

PUENTES HISTÓRICOS Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

Historic bridges and roads

MANUEL DURÁN FUENTES

Universidade da Coruña

Recibido: 24/10/2013
Aceptado: 11/06/2014

Resumen:

En una exposición cronológica se resumen los aspectos técnicos más sobresalientes de los caminos y puentes históricos, comenzando por los de las antiguas culturas de Oriente Próximo y de Roma. El ámbito geográfico elegido ha sido la Península Ibérica, con una particular atención a Galicia, y se ha analizado la red viaria que, históricamente, ha articulado estos territorios al canalizar las comunicaciones interiores y con el exterior de la mejor manera para facilitar el desplazamiento de personas y con ellas el intercambio cultural y comercial, el control territorial, y en ocasiones la destrucción y guerra. Se prosigue con los análisis histórico y técnico desde la Edad Media hasta la actualidad de los caminos y sus puentes, y como la aparición de nuevos materiales como el acero, el hormigón armado y pretensado, y el desarrollo científico han permitido construir puentes con nuevas tipologías.

Palabras clave: puente, camino, carretera, autopista, fábrica de piedra, hormigón, acero.

Summary:

With a chronological exhibition it is performed an overview of the technical aspects most characteristic of Spain's historical road networks, emphasizing their importance in the territorial coordination by channeling internal and external communications with comfort and speed, the transmission of culture, settlement, trade and the promotion of the economy and national wealth. It covers structural characteristics and design criteria of various routes and historic roads of Spain, from the arrival of Rome to the present, and its stone masonry bridges built until the early twentieth century, and other modern materials such as steel, reinforced and prestressed concrete since the mid-nineteenth century to today.

Keywords: bridge, road, highway, masonry, beton, steel.

1. Introducción

La red viaria para un país es una infraestructura fundamental ya que por ella circulan la cultura, las gentes, el comercio y, en ocasiones, la guerra y la destrucción. La Historia nos enseña que su construcción está vinculada, entre otras cosas, al desarrollo de la vida urbana y del comercio, bases sobre las que se asentaron las primeras grandes culturas como la sumeria o la egipcia. A los senderos prehistóricos de seguimiento de la caza o la búsqueda de agua les siguieron las rutas terrestres, fluviales y marítimas de las que se tienen constancia desde tiempos protohistóricos.

En este caso nos detendremos en las vías terrestres de comunicación como vectores fundamentales del devenir histórico y económico de un país, y en los puentes como partes singulares de los caminos e imprescindibles para darles continuidad sobre un determinado obstáculo, generalmente un río. Y para ser más concretos, nos limitaremos al ámbito geográfico de España y en particular de Galicia.

2. Vías y puentes en la antigüedad

Si se plantea este tema desde un punto de vista cronológico habría que hablar de los caminos prehistóricos, infraestructuras que son casi imposible de documentar sobre el terreno y de las que solo podremos suponer que el reiterado uso de los accesos o rutas que grupos humanos asentados en un territorio utilizaban en la búsqueda de su alimento o para proveerse de determinados materiales, se terminarían por convertir en caminos permanentes.

Sobre los caminos protohistóricos poco se sabe y solo se han planteado algunos hipotéticos trazados, como el camino de los metales de estaño, plomo y oro, que, como ruta terrestre alternativa a la marítima, pudo existir entre el NO pasando por las provincias de Zamora, Salamanca y las dos extremeñas hasta el SO peninsular. Este tipo de material pesado pudo requerir, a partir de un momento histórico que quizá haya sido la primera mitad del segundo milenio antes de Cristo, que se realizase su transporte en rudimentarios vehículos que habrían necesitado unos caminos lo suficientemente abiertos y explanados para que se pudiera realizar. Más adelante el camino pasó de ser el propio terreno natural, simplemente despejado de piedras y otros elementos que dificultaban el tráfico, a tener una infraestructura artificial construida con criterios técnicos formada capas de piedra y tierra. En Galicia parece haberse documentado una relación entre antiguos caminos de cresta o de divisoria de aguas con alineaciones de tumbas de época megalítica, las llamadas mámoas, levantadas en sus orillas. En cuanto a las obras de paso el desco-

