo cabe reseñar una circunstancia ciertamente paradójica. Aunque la formidable empresa de la construcción del ferrocarril se había emprendido para garantizar la supervivencia de la siderurgia malagueña, todo el material empleado en la construcción de los puentes fue importado. En efecto, en el registro de material certificado por la aduana consta la entrada de «cuarenta tramos de palastro para puentes con todos sus accesorios» entre 1861 y 1863. El mate-

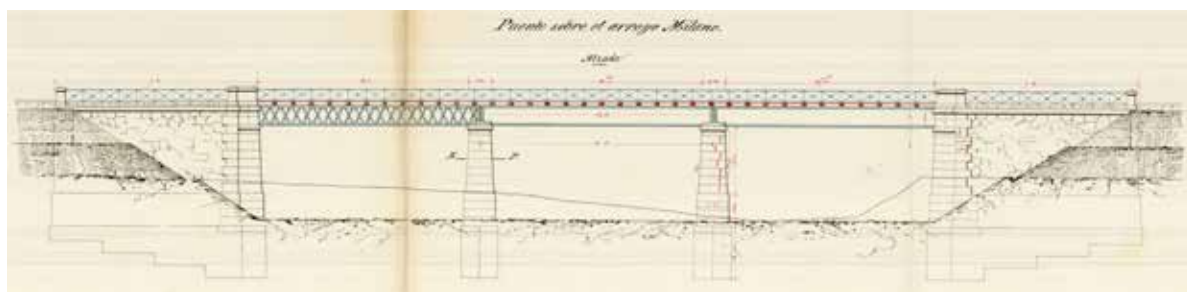


Figura 21. Puentes sobre el Arroyo Milano, proximidades de Loja, proyecto de 1864. 33 m de luz en tres vanos continuos. Se trata del puente más complejo de la parte de la línea construida por la empresa de J. de Salamanca. La configuración de la viga metálica no está definida con precisión. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/ 24-13358

rial, despachado en los puertos franceses de Marsella, El Havre y Saint Nazaire, incluía hierro en barras planas, planchas, clavos para remaches etc... Todo ello por un valor de de ocho millones de reales.²⁰

Procedimientos de ejecución

Junto al diseño general, la ejecución de los puentes conllevó una serie de procesos constructivos que también serían de gran complejidad,

Comenzando lógicamente por la cimentación, cabe señalar que esta se planteó racionalmente, eligiendo los sistemas más convenientes en función de las características del terreno. La decisión se apoyó en un ajustado conocimiento del terreno, obtenido a partir de reconocimientos geotécnicos (figura 22). Se disponía al efecto de cuatro aparatos de sondeo adquiridos en 1860.²¹

Por lo general, las cimentaciones se materializarían de forma directa, previo agotamiento de la excavación mediante bombas y ataguías. Así mismo, cabe suponer que en buen número de casos habría que recurrir a cimentaciones profundas con pilotes de madera hincados.²²

Estos procedimientos habituales fueron sin embargo inapropiados en ciertas ocasiones, como en el caso del viaducto de Córdoba sobre el Guadalquivir (figura 2). Los ingenieros de la línea tuvieron que recurrir al sistema de pilas tubulares de fundición, que se hincaron hasta 6 m de profundidad en el lecho del río. Esta operación se realizó aplicando el sistema de agotamiento en seco por introducción de aire comprimido (*Gaceta de los caminos de hierro* 1864a). Se trataba de una de las primeras implementaciones de

esta técnica en España, familiar para los técnicos de la compañía Vitali.²³ El mismo sistema se utilizó más adelante en el puente de la Quebrada sobre el Genil (figura 7), de la línea de Granada.

Otro punto clave de la ejecución de los puentes, una vez materializados sus apoyos, era la colocación de la superestructura metálica. En el momento de la construcción de los puentes de Málaga ya era habitual resolver esta operación mediante su lanzamiento. Hay constancia de la verificación de esta maniobra en algunos casos, que fue celebrada públicamente como todo un acontecimiento (*Gaceta de los caminos de hierro* 1864b):

«Invitados por la empresa constructora del ferrocarril de Córdoba á Málaga, tuvimos el gusto de asistir al lanzamiento del puente sobre el Guadalquivir [...] al momento que dejamos los coches nos llamó la atención ver sobre la vía el magnífico puente que ha de ser arrastrado hasta quedar colocado en su sitio; es del sistema americano de Town, y mide una longitud de 200 metros, en cuatro tramos de a 50; [...]; el lanzamiento se hace por medio de tornos, siendo una operación tan lenta que apenas se percibe a la simple vista, lo que se comprende fácilmente al contemplar aquella mole de hierro que pesará más de 40 ó 50.000 arrobas.»

