

Visión de la evolución tipológica en ingeniería de puentes metálicos durante los siglos XIX-XX en el ámbito de las provincias de Palencia y Burgos

Vision of the typological evolution on iron bridge engineering during XIX and XX centuries within Palencia and Burgos provinces

Roberto Serrano López

Ingeniero Técnico de Obras Públicas. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Profesor del Área de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de las Estructuras en la Universidad de Burgos



Imagen de la pasarela sobre el río Pisuerga tras su colapso en 1927

Resumen

El artículo analiza la evolución de la tecnología constructiva de puentes metálicos durante el siglo XIX y XX, repasando una lista de los avances en resistencia de materiales e ingeniería estructural, además de las diferentes variedades tipológicas que fueron apareciendo a lo largo de los años. Se revisan muchas de estas tipologías con ejemplos de dos provincias españolas.

Palabras clave

Hierro. Puentes. Siglo XIX. Arqueología industrial. Palencia. Burgos.

Abstract

The article analyzes the evolution of iron bridge construction technologies during 19th and 20th centuries, going over the progress in materials resistance and engineering structural breakthroughs, as well as the different typological varieties that kept appearing throughout the years. Many of these typologies are reviewed with examples from two Spanish provinces.

Keywords

Iron. Bridges. 19th Century. Industrial archeology. Palencia. Burgos



Roberto Serrano López

Roberto Serrano (Burgos, 1979), es Ingeniero Técnico en Obras Públicas en la Especialidad de Construcciones Civiles (2000), e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (2003), en ambos casos por Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Burgos.

Durante su primera etapa profesional, se dedicó a trabajos de Consultoría Técnica en Proyectos, Estudios Informativos y Asistencias Técnicas a Obras, de diferentes infraestructuras lineales a nivel nacional (vías de alta capacidad y líneas de alta velocidad). Como coordinador y técnico de proyectos, debía implicarse en diversos aspectos de su diseño: trazado y análisis de alternativas, minimización de las afecciones ambientales y patrimoniales, estudios económicos y de rentabilidad, geología y geotécnica de suelos, estructuras, túneles...

Mientras tanto, procuraba dedicar el poco tiempo libre que disponía para continuar su formación, cursando por libre varias asignaturas sueltas de la Licenciatura en Humanidades, y sin dejar de lado sus aficiones artístico-literarias.

A partir de 2008 decide dar un vuelco radical a su carrera, ejerciendo desde ese momento como profesional libre, continuando con trabajos de consultoría y asistencia en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, y ampliando su abanico de posibilidades de actuación (estudios de impacto ambiental, energías renovables, canteras, instalaciones de I+D...). Simultáneamente termina los Cursos de Doctorado en Ingeniería Civil e Industrial, y comienza su etapa como investigador. En 2009 realiza un Máster en Patrimonio Cultural. En 2010 entra como Profesor Asociado en la Universidad de Burgos, en el Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de las Estructuras.

Ha disfrutado de ayudas institucionales para trabajar como colaborador en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Burgos en el Proyecto de Investigación sobre reutilización de escorias para fabricación de morteros, y en 2009 recibió una Beca de Investigación para su trabajo "Arquitectura e Ingeniería del Hierro en las provincias de Burgos y Palencia (1830-1940)", que permitió comenzar con sus estudios en este ámbito del Patrimonio. Bajo este mismo título espera terminar, en unos meses, su Tesis Doctoral en la propia Universidad de Burgos.

Contacta con el autor: rserrano20523@ciccp.es

INTRODUCCIÓN

Cada vez más, y parece que definitivamente, se comienza a tomar conciencia del valor real e importancia histórica de las realizaciones de estas etapas tempranas de la industrialización, teniendo en cuenta el gran número de transformaciones sociales, económicas y culturales que comenzaron a madurarse en este periodo (Álvarez, 2007 y 2010; Sobrino, 2010). Dentro de este marco general, son muchos los organismos y administraciones del ámbito de la Cultura y Patrimonio que han empezado de forma paulatina a identificar y catalogar aquellas realizaciones que todavía se conservan y que constituyen los primeros ejemplos de conceptos como estandarización, seriación, prefabricación, nave o fábrica, casi todos ellos asociados al desarrollo de la industria siderúrgica y su progresiva generalización en todos los ámbitos productivos y comerciales¹.

No obstante, siguen existiendo dificultades para conseguir la sensibilización de la opinión pública sobre la importancia de muchas estas construcciones, por su interés desde diferentes puntos de vista: histórico, cultural, técnico, artístico, emocional o testimonial, práctico... (Aguilar, 1998: 240-244). En este artículo se pretende realizar un breve análisis de la evolución de una parte de esta tecnología, particularizada a la evolución teórica y experimental de la Ingeniería de Puentes, y aportando para ello una serie de ejemplos que la Historia ha dejado en las provincias de Palencia y Burgos, aunque de alguna de ellas ya sólo quede, lamentablemente, constancia documental.

Para un observador ajeno a los principios técnicos y científicos que quedan envueltos en los distintos diseños, así como las complejas relaciones laborales y sociales que fueron desarrolladas para su implantación, junto a las propias condiciones de trabajo, muchos de estos valores potenciales no pueden ser identificados de forma directa (Linarejos, 2007: 41); es por esto que son sus características puramente estéticas o dimensiones monumentales las que, a priori, pueden resultar más llamativas. En muchas de ellas, su uso público, su ubicación alejada de núcleos habitados, su economía de medios o sencillez de formas, las ha sumido en un cierto olvido o rechazo, a una ausencia de sensibilidad social que influye directamente en la propia administración (Linarejos, Fernández-Posse, Humanes, De la Mata, 2002: 209; Humanes, 2007: 48-49). Pero no debe olvidarse que son precisamente algunas de estas consideraciones las que las identifican y en algún caso las hace singularmente estéticas (Alzola, 1892: 536-550; Leonhardt, 1980: 25-30; Biel, 2000: 128), y de las cuales han nacido movimientos que sí han alcanzado mayores reconocimientos artísticos con el paso del tiempo (al margen de las edificaciones asociadas a lo que comúnmente se asocia al término Arquitectura del Hierro), como es el caso del Funcionalismo o Racionalismo².

1.- LA TECNOLOGÍA DE LAS CONSTRUCCIONES METÁLICAS EN PUENTES

La tecnología metálica, es decir, la correspondiente al hierro y acero tal como hoy la conocemos, nace a partir de la Revolución Industrial, y continúa desarrollándose, creciendo y cambiando de manera continuada de la mano de los avances teóricos y tecnológicos que se producen, principalmente, a lo largo del siglo XIX (Aguiló, 2008: 234).

La visión diacrónica de su constante evolución permite observar una primera fase de tímida utilización de sus recursos³, casi siempre imitando formas y conceptos academicistas (Burdalo y Delgado, 1987: 141-142) asociados a las construcciones habituales hasta ese momento (Aguiló, 2008: 40-43): elementos a compresión simple o arcos (como la piedra), o secciones trabajando a flexión hasta ciertas luces (madera). Suele ser habitual en esta etapa inicial ver al hierro mezclándose con los materiales tradicionales para, poco a poco, tomar una total personalidad en todo el conjunto de la construcción (Ávila, 2000).

Para el caso particular de los puentes, esta etapa inicial es propia de las primeras realizaciones en Inglaterra, y de la que son claros ejemplos los puentes sobre el río Severn en Inglaterra, obras de Abraham Darby III y Thomas Telford (todavía en el siglo XVIII) (Manterola, 2006: 20-21; Aguiló, 2008: 210). Enseguida, las noticias sobre las buenas experiencias obtenidas ampliaron el campo de actuación del nuevo material. Otros muchos proyectistas se animaron a construir con él, lo que favoreció una simbiosis con el crecimiento de la industria siderúrgica que se encargaba de la provisión de las piezas necesarias para estas construcciones. Muy pronto se comenzó a aprovechar las características resistentes a tracción del hierro en la tipología de puentes colgantes, mediante cadenas o cables de los que se suspendía un tablero que todavía era de madera y se caracterizaba por sus excesivas deformaciones bajo cargas móviles. A nivel internacional, Finley y Telford son los nombres propios en esta tipología durante las primeras décadas del s. XIX (Manterola, 2006: 32).

A medida que avanzaba el siglo XIX, aumentaba el interés por conocer mejor las propiedades de los materiales y sus límites resistentes y funcionales. Aparece así una carrera de avances teóricos en el campo de la Teoría de Estructuras y la Resistencia de Materiales, de la mano de una nueva profesión emergente que buscaba salidas útiles y con posibilidades comerciales a los conocimientos puramente físicos o matemáticos: los ingenieros. Se publican numerosos tratados sobre estas novedades tecnológicas y sus aplicaciones industriales o civiles, y aparecen cada vez nuevos métodos, teoremas y formulaciones que permiten ampliar cada vez más las luces, ajustar las secciones, conocer el comportamiento interno de las piezas bajo carga, plantear la discretización de estructuras y la transmisión de esfuerzos entre piezas.

Es en esta época cuando se dan a conocer los trabajos de Young sobre elasticidad (1807) (Timoshenko, 1953: 92), a los que siguen las publicaciones de Navier con la teoría general de la flexión (1826) (Timoshenko, 1953: 78-79; Manterola, 2006: 20; Heyman, 2004: 102), y posteriormente numerosísimas aportaciones de otros técnicos, físicos y matemáticos como Jourawski con el método de los nudos (1850) (Timoshenko, 1953: 189); Schwedler que establece la relación entre esfuerzos cortantes y flectores (1851) (Timoshenko, 1953: 189); Saint Venant con las bases de la teoría de torsión (1853) (Kurrer, 2008: 399; Todhunter, 1863: 1); el Teorema de los tres momentos (Bertot, 1855, y Clapeyron, 1857) (Kurrer, 2008: 305, 316); Menabrea con el de Trabajo mínimo (1857) (Kurrer, 2008: 360; Timoshenko, 1953: 289); Ritter con el método de las secciones (1862) (Delony, 1996); las aportaciones a la resolución gráfica de estructuras de Culmann (1866) (Kurrer, 2008: 318); el concepto de líneas de influencia (Winkler y Mohr, 1868) (Kurrer, 2008: 751); el método de Cremona (1872) (Timoshenko, 1953: 197); el Teorema de reciprocidad (Maxwell, 1864, y Betti, 1872) (Timoshenko, 1953: 204, 320); el primer teorema de Castigliano (1873) (Kurrer, 2008:

360) y los teoremas de Mohr (1874) (Timoshenko, 1953: 207; Kurrer, 2008: 357); el principio Müller-Breslau (1886) (Kurrer, 2008: 752)... el goteo de novedades en este campo no cesa a lo largo del siglo XIX y continúa posteriormente durante el s. XX hasta nuestros días. Y todo ello con el aval de las numerosas construcciones que se ejecutaban de la mano, sobre todo, del desarrollo de la red ferroviaria junto a los retos constructivos que se proponían las Exposiciones Universales que se convocaron.

Dentro de este apartado constructivo, y aunque existieron desde mediados del siglo XIX propuestas de vigas de alma llena, de los cuales son referentes los puentes tubulares de Robert Stephenson de Conway (1849) y Britannia (1850) (Manterola, 2006: 23) fueron, sin duda alguna, las diferentes tipologías de celosías las que acapararon el mayor número de ejecuciones. Fueron surgiendo diferentes patentes y posibilidades, y todas ellas serán protagonistas en las construcciones ejecutadas progresivamente hasta finales del siglo XIX e incluso principios del XX⁴: Town (1820) con su celosía múltiple o rejilla inicialmente asociada a la construcción en madera; Howe, (1840); Whipple y el Bow-String (1841); Pratt (1844); Warren (1848); Gerber (1866) y su evolución hacia las Cantilever... También hubo notabilísimas propuestas de arcos metálicos que forman parte de los hitos de la ingeniería a nivel mundial⁵, desde las propuestas de Polonceau para el Pont Carrousel de París (1834) (Aguiló, 2008: 222), hasta los grandes arcos metálicos del puente de Saint Louis (Eads, 1874) (Manterola, 2006: 31), o los de los viaductos de María Pía (Seyrig-Eiffel, 1877) (Manterola, 2006: 29) y Luiz I (Seyrig, 1885) (Fernández Troyano, 1999: 335) en Oporto, y el de Garabit en Saint-Flour, Francia (Eiffel-Koechlin, 1884) (Serna y Rui-Wamba, 2006: 97). El Firth of Forth escocés es el mejor ejemplo de tipo Cantilever (Fowler y Baker, 1890) (Arenas, 2002: 540-547). [Ilustración 1]