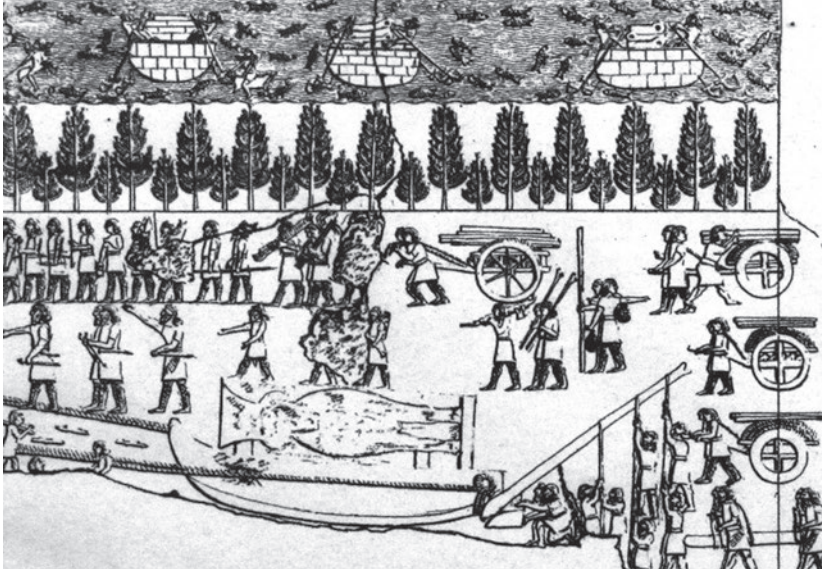
nocimiento aún es mayor y parece haber una cierta unanimidad en la hipótesis que los primeros que se construyeron eran con pilares y vanos a base de losas de piedra, similares a las pontellas rurales gallegas (figura 1).

Fig. 1: Pontella de Saa en el municipio de Guitiriz (Lugo) (M. Durán)



Un hito fundamental en la historia del transporte es el descubrimiento de la rueda, quizá fruto de la inspiración que pudo generarse por el empleo de troncos macizos de árboles para el traslado de grandes pesos que se hacían deslizar por plataformas preparadas para ello. Otro primitivo artilugio de transporte para estatuas de gran tamaño fue el trineo, documentado en grabados de Egipto y Asiria, que deslizaba por caminos enlosados o por plataformas con travesaños de madera dispuestos cada trecho sobre los que se vertía limo para disminuir el rozamiento. Este eficaz sistema de mover objetos pesados convivió con la rueda como puede verse en grabados asirios (figura 2). El cronista Herodoto (II, CXXIV) refiere con gran admiración el camino enlosado para el traslado desde el Nilo de los sillares empleados en la construcción de la pirámide del faraón Keops en la meseta de Guiza.

Fig. 2: Dibujo de un grabado del palacio de Senacherib en Ninive, Museo Británico (M. Durán)



Uno de los primeros datos sobre el uso de la rueda se encuentra en la llamada «Estela de Ur» hallada en la antigua Mesopotamia y conservada en el Museo Británico, datada sobre el 3.000 a. C. En ella se representan unas escenas de marcha del ejército sumerio con carros de guerras de ruedas macizas de madera formadas por tres piezas, engarzadas a un eje de modo que formaban una única pieza que giraba al trasladarse el carro (figura 3). Los primeros hallazgos materiales se encontraron en las tumbas reales de la ciudad mesopotámica de Ur, durante las excavaciones arqueológicas realizadas en 1927, y consistían en los restos de las ruedas de dos carros tirados por bueyes.

Fig. 3: Fragmento de la Estela de Ur del Museo Británico en Londres (M. Durán)



La rueda debió inventarse más o menos al mismo tiempo en varios lugares del mundo además de la zona de los ríos Éufrates y Tigris, en donde aparece entre el cuarto y tercer milenio anteriores a Cristo. Existen pruebas que demuestran que en el segundo milenio a. C. hubo vehículos rodados en China, los Balcanes y en las Islas Británicas. En España, y más concretamente en Extremadura, han aparecido numerosas estelas decoradas con representaciones de carros con ruedas.