Pero aún siendo la maniobra más indicada, no se pudo implementar en todas las circunstancias. En la zona de los Gaitanes no había espacio disponible al lado del emplazamiento para montar los tramos sobre el suelo. Por ello se tuvo que recurrir mayoritariamente a montarlos sobre costosas cimbras (figura 23). Incluso puentes de tanta entidad como el viaducto del Chorro se armaron de esta forma, aunque con la ayuda de caballetes madera en lugar de cimbras.²⁴

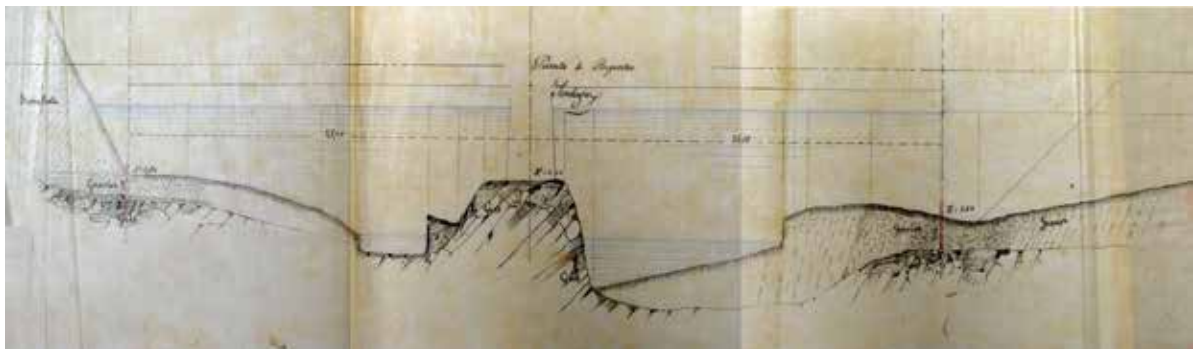


Figura 22: Reconocimiento geotécnico del emplazamiento del puente de Bogantes sobre el río Guadalhorce, con identificación del terreno y localización de los sondeos de las pilas metálicas del viaducto del Chorro. En Archivo Histórico Ferroviario, signatura A - 0012 - 019

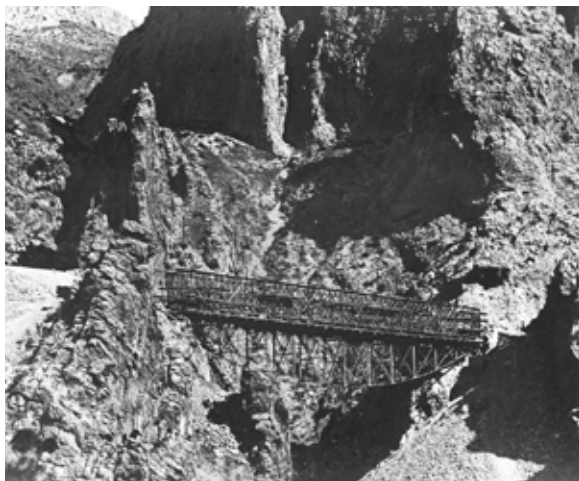


Figura 23. Construcción sobre cimbra del puente del Barranco de la Fuente (Spreafico 1867). Patrimonio Nacional, Real Biblioteca. Signatura FOT/259

Cuestiones de diseño estructural

Aunque en rigor no puede hablarse de proyectos de ejecución reglados, sí que se presentaron documentos técnicos relativos a la construcción de los puentes. Redactados prácticamente al mismo tiempo que se levantaban estos (muchos de ellos tienen incluso fecha posterior), no estaban concebidos para servir de guía de la ejecución, sino que más bien constituían una justificación de la configuración adoptada.