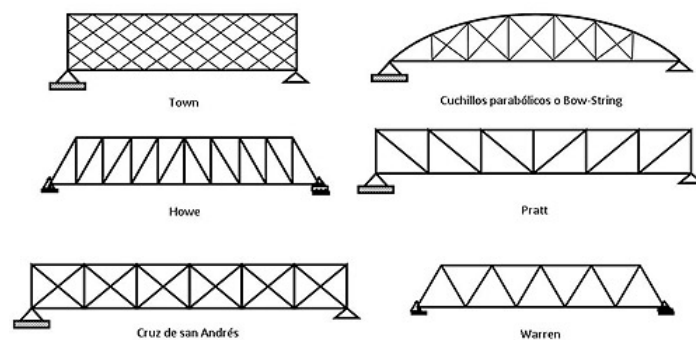


Ilustración 1. Esquemas de los diferentes tipos básicos de celosías

En las últimas décadas del s. XIX también hay un resurgir de los puentes colgantes, mezclándose con sistemas atirantados y tableros de mayor rigidez (Aguiló, 2008: 290-291) para minimizar los problemas detectados en las primeras experiencias⁶. Las vigas de alma llena en sección doble T también se comenzaron a utilizar en puentes de carretera y ferrocarriles especiales de menores cargas⁷; solo posteriormente, cuando el coste de la mano de obra asociada al trabajo casi artesanal del roblonado era superior al del material necesario, fueron ganando terreno a las celosías incluso para grandes luces. Por otro lado se desarrolla en paralelo la vertiente más industrial de esta tecnología: de las necesidades funcionales surgen muy pronto los perfiles estandarizados angulares y doble T (1817 y 1837 respectivamente) (Ávila, 2000). Estas novedades se verán posteriormente avaladas por la propia resistencia de materiales, cuando este último se define como una forma óptima para su uso en flexión, sumándose a sus bondades desde

el punto de vista constructivo. La aparición del convertidor Bessemer y el Horno Martin Siemens (Serna y Rui-Wamba, 2006: 91, 102; Manterola, 2006: 20) permitió sucesivas mejoras de los hierros hacia los aceros consiguiendo que, durante cierto momento, el uso de este material se erigiera de forma casi monopolizadora en la ejecución estructuras de cierta envergadura, como las que se necesitaban en las nuevas redes de transporte que se estaban construyendo en ese momento (Burdalo y Delgado, 1987: 138; González Fraile, 2007: 258-259).

2.- LOS EJEMPLOS DE LA EVOLUCIÓN TIPOLOGICA DE LOS PUENTES EN EL ÁMBITO DE LAS PROVINCIAS DE PALENCIA Y BURGOS

La entrada en juego del ferrocarril abrió la puerta de entrada de las novedades que se estaban asentando en otros países más adelantados industrialmente, principalmente Francia e Inglaterra. Las concesiones de las nuevas líneas solían ser acaparadas por capitales extranjeros (Cuéllar, 2007: 24-34) que llegaban a España ofreciendo la solución completa a su implantación y desarrollo, aprovechando sus experiencias anteriores en el extranjero. Entre 1856 y 1930 se construyeron en las dos provincias señaladas gran cantidad de kilómetros de caminos de hierro (Wais, 1974: 713-728):

- En primer lugar la línea Madrid hacia Francia, que buscaba la conexión de la capital de España con el país vecino pasando por el nudo de Venta de Baños, que le abría las puertas hacia el puerto de Santander, junto con la línea de conexión Tudela –Bilbao, pasando por Miranda de Ebro.
- La Venta de Baños-Alar, en paralelo y en competencia con el Canal de Castilla.
- La Alar del Rey-Santander que continuaba el trazado anterior hacia el Cantábrico aumentando sus posibilidades comerciales.
- La línea hacia Galicia, siendo el primero de los tramos el de Palencia-León.
- Posteriormente comenzaron a fraguarse los ejes transversales como el del corredor del Duero, con la línea Valladolid-Ariza.
- También se construyeron líneas de vía estrecha como el ferrocarril minero de La Robla a Valmaseda, o los Secundarios de Castilla.
- Finalmente, el intento de conexión Santander-Mediterráneo, que cierra la etapa de líneas construidas en este ámbito durante el período de apogeo de las estructuras metálicas.

La construcción de todas estas líneas llevó asociada el movimiento de una gran cantidad de elementos metálicos prefabricados para su ensamblaje en obra o en talleres cercanos, ejecutándose tanto puentes de distintas dimensiones y formas, como edificaciones asociadas a las estaciones, talleres y naves de uso específico.

Dentro de los objetivos de este trabajo, nos centraremos únicamente en la parte de estructuras de paso⁸, junto a los pocos puentes carreteros y pasarelas que también se construyeron con material metálico en esta época. Se realiza, por tanto, un repaso tipológico a todas estas realizaciones que, tan solo en estas dos provincias, permiten abarcar la mayor parte de las posibilidades y variantes mencionadas:

A) Puentes y pasarelas colgantes

Esta posibilidad estructural fue profusamente utilizada durante la primera mitad del siglo XIX en toda Europa, por su rapidez de ejecución y sus posibilidades de establecer grandes vanos de forma simple. No obstante, esta moda estructural se detuvo bruscamente tras el colapso de varios de ellos, ya que no se disponía de un conocimiento completo de su comportamiento frente a cierto tipo de cargas variables y móviles (vientos, acciones oscilantes) (Manterola, 2006: 35-36), así como la deficiente conservación que por parte de sus responsables se ejercía una vez puestos en servicio. Se han documentado ejemplos muy tempranos de esta tipología en España, el puente sobre el Cadagua (1822) y el peatonal de San Francisco sobre el Nervión (1828), ambos de Antonio Goicoechea. En la línea del tiempo se sitúan muy cerca del primer puente colgante concebido para el paso específico de vehículos (Union Bridge, 1820) ejecutado en Inglaterra (Navascués, 2007: 46-47).

Centrándonos en el ámbito geográfico de este estudio, de los puentes colgantes de uso carretero tan sólo queda constancia documental de dos, uno en cada provincia, y que seguramente sean los únicos que hayan existido. De hecho, tan sólo tengo constancia de la existencia de otro en toda la comunidad de Castilla y León: un ingenioso montaje provisional ejecutado en León por D. Eduardo Saavedra en el año 1864 (Abad y Chías, 2008: 390).

En la provincia de Burgos hay numerosas noticias sobre la existencia de un majestuoso puente colgante sobre el río Ebro a la altura del núcleo de Quintanilla-Escalada, proyectado por el ingeniero D. Cipriano Martínez de Velasco (siguiendo los criterios del sistema usado para el puente francés de La Roche-Bernard)⁹ y puesto en servicio el año 1847. En cuanto a sus dimensiones, disponía de “235 pies de claro, 22 pies de flecha y 34 pies de altura sobre las aguas bajas”, atendiendo a la reseña publicada en la *Revista de Obras Públicas* (González de la Vega, 1855: 121). Traducidas a unidades actuales, resultarían aproximadamente unos 65 m de luz.

Su apertura también aparece comentada en algún periódico de noticias madrileño. Parece que este puente continuó en uso hasta comienzos del siglo XX, ya que según se expone en la crónica del viaje realizado por Alfonso XIII relatado por el corresponsal de *La Época* en septiembre de 1905, en el momento de atravesarlo tuvieron que desviarse por otro provisional: “el gran puente colgante sobre el río Ebro se ha hundido, y se ven los grandes estribos nada más”. Más tarde fue sustituido por otro metálico, que a su vez tuvo que ser reconstruido tras los daños que sufrió al comienzo de la Guerra Civil¹⁰.

En cualquier caso su construcción primitiva tuvo, prácticamente, que solaparse en el tiempo con el de la localidad palentina de Dueñas, la segunda de las referencias encontradas. De éste sí existen publicadas algunas imágenes que permiten tomar idea de su aspecto (sus dimensiones eran algo mayores a las del Ebro) (Arenas, 2002: 648-650). [Ilustración 2]

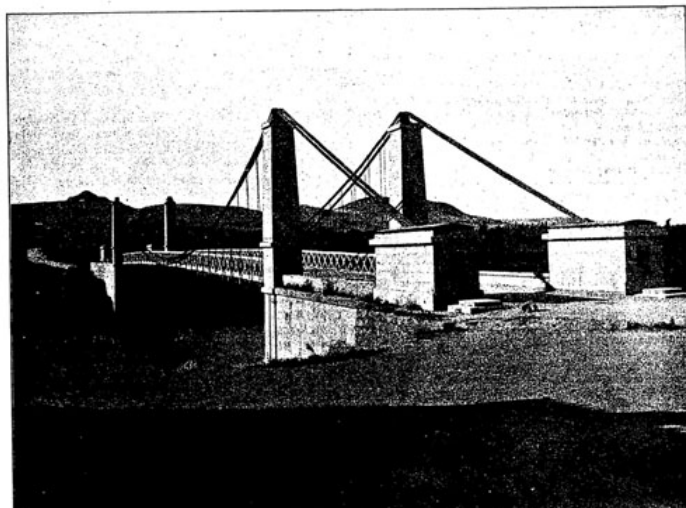


Ilustración 2. Perspectiva del desaparecido puente colgante de Dueñas (Palencia)

En este segundo caso su longitud alcanzaba los 72 m, siendo concebido por el también ingeniero Andrés de Mendizábal, autor del primer proyecto del Puente Colgante de Valladolid (Navascués, 2007: 62). Se construyó en 1845, y en las diferentes noticias publicadas en la Revista de Obras Públicas se destacaba la introducción de un sistema especial de pozos de amarre que permitía la inspección de los puntos de anclaje de los cables en los estribos¹¹, y contó con materiales procedentes de talleres de Valladolid y Bilbao (Navascués, 2007: 66). No obstante, un defectuoso mantenimiento hizo necesario su incautación por parte del Estado (ya que anteriormente era competencia municipal), procediendo a una reparación integral en 1874.

Para cruzar sobre el río Pisuerga, el paso poseía una sección transversal de 5,60 m. repartidos en un carril central de 4 m. y dos andenes laterales de 0,80 m cada uno. El tablero, de madera, se alzaba sin pilas intermedias suspendido de un sistema de cables que colgaban de unos pilares en los extremos, sobre cada uno de los dos estribos. Los pilares presentaban una altura de 7,70 m. separados 4,50 m. entre sí, con una sección rectangular de 1,66 x 1,40 m. El arriostrado longitudinal se conseguía mediante una barandilla de madera de roble en forma de cruz de San Andrés, que aumentaba la rigidez de la sección transversal solidarizándose a las vigas mediante barras de hierro.

Durante su vida útil, el puente fue presa de un incendio en el año 1883 que acabó con el entablado de madera, razón por la cual tuvo que ser repuesto un año más tarde (ver nota 11).

Finalmente, el elevado coste asociado a su mantenimiento hizo valorar su sustitución por otra tipología más adecuada a las nuevas necesidades que el tráfico iba requiriendo. En 1924 se comenzó a construir un nuevo puente de vigas de hormigón armado en su emplazamiento, aprovechando la mayor parte de la obra de fábrica inicial. De entre los puentes colgantes construidos en España, se le reconoce como el más longevo: una vida total de cerca de ochenta años (Abad y Chías, 2008: 338).

Todavía hoy es posible contemplar una tercera estructura de esta tipología. Se trata de una pasarela peatonal, en las inmediaciones de Nogales de Pisuerga, construida el año 1921 según diseño de Alberto Corral, ingeniero que participó en las obras de reforma

del puerto de Castro Urdiales en 1881 (Ojeda, 2002: 226-227), y promovido por el dueño de la fábrica textil Campo, el conde de Mansilla. Se levantó para poder conectar la instalación fabril con el poblado que se erigía al otro lado del cauce. Consta de un vano de 30 metros de longitud, con un tablero de madera de poco más de un metro de anchura, suspendido de un sistema de cables amarrados en los estribos. Este paso es tristemente recordado por el fatídico acontecimiento acaecido el día 14 de julio de 1927, cuando cedió ante un exceso de carga. [Ilustración 3]



Ilustración 3. Imagen de la pasarela sobre el río Pisuerga tras su colapso en 1927

Mientras se celebraba una romería, un gran número de personas se acumulaba en uno de los lados apoyándose en su barandilla, lo cual provocó que oscilara lateralmente hasta derrumbarse, falleciendo varios de los congregados en el río. El paso fue reconstruido, siendo procesados el ingeniero y el promotor, y teniendo que esperar ambos hasta que en 1929 se demostrara judicialmente su inocencia tras varios informes periciales¹².