Fig. 4: Fragmento de una estela del Imperio Nuevo hallada en Saqqara, en la que se ven unos operarios fabricando una rueda de un carro, depositado en el Museo de Luxor (M. Durán)



También en Oriente Próximo se han hallado los restos más antiguos de calles y caminos enlosados, incluso con placas de mortero bituminoso recubriendo las losas cerámicas en la vía procesional de Babilonia, que llevaba al zigurat y templo de Mardouk¹. Aparte de esto, no hay otras evidencias arqueológicas que informen del firme que debieron tener los caminos mesopotámicos, pues por ellos se circulaba con rapidez a la vista de los escasos dos días que da Hammurabi a unos administradores para recorrer una distancia de 200 km². Los persas pavimentaron una parte de la red viaria construida a lo largo de su territorio para facilitar la circulación de los ejércitos y de los funcionarios imperiales entre la capital y las distintas ciudades del imperio. Un ejemplo de ello fue la llamada «Ruta Real» que mandó construir Darío I entre la ciudad turca de Sardes y Susa, sede de su corte, y que atravesaba Capadocia, Armenia y Mesopotamia, con una longitud de unos 2.400 km.

1 CONNAN, J. (2012): 52.

2 MARGUERON, J-C. (1991): I, 194-6.

La primera referencia documental de un puente viario permanente se debe a Herodoto, que refiere en su obra *Los nueve libros de la Historia* (I, CLXXXVI) la construcción por la reina Nitocris (siglo VII a. C.) de un puente sobre el Éufrates en medio de la ciudad de Babilonia. Para ello aprovechó cuando el cauce del río quedó seco por el desvío que se había realizado para llenar un gran estanque, para levantar unas pilastras con piedras labradas unidas con hierro y plomo y unos estribos de ladrillos. Sobre estos elementos se apoyó la plataforma de madera, uno de cuyos tramos se retiraba de noche para cortar el paso. Herodoto³ da abundantes noticias de otros tipos de puentes de carácter más provisional formados por una plataforma de madera asentada sobre barcas dispuestas en fila, amarradas unas contra otras y ancladas en el fondo del río. Un puente de este tipo fue el grandioso de 900 m de longitud que mandó construir Darío a su ingeniero Mandocles de Samos en el año 493, que facilitó el paso de su ejército sobre el Bósforo para combatir a los escitas. También Jerjes I (519-465 a. C.) construyó un puente similar durante la segunda guerra médica para reparar la derrota de su padre Darío I en Maratón, para cruzar el Helesponto. Este puente sufrió importantes daños por una violenta tempestad que enfureció al rey persa que condeno al mar con un «castigo» de 300 latigazos y al ingeniero con la pérdida de su cabeza. El nombramiento del nuevo ingeniero recayó sobre el científico Herpales, que pudo conservar su cabeza por el éxito de la segunda realización para la que dispuso 360 trirremes en fila, colocados en dirección de la corriente, y una segunda fila de 314 barcos paralela a la anterior. Cada barca estaba anclada para que no se moviese y se dispusieron en el centro tres vanos libres para no interrumpir el tráfico de barcos. La calzada estaba formada por un entablado sobre el que se dispusieron ramas de árbol y tierra apisonada, con altos pretiles para que los animales no se asustaran por el ruido de las aguas⁴. La madera para la construcción de este tipo de puente procedía de las proximidades del lugar de paso o bien era transportada para la ocasión. Los ejércitos actuales disponen de este tipo de puentes rápidos, fáciles y económicos de montar que despliegan para permitir el paso de un obstáculo de agua ante una necesidad bélica o de cualquier otro tipo.