Ello no obstante, cada uno de estos proto-proyectos incluía una memoria en la que, una vez seleccionada la forma del puente idónea (elegida a partir de argumentos constructivos y exigencias funcionales como el aseguramiento de la sección de desagüe), se justificaba racionalmente, mediante cálculos, su estabilidad y resistencia.

Ciertamente, desde el punto de vista de un observador actual, los planteamientos estructurales adoptados pueden parecer elementales e incluso estar basados en hipótesis simplificadoras no del todo probadas. Pero contemplados en su contexto, revelan que los creadores de los puentes aplicaron con acierto algunos de los más avanzados postulados de diseño estructural de su tiempo.

Lo más relevante del proceso analítico seguido por los ingenieros del Ferrocarril Málaga-Córdoba-Granada (Arriete, Dupuy y de Mesa) fue la justificación del diseño de las vigas o cuchillos principales de los puentes.



Figura 24. Determinación del momento de inercia y cálculo de la tensión de trabajo en llos cuchillos, según la fórmula de Navier. Proyecto del Puente del Barranco de la Fuente. Antonio Arriete, ingeniero. Archivo General de la Administración, signatura 04/087/ 25-07041

En líneas generales, el objeto primordial del cálculo era garantizar la resistencia de los diferentes elementos del puente ante las más peligrosas situaciones de carga a que iba a estar sometido en su vida útil.²⁵ Apoyándose en consideraciones empíricas se descartaban las acciones dinámicas, quedando limitado el análisis a una combinación de cargas gravitatorias estáticas, el peso propio del puente y una «carga de prueba» lineal de 4000 kg/m, valor tomado, a falta de indicaciones propias, de las prescripciones de la Administración francesa (de Mesa 1862).

A partir de la carga lineal uniforme así inferida, se pasaba a la determinación de los esfuerzos máximos que podrían actuar sobre los cuchillos. Se calcularon las sollicitaciones en las distintas configuraciones (un tramo aislado, dos tramos en continuidad, tres o más tramos en continuidad), obteniéndose valores máximos exactos, tanto de los momentos flectores como del cortante.²⁶

El proceso de comprobación estructural concluía con la determinación de las tensiones originadas por estos esfuerzos en las diferentes piezas y su comparación con la capacidad resistente del hierro constituyente. Asumiendo siempre un comportamiento elástico de este, la comprobación de flexión se hacía con precisión, utilizando la fórmula de Navier (figura 24). Los ingenieros se aseguraron de que las tensiones en los cuchillos así calculadas se mantenían siempre por debajo de los 80 MPa, valor admitido como límite de seguridad.

La comprobación de esfuerzos cortantes era menos precisa. A pesar de que recientemente se habían difundido las teorías de Jourawski (Alzola 1871), p. 25, las verificaciones de los puentes de Málaga eran

más superficiales, consistiendo en el reparto del esfuerzo cortante entre las chapas que componían el enrejado de celosía, cotejando que no se superaba la capacidad mecánica del hierro a compresión. En cualquier caso, intuitivamente se confiaba en la ayuda aportada por los «refuerzos verticales de sección T», los cuales, aparte de dar rigidez a los cuchillos, contrarrestaban la tendencia al pandeo de las fajas comprimidas de la celosía (de Mesa 1862).

Las comprobaciones estructurales alcanzaban a otros elementos, secundarios, de la superestructura, tales como las viguetas transversales del forjado y los carriles longitudinales de debajo de los carriles.

Con el paso del tiempo, quedaron de manifiesto las deficiencias de esta configuración de los puentes de celosía, que llegó a hacerse canónica. En 1953 el ingeniero de caminos Domingo Mendizábal, posiblemente el mayor experto en puentes metálicos que haya habido en España, destacaba que (Mendizábal 1953):

«Este tipo es, indiscutiblemente defectuoso por varios conceptos, pero principalmente porque al unirse las barras en los cruces se desnaturaliza por completo el sistema mediante un reparto de esfuerzos de defectuosa determinación y cálculo; unión, por otra parte, precisa, pues las barras empleadas, siempre de escaso espesor, no podrían resistir adecuadamente los esfuerzos de compresión.»