B) Puentes viga

Celosía tipo Town

Con esta forma de rejilla, heredera de las soluciones de vigas utilizadas en Estados Unidos con madera, fueron construidos muchos puentes metálicos en las primeras fases de implantación ferroviaria a nivel nacional. En particular, esta fue la opción desarrollada para los puentes de la línea Alar del Rey-Santander (una de las más tempranas de la península), según la dirección técnica del inglés Alfred Jee con el apoyo su hermano Morland¹³. Estos puentes fueron retratados durante y tras su ejecución en uno de los primeros reportajes fotográficos que se conocen en nuestro país, la colección que su autor William Atkinson regaló a la reina Isabel II y se conserva en el Archivo de Palacio Real de Madrid (Aguilar, 2007b: 83). La línea se desarrolla además por un maravilloso paraje natural, el desfiladero del Congosto y las formaciones geológicas de Las Tuerces. [Ilustración 4]

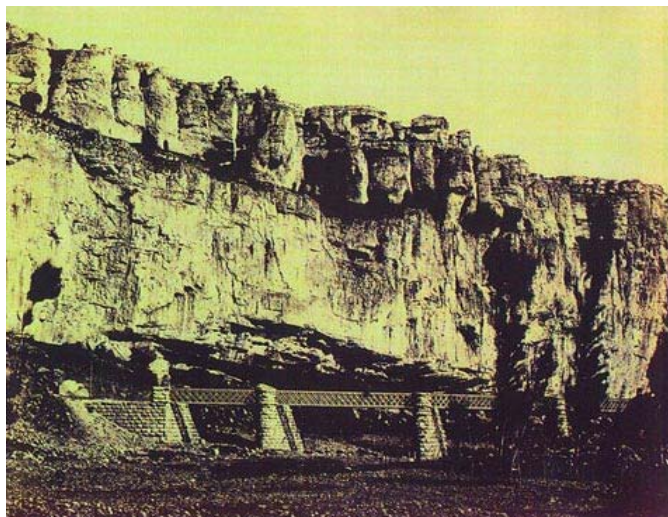
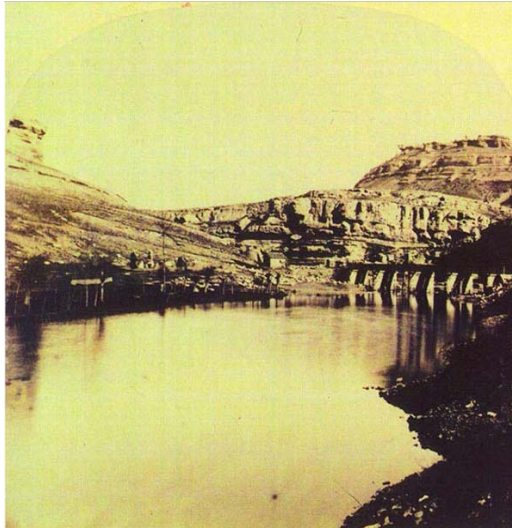


Ilustración 4. El puente del Congosto o de Valoria, sobre el río Pisuerga

De todos estos pasos únicamente quedan las fotografías, junto a alguno de los planos originales firmados por Morland Jee, así como parte de los informes de la comisión de ingenieros encargados de la supervisión de las obras (Félix de Wagon y Juan Luis del Rivero). Con todos ellos pueden reconstruirse sus dimensiones, acotadas en medidas imperiales, y las fechas aproximadas de su ejecución. También en el proyecto de sustitución de los tramos metálicos, redactado por el ingeniero José María Platero Cardinel, se encuentra alguna descripción somera con datos generales y el estado de los mismos antes de su desmantelamiento¹⁴. El inglés Isaac Dodds fue contratista principal de las obras de la sección Alar del Rey-Los Corrales, tal como se comenta en una de sus biografías (Major S. Snell, 1921). En las postrimerías de 1853 gran parte de las piezas metálicas de los puentes habían llegado ya para su acopio, procedentes de los talleres de Holmes Engine Works, propiedad de la familia Dodds y ubicados en Rotherham (cerca de Sheffield). La sección fue inaugurada en abril de 1857, por lo que estos pasos en la zona de Aguilar debieron ejecutarse en el intervalo 1854-1856, lo que concuerda con las publicaciones sobre las noticias de su construcción en la Revista de Obras Públicas.

Su composición era similar en todos los casos: cerchones de la tupida malla característica de esta tipología, a partir de tramos biapoyados entre las pilas y estribos, y repitiéndose hasta conseguir salvar la luz completa necesaria (entre 75 y 80 m. en total, con luces parciales entre 12 y 25 m.). [Link 1] [Link 2]



Link 1. Puente de la Horadada en Mave, sobre el río Pisuerga



Link 2. Puente del Conjuradero (sobre el Camesa)

Celosía Pratt

Existen dos ejemplos de estas características en las líneas de ferrocarril que atraviesan estas provincias. El primero de ellos en la Palencia- León, obra del francés Alphonse Oudry¹⁵ y que data del año 1863 (Barrón, 1863: 282). Tras salir de la estación de Palencia, el trazado cruza sobre el cauce del río Carrión mediante una estructura de tres vanos, dos laterales de 22,65 m. y el central de 26,30, y con un canto de vigas de 2 m.

El paso se desarrolla con cuatro vigas, dos por cada sentido de la marcha, que se apoyan en los extremos y dos pilas de fábrica intermedias. Entre cada pareja de estos cerchones existe una serie de riostras que las mantienen unidas a la distancia invariable de diseño. Dichas vigas transversales coinciden con los propios montantes verticales en las vigas, y permiten un arriostrado transversal de la sección desde su parte inferior, adoptando un perfil doble T armado mediante palastros y angulares roblonados, con dos secciones de rigidización intermedias a base de parejas de angulares adosados. [Ilustración 5]



Ilustración 5. Panorámica ampliada del puente sobre el Carrión, ubicado muy cerca del núcleo urbano de Palencia

Su construcción fue bastante lenta ya que, tras preparar previamente las piezas en los talleres de Palencia, se trasladaron para su montaje sobre el terraplén del estribo izquierdo, suponiendo un total de 40 jornadas para su ejecución¹⁶.

Este problema hizo meditar sobre mejoras en el procedimiento para el resto de pasos del tramo, que posteriormente fueron señaladas en alguna revista especializada de la época: aprovechar la propia línea para transportar los tramos previamente ensamblados en taller¹⁷.

También de este tipo es el existente en la línea Valladolid Ariza en las inmediaciones del pueblo de Vadocondes (Burgos), firmado por Teophile Seyrig¹⁸, socio calculista de Eiffel en su primera etapa como constructor. El puente, del año 1893, cruza el río Duero en un único vano de 61 m. de longitud y con casi 7 m. de canto total, organizándose con un cordón superior que se repliega con una diagonal hacia cada uno de los apoyos extremos, y otro inferior que une estos dos nudos finales. Ambos cordones están ejecutados con sección doble T mediante un armado de palastros y angulares perfectamente roblonados. [Ilustración 6]



Ilustración 6. Aspecto en “cajón” de la sección transversal del puente de Vadocondes sobre el río Duero

El entramado resistente se completa con una serie de montantes verticales y diagonales, de manera que su alzado responde a una secuencia de tres módulos a cada lado que

responden al tipo Pratt, mientras que la parte central se rigidiza con cuatro módulos arriostrados mediante cruces de San Andrés.

Esta solución resulta especialmente atractiva por la sensación de ligereza que se confiere a las barras verticales (secciones armadas mediante presillas), permitiendo el paso de la luz a su través. El arriostrado y el funcionamiento conjunto de la viga se consiguen mediante nuevas celosías superiores en sentido transversal a la altura de cada montante, cerrando una especie de “cajón” por la parte más alta de la sección.

Celosía en Cruz de San Andrés

Esta es la tipología de celosía con mayor número de ejemplos en el total de las dos provincias. Por una parte hay dos ejemplos de puentes de carretera, uno de ellos todavía en servicio, y otras cuatro realizaciones para pasos de ferrocarril.

Respecto a los de carretera, el más importante de ellos se encuentra ya desmantelado. Se trataba de una estructura de tres vanos sobre el cauce del río Nela, en las inmediaciones de Trespaderne (Burgos). El proyecto fue encargado al ingeniero Ramón de Aguinaga¹⁹, el cual estudió una modificación al proyecto inicial de 1876²⁰ para reducir el peso total de los tramos metálicos propuestos (aprovechando las mejoras tecnológicas que se habían introducido en la producción del hierro y que aumentaba sus características resistentes). El modificado data del año 1882 y, según los documentos que se conservan en archivo, el paso constaba de dos vanos laterales de 14,56 m. más uno central de 27,64 m., todos ellos resueltos mediante celosía metálica en cruz de San Andrés, de los talleres de la Sociedad Marítima y Terrestre de Barcelona (ver nota 18). El puente se acabó de construir en mayo de 1884²¹. [Link 3]



Link 3. Fotografía con el alzado del puente de Trespaderne a principios del siglo XX

La viga disponía de 2,2 m. de canto, y se armaba mediante dos cordones que quedaban atados mediante una celosía intermedia a partir de cruces de San Andrés y montantes verticales adicionales en los extremos de éstas. Las alas se formaron con dos palastros 350x8 mm. y angulares 80x80x10 mm., tanto superior como inferiormente, reforzándose con chapas adicionales en los apoyos intermedios y en el vano central.

Muy similar a éste, pero de un único vano, es el que permite para cruzar sobre el río Arlanza en las inmediaciones de Hontoria de Riofranco (Burgos). En este caso dispone

de una luz total de 40 m. entre apoyos y una sección transversal de 4 m. de anchura, con dos cuchillos armados mediante perfiles en escuadra y palastros roblonados para formar un contorno de dos cordones en T simétricos, superior e inferior, que se cierran lateralmente en los estribos con barras verticales de similar configuración. Cabe destacar la forma de solucionar las montantes, que presentan un diseño en ménsula discretizada mediante dos escuadras, una vertical y otra ligeramente inclinada, para formar un triángulo que se rigidiza interiormente con una nueva triangulación de chapas. [Ilustración 7]



Ilustración 7. Imagen del puente desde la margen derecha del río Arlanza

En cuanto a puentes de vías férreas, el primero con esta forma es el que construyó Charles Vignoles²² en Miranda de Ebro (Vélez, 1997a: 27), también en Burgos. Conocido como el Puente del Inglés, formaba parte de la línea Tudela-Bilbao antes de la ejecución del “by pass” ferroviario que circunvaló la ciudad. Fue construido en 1862 con cuatro vanos iguales de 20 metros cada uno, apoyados en los estribos laterales y tres pilas de fábrica en piedra arenisca (Vélez, 1997b: 111-112). Las vigas disponían de un canto mecánico de 1,98 m. en los tramos laterales y 2,28 m. en los centrales, consiguiendo de esta manera salvar el paso sobre el río Ebro (Vélez, 1997b: 112). Posteriormente fue objeto de dos reformas completas, cambiando de tipología las dos ocasiones, hasta su desmantelamiento el año 1990 (Vélez, 1997b: 113). [Link 4]



Link 4. Postal del año 1898 con la celosía diseñada por Vignoles

En Guardo (Palencia) la línea de vía estrecha de La Robla también dispone de un paso con este tipo de celosía. Este tren, de origen minero e ideado por Mariano Zuaznavar,

cruza sobre el Carrión con un único vano de 37 m. de longitud. El proyecto y la supervisión constructiva de las estructuras fueron encargados al ingeniero Manuel Oráa, siendo puesto en servicio el año 1891 (Fernández López y Zaita, 1987: 175-176). Se compone de dos cuchillos laterales con un total de 11 recuadros de 3,3 m. de lado aproximadamente, y ejecutado íntegramente por composición de perfiles angulares y palastros. La sección transversal se completa con una serie de vigas travesaño que atan los cuchillos principales a la altura de las montantes. [Link 5]



Link 5. Celosía en cruz de san Andrés del puente de Guardo

Por último, también la línea del corredor del Duero entre Valladolid y Ariza cuenta en esta zona con una estructura de esta clasificación. Se trata del cruce sobre el río Riaza, en San Martín de Rubiales (Burgos) construida por la empresa de Seyrig (González y Sánchez, 1992: 36). Presenta dos tramos de 25 m. cada uno, solución tipo que se repetirá en otros tramos metálicos del mismo ferrocarril (puede comprobarse la repetición modulada de luces en: García, 2005: 406), disponiendo en este caso de un tablero intermedio para evitar problemas con las cotas de máxima avenida de agua (González y Sánchez, 1992: 43). [Link 6]



Link 6. Imagen panorámica de la celosía de arriostrado inferior en el puente sobre el Riaza

Celosía Warren

El trazado de la línea Santander Mediterráneo posee un puente de este tipo a la altura del municipio de Trespaderne (Burgos). Esta estructura es, seguramente por sus dimensiones y su ubicación, una de las más espectaculares y mejor conservadas de esta provincia, enmarcándose en el de por sí bello paraje del desfiladero de la Horadada, surcado por el río Ebro. [Ilustración 8]

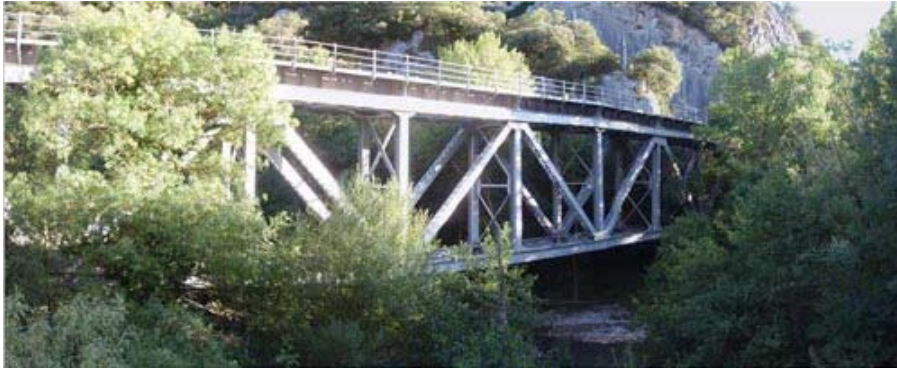


Ilustración 8. Celosía Warren en Trespaderne, Burgos. La vegetación tapa una visión completa del puente, 90 años después de su entrada en servicio

El diseño fue a cargo del ingeniero José de Aguinaga²³, técnico que firmó todos los proyectos de replanteo de los puentes de la línea. La construcción data del año 1929, y actualmente continúa en muy buen estado de conservación gracias a los trabajos realizados para su mantenimiento, permitiendo que siga en servicio para fines turísticos.