En la Caminería Histórica destacan por méritos propios las obras públicas construidas por Roma por haber utilizado la ingeniería como parte esencial de su proyecto de conquista, colonización y permanencia duradera en los territorios dominados. En sus obras se reflejan la técnica y experiencia constructiva aprendidas de otras culturas más antiguas, sobre todo la griega y la egipcia, que les sirvieron de base para avanzar en sus propios descubrimientos como la confección de un

3 HERODOTO, IV, LXXXVII-VIII.

4 HERODOTO, VII, XXIV-V-VI.

hormigón con cemento hidráulico que fraguaba sin aire. El uso reiterado de estructuras arqueadas tanto en las obras públicas como en la edificación, de piedra, ladrillo u hormigón, les dio un gran control y conocimiento de los materiales y del funcionamiento estructural de arcos, bóvedas y cúpulas. Los técnicos romanos manejaron con gran habilidad y pragmatismo todo este cuerpo teórico y práctico que les permitió construir grandes obras sobre las que Roma sustentó su prestigio, la supremacía y la autoridad sobre los pueblos y territorios conquistados. Su tecnología constructiva y la calidad de ejecución alcanzada solo han sido superadas por la ingeniería moderna de los siglos XIX y XX.

Los objetivos de la extensa red viaria eran facilitar el acceso a las fincas agrícolas y las explotaciones mineras, permitir el intercambio comercial entre las ciudades y los distintos territorios, posibilitar el tránsito de personas, funcionarios y correos, y habilitar la comodidad y rapidez de los desplazamientos de las unidades militares. Cada tráfico tenía su vía: los accesos a las parcelas de las centuriaciones se realizaba por los caminos que las definían y delimitaban, y que tenían por ley unas determinadas anchuras; estos caminos de borde no daban acceso a todas las parcelas por lo que había necesidad de caminos secundarios en el interior de la centuriación, que, según una ordenanza de las antiguas Doce Tablas, debían tener una anchura de 5 ó 6 pies. En un nivel medio por su mayor amplitud territorial eran los llamados *viae vicinales*, que comunicaban entre sí los distritos rurales. Estas vías unían los campos con la red de caminos públicos⁵ que formarían la gran red viaria que conocemos parcialmente por haber quedado reflejadas algunas de sus rutas en los distintos Itinerarios como el conocido de Antonino, o mapas como el representado en la Tabla Peutingeriana. El Itinerario de Antonino se conoce gracias a algunas copias medievales, la más antigua del siglo VII, pero no se sabe exactamente cuándo fue escrita, ni su autor ni el motivo de su realización y utilidad, aunque se cree que pudo tener una finalidad recaudatoria o militar.

Las rutas hispanas recogidas por el Itinerario de Antonino son treinta y cuatro, y aparecen con el epígrafe del camino, el punto de partida y de llegada y el número de millas global, y a continuación la relación de las diferentes mansiones con indicación de la distancia que hay entre ellas expresada en millas (*millia passuum*) o, en algún caso, en estadios (1/8 de milla). La numeración arábiga por la que se conocen las rutas peninsulares del Itinerario de Antonino la realizó el ingeniero de caminos Eduardo Saavedra, uno de los primeros en estudiarlo. También a este autor se le debe el estudio de la vía romana de *Uxama a Augustobriga*, publicado en 1861, que resultó ser ejemplar para otros insignes ingenieros que aprovecharon los estudios territoriales realizados para la construcción de nuevas carreteras, para descubrir

5 LÓPEZ PAZ, P. (1994): 269 y ss.

y analizar los restos de las infraestructuras viarias romanas. Destacan Cipriano Martínez y González que estudió la vía de Astorga a Zaragoza, Enrique Gadea que analizó el tramo de la vía 17 que va desde Astorga hasta el Portillo de San Pedro en la provincia de Zamora, y Manuel Díez Sanjurjo que investigó el trazado de la vía 18 por la provincia de Ourense. Dieron cuenta de la composición de la plataforma de estas vías formada por varias capas granulares de materiales seleccionados compactadas con forma abombada, asentadas sobre un capa de piedras de buen tamaño a modo de cimiento. Disponían de un eficaz sistema de drenaje de la vía, en sentido longitudinal por medio de cunetas y transversalmente con tajeas y alcantarillas (figura 5).

Fig. 5: Corte transversal de la plataforma de la Vía de la Plata cerca de Salamanca (Durán, M.)