Señalaba también el eminente ingeniero que los puentes presentaban escasa rigidez transversal. No obstante, en su momento estas circunstancias no podían ser previstas por los proyectistas de los puentes. Teniéndolo presente, cabe darse por apropiadas las verificaciones estructurales verificadas, que por otro lado fueron refrendadas en la práctica, a lo largo de la vida útil de los puentes.

EVOLUCIÓN Y ESTADO ACTUAL

Pero a pesar de sus eficientes proyecto y ejecución, los puentes originales del ferrocarril de Málaga a Córdoba y Granada no tuvieron la duración que podía esperarse cuando fueron construidos. En ello tuvo mucho que ver el hecho de haber estado la infraestructura ininterrumpidamente en uso hasta la actualidad. Durante estos ciento cincuenta años han sufrido importantes alteraciones, de forma que sólo uno de ellos, el viaducto del Barrancón, en la línea de Granada, ha llegado hasta nuestros días tal y como fue construido (figura 4)

El primero en desaparecer fue paradójicamente una de las obras señeras de la línea, el viaducto curvo del Chorro. Concebido para salvar una amplia ladera inclinada sobre el Guadalhorce, se proyectó primeramente por Pedro de Mesa con cuatro tramos rectos de 40 m de luz cada uno sobre pilas ligeras metálicas. Pero durante los reconocimientos previos a su construcción, se constató de incluir un tramo más en el extremo norte, debido a la inestabilidad del terreno. Con este planteamiento empezaron los trabajos de construcción, principiándose los estribos y los basamentos de fábrica de las pilas. Volvieron a manifestarse los inconvenientes del terreno, teniendo el ingeniero Arriete que añadir otros tres nuevos tramos, esta vez con pilas de fábrica para aprovechar como tal el estribo previamente construido (Arriete 1863). De esta forma quedó el viaducto en su configuración definitiva, entrando en servicio con el resto de la línea (figura 6).

Sin embargo, pese a las soluciones de urgencia, el problema de la ladera, lejos de estar corregido, debió seguir manifestándose con intensidad. De tal forma llegaría a comprometer la estabilidad de la línea que finalmente se optó por su sustitución por un túnel. El viaducto del Chorro fue finalmente desmontado en 1894.²⁷

Muy pronto se perdió también, aunque por razones catastróficas, el puente sobre el río Campanillas, significativo por ser el primero que se construyó. En septiembre de 1906 perdió uno de sus estribos por causa de una riada. Estando en vías de ser reparado, otra extraordinaria avenida, la de otoño de 1907, terminó de arruinarlo completamente, arrastrando aguas abajo toda la parte metálica.²⁸ Fue sustituido por un único tramo recto de vigas trianguladas de 73 m de luz. A su vez, este fue sustituido tras la Guerra Civil por otro de cinco tramos rectos de hormigón armado (Viader 1944).

En estas primeras décadas de la explotación del ferrocarril ninguno otro de los puentes presentó problemas. Pero justamente entonces se verían implicados en una dinámica de revisión general que tenía por objeto su adaptación a las nuevas exigencias de carga. El proceso comenzó en 1893, cuando la Administración solicitó a todas las compañías la realización de las pertinentes pruebas de resistencia en los puentes de sus líneas. Esta medida, junto con la publicación, en 1902, de la Instrucción española para la redacción de proyectos de puentes metálicos, constituyeron el arranque de un amplio programa que conduciría, a lo

largo del primer tercio del siglo XX, a la renovación de los puentes metálicos de toda la red española de caminos de hierro (Mendizábal 1919).

En la línea de Málaga a Córdoba, tan poblada de puentes, el proceso fue largo y costoso. Como era de esperar, las pruebas practicadas confirmaron que ninguno de ellos era apto para las nuevas condiciones de servicio. Llegó a plantearse su refuerzo, pero terminó imponiéndose la sustitución de la superestructura metálica recurriendo a triangulaciones sencillas de tipo Pratt, que son las que han llegado hasta nuestros días.