El paso dispone de un solo tramo de 61,6 m. de luz entre apoyos, totalmente metálico, con un canto de 8,30 m. medidos entre ejes de los cordones superior e inferior. La sección del cordón superior forma una U invertida, mediante dos vigas compuestas con dos angulares en la parte superior, y un alma de canto variable entre 600 y 900 mm., quedando unidos los mencionados angulares mediante una platabanda adicional por la parte de arriba. El cordón inferior queda armado con dos nuevas vigas compuestas separadas por montantes horizontales en U, completándose la estructura con la celosía principal que ata los cordones. Ésta se configura con una serie de montantes verticales en sección doble T, junto a las barras diagonales que destacan por la secuencia de celosías en cruz de San Andrés de su empresillado.

La solución completa, observada en la lejanía, posee las características propias de las grandes composiciones metálicas: un ejercicio de contraste entre la monumentalidad de sus dimensiones y la liviandad de sus barras compuestas, que permite pasar la luz a su través²⁴.

Vigas parabólicas, Arco- Flecha o Bow-String

Tras los estrepitosos colapsos de varios puentes colgantes, la “Comisión de estudios de puentes de hierro”, presidida por aquél entonces por Lucio del Valle, emite un informe el año 1860 en el que (con el estado de conocimiento que se tenía) quedaba claro que la fundición estaba por debajo del hierro como material para la construcción de puentes. Por sus características, no debía ser usado para salvar grandes luces (Arenas, 2002: 645). Otorgaba al palastro de hierro forjado cualidades más ventajosas para este tipo de estructuras, y daba preferencia al sistema Bow-String a partir de ese momento (Navascués, 2007: 63).

El Bow-string es, en definitiva, un sistema de vigas parabólicas en celosía. Su forma curva le permite adaptarse a la ley de variación de esfuerzos internos a que va a ser sometido en su etapa de servicio. Esto es, se acopla a la forma de la ley de momentos flectores que va a soportar, minimizando de esta manera las tracciones en el cordón inferior (Arenas, 2002: 646, 656).

Tras este informe, fueron muy numerosos los puentes proyectados y construidos siguiendo este sistema a lo largo de la geografía española durante varias décadas (debe de tenerse presente que Whipple ejecutó la primera experiencia de este tipo en 1840, y fue Isambard K. Brunel quien lo presentó en Europa durante la Exposición de París de 1855, mostrando una de sus realizaciones de 1849) (Navascués, 2007: 63). Así pueden señalarse el Puente de Prado de Valladolid (1865) (Chías y Abad, 2008: 331); los de Monzón (1876), Ontiñena (1877) y Santiñena (1883), los tres en la provincia de Huesca (Navascués, 2007: 99); los de Gallur (1902), Nuestra Señora del Pilar de Zaragoza (1895), y el de Caspe (1917), los tres de la provincia de Zaragoza (Biel, 2000: 140, 137, 143); o el de Toro (1907) en la provincia de Zamora (Abad y Chías, 2008: 319).

En la comunidad de Castilla y León, conozco además la existencia de varios otros ejemplos dentro de la provincia de León, todos ellos ejecutados en las primeras décadas del s. XIX: Villafer, Valderas, La Bañeza, Castroalbón y Sopeña de Carneros.

Dentro del ámbito de este trabajo, también encontramos un puente de esta categoría, en este caso en la propia capital palentina. El conocido como Puente de Hierro o de Abilio Calderón fue construido el año 1909, encargándose de su diseño dos técnicos: Luis Morales y Eduardo Jungairiño (González y Muñoz, 2001: 216). Aunque por falta de presupuesto no pudo completarse toda la decoración inicialmente propuesta, cumple con las características funcionales de esta tipología: dos grandes cuchillos parabólicos con una celosía interior, íntegramente metálico, incluyendo el tablero y las piezas de arriostrado transversal. [Ilustración 9]



Ilustración 9. El conocido como Puente de Hierro o Puente Abilio Calderón permite cruzar el río Carrión en la capital palentina

Cada una de las vigas, con una luz de 45 m., se armó con un arco principal ejecutado con chapas roblonadas siguiendo una directriz poligonal, y del cual se colgaron una serie de péndolas empresilladas que sujetan al tablero desde su parte inferior.

El contratista encargado del ensamblaje fue Martín Lago, que participó también en otras obras de tipo ferroviario en esta provincia²⁵.

Como en tantos otros ejemplos, además del propio ejercicio de composición y de la belleza intrínseca que la obra metálica consigue desde su fidelidad al modelo estructural que exige su desarrollo teórico previo, debe incluirse entre los valores que atesora la

gran carga artesanal que el gran número de uniones roblonadas exige durante el proceso de montaje. Debe reconocerse esta característica como uno de los elementos caracterizadores de esta etapa de la historia de la construcción, aspecto no tan visible en construcciones posteriores una vez generalizado el uso de la soldadura en todo tipo de conexiones.

Vigas de alma llena

Finalmente, pueden señalarse varios ejemplos que corresponden a la variante más sencilla de construcción: el de los dinteles rectos con vigas doble T. Como ya se ha indicado, los tratados de cálculo de la época apuntaban que esta posibilidad resultaba muy apropiada hasta cierto rango de luces, ya que poseen la forma más adecuada para resistir los esfuerzos de flexión a los que los puentes van a estar sometidos. Se ejecutaron soluciones de este tipo para acometer los recrecidos laterales en dos puentes de Burgos capital (los de San Pablo, en 1886, y Santa María, en 1887) (Iglesias, 2007: 63). Anteriormente, en 1864, existió una propuesta de Severiano Sáinz de Lastra²⁶ para sustituir una pasarela de madera por una estructura de vigas metálicas que nunca se llegó a ejecutar.

Pero son los pasos de ferrocarril los que permiten ver de forma transparente las piezas que los constituyen, sin aditamentos ni revestimientos de ningún tipo. Encontramos en primer lugar los correspondientes al ferrocarril de La Robla, entre los que existen tres realizaciones de esta clase, todas ellas diseñadas y construidas inicialmente por Manuel Oraá (Fernández López y Zaita, 1987: 175-180):

- En la provincia de Palencia está el de Barcenilla de Pisuerga, concluido el año 1891. Se trata de un puente de tres vanos de 10 m. biapoyados sobre el río Pisuerga, más otros dos pasos laterales de 3 m. para caminos de servicio. Se organiza mediante dos vigas o cuchillos principales que se armaron con palastros unidos con perfiles angulares, formando una sección en doble T que se refuerza mediante platabandas adicionales en el ala inferior de las zonas de mayores esfuerzos. [Ilustración 10]



Ilustración 10. Puentes sobre el Pisuerga, en el Ferrocarril Bilbao-La Robla

La sección transversal se completa con dos ménsulas laterales que permiten un espacio adicional para unos andenes peatonales, mediante perfiles angulares que forman un triángulo desde cuyo vértice se alza una barandilla de protección exterior. Durante su vida ha sido objeto de algunas modificaciones: en diciembre de 1909 una crecida arrastró tres de los tramos largos y uno de los cortos, por lo que

tuvo que ser reconstruido parcialmente; en mayo de 1912 se elevó la rasante 30 centímetros; y en 1944 se procedió al refuerzo general de los tramos metálicos (Fernández López y Zaita, 1987: 178).

- Ya en Burgos pueden verse el de Ahedo de las Puebas, sobre el río Nela, y el de Bercedo de Montija, sobre el Cerneja, los cuales fueron objeto de refuerzos de similares características en 1929, calculados y diseñados estos últimos por el ingeniero Guillermo Barandiarán. El primero, también del año 1891, consta de dos tramos oblicuos al cauce de 8,20 m. cada uno y una pila central de 2 m. de anchura (Fernández López y Zaita, 1987: 180). Longitudinalmente, se organiza con dos vigas principales armadas mediante perfiles angulares simples y palastro, mientras que en sentido transversal la sección se arriestra mediante cuatro travesaños doble T en cada vano, que mantienen las vigas unidas a la distancia de diseño. [Link 7] [Link 8]



Link 7. Puentes sobre el Nela, a la derecha, en el Ferrocarril Bilbao-La Robla



Link 8. Panorámica del puente sobre el río Cerneja

El segundo dispone, por su parte, de tres tramos rectos de 11 m. cada uno, con dos pilas de fábrica intermedias. Su sección se puede esquematizar con dos vigas de alma llena, armadas con angulares y palastro, con los correspondientes cubrejuntas en los empalmes intermedios, y ampliada lateralmente con una serie de ménsulas sobre las que se dispusieron paseos peatonales en ambos lados del paso.

En estas dos estructuras, como ya se ha apuntado, fue necesario realizar refuerzos inferiores para aumentar su resistencia y adaptarlos a las mayores exigencias de cargas que surgían con el tiempo. Así tuvieron que ser mejorados mediante dos

bielas verticales por vano que dividen su luz en tres partes, disponiendo en el tercio central una pareja de escuadras adosadas que aumentan la inercia de las vigas primitivas, y cerrándose mediante una prolongación en diagonal hacia cada uno de los extremos de los tramos biapoyados. De esta manera se consiguió aumentar el canto en la zona donde los esfuerzos de flexión así lo exigen, mientras que las diagonales laterales sirven para cerrar la celosía y recoger las tracciones de la parte central.

Por último, encontramos un amplio catálogo de esta tipología de vigas rectas dentro de la línea Santander Mediterráneo (todos ellos en la provincia de Burgos y firmados por el mismo ingeniero, D. José de Aguinaga). Debe tenerse en cuenta que ésta fue construida en la década de los años 20 del siglo pasado, momento en el que eran mucho mayores el conocimiento y la experiencia adquiridos sobre el comportamiento de estas secciones, además de que la calidad de los aceros había mejorado sustancialmente desde las primeras realizaciones decimonónicas.

En su trazado existen pasos de diferentes luces, desde vanos simples de 11 m., hasta puentes de uno o varios tramos de 13 a 22 m. De todos ellos merece destacar alguno de los más largos, aquellos donde la ingeniería y el desarrollo de la técnica se hacen completamente patentes. Se trata de alguna de las últimas estructuras de paso en ambas provincias ejecutadas mediante el roblonado de piezas simples. Más adelante, el hormigón armado y el pretensado, junto con la soldadura, relegaron a la Historia de la Construcción estas disposiciones que conferían una fuerte carga artesanal en las ejecuciones.

De entre los 23 puentes o pasos metálicos que posee este ferrocarril abandonado dentro la provincia de Burgos (González y Sánchez, 1992: 351-356), me limito a reseñar uno de ellos, el que cruza sobre el río Nela a la altura de la localidad de Cigüenza. Fue construido el año 1930, y consta de dos vanos rectos de 21 m. de longitud encima del río, más un tramo adicional de 8,9 m. sobre una carretera²⁷.

La sección transversal de los vanos largos está formada por dos vigas principales, armadas con perfiles metálicos simples y chapas laminadas. Cada una consta de cuatro escuadras 150x150x16 mm., con platabandas de 350x12 mm. para la formación de las alas y una nueva chapa que integraba el alma resistente reforzada mediante montantes verticales. [Link 9]



Link 9. Perspectiva lateral del puente de la línea Santander Mediterráneo sobre el río Nela

Parte de sus valores radican en su propia ubicación, completamente anexo al núcleo urbano de Cigüenza y abriéndose paso por una trinchera en la roca que aparecía inmediatamente después del estribo de salida; uno no puede dejar de imaginarse a las locomotoras de vapor cruzando varios metros por encima de las calles de esta localidad.

3.- REVISIÓN DE LOS EJEMPLOS DESCRITOS DENTRO DEL CONTEXTO NACIONAL

En el ámbito de la ingeniería de puentes, el cumplimiento estricto de la función estructural como obra de paso, así como la necesidad de ajustarse a un determinado presupuesto y plazos disponibles, constituyen las variables más importantes en el proceso de diseño²⁸. Además deben tenerse en cuenta los condicionantes propios de la ubicación particular en la que se pretende construir, sin entrar a matizar otras consideraciones de carácter estratégico, militar o político (circunstancias que en algunos casos también han sido importantes).