A pesar de sus aciertos en la identificación de los verdaderos trazados y de la composición del firme, no tuvieron la divulgación deseable y conveniente para el mejor estudio de las vías hispánicas. Tuvo que pasar bastante tiempo para que se aceptase que este tipo de firme terroso era el más frecuente en las vías interurbanas, y que quedase desfasada la disposición que planteó Nicolás Bergier⁶ a comienzos del siglo XVIII, con tres capas en el terraplén de los «grandes caminos» —*statumen*, *ruderationus* y *nucleus*— rematadas superiormente con un enlosado, muy similar a la que tuvieron los pavimentos de las casas descritos por Vitrubio (VII, 1).

Desde el punto de vista del trazado, las vías discurrían por los corredores territoriales que les proporcionaban la derecha y reducida pendiente con las que preferentemente eran construidas. En ocasiones para conseguir estas condiciones

6 BERGIER, N (1728): I, 180-87.

tuvieron que realizar importantes excavaciones en roca (figura 6), muros de contención de la plataforma e incluso túneles como el de *Clivus Tiburtinus* en Tívoli⁷.

Fig. 6: Desmonte en roca en la Vía Appia en Terracina (M. Durán)



Las vías romanas eran auténticas «carreteras» en el sentido moderno de la palabra, puesto que eran construidas con la anchura suficiente, habitualmente entre 5 y 7 metros, para circular por ella con facilidad y comodidad tanto los viandantes como las caballerías y carruajes, al facilitar el cruce en los dos sentidos. Hay que pensar que uno de sus fines más claros era el facilitar la rapidez en los desplazamientos de las legiones, compuesta por varios miles de hombres acompañados de una multitud de tropas auxiliares, comerciantes de todo tipo y una gran impedimenta. También se limitaba la pendiente de las rampas de los puertos a unos valores razonables para que el caminante los rebasase con cierta comodidad y también para que, en el descenso, los carros cargados no se despeñasen ya que los propios animales de tiro tenían la posibilidad de frenarlos. Para obtener esas pendientes relativamente

7 TILBURG, C. VAN (2007): 25.

suaves se incrementaba la longitud del recorrido con trazados zigzagueantes, como tuvo la rampa norte del paso de A Portela de Home de la vía nº 18, la *Via Nova* del Itinerario de Antonino, con pendientes que no superaron el 6 %, y con un trazado en Z en la parte superior donde el terreno se empina. La anchura de plataforma, conservada en bastantes tramos, es de unos 6,00 metros (20 pies romanos)⁸.

Para indicar las distancias jalonaban los caminos con columnas de piedra, los miliarios, en los cuales se señalaban la distancia en millas a la *caput viae*, la ciudad cabecera de la vía, y se rendía honores por las obras realizadas a personajes administrativos y al emperador de turno (figura 7).

Fig. 7: Conjunto de miliarios de la Via Nova en A Serra do Gêrez (Portugal) (M. Durán)



Los ingenieros romanos construyeron una gran cantidad de puentes en la extensa red de vías con un elevado y uniforme nivel de calidad técnico-constructiva que consiguieron al sistematizar no solo un número relativamente bajo de tipos de puentes (en Hispania se distinguen cuatro modelos⁹) que aplicaron a lo largo y ancho del Imperio, sino también los procedimientos constructivos. Un modelo de puente muy habitual es el que está compuesto por arcos de la misma luz y pilas de

8 DURÁN FUENTES, M. *et alii* (1999): 51-74.

9 DURÁN FUENTES, M. (2005): 325-326.

anchuras similares con una rasante horizontal, representado, por ejemplo, por el puente portugués de Vila Formosa, cerca de Alter de Chao (figura 8).

Fig. 8: Alzado aguas arriba de A Ponte Velha de Vila Formosa, en Portugal (M. Durán)



Los puentes romanos han sido tan admirados que además de ser considerados como prototipos por los tratadistas italianos del Renacimiento como Alberti, han sido las obras paradigmáticas de la construcción robusta y resistente, y por tanto duradera. Lo consiguieron gracias a que dispusieron de un eficaz sistema de enseñanza y transmisión de conocimientos y experiencias acumuladas, quizá llevado a cabo dentro de las estructuras del ejército.