Sin embargo, en una cantidad considerable, se optó por sustituir los tramos metálicos originales por arcos de fábrica, una tipología que ciertamente ya podía considerarse anacrónica. Apoyándose en las dificultades de ejecución, la fórmula estaba justificaba para los puentes del desfiladero de los Gaitanes, cuya materialización fue ciertamente complicada.²⁹ No tanto así en el caso del puente de Pizarra, sustituido ya en época de la II República por tres arcos rebajados de fábrica, que aprovechaba la pila original.

En contraste con la relativa eficacia con que se solventó el asunto en la línea original, la de Granada vería pasar el tiempo sin que acometiera la sustitución de los puentes. Se conservaron los originales hasta 1980, cuando ya las restricciones de la circulación alcanzaron niveles insostenibles. Se recurrió a la socorrida fórmula de sustituir los tramos metálicos primitivos, sustituidos por modernos tableros de hormigón prefabricado y apoyados en las antiguas pilas y estribos.³⁰ Solamente quedaría a salvo del achatarramiento el soberbio viaducto del Barrancón, que fue doblado con un moderno viaducto de dovelas de hormigón pretensado, al no ser viable económica y funcionalmente la sustitución (González Díaz, Padilla, y Cáceres 1983).

CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN

De la investigación llevada a cabo se deducen las siguientes conclusiones:

- Los puentes originales del Ferrocarril de Málaga a Córdoba y Granada constituyeron un conjunto homogéneo, concebido y materializado desde los mismos supuestos.
- Su configuración surgió de una estrecha colaboración técnica hispano-francesa, cuyos máximos responsables fueron los ingenieros De Mesa, Arriete y Dupuy.

- Fueron concebidos racionalmente, a partir de la más actualizada teoría Estructural de la época. Como corresponde a la práctica característica de la Construcción moderna, su diseño se plasmó en documentos técnicos que sirvieron de guía para la ejecución

- Esta se llevó a cabo con procedimientos no artesanales, derivados del progreso científico-industrial de la época.

De tal forma que este conjunto de puentes puede encumbrarse como arquetipo de la tipología de tramos rectos en España, concretados en su variedad de celosía metálica.

NOTAS

1. La cual se constituyó en asamblea celebrada en abril de 1861.
2. Incluyendo dos locomóviles movidos a vapor, según consta en el Libro de registro de material importado y material certificado por la aduana para la construcción del Ferrocarril de Córdoba a Málaga. Archivo Histórico Ferroviario, signatura A - 0242 – 003.
3. Serían inaugurados con ocasión de la visita de la reina Isabel II a Málaga (Franquelo 1862), pp.163-168.
4. Por ejemplo, el insigne ingeniero Pablo de Alzola, uno de los principales defensores de la tipología, tuvo oportunidad de observarlos estando ocupado en la creación de su magnífico puente de hierro sobre el río Guadalhorce, obra con la que se daría a conocer.
5. Tal vez el más esclarecedor sea la crónica de la inauguración de la línea de Córdoba, que tuvo lugar en agosto de 1865. Se consigna su condición de ingeniero jefe de la compañía Vitali, siendo destacada su condición de principal artífice técnico junto al ingeniero español Arriete (*Gaceta de los caminos de hierro* 1865).
6. Se conservan en el Archivo Histórico Ferroviario diversos proyectos de Pedro A. de Mesa, como el “Proyecto definitivo de la línea en el trozo comprendido entre Málaga y la Venta de Romero, km. 0 a 17,8 antiguos, 192 a 175 actuales” (signatura A-0012-002); “Tipos de obra de fábrica de 0,5 a 10 m. de luz, túneles y muros del proyecto definitivo en el trozo comprendido entre la Venta de Torres en el km. 16.674 y la salida de túnel de Val de Yeso en el km. 62.776” (signatura A - 0014 – 002).
7. Proyecto de construcción de un puente sobre el río Campanillas en la línea de Córdoba a Málaga, enero de 1861. Archivo Histórico Ferroviario, signatura A - 0012 – 003.
8. Proyecto de construcción de un puente sobre el río Campanillas en la línea de Córdoba a Málaga, enero de 1861. Archivo Histórico Ferroviario, signatura A - 0012 – 003.