Básicamente, el proyectista utiliza su propia experiencia, aprovechando además otras propuestas más o menos innovadoras pero ya ejecutadas y comprobadas en otras construcciones para encajar su propuesta en el lugar concreto que se trate (Aguiló, 2008:27-28), solucionando simultáneamente las cuestiones relativas a la planificación de la construcción, la disponibilidad de materiales y mano de obra, ajustando todo ello al presupuesto disponible y un adecuado plazo de ejecución (facilidad de montaje, medios de transporte de las piezas...). No todas estas variables son fáciles de acotar en la fase de proyecto, por lo que durante la propia obra pueden sufrir modificaciones parciales en las soluciones propuestas inicialmente.

En cualquier caso, revisando los breves datos apuntados en los apartados anteriores, pueden realizarse una serie de consideraciones generales que se enmarcan en las características propias de los puentes ejecutados en el período analizado (que en su mayor parte son ferroviarios), tanto a nivel de la comunidad autónoma de Castilla y León, como a nivel nacional:

- A. En primer lugar, se observa la importante influencia extranjera tanto en lo que respecta a las empresas concesionarias de las líneas de ferrocarril (con

experiencia acumulada en este tipo de infraestructuras en otros países más adelantados), como de los técnicos que participaron en su puesta en marcha²⁹:

- a) La compañía del Norte (línea Madrid-Irún), con M. Fournier y M. Desogeries (Wais, 1987: 188);
- b) el Ferrocarril de Isabel II (Alar del Rey-Santander) con los hermanos Alfred y Morland Jee, George Mould , y siendo contratista el también inglés Isaac Doods y las piezas metálicas de los talleres ingleses Holmes Engine Works (Snell, 1921: 96, 132-136);
- c) el Ferrocarril de Tudela a Bilbao, donde destaca Charles Blacker Vignoles y su equipo, utilizando piezas metálicas de los talleres de la empresa inglesa Thomas Brassey & Co (Vélez, 1997a:27, 43-44);
- d) la Compañía del Noroeste (línea Palencia-La Coruña), con M. Debrousse como contratista principal y Mr. Alphonse Oudry como técnico encargado de las obras metálicas que fueron ejecutadas con perfiles de los talleres ingleses Lloyd, Foster & C. (Barrón, 1863: 280-282);
- e) la línea de Valladolid a Ariza, que tuvo como proyectista general a Boucher de la Martinère, mientras las estructuras metálicas fueron encargadas a la empresa de Teòphile Seyrig (González y Sánchez, 1995: 35-36);
- f) el Ferrocarril de La Robla a Valmaseda, en la que inicialmente los tramos metálicos fueron adjudicados a la casa belga Fumet de Charleroi (Fernández Díaz-Sarabia, 2003: 121); y
- g) la línea Santander-Mediterráneo, con la empresa Anglo-Spanish Co Ltd. (Wais, 1974: 426).

B. En segundo lugar, el proyecto general de las líneas de ferrocarril podía incluir una serie de estructuras tipo, encajadas para ciertas longitudes de vano, con objeto de reducir los tiempos de cálculo y redacción del propio documento contractual y, sobre todo, de optimizar la construcción a base de repeticiones, el uso de perfiles seriados, la prefabricación en taller... Sólo en caso de orografías singulares o río anchos se hacía un estudio específico sobre la idoneidad de una u otra tipología, recurriendo en el resto de casos a definir tramos tipo (normalmente biapoyados) que se repetían varias veces en función de la luz total a salvar.

Para el caso particular de las provincias de Burgos y Palencia, esta metodología es claramente visible en los puentes de la línea Santander-Mediterráneo. Incluso en la zona norte de Burgos (varios cruces con el río Nela) puede observarse una clara tendencia a la repetición de las estructuras, diferenciándose en el número total de tramos dispuestos en cada caso (García, 2005: 352-354). Tan solo el paso del Ebro fue revisado de una forma especial, optándose por una celosía Warren, cuyas bondades técnicas ya eran sobradamente conocidas en el momento de su diseño (Aguiló, 2006: 129). De hecho, la Revista de Obras Públicas se hacía eco de los estudios comparativos realizados en el extranjero sobre las diferentes posibilidades de celosía en el año 1880³⁰.

También en el tramo Palencia-Ponferrada se utilizaron tramos biapoyados de 20 m.³¹ de luz para cubrir los cruces con el Arroyo Retortillo, el río Sequillo y los

pasos sobre el Canal de Castilla, repitiendo una celosía tipo en todos ellos (Barrón, 1863: 282).

En el resto de líneas no es tan directamente visible este método de diseño, aunque se usara para el caso de pequeños pasos o tajeas metálicas. La presencia de cauces de cierta entidad (Duero, Camesa, Pisuerga), explica la mayor variedad de soluciones. Debe considerarse además que la línea Santander Mediterráneo fue ejecutada en los años 20 del siglo XX, varias décadas después de las anteriores, con medios y tecnología muy diferentes.

- C. Por otro lado debe considerarse que tanto la primera línea de ferrocarril de la Península (Barcelona-Mataró, 1848), como los tramos construidos en los primeros años de implantación de este nuevo método de transporte en España, contaron inicialmente con varias estructuras de celosía de madera³² (Rodríguez, 2000: 18).

En muy pocos años se empezó a construir gran cantidad de kilómetros de nuevos caminos de hierro, generalizándose la ejecución de puente de fábrica y metálicos de distintas tipologías (vigas de alma llena, celosías en rejilla o Town, celosías Pratt, vigas Linville, e incluso vigas trianguladas o Warren).

En este momento, los técnicos se encontraban en un debate a nivel internacional sobre las ventajas de cada sistema, utilizándose de formas muy variadas en diferentes geografías y latitudes. Los desarrollos teóricos sobre sistemas de barras internamente hiperestáticos estaban en pleno apogeo, dirigiéndose hacia la total articulación de los nudos extremos de las barras que las componen como la solución más adecuada (nótese que Maxwell no publicaría sus trabajos a este respecto hasta 1864, como se indica en el epígrafe 2).

Las patentes sobre estas celosías, excepto la Town, son relativamente cercanas en el tiempo a estas primeras construcciones ferroviarias (Whipple en 1841, Pratt en 1842 y Warren en 1848), y la experiencia de Stephenson con los puentes tubulares data de los años 1849-50. Hasta entonces, los ejemplos de puentes colgantes y arcos de fundición sí son numerosos a nivel internacional, e incluso se habían realizado las primeras pruebas en España de estos dos tipos. Whipple construyó una de sus celosías en 1840 sobre el canal del Eire (Aguiló, 2008: 123). En Europa, la primera celosía metálica data de 1845, en Inglaterra; en Alemania de 1853; en Rusia de 1857 (Aguiló, 2008: 122); en Polonia en 1850 (Aguiló, 2008:129). Estos datos nos proporcionan una idea de la progresiva implantación de estas novedades estructurales, que se apoyaron fundamentalmente en el desarrollo de las propias redes de transporte ferroviario.

A España esta tecnología llegó, como ya se ha apuntado anteriormente, de manos de ingenieros y empresas extranjeros (principalmente ingleses y franceses). Gracias a sus experiencias anteriores pudo implantarse rápidamente una red cada vez más tupida de caminos de hierro, que unía los puntos más importantes de la Península. Realmente fue una importación tanto de conocimientos como de piezas y materiales, ya que la industria siderúrgica española todavía no se había desarrollado lo suficiente como para abordar las

grandes necesidades de hierro que surgieron durante la segunda mitad del siglo XIX.

Tomando como base los listados publicados por José Luis García Mateo en su *Inventario de Puentes Ferroviarios*, he procedido a revisar puntualmente cada una de las obras de paso que se construyeron durante las primeras concesiones de ferrocarril. Este proceso perseguía validar las apreciaciones señaladas en el mencionado trabajo de inventariado hasta el año 1863 (fecha de apertura del tramo Palencia-León), para comprobar así la introducción en España de las diferentes tipologías durante esta primera etapa inversora.

Inicialmente, ya conocía el uso de puentes de madera en las líneas Barcelona-Mataró, Madrid-Aranjuez, Valencia-Grao y Játiva-Valencia (Wais, 1987: 104-105)³³. No obstante, no disponía a priori de datos sobre las fechas de sus sustituciones por otros de diferente naturaleza o material. Partiendo de estas premisas, y consultando diferentes publicaciones para contrastar las fechas indicadas, he obtenido la siguiente relación con los primeros puentes metálicos construidos para las líneas de ferrocarril peninsular³⁴:

AÑO	LINEA CONCESIÓN	PUENTE	LONGITUD TOTAL	Nº DE VANOS	TIPO
1850	BARCELONA-MATARÓ	BESÓS	141	5	TOWN
1853	JÁTIVA-VALENCIA	JÚCAR	70	1	PRATT
1853	JÁTIVA-VALENCIA	BARRANCO POBLA LARGA	36	2	ALMA LLENA
1853	JÁTIVA-VALENCIA	RAMBLA ALGEMESÍ	74	3	ALMA LLENA
1854	JÁTIVA-VALENCIA	ALBAIDA	154	10	ALMA LLENA
1854	JÁTIVA-VALENCIA	MONTESA MENOR	84	2	PRATT
1856	MADRID-ARANJUEZ	JARAMA	130	4	ALMA LLENA
1857	ALAR - SANTANDER	HORADADA	75	5	TOWN
1857	ALAR - SANTANDER	VALORIA	79	4	TOWN
1857	ALAR - SANTANDER	CONJURADERO	75	4	TOWN
1857	ALAR - SANTANDER	HIJAR	96	10	TOWN
1858	JÁTIVA-VALENCIA	BARRANCO DE TOLL	30	1	PRATT
1858	ALMANSA-ALICANTE	VINALOPÓ	33	1	ALMA LLENA
1858	ALMANSA-ALICANTE	RAMBLA DE VERDEGÁS	31	4	ALMA LLENA
1858	ALMANSA-ALICANTE	RAMBLA DE LA CAÑADA	27	1	ALMA LLENA
1859	MADRID-ZARAGOZA	TOROTE	79	4	TOWN
1859	TARRAGONA-BARCELONA	LLOBREGAT	368	12	TOWN
1859	MOGENTE-ALMANSA	BARRANCO DE LA BOQUELLA	31	1	ALMA LLENA
1859	ARENYS DE MAR-TORDERA	RIERA DE TODERA	188	7	WARREN

AÑO	LINEA CONCESIÓN	PUENTE	LONGITUD TOTAL	Nº DE VANOS	TIPO
1860	GRANOLLERS-STA. COLOMA	RIERA ARBUCIES	80	2	WARREN
1860	GRANOLLERS-STA. COLOMA	BREDA	30	1	PRATT
1860	ALAR - SANTANDER	LAS FRAGUAS	75	5	TOWN
1860	ALAR - SANTANDER	SOMAHOZ	75	5	TOWN
1860	MADRID-IRÚN	BOECILLO	30	1	TOWN
1860	TARRAGONA-BARCELONA	RAMBLA DE MOGENT	35	1	TOWN
1860	ALCÁZAR-CIUDAD REAL	ZÁNCARA	35	2	PRATT
1860	MADRID-ZARAGOZA	BORNOVA	41	2	CRUZ DE SAN ANDRÉS
1860	MADRID-ZARAGOZA	SAN CRISTÓBAL	34	1	CRUZ DE SAN ANDRÉS
1861	ZARAGOZA-BARCELONA	SARIÑENA	98	5	TOWN
1861	MADRID-ARANJUEZ	MANZANARES	62	2	CRUZ DE SAN ANDRÉS
1861	SEVILLA-CÁDIZ	GUADAIRA III	-	-	TOWN
1861	SEVILLA-CÁDIZ	SAN PEDRO	133	5	TOWN
1861	SEVILLA-CÁDIZ	BOCA DEL AVE	58	3	TOWN
1861	SEVILLA-CÁDIZ	EL ÁGUILA	58	3	TOWN
1861	SEVILLA-CÁDIZ	SANCTI PETRI	-	-	TOWN
1862	CASTEJÓN-BILBAO	EBRO	80	4	CRUZ DE SAN ANDRÉS
1862	VALENCIA-TARRAGONA	BELCAIRE	31	2	PRATT
1862	TARRAGONA-BARCELONA	RIERA DE STA. COLOMA	86	4	ALMA LLENA
1863	VALENCIA-TARRAGONA	MIJARES	142	5	TOWN
1863	PALENCIA-LA CORUÑA	CARRIÓN	77	3	PRATT
1863	MADRID-ZARAGOZA	PEREJILES	34	2	PRATT
1863	MADRID-ZARAGOZA	ZABALO	37	1	PRATT
1863	MADRID-ZARAGOZA	LA PRESA	82	3	PRATT
1863	MADRID-ZARAGOZA	PIEDRA	56	1	CRUZ DE SAN ANDRÉS
1863	MADRID-ZARAGOZA	JILOCA	32	3	PRATT
1863	MADRID-ZARAGOZA	RIBOTA	54	2	CRUZ DE SAN ANDRÉS
1863	MADRID-ZARAGOZA	EL ROSAL	66	3	PRATT

Del listado anterior se desprende que los primeros puentes metálicos construidos en España fueron de alma llena (Albaida, Rambla Algemesí en 1853), y Pratt (Júcar, 1853), todos ellos en la línea de Játiva a Valencia. Las primeras celosías tipo Town íntegramente metálicas fueron precisamente las de la línea de Alar de Rey-Santander (Horadada, Congosto y Conjuradero). Las primeras en cruz de San Andrés datan de 1860 (puentes de Bornova y San Cristóbal). Y la primeras

de tipo Warren se construyeron en el tramo Granollers-Santa Coloma (Riera de Arbucies, 1860) y en el tramo Arenys de Mar-Tordera (Riera de Tordera, 1860).