La conservación de un puente enfrentado al río por el estorbo que le suponen las cepas cimentadas en su cauce, depende de cómo evolucione esta lucha entre la naturaleza y la obra humana, con un resultado positivo para el puente si sus constructores conseguían un buen diseño y una construcción de calidad. Las aguas al ser obligadas a pasar bajo la arquería del puente, con un desagüe bastante menor que su cauce natural, incrementan su velocidad y por tanto su energía cinética hasta un punto que puede erosionar y arrastrar el material granular sobre el que se asentaron las cepas. Esta pérdida de sustento provoca la ruina del puente.

Los ingenieros romanos fueron conocedores de este fenómeno y por ello procuraron cimentar sus obras en donde afloraba la roca. Pero cuando no disponían de esta circunstancia tuvieron que acudir a otras soluciones como la sustitución del terreno natural por un cimiento artificial de hormigón en masa dispuesto en capas con una profundidad variable, o a una cimentación profunda con pilotes de madera. Vitrubio recomienda el uso de estacas de chopo, olivo, o de roble, chamuscadas, que se hincaban a golpe de máquina, cercanas entre sí y con un entramado

de madera con los huecos rellenos de carbón¹⁰. Sobre esta empalizada se construían los cimientos de piedra.

Las pilas habitualmente son de planta rectangular con tajamares del lado aguas arriba con punta triangular o redondeada rematados en un plano horizontal, y una amplia mayoría sin espolones. En cambio los construidos en el territorio que más tarde ocupó Bizancio los suelen tener con planta circular (figura 9).

Fig. 9: Alzado aguas debajo de puente sirio-bizantino de Afrin, con espolones circulares (M. Durán)



Como forma estructural emplearon la arquería con bóvedas de medio punto y ocasionalmente de directriz circular rebajada, de una gran perfección conseguida por su amplia experiencia constructiva y por el conocimiento que llegaron a tener sobre su funcionamiento estructural y de las distintos procedimientos para incrementar su estabilidad. La construcción de los arcos y bóvedas la aprendieron de los maestros griegos, conocedores de estas estructuras por su contacto con la construcción egipcia desde antes del reinado de los Ptolomeos (siglo III a. C.), ya que en Egipto se empleaba con asiduidad en tumbas y almacenes, y donde se conserva la bóveda de dovelas de piedra más antigua (siglo VII a. C.) en el templo de las Divinas Adoratrices de Medinet Habou en Luxor (Egipto) (figura 10).

¹⁰ VITRUBIO, III, 4; V, 10.

Fig. 10: Interior de la bóveda adovelada del Templo de la Divinas Adoratrices de Medinet Habou en Luxor (M. Durán)



Las fábricas de los puentes de *Hispania* fueron realizadas fundamentalmente con sillería escuadrada de piedra granítica, arenisca o caliza, y ocasionalmente con ladrillo tomado con mortero de cal¹¹. Para trabar y estabilizar la fábrica de piedra emplearon técnicas muy experimentadas en las construcciones egipcia y griega: la primera, consistía en la unión dúctil de los sillares entre sí mediante enlaces de madera o plomo con forma de doble cola de milano (figura 11); la segunda se basaba en alternar hiladas sucesivas de sillares colocados a soga y a tizón (figura 12). También era frecuente trabar la sillería con grapas de hierro introducidas en agujeros practicados en los lechos de las piezas a enlazar, y rellenos con plomo para su fijación. La presencia de estos dos metales fue la causa de los daños que sufrieron muchas obras romanas desde la Edad Media, al agujerarse las juntas para extraer el plomo y la grapa de hierro (figura 12). Los edificios de Roma fueron auténticas minas proveedoras de estos metales y el Faro de Alejandría se debilitó por el saqueo de las grapas de plomo para la confección de balas de las armas de fuego.