9. El diario *La Nación*, en su número de 27 de diciembre de 1850 recogía la noticia en estos términos: «Hoy ha tenido lugar la prueba facultativa de la nueva construcción sobre el río Besós. El señor ingeniero inspector de este distrito [Barcelona], la junta directiva y varias personas respetables han asistido al referido acto, cuyo resultado ha sido altamente satisfactorio. Una máquina con su correspondiente tender, y arrastrando varios coches y dos vagones cargados de carriles, ha cruzado repetidas veces el puente, ora pausadamente, ora con toda velocidad. Tanto el señor ingeniero como las demás personas que allí se hallaban han quedado plenamente convencidos de la bondad y solidez de la obra».
10. Cuyo principal cometido era «el examen de los proyectos de obras públicas que se remitan a ella de la capital y de las provincias, aprobándolos, desechándolos o modificándolos convenientemente» (*Gaceta de Madrid* 1835).
11. Formaba parte del personal de Obras Públicas en Málaga, de donde fue llamado por el propio Jorge Loring en 1862 (*Gaceta de Madrid* 1862).
12. Ferrocarril de Granada, propuesta de modificación del trazado de Granada a Campillos entre Talanco y Loja (1864). Archivo General de la Administración, signatura 04/87/24/13358.
13. Como los puentes construidos por los innovadores ingenieros suizos de la familia Grubenmann durante la segunda mitad del siglo XVIII (Meyer 1907) pp.97-98.
14. Se trata de los tres puentes del tramo oriental de la línea de Granada, cuyo diseño fue completamente ajeno al del resto de puentes de la infraestructura.
15. No se ha podido localizar documentación técnica que permita concretar de modo concluyente las dimensiones del viaducto de Puente Genil y del puente de Batán Viejo sobre el Guadalhorce.
16. Los esfuerzos de flexión en el centro de los vanos son mucho menores si se dispone una única viga sobre apoyos intermedios. De este modo, o bien se pueden utilizar vigas mucho más livianas que las necesarias en la configuración de tramos biapoyados, o bien se pueden alcanzar luces mayores.
17. Proyecto de un tramo metálico de 68 m de claro en sustitución del terraplén aprobado en el kilómetro 52,425. Memoria descriptiva, 1865.
18. Se disponían celosías más densas en los apoyos y más livianas en el centro de los vanos, respondiendo a la correspondiente mayor entidad del esfuerzo cortante en una viga recta con carga continua (Fernández Troyano y Sáenz 2011), p.56.
19. Tal fue el caso del paso superior del camino de Montilla a la Sierra y a la fuente de Santa María, proyectado por Arriete en 1865. Se conserva en el Archivo General de la Administración con la signatura 04/25/07042/029.
20. Libro de registro de material importado y material certificado por la aduana para la construcción del Ferrocarril de Córdoba a Málaga. Archivo Histórico Ferroviario, signatura A - 0242 - 003.
21. *Ibidem*.
22. En el libro de registro de material de la aduana consta la compra de 40 bombas, 25 martinets de hinca y una gran cantidad de «palos redondos» de madera de pino. Archivo Histórico Ferroviario, signatura A - 0242 - 003.
23. Fue utilizado en el cercano puente de Lora del Río sobre el Guadalquivir, de la línea de Córdoba a Sevilla.
24. Según puede apreciarse en una fotografía tomada por el fotógrafo José Spreafico durante su construcción, la cual está incluida en (Fernández Rivero 2012).
25. Evidentemente, por su configuración, el puente era estable; y aunque eran conocidas las deformaciones, en la práctica se asumía que garantizada la resistencia, estas no superarían valores que impidieran el normal uso del puente.
26. Ya se conocía el teorema de los tres momentos de Clapeyron y otras herramientas teóricas para determinar los momentos de tramos rectos en configuraciones estáticamente determinadas o no (Molinos y Pronnier 1857) pp.25-41. De este modo, para el caso de un tramo aislado, isostático, se consideraba un momento máximo de valor $M=qL^2/8$, positivo, en el centro del vano; para dos tramos en continuidad, se consideraba un momento negativo máximo (en el apoyo de la pila) de valor $M=qL^2/8$ y un positivo máximo de valor $M=9qL^2/128$ (a $3/8$ de la luz medidos a partir del estribo).
27. Según consta en oficio de 1894 que se conserva en el Archivo Histórico Ferroviario. Signatura A - 0100 - 018.
28. Expediente de la sustitución del puente sobre el río Campanillas, 1906-1908. Archivo Histórico Ferroviario. Signatura A - 0013 - 004.
29. Para el puente del Tajo se presentaron hasta tres proyectos, en 1926, 1928 y 1935 (Archivo Histórico Ferroviario, signatura A- 0064 - 001). El viejo tramo metálico llegó incluso a sobrevivir a intento de voladura durante la Guerra Civil, no siendo sustituido hasta después de la contienda.
30. Fueron aprovechadas incluso las vetustas pilas tubulares del puente de la Quebrada sobre el Genil.