A la vista de estos datos, puede destacarse el hecho de que las celosías de la línea Alar del Rey-Santander fueron las primeras de tipo Town ejecutadas en España, con el seguimiento técnico de Alfred Jee (ver nota 13). En el caso de las vigas Pratt, las del ferrocarril de Palencia a León fueron construidas diez años después de las más antiguas, a lo que debe añadirse el valor de la autoría de las mismas, Mr. Alphonse Oudry (ver nota 15). Y respecto a las celosías en cruz de San Andrés, la ejecutada en Miranda de Ebro fue la tercera en ejecutarse en toda España, diseñada y construida por el distinguido ingeniero Mr. Charles Blacker Vignoles (ver nota 22), de categoría y experiencia internacional (autor también de las estaciones de ferrocarril de Logroño y Miranda de Ebro).

En cualquier caso, la figura de Teòphile Seyrig como proyectista y constructor de los puentes de la línea Valladolid-Ariza otorga, de por sí, un valor intrínseco indiscutible a los tramos metálicos incluidos en su trazado (ver nota 18).

- D. Por último, en lo que respecta a puentes colgados, el profesor Pedro Navascués señala en sus publicaciones que en el momento de la ruina del Puente de Santa Isabel en 1849 (Navascués y Quesada, 1992: 107) existían en España alrededor de “diez puentes colgantes, tres de los cuales se habían hundido (Fraga, Monzón y Zaragoza) y otros dos amenazaban ruina”. Atendiendo a este dato, entre las provincias objeto de estudio se encontraban el cuarenta por ciento del total de las estructuras de esta tipología en todo el país (el de Dueñas, de 1845, en Palencia; y el de Quintanilla-Escalada, de 1847, en Burgos)³⁵.

4.- CONCLUSIÓN

Tras muchos años en el olvido, se ha comenzado a tomar conciencia sobre la importancia de las construcciones ejecutadas durante el nacimiento y desarrollo de la industria siderúrgica, tanto por su interés artístico, como por su significado en la Historia Económica y Tecnológica más reciente hasta la actualidad. Respecto a las posibilidades constructivas de la utilización del hierro y acero, se comprueba que existe una serie de fases evolutivas asociadas sobre todo al conocimiento teórico de las estructuras y a las distintas patentes de celosías que entraron en juego durante su desarrollo, además de la propia evolución de las calidades del material. Para el caso particular de los puentes metálicos, puede hacerse una revisión bastante completa de las diferentes tipologías conocidas a lo largo del s. XIX dentro del ámbito geográfico de las provincias de Burgos y Palencia, tanto en pasos ferroviarios como de carretera, muchos de los cuales todavía pueden contemplarse en la actualidad.

En el artículo se incluye una serie de referencias de puentes, a modo de breve y no exhaustivo catálogo, que permite ilustrar las múltiples opciones manejadas por los ingenieros encargados de su ejecución, para el período comprendido entre 1845 y 1929.

De todos ellos destacan, aparte de las experiencias con puentes colgantes (en particular el de Dueñas sobre el río Pisuerga, considerado el de mayor vida útil de toda España), las celosías Town de la línea Alar del Rey-Santander (cuyo técnico encargado fue Mr.

Alfred Jee), por ser las primeras de esta tipología construidas íntegramente en hierro en todo el país.

Por otro lado, la autoría de varias de ellas responde a ingenieros de reconocido prestigio y trayectoria a nivel internacional, como ocurre con las celosías Pratt del tramo Palencia-León (obra de Mr. Alphonse Oudry), el Puente de Hierro o del Inglés en Miranda de Ebro (de Mr. Charles B. Vignoles, cuyo apellido da nombre al carril estándar usado en ferrocarriles de todo el mundo); y las celosías, Pratt y Cruz de San Andrés, de la línea Valladolid-Ariza (atribuidos a Théophile Seyrig, socio y calculista de Eiffel durante varios años, y autor de dos de los puentes en arco metálico más importantes de todo el mundo: María Pía y Luiz I, ambos en la ciudad de Oporto).

5.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD BALBOA, Tomás; CHÍAS NAVARRO Pilar (2008). "La construcción del territorio: caminos y puentes en Castilla y León". En: *Historia de las Obras Públicas en Castilla y León*; Francisco Bueno Hernández, coord. Valladolid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

AGUILAR CIVERA, Inmaculada (1998). *Arquitectura Industrial: Concepto, método y fuentes*. Valencia: Diputación de Valencia.

AGUILAR CIVERA, Inmaculada. "Arquitectura Industrial, testimonio de la era de la industrialización". *Bienes Culturales: Revista del Instituto de Patrimonio Español* (Madrid), N°7. (2007)

AGUILAR CIVERA, Inmaculada. "La mirada fotográfica de la Ingeniería Civil". *Ingeniería y Territorio* (Madrid), N°78 (2007).

AGUILÓ ALONSO, Miguel (2008). *Forma y tipo en el arte de construir puentes*. Madrid: Abada Ediciones SL.

ÁLVAREZ ARECES, Miguel Ángel (2007). "El Patrimonio Industrial en España. Situación actual y perspectivas de actuación", conferencia inaugural de las jornadas *El patrimonio Industrial y la Obra Pública*. Zaragoza.

ÁLVAREZ ARECES, Miguel Ángel (2010). "Patrimonio Industrial en España. Notas sobre el presente y perspectivas sobre el futuro", en *I Jornada de Expertos en El patrimonio Industrial. Presente y perspectivas de futuro y la Obra Pública*. Sabero: Fundación Hullera Vasco-Leonesa, 16 de octubre de 2010.

ALZOLA Y MINONDO, Pablo (1892). *El Arte Industrial en España*. Bilbao: Imprenta de la Casa Misericordia.

ANTIGÜEDAD, María Dolores (1998). "La Arquitectura de los Ingenieros", en *I^{as} Jornadas de Arquitectura Histórica y Urbanismo*. Cádiz: Universidad de Cádiz, Servicio de Publicaciones.

ARENAS DE PABLO, Juan José (1982). *El puente, pieza esencial del mundo humanizado*. Santander: Universidad de Santander.

ARENAS DE PABLO, Juan José (2002). *Caminos en el Aire. Los puentes*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Colección Ciencias, Humanidades e ingeniería, 57.

ÁVILA JALVO, José Miguel (2000). "El puente de Triana en Sevilla y su tiempo", en *3^{er} Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Sevilla.

BARRÓN AVIGNÓN, Eugenio (1863). "Ferrocarril de Palencia a Ponferrada". *Revista de Obras Públicas*, Tomo I, 23-02.

BERNARD, Marrey (1990). *Les ponts modernes - 18e et 19e siècles*. París: Picard Editeur.

BIEL IBÁÑEZ, María Pilar. "Los puentes metálicos de carretera sobre el Ebro en la provincia de Zaragoza". *Artigrama* (Zaragoza), nº 15 (2000).

BURDALO, Soledad; DELGADO, Carlos. "Por fin, el hierro. Puentes del s. XIX", en *MOPU: Revista del ministerio de Obras Públicas y Urbanismo* (Madrid), 345 (julio-agosto, 1987).

CUÉLLAR VILLAR, Domingo (2007). *El Ferrocarril en España, siglos XIX y XX. Una visión a largo plazo. Economic History. Working Paper Series*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Análisis Económico: Teoría Económica e Historia Económica.

DELONY, Eric (1996). "Context for World Heritage Bridges". A joint publication with TICCIH. 1996 [última consulta: 05.12.2010].
<http://www.icomos.org/studies/bridges.htm>

FERNÁNDEZ DÍAZ-SARABIA, Pedro (2003). *El ferrocarril hullero de La Robla a Valmaseda 1890-1972*. Salamanca: Junta de Castilla y León. Consejería de Educación y Cultura.

FERNÁNDEZ LÓPEZ, Javier; ZAITA, Carmelo (1987). *El ferrocarril de la Robla*. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles y Aldaba Ediciones.

FERNÁNDEZ TROYANO, Leonardo (1999). *Caminos sobre el agua. Visión histórica universal de los puentes*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Colección ciencias, humanidades e ingeniería.

GARCÍA MATEO, José Luis (2005). *Inventario de Puentes Ferroviarios de España*. Madrid: Editorial DOCE CALLES.

GAZTELU, Luis (1896). *Práctica usual de los cálculos de estabilidad de los puentes*. Madrid: Establecimiento tipográfico de Fortanet.

GONZÁLEZ DE LA VEGA, Cayetano. "Obras Públicas en la Provincia de Burgos. Carretera de Burgos a Santander por Peñas Pardas". *Revista de Obras Públicas* (Madrid), TOMO I 11.01 (1855)

GONZÁLEZ FRAILE, Eduardo Miguel (2007). "Arquitectura Preindustrial, Industrial y del Hierro". En: *Patrimonio arquitectónico de Castilla y León. Tomo V*. Junta de Castilla y León. Salamanca: Ediciones Témpora.

GONZALEZ FRAILE, Eduardo Miguel; SANCHEZ RIVERA, José Ignacio. "Presencia de la escuela de Eiffel - Seyrig en el Duero. Los Puentes del Ferrocarril de Ariza". *Anales de Arquitectura* (Valladolid), 6 (1995).

GONZÁLEZ, José Antonio; MUÑOZ, Luis Roberto (2001). *Palencia. Guía de Arquitectura*. Palencia: Colegio Oficial de Arquitectos de León.

GRATTESAT, Guy (1984). *Ponts de France*. Paris, Presses Ponts et chaussées.

HEYMAN, Jacques (2001). *La ciencia de las estructuras (The Science of structural engineering)*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

HEYMAN, Jacques (2004). *Análisis de estructuras: un estudio histórico*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

HUMANES BUSTAMANTE, Alberto (2007). "La necesidad de un plan para el Patrimonio Industrial". *Bienes Culturales: Revista del Instituto de Patrimonio Español* (Madrid), Nº7 (2007).

IGLESIAS ROUCO, Lena Saladina (1979). *Burgos en el siglo XIX. Arquitectura y Urbanismo (1813-1900)*. Valladolid: Universidad de Valladolid,

IGLESIAS ROUCO, Lena Saladina (2007). "Arquitectura Contemporánea. Génesis y Desarrollo (1760-1960)". En: *Historia de Burgos. IV - Edad Contemporánea (Tomo 4)*; Jesús María Palomares Ibáñez, dir. Burgos: Caja de Burgos.

KRUFIT, Hanno-Walter (1994). *A history of architectural theory: from Vitruvius to the present*; Ronald Taylor, Elsie Callander, Antony Wood (versión inglesa). New York: Princeton Architectural Press.

KURRER, Karl-Eugen (2008). *The History of the Theory of Structures: From Arch Analysis to Computational Mechanics*. Berlin: Ernst & Sohn.

LEONHARDT, Fritz (1980). *Ponts/Puentes*. Lausanne, Suisse: Presses Polytechniques Romandes.

LINAREJOS CRUZ, María. "Plan Nacional de Patrimonio Industrial: Apuntes Históricos y Conceptuales". *Bienes Culturales: Revista del Instituto de Patrimonio Español* (Madrid), N°7 (2007).

LINAREJOS CRUZ, María; FERNÁNDEZ-POSSE, Dolores; HUMANES, Alberto; DE LA MATA, Ramón (2002). "El Plan Nacional del Patrimonio Industrial". En: *Patrimonio Industrial: Lugares en la memoria. Proyectos de reutilización en industrias, turismo y museos*. Miguel Ángel Álvarez Areces, coord. Gijón: CICEES., p. 209.

MANTEROLA ARMISÉN, Javier (2006). *Puentes: Apuntes para su diseño, cálculo y construcción. TOMO I*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Colección Escuelas.

NAVASCUÉS PALACIO, Pedro. "La Arquitectura del hierro en España", en *Construcción, Arquitectura y Urbanismo* (Barcelona), N° 65 (1980).