11 DURÁN FUENTES, M. (2005): 158-161.

Fig. 11: Huecos en forma de cola de milano para alojar los enlaces para trabar la sillería del puente romano de Lugo (M. Durán)



Fig. 12: Hiladas alternas de sillares colocados a soga y tizón, y agujeros para la extracción de los metales del grapado del estribo derecho del Ponte Navea (Ourense) (M. Durán)



3. La caminería medieval

Los medios de transporte en la Edad Media siguieron una línea evolutiva lenta pero innegable, pues no hubo ninguna innovación revolucionaria pero sí algunas que permitieron mejorar las condiciones de los viajes y transportes terrestres, como el nuevo tiro con arneses o colleras que evitaban que las caballerías se asfixiaran como las empleadas anteriormente, o el herraje de las pezuñas de los animales en lugar de las calzas o sandalias metálicas romanas empleadas cuando caminaban por caminos de grava y que se ajustaban a la uña abrazándola con unas tiras metálicas (figura 14).

Fig. 14: Sandalias metálicas de caballerías en el Museo Británico (M. Durán)



Con la desaparición de la administración romana provocada por variados factores que han sido ampliamente estudiados, los ámbitos territoriales en donde se desarrollaban las actividades sociales y económicas se reducen a una escala mucho menor, y las distintas administraciones resultantes gobiernan sobre espacios más pequeños. Una de las consecuencias es el abandono de la conservación y mantenimiento de la amplia red viaria romana y la reducción del tráfico a medias y largas

distancias, sobre todo durante la Alta Edad Media. En las épocas de escaso desarrollo económico y cultural apenas se construyen caminos¹⁴.

En España, con la llegada de los árabes a principios del siglo VII, se inicia una renovación de la red viaria derivada de la aplicación de nuevas políticas de poblamiento, de economías diferentes y unas necesidades militares que impulsaron la mejora de las comunicaciones entre los grandes núcleos de población peninsulares. No solo utilizaron las antiguas vías romanas que hallaron a su llegada, sino que crearon nuevos caminos que, según algunos estudiosos, fueron más de lo que se cree como se deduce de la relación de rutas que recogió el geógrafo al-Idrisi en el siglo XII y que en su mayor parte son nuevas¹⁵. Esta red de caminos árabes cubría la Península y estaba dotada de mansiones donde descansar y avituallarse, además de las fuentes y pozos establecidos a lo largo de los caminos y la vigilancia con soldados para evitar asaltos y robos. También se construyeron fortificaciones de carácter defensivo a lo largo y ancho del territorio conectados entre sí por el arrecife islámico¹⁶.

Poco o nada se sabe de cómo se construían los caminos, pero no debían ser muy diferentes a los romanos, con un uso predominante de materiales granulares ya que conocían su sistema constructivo y su funcionamiento y podrían imitarlos. Sobre las obras de paso se conoce algo más por los puentes de fábrica conservados o por datos documentales que indican que eran similares a las de la antigüedad romana¹⁷. Sin embargo presentan algunas singularidades que fueron aportadas por los alarifes árabes, como la forma de herradura de las bóvedas (figura 15) y la presencia de dovelas engatilladas en las roscas de algunos arcos (figura 16) que evita el deslizamiento entre ellas. El antecedente de estos engatillados empleados por los árabes esta atestiguado en la construcción romana y bizantina.

14 URIOL SALCEDO, J.I. (1990): I, 23.

15 MIZAL, J.A. (1989): 22-23.

16 MARTÍNEZ LILLO, S. (2003): 49-76.

17 PAVÓN MALDONADO, B. (1990): 91.

Fig. 15: Hueco de paso con arco de herradura en el estribo izquierdo del puente árabe de Alcántara en Toledo (M. Durán)



Fig. 16: Dovelas engatilladas de la reconstrucción califal del puente romano de Villa del Río (Córdoba) (M. Durán)



Las fábricas de los paramentos son de inferior calidad ya que no emplean la sillaría aplantillada de las obras romanas, sino un sillarejo acuñado con ripios o una mampostería tomada con mortero de cal.