LISTA DE REFERENCIAS

- Alzola, Pablo. 1871. *Proyecto y construcción de un puente sobre el río Guadalhorce*. Madrid: Imprenta y Estereotipia de Rivadeneyra.
- Arriete, Antonio. 1863. «Ferrocarril de Córdoba a Málaga. Proyecto definitivo del Viaducto del Chorro». Proyecto técnico. Málaga.
- Belhoste, Jean-François, y Thierry Claeys. 2017. «Philippe Vitali». *Centraliens*, octubre de 2017.

- Chemin de Fer de Cordoue à Malaga. Statuts.* 1861. Paris: Imprimerie Centrale des chemins de Fer.
- Cuéllar, Domingo, y Andrés Sánchez Picón. 2008. *150 años de ferrocarril en Andalucía : un balance.* Sevilla: Consejería de Obras Públicas y Transportes.
- Del Valle, Lucio. 1861. «Influencia de las Ciencias Exactas y Naturales en las Artes de la Construcción y más particularmente en aquéllas en que figura el hierro como principal elemento de trabajo. Discurso de entrada en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales». *Gaceta de Madrid*, 8 de abril de 1861.
- Fernández Rivero, Juan Antonio. 2012. «La obra fotográfica de José Spreáfico». En *Imatge i Recerca : Jornades Antoni Varés*. Girona.
- Fernández Troyano, Leonardo, y Amaya Sáenz. 2011. «Los puentes metálicos del siglo XIX en España». En *El puente de hierro de Logroño: Sagasta y las obras públicas en el siglo XIX*, editado por Begoa Arrue Ugarte. Logroño: Fundación Práxedes Mateo-Sagasta.
- Franquelo, Ramón. 1862. *Crónica de la visita de SS. MM. y AA. a Málaga y su provincia en octubre de 1862.* Málaga: Imp. de D. Ramon Franquelo. <http://www.bibliotecavirtualdeandalucia.es/catalogo/es/consulta/registro.cmd?id=1013462>.
- Gaceta de los caminos de hierro.* 1862a. «Ferro-carril de Córdoba a Málaga», 1 de marzo de 1862.
- Gaceta de los caminos de hierro.* ———. 1862b. «Sociedad del Ferrocarril de Córdoba a Málaga. Memoria leída en la Junta General de accionistas el 28 de abril de 1862», 25 de mayo de 1862.
- Gaceta de los caminos de hierro.* ———. 1863. «Sociedad del Ferrocarril de Córdoba a Málaga. Memoria leída en la Junta General de accionistas el 28 de abril de 1863», 10 de mayo de 1863.
- Gaceta de los caminos de hierro.* ———. 1864a. «Sociedad del Ferrocarril de Córdoba a Málaga. Memoria leída en la Junta General de accionistas el 28 de abril de 1864», 22 de mayo de 1864.
- Gaceta de los caminos de hierro.* ———. 1864b. «Ferrocarri-les en construcción», 2 de octubre de 1864.
- Gaceta de los caminos de hierro.* ———. 1864c. «Fusión de los ferro-carriles de Málaga y Granada», 2 de octubre de 1864.
- Gaceta de los caminos de hierro.* ———. 1865. «Descripción del Ferro-carril de Córdoba a Málaga», 27 de agosto de 1865.
- Gaceta de Madrid.* 1835. «Real orden fijando los principales puntos en que debe ocuparse la junta consultiva de la inspección general de Caminos, Canales y Puertos.», 5 de mayo de 1835.
- Gaceta de Madrid.* ———. 1839. «Dirección general de caminos, canales y puertos. Estado de los progresos que ha registrado la construcción de un camino carbonero en Asturias.», 21 de octubre de 1839.
- Gaceta de Madrid.* ———. 1853. «Acta del reconocimiento verificado en el ferrocarril de Almansa en virtud de la Real Orden de 9 de agosto de 1853», 14 de agosto de 1853.