NAVASCUÉS PALACIO, Pedro (2007). *Arquitectura e ingeniería del hierro en España (1814-1936)*. Fundación Iberdrola. Madrid: Ediciones El Viso.

NAVASCUÉS PALACIO, Pedro; QUESADA MARTÍN; María Jesús (1992). *El siglo XIX. Bajo el signo del Romanticismo*. Madrid: Silex Ediciones.

OJEDA SAN MIGUEL, Ramón (2003). *Obras de ampliación y mejora del Puerto de Castro Urdiales (1831-1928). Historia de un empeño centenario*. Castro Urdiales.

RODRIGUEZ LÁZARO, Francisco Javier (2000). *Los primeros ferrocarriles españoles*. Madrid: Ediciones AKAL.

SERNA GARCÍA-CONDE, José; RUI-WAMBA, Javier (2006). *Los puentes del tren*. Madrid: Fundación ESTEYCO, 2006.

SNELL, Major S. (1921). *A story of railway pioneers; being an account of the inventions and works of Isaac Dodds and his son Thomas Weatherburn Dodds*. London: SELWYN & BLOUNT, LTD.

SOBRINO SIMAL, Julián (2010). "Revisión crítica de las estrategias para el Patrimonio Industrial en este nuevo siglo", en *I Jornada de Expertos en El patrimonio Industrial. Presente y perspectivas de futuro y la Obra Pública*. Sabero: Fundación Hullera Vasco-Leonesa, 16 de octubre de 2010.

STEINMAN, David B.; RUTH, Sara (2001). *Puentes y sus constructores*; Miguel Aguiló Alonso (versión española). 2ª Edición. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, colección ciencias, humanidades e ingeniería.

TIMOSHENKO, Stephen P. (1953). *History of strength of materials*. New York: McGraw-Hill.

TODHUNTER, Isaac; PEARSON; Karl (1863). *A History of Theory of Elasticity and of the Strength of Materials from Galilei to the present time*. VOL. II. Cambridge: Cambridge University Press.

VELEZ CHAURRI, José Javier (1997). "La estación de Ferrocarril de Miranda de Ebro. Una estación victoriana en la ribera del Ebro". En: *Miranda: Historia y Ferrocarril*. Miranda de Ebro: Instituto Municipal de Historia.

VELEZ CHAURRI, José Javier (1997). "El puente del "Inglés" y el puente del "Francés" de Miranda. La arquitectura tradicional frente a la tecnología del hierro". En: *Miranda: Historia y Ferrocarril*. Miranda de Ebro: Instituto Municipal de Historia.

6.- LISTA DE REFERENCIAS

¹ En particular, para el caso de Castilla y León el Plan PAHIS de Patrimonio Histórico de Castilla y León incluye entre su estructura un apartado específico para el Patrimonio Industrial, con el compromiso de catalogar de forma ordenada y coordinada los bienes de esta tipología patrimonial (como ya se ha comenzado a realizar).

² Violet-le-Duc, considerado uno de los padres del Racionalismo, llegó a expresar que construir "es usar los materiales de acuerdo a sus propiedades y su esencia natural, con la intención expresa de satisfacer un propósito de la manera más simple y resistente" (Kruft, 1994: 283). En torno a la funcionalidad y estética en la obra de ingeniería ver: ANTIGÜEDAD, María Dolores (1998). "La Arquitectura de los Ingenieros", en *I^{as} Jornadas de Arquitectura Histórica y Urbanismo*. Cádiz: Universidad de Cádiz, Servicio de Publicaciones (ver también sus referencias bibliográficas); y FERNÁNDEZ CASADO, Carlos (2005). *La Arquitectura del Ingeniero*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, colección ciencias, humanidades e ingeniería.

³ En relación a la asimilación del hierro como nuevo material de construcción, véase MOLAR GÓMEZ, Ángela (1996). "Los materiales de construcción y el cambio estético: sobre la estética del hierro y el cemento", en *I^{er} Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Madrid, 19-21 de septiembre de 1996. Madrid: Instituto Juan de Herrera, CEHOPU, 1996, pp. 369-374; MANTEROLA ARMISÉN, Javier

(2006). *Puentes: Apuntes para su diseño, cálculo y construcción. TOMO I*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Colección Escuelas, p. 21.

⁴ En la bibliografía específica de puentes existen ciertas variaciones sobre los años de introducción de los diferentes tipos de celosías. Su explicación radica en la diferente fecha de utilización y su patente. En este artículo he optado por utilizar este último criterio (el de las patentes), conociendo que existieron ejecuciones anteriores a las fechas que se indican. Todas ellas extraídas de: SERNA GARCÍA-CONDE, José; RUI-WAMBA, Javier (2006). *Los puentes del tren*. Madrid: Fundación ESTEYCO, 2006, pp. 63-37, 100.

⁵ Existe numerosísima bibliografía en castellano con abundante información sobre la historia y evolución de los puentes. Entre ellos, para profundizar sobre el tema, pueden consultarse los indicados en la sección “Bibliografía” (alguno de ellos ya citado): Arenas, 1982 y 2002; Serna y Rui-Wamba, 2006; Manterola, 2006; Fernández Troyano, 1999; Aguiló, 2008; Steinman y Ruth, 2001.

⁶ NAVASCUÉS PALACIO, Pedro. "La Arquitectura del hierro en España", en *Construcción, Arquitectura y Urbanismo* (Barcelona), Nº 65 (1980), p.46: “En España, a mediados del siglo XIX, había construidos unos diez puentes colgantes, de los que tres se habían hundido (Fraga, Monzón y Zaragoza) y dos amenazaban ruina”.

⁷ GAZTELU, Luis (1896). *Práctica usual de los cálculos de estabilidad de los puentes*. Madrid: Establecimiento tipográfico de Fortanet, p. 231: “Esta clase de vigas no se emplea en la actualidad más que para luces inferiores a 12 m., llegando excepcionalmente a 15 m.; para luces superiores se adopta generalmente el sistema de celosías”.

⁸ La mayor parte de ellos recogidos ya en el inventario general de la Fundación de Ferrocarriles Españoles: GARCÍA MATEO, José Luis (2005). *Inventario de Puentes Ferroviarios de España*. Madrid: Editorial DOCE CALLES.

⁹ El de La Roche-Bernard (1839) fue el mayor puente francés de esta categoría, con 198 m. de luz. Véase: MANTEROLA ARMISÉN, Javier (2006). *Puentes: Apuntes para su diseño, cálculo y construcción. TOMO I.*, p. 35. Este puente se vino abajo por efecto del viento en 1852: FERNÁNDEZ TROYANO, Leonardo (1999). *Caminos sobre el agua. Visión histórica universal de los puentes*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Colección ciencias, humanidades e ingeniería, p. 86. En esta última referencia puede verse un grabado del puente francés, lo que permite conocer cómo sería su equivalente, mucho más reducido, sobre el Ebro.

¹⁰ Un comentario a este respecto aparece en: “Puentes reconstruidos por Ingenieros de Caminos militarizados”. *Revista de Obras Públicas* (Madrid), número especial 11 (1939), p. 115.

¹¹ Puede consultarse información adicional en: BORREGÓN, Antonio. “Puente colgado en Dueñas sobre el Pisuerga”. *Revista de Obras Públicas*. TOMO I, 17-01 (1874), pp. 193-200; y en: “Puente colgado de Dueñas”. *Revista de Obras Públicas*. TOMO I, 1211-01 (1898), pp. 551-552.

¹² La noticia del hundimiento aparece publicada en *La Vanguardia*, el 16 de julio de 1927, p. 22. Sobre la sentencia absolutoria: “Procesamiento y absolución de D. Alberto Corral”. *Revista de Obras Públicas*. 1929, TOMO I, N° 2531.

¹³ Alfred Stanistrett Jee (1816-1858) poseía experiencia acumulada en su país, comenzando como ingeniero residente en la línea Preston-Lancaster (*The Civil Engineer and Architects Journal, from October, 1837 to December, 1838*. London, 1838, p. 295). Estaba reconocido como uno de los ingenieros ingleses de mayor éxito en su época; pupilo de Joseph Locke, trabajó también en la construcción de las líneas férreas Sheffield-Manchester y Huddersfield-Manchester, construyó los viaductos entre Dinting y Etherow, y diseñó y construyó, desde el principio hasta su puesta en servicio, el Túnel de Woodhead. Murió a la temprana edad de 42 años, en un accidente ocurrido durante un trayecto de prueba de la propia línea Alar-Santander (SNELL, Major S. (1921). *A story of railway pioneers; being an account of the inventions and works of Isaac Dodds and his son Thomas Weatherburn Dodds*. London: SELWYN & BLOUNT, LTD, pp. 135-139).

¹⁴ Archivo General de la Administración (A.G.A.) Sig. 4 (102) CAJA 24/8763 (Plano del Puente del Conjuradero. 17 de Abril de 1856. Morland Jee); A.G.A. Sig 4(102) CAJA 24/18504 (Memoria-Informe de la comisión con el estado de las obras en los distintos tramos y comprobaciones de trazado. 31 de Enero de 1856. Félix del Wagon y Juan Luis del Rivero); y A.G.A. Sig 4 (102) CAJA 24/11723 (Proyecto de Sustitución de tramos metálicos. Línea Venta de Baños a Santander. 5 de Junio de 1952. José María Platero Cardinel)

¹⁵ El notabilísimo ingeniero francés Mr. Alphonse Oudry tuvo una trayectoria muy reconocida a nivel internacional, e incluso ideó un sistema propio de puentes colgantes que fue incluido en los tratados de la época; véase: SAAVEDRA Y MORAGÁS, Eduardo (1864). *Teoría de los puentes colgados*. Madrid: Imprenta Nacional, p. 77. Quizá su obra más conocida sea el Pont d’Arcole, en París (1856) trabajando con Nicolas Cadiat (Grattesat, 1984: 137), que consta de un arco rebajado de 80 m. de luz, formado originalmente por palastros combinados en forma de cruces dobles, con una serie de tornapuntas a modo de celosía zigzagueante que permiten el apoyo del tablero sobre el arco. Véase: “Puentes nuevos de París”. *Revista de Obras Públicas*, TOMO I, 22-05, p. 60.

También diseñó otro puente móvil basculante en Brest, sobre el río Penfeld (1861); disponía de dos voladizos de 84 m que se apoyaban sobre pilas de granito de 12 m. de diámetro, bastando únicamente dos personas para accionar los mecanismos de izado. Véase: “Puente giratorio de Brest” *Revista de Obras Públicas*, TOMO I, 22-03, p. 273.

Como primera aplicación de su sistema de puentes colgados proyectó, antes de su paso por Castilla y León, el Puente Colgante de San Giovanni dei Fiorentini, sobre el río Tíber en Roma. Éste fue puesto en servicio el año 1863, justo a la vez que el propio tramo Palencia-León. Con este mismo sistema, Oudry presentó dos grandes proyectos: el paso del estrecho de Mesinna, con cuatro tramos de un kilómetro cada uno, y una propuesta similar para el cruce del canal de La Mancha, ente Francia e Inglaterra. Véase: SAAVEDRA Y MORAGÁS, Eduardo (1864). *Teoría de los puentes colgados...*, p. 81; L’ABBÉ MOIGNO, M. “Pont du Tibre”. *Les Mondes. Revue*

hebdomadaire des sciences (París), N° 14, t. II (5 de noviembre de 1863), pp. 361-362; “La Manche et le Dètroit de Messine”. *Le Moniteur de la Mode* (París), N°631 (abril de 1864), pp. 423-424.

¹⁶ Sobre los problemas de esta construcción, así como del nuevo método ideado para evitarlos en el resto de los puentes de esta línea férrea ver: “Colocación del puente del Cea” *Revista de Obras Públicas*, TOMO I, 22-05, p. 60. Oudry llegó a ingeniárselas para diseñar unos carruajes especiales con articulaciones que permitían su giro de manera independiente, de forma que se evitaban posibles problemas en las curvas y cambios de rasante.

¹⁷ Véase la explicación del sistema de transporte y colocación de las vigas en: MARVÁ Y MAYER (1883); J. *Proyecto de tablero metálico para la recomposición de puentes de vía férrea en campaña*. Barcelona: Publicaciones de la Revista Científico-Militar, p. 33.

¹⁸ Seyrig fue un ingeniero alemán de gran talento (número uno de su promoción en la École de Ponts et Chaussées de París) que fue socio capitalista mayoritario y cofundador de la empresa Gustave Eiffel et C^{ie} (1868). Durante varios trabajó años como técnico y calculista de la misma, para luego separarse de ella y continuar con la sociedad belga Willebroek, y finalmente crear su propia compañía constructora. Dentro de su prolífica trayectoria como proyectista, pueden destacarse la estación de Pest (1877) y el Puente de María Pía en Oporto (1877), ambos con Eiffel; y ya sin él, el Puente de Luiz I, también en Oporto (1885). GONZALEZ FRAILE, Eduardo; SANCHEZ RIVERA, José Ignacio. “Presencia de la escuela de Eiffel - Seyrig en el Duero. Los Puentes del Ferrocarril de Ariza”. *Anales de Arquitectura* (Valladolid), 1995, (6), pp. 39-41; LEMOINE, Bertrand (2002), *Gustave Eiffel*; Delfín Rodríguez Ruiz (versión española). Madrid: Ediciones AKAL, p. 42.