- Gaceta de Madrid.* ———. 1860. «Real decreto nombrando Vicepresidente de la Junta referida á D. Antonio Arriete, Inspector general del mismo cuerpo.», 22 de abril de 1860.
- Gaceta de Madrid.* ———. 1861a. «Pliego de condiciones particulares para la concesión del ferro-carril de Campillos a Granada», 20 de mayo de 1861.
- Gaceta de Madrid.* ———. 1861b. «Parte Oficial, Ministerio de Fomento», 11 de junio de 1861.
- Gaceta de Madrid.* ———. 1862. «Real orden autorizando al Ayudante tercero de Obras públicas D. Gabriel Arrabal para que pase al servicio de la sociedad anónima titulada Ferro-carril de Córdoba á Málaga.», 5 de agosto de 1862.
- García Montoro, Cristóbal. 2007. «La crisis de la siderurgia malagueña». *Revista de Estudios Regionales*, n.º 79: 291-313.
- González Díaz, Francisco, Juan Padilla, y Manuel Cáceres. 1983. «El nuevo puente del “Barrancón”, modelo de moderna ingeniería ferroviaria», 1 de junio de 1983.
- James, J.G. 1980. «The evolution of Iron Bridge Trusses to 1850». *The International Journal for the History of Engineering & Technology* 52 (1).
- Lacomba, Juan Antonio. 1974. «El ferrocarril Málaga-Córdoba (1859-1879)». *Jábega*, 1974.
- Laveye, Auguste. 1867. «Ferro-carril de Córdoba a Málaga y Granada». *Gaceta de los caminos de hierro*, 24 de marzo de 1867.
- Martínez Cobo, Enrique. 2008. «Biografía de don Pedro Antonio de Mesa Arroquia, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos 8Jódar 1826-Madrid 1875)». *Elucidario. Seminario bio-bibliográfico Manuel Caballero Venzalá*, 2008.
- Mendizábal, Domingo. 1919. «Refuerzo y sustitución de tramos metálicos». *Revista de Obras Públicas*, 18 de enero de 1919.
- . 1928. *Estudio y construcción de tramos metálicos.* Vol. I. Madrid: Sucesores de Rivadeneyra.
- . 1953. «Evolución de los tramos metálicos en España». *Revista de Obras Públicas*, 1953.
- Mesa, Pedro de. 1862. «Ferro-carril de Córdoba a Málaga. Proyecto definitivo. Obras especiales de la sección del Gaitán». Proyecto técnico. Málaga.
- Meyer, Alfred G. 1907. *Eisenbauten. Ihre geschichte und aesthetik.* Esslingen: Paul Neff Verlag.
- Milla, Francisco. 1862. «Proyecto de un Ferrocarril a Granada desde el de Málaga a Córdoba cerca de Campillos». Archivo Histórico Ferroviario.
- Molinos, L., y C. Pronnier. 1857. *Traité théorique et pratique de la construction des ponts métalliques.* París: Morel et Cie.

- Monterde, Andrés. 1859. «Proyectos de obras públicas estudiados». *Revista de Obras Públicas*, 1859.
- Romualdo, José. 1974. «Centenario de la llegada del ferrocarril a Granada». *Vía Libre*, 1 de junio de 1974.
- Rumeu de Armas, Antonio. 1980. Madrid: Ediciones Turner.
- Saavedra, Eduardo. 1858. «Ferro-carril de Langreo». *Revista de Obras Públicas*, n.º 9.
- Spreafico, José. 1867. «Álbum fotográfico de las obras de Fábrica del ferrocarril de Córdoba a Málaga».
- Viader, Alberto. 1944. «La sustitución de puentes en las antiguas líneas de los Ferrocarriles Andaluces». *Revista de Obras Públicas*, 1 de noviembre de 1944.

Antonio Burgos Núñez es Profesor Contratado Doctor en el Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica de la Universidad de Granada.