¹⁹ Ramón Aguinaga Arrechea, inició su carrera profesional como ingeniero de caminos en 1878 en la provincia de Burgos. En 1897, fue encargado de la gestión Ferrocarril Anglo-Vasco-Navarro y más tarde fue nombrado director Canal de Isabel II de Madrid. Como parte de su actividad privada, impulsó y presidió el Ferrocarril Eléctrico del Guadarrama y el Santander-Mediterráneo. Citado en: DE LOS COBOS ARTEAGA, Francisco. “Aventureros ferroviarios. Notas sobre la financiación de la red secundaria de los ferrocarriles españoles: El caso de Richard Preece Williams”. *Cuadernos de Estudios Empresariales* (Madrid), Núm. 14 (2004), p. 19.

²⁰ Archivo Histórico Provincial de Burgos. Sección de Obras Públicas. Sig. OP-1192/5 (Carretera de 3^{er} orden de Cereceda a Laredo. Puente de hierro sobre el río Nela en Trespaderne. Modificación que se propone en el proyecto aprobado del referido puente. 29 de mayo de 1882. Ramón de Aguinaga). En el mismo expediente se puede consultar una carta de la Marítima y Terrestre, fechada en octubre de 1884, en la que solicita a la administración la forma de liquidar con sus trabajos.

²¹ La finalización de las obras, según las notas del Diario de don Lucas Fernández (vecino de la localidad de Trespaderne y contemporáneo de su ejecución), data de mayo de 1884.

²² El apellido del ingeniero inglés Charles Blacker Vignoles, ha pasado a la Historia por ser el inventor del carril de base plana que ha derivado en el tipo estándar utilizado actualmente en todo el mundo para la construcción de ferrocarriles (carril tipo Vignoles). Aunque se le ha reconocido universalmente esta invención, no está claro si, simplemente, fue el introductor de esta tecnología en Europa desde los Estados Unidos. Dentro de su faceta creativa también desarrolló, junto a John Ericsson un sistema de ferrocarril de montaña (1830). Nacido en Woodbrook, descendiente de familia francesa, fue prisionero de guerra siendo niño mientras vivía en Guadalupe (Indias Occidentales, colonia británica del Caribe). Tras este suceso retornó a Inglaterra poniéndose bajo el cuidado de sus abuelos, iniciando carrera militar. Durante su servicio en activo viajó a Canadá, Escocia, y Carolina del Sur, donde comenzó con trabajos de topografía (después de luchar con Simón Bolívar por la independencia de la colonia española). Tras volver de nuevo a Londres, fue contratado en 1825 como técnico en la línea Liverpool-Manchester; trabajó con Thomas Telford en el Canal de Oxford (consiguiendo reducir el trazado un 13%), mientras trabajaba en el Túnel de Newhold y varios puentes metálicos. Propuso mejoras en el Túnel del Támesis, proyectado por el afamado Isambard Brunel, y en 1929 fue designado como ingeniero del tramo St. Helens-Runcorn Gap y de la línea de Parkside a Wigan. Posteriormente fue responsable del diseño y supervisión de la línea Dublín-Kingstown (1832-1839), y trabajó en numerosos ferrocarriles en Europa y Suramérica. Entre 1849 y 1853 trabajó en el diseño y construcción de un puente colgante de 800 m. con siete vanos sobre el río Dniéper en Kiev. Al final de su carrera, tras su paso por España, fue nombrado Presidente de la Institución de Ingenieros Civiles (1870-1871). Véase: SKEMPTON, Alek (2002). *Biographical dictionary of civil engineers. Volume 1, 1500 to 1830*. London: Thomas Telford Publishing, pp. 747-748. Para conocer la biografía completa de este ingeniero puede consultarse: VIGNOLES, K.H. (1982). *Charles Blacker Vignoles: Romantic Engineer*. Cambridge: Cambridge University Press.

²³ A.G.A. Sig (4) 102 CAJA 24/10565 (Proyecto de Puente sobre el río Ebro en el Kº 68.860. 27 de Septiembre de 1928. José de Aguinaga). De este documento, principalmente de sus planos, se extraen todos los datos descriptivos que se indican.

²⁴ Comparto y matizo aquí los comentarios realizados en GONZALEZ FRAILE, Eduardo Miguel; SANCHEZ RIVERA, José Ignacio. “Presencia de la escuela de Eiffel - Seyrig en el Duero. Los Puentes del Ferrocarril de Ariza”..., pp. 45,47, negando los criterios que habitualmente tachaban a este tipo de composiciones metálicas como confusas o pesadas.

²⁵ Aparece un breve resumen de las obras de Martín Lago en la noticia: “El Rey en la Panificadora Popular Madrileña”, Periódico *El Día*, 4 de mayo de 1917.

²⁶ Archivo Municipal de Burgos. Sig. 18-1053 (Proyecto de ensanche del Paseo del Espolón y encauzamiento del río Arlanzón. 24 de Diciembre de 1864. Severiano Sainz de Lastra). Este Proyecto incluye, entre varias obras, un nuevo puente de hierro sobre el Arlanzón, incluyendo su descripción, planos y mediciones.

²⁷ A.G.A. Sig. (4) 102 CAJA 24/9772 (Proyecto de Replanteo del Puente sobre el río Nela en el Kº 18.320. 1 de Marzo de 1928. José de Aguinaga).

²⁸ En el caso particular de los ingenieros de caminos del s. XIX y principios del s. XX, su carácter de funcionarios cuyas obras eran muchas veces ejecutadas por administración (esto es, dirigiendo directamente a un contratista que cobraba estrictamente la mano de obra, medios auxiliares y materiales bajo su supervisión), les exigía una doble responsabilidad: la puramente económica, como representantes del Estado y garantía del buen uso de los escasos fondos públicos, y la propia de la correcta ejecución de la obra, ya que los errores en este aspecto recaían directamente sobre ellos. (Arenas, 2002:623-624).

²⁹ En realidad se trataba de una dependencia tecnológica a todos los niveles, que tuvo especial relevancia durante el primer desarrollo de la red de ferrocarriles españoles. SÁINZ GONZÁLEZ, José Patricio. “Los orígenes de la dependencia tecnológica española. Evidencias en el sistema de patentes. 1759-1900”, *Economía Industrial*. (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid), N° 343, (2002)/I, pp. 83-95.

³⁰ “Los puentes de fundición comparados con los de hierro forjado”, *Revista de Obras Públicas*, TOMO I, 20-02 (1880), pp. 235-239.

³¹ Ver noticia sobre la línea hacia Galicia en: “Sección Palencia-León” *Gaceta de los Caminos de Hierro* (Madrid), Año XXII, N° 30 (1870), p. 427.

³² Una breve reseña a estos primeros puentes de madera la encontramos en: CUÉLLAR VILLAR, Domingo; JIMÉNEZ VEGA, Miguel. “Historia y legado patrimonial de los puentes ferroviarios de España”. *Vía Libre. La revista del ferrocarril*, Fundación de los Ferrocarriles Españoles (Madrid), N° 483 (febrero 2005), pp. 79-81.

³³ Discrepo no obstante del uso de madera para puentes definitivos indicado por Wais en la línea Alar del Rey-Santander, atendiendo a los datos que he obtenido en artículos de la *Revista de Obras Públicas* y de las propias fotografías del reportaje de Atkinson durante y tras su ejecución.

³⁴ NOTAS ACLARATORIAS A LA ELABORACIÓN DE LA TABLA:

(i) El puente original sobre el Besós en la Barcelona-Mataró (1848) era de madera. En 1850 fue sustituido por una celosía metálica tras su ruina por una riada.

WAIS, Francisco (1987). *Historia de los ferrocarriles españoles*. 3ª edición. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles, pp. 74-78, y 104-105.

CUÉLLAR VILLAR, Domingo; JIMÉNEZ VEGA, Miguel (2005). "Historia y legado patrimonial de los puentes ferroviarios en España" ..., pp. 79-81.

RODRIGUEZ LÁZARO, Francisco Javier (2000). *Los primeros ferrocarriles españoles*. Madrid: Ediciones AKAL, p. 18.

(ii) En la línea Reus-Tarragona se construyeron dos puentes de madera en celosía, el más importante de ellos sobre el río Francolí. No he encontrado otra noticia sobre su sustitución por otro de hierro hasta el año 1884.

"Proyecto del Ferrocarril de Tarragona a Reus". *Revista de Obras Públicas*, 1853, TOMO I, 16-04, pp. 22-25.

Sobre su reconstrucción en hierro ver: *Revista de Obras Públicas*, 1854, TOMO I, 11-02, p. 82.

(iii) En la primitiva línea Madrid-Aranjuez (1851) se ejecutaron puentes de fábrica (Tres Ojos, Villaverde) y otros mediante celosías de madera (Manzanares, Jarama y Tajo). El del Manzanares, reconstruido nuevamente con madera en 1856 por los efectos de una riada, fue sustituido en 1861 por tramos de celosía metálica en cruz de San Andrés; el del Jarama, debilitado por las mismas inundaciones en 1856, fue reconstruido ese mismo año mediante vigas de alma llena. Finalmente el del Tajo se sustituyó por una obra de fábrica de tres arcos.

WAIS, Francisco (1987). *Historia de los ferrocarriles españoles...*, pp. 104-105.

CUÉLLAR VILLAR, Domingo; JIMÉNEZ VEGA, Miguel (2005). "Historia y legado patrimonial de los puentes ferroviarios en España" ..., pp. 79-81.

"Averías del ferro-carril de Aranjuez". *Revista de Obras Públicas*, 1856, TOMO I, 2-04, pp. 23-24.

"Proyecto del Ferrocarril de Tarragona a Reus". *Revista de Obras Públicas*, 1856, TOMO I, 18-02, p. 36.

GARCIA MATEO, José Luis (2005). *Inventario de Puentes Ferroviarios de España...*, p. 229.

(iv) En la línea Sevilla-Cádiz (tramo Jerez-Trocadero, 1856) se construyó el puente de San Alejandro, cerca del puerto de Santa María, con una estructura provisional de madera: ésta fue sustituida en 1861 por vigas Town metálicas.

"Ferro-carril de Jerez al Trocadero". *Revista de Obras Públicas*, 1853, TOMO I, 5-06, pp. 67-68.

CABALLERO SÁNCHEZ, Miguel Ángel; DELGADO POULLET, José Ignacio; GARCÍA PAZOS, Mercedes; MALDONADO ROSSO, Javier; VILLALOBOS CHAVES, María del Mar (2006). "Recuperación in extremis y puesta en disfrute del puente ferroviario sobre el Guadalete a su paso por el Puerto de Santa María", en *IV Congreso de Historia Ferroviaria*. Málaga.

(v) En el año 1863 también se ejecutaron varios puentes de la tipología Linville en la línea Madrid-Zaragoza (tramo Medinacelli-Grisén).

GARCIA MATEO, José Luis (2005). *Inventario de Puentes Ferroviarios de España...*, pp. 161-164.

(vi) Sobre los puentes de la primitiva Játiva-Valencia, consultar reseña en:

GONZALO, Esteban; ROYO, Carlos; ANDRÉS, Enric. "La compañía del ferrocarril de Almansa, Valencia y Tarragona". *A todo vapor. Revista de la Asociación Valenciana de Amigos del Ferrocarril* (Valencia), Nº 39 (Junio 2003), pp. 5-10.

GARCIA MATEO, José Luis (2005). *Inventario de Puentes Ferroviarios de España...*, pp. 224-226.

^(vii) En la línea Alar del Rey – Santander se ejecutaron varios puentes más, todos ellos de fábrica (Renedo, Las Fraguas, Los Llares, Besaya y Los tres Ojos).

Revista de Obras Públicas, 1874, TOMO I, 9-01, p. 99.

CAMPUZANO, Carlos. "Descripción de las obras del ferro-carril de Isabel II". *Gaceta de los caminos de hierro* (Madrid), 6 (Año 4, 13 de febrero de 1859), p. 86.

^(viii) También en el tramo Venta de Baños - Alar del Rey se ejecutaron puentes de hierro puestos en servicio el año 1860, pero no dispongo de datos sobre su tipología.

"Ferro-carril de Palencia a Alar del Rey". *Revista de Obras Públicas*, 1857, TOMO I, 5-02, p. 54.

^(ix) Las filas sombreadas corresponden a puentes dentro de las provincias de Burgos y Palencia.

³⁵ Sobre el puente colgante de Quintanilla-Escalada, también puede leerse la noticia de su apertura en el periódico *El Español*, de fecha 20 de noviembre de 1847.