Algunas crónicas árabes refieren la construcción de puentes de barcas llamados *yirs* y no *qantara*, palabra que se aplicaba a los de fábrica, como el que levantaron los almohades en Sevilla en 1171 por mandato de Abu Yaqub Yusuf, y cuya magnificencia la recoge Alfonso X el Sabio en la *Primera Crónica General*. Hubo otro puente de barcas sobre el Tajo extramuros de la ciudad de Toledo, donde se conservan los restos de la torre-puerta del mismo (figura 17), muy cerca del Puente de San Martín¹⁸.

Fig. 17: Torre defensiva en la margen derecha del desaparecido puente de barcas de Toledo (M. Durán)



Las penalidades de los viajeros de la Edad Media eran grandes y el transporte de mercancías mediante carros tenía muchas dificultades por la falta de mantenimiento de los caminos, tantas que durante siglos fue mayoritario el uso de recuas de acémilas. No solo los malos pasos entorpecían el caminar y el tráfico, pues había otras cuestiones que los hacían más problemáticos como la inseguridad, las pésimas condiciones de albergues y posadas, y los numerosos y abusivos pagos de portazgos y pontazgos que gravaban el derecho de circulación e imponían una carga impositiva al tráfico, compra y venta de mercancías, al paso de ganado, etc. El paso

18 PAVÓN MALDONADO, B. (1990): 176-181.

por los puentes podía estar franco de pago o tener un gravamen o pontazgo que, en algunos casos, estaba destinado a la reparación de la fábrica aunque no siempre se consignaba. Son conocidos los pleitos del concejo de Lugo con el obispado de la ciudad, poseedor de los derechos de paso de A Ponte Vella de Lugo, pues en muchas ocasiones no efectuaba la reparación de los daños acaecidos al puente. Se justificaba por la necesidad de destinar los fondos recaudados a su propio mantenimiento por carecer de los ingresos suficientes¹⁹. A pesar de las protecciones que, en forma de leyes, emitían los gobernantes para mantener abiertos los caminos y asegurar la vida y mercancías de viajeros y mercaderes, los desplazamientos terrestres estuvieron plagados de dificultades y peligros durante siglos²⁰. Aparte de las tensiones que siempre ocasionó la existencia de aranceles que dificultaba y encarecía el comercio que fueron aumentando con el tiempo tanto el número de beneficiarios como la recaudación, conforme se incrementaba la producción y el comercio desde el siglo XI. Destaca el incremento de instituciones religiosas (monasterios, iglesias, catedrales, etc.) beneficiadas con estas donaciones, reflejo de la importancia socio-económica que adquirieron en esta época. Todos estos inconvenientes hicieron que las rutas habituales fuesen, en numerosas ocasiones, abandonadas por otras alternativas para tratar de eludirlos.

La construcción de los caminos y puentes en la España medieval cristiana también fue similar a la romana pero realizada con menores conocimientos, experiencias y medios económicos, humanos y materiales, y sobre todo con criterios dispersos ante la falta de una administración planificadora. En los viales urbanos se siguen empleando los enlosados con piezas escuadradas o irregulares, y otros más económicos como el empedrado con mampuestos o piezas dispuestas de canto, y allí donde hubiese un río cercano con guijarros rodados (figura 18). Era habitual colocar estas piedras siguiendo disposiciones geométricas en cuadros, fajas, espina de pez, etc.

19 DURÁN FUENTES, M.; SIERRA FERRER, S. (2013): 81-85.

20 SÁNCHEZ REY, J.A. (1994): 67-79.

Fig. 18: Pavimento medieval en el acceso al puente de Barxa de Lor (Lugo) (M. Durán)



No hubo planteamientos ingenieriles en el trazado de los caminos como en la época romana, ya que en su creación no entraban en juego ni la limitación de las pendientes ni la derechura del camino puesto que los desplazamientos a pie o en caballerías eran menos exigentes y se sacrificaban para no pagar portazgos o por mayor seguridad. Los caminos eran más «naturales», pues se fueron generando por el uso y cambiando su traza en función, entre otras causas, del estado del camino según la época del año.

La red viaria medieval se amplió a partir del siglo XII cuando se produjo una fuerte explosión demográfica que trajo consigo la colonización de nuevos territorios con un incremento de la producción agrícola, la construcción de nuevos núcleos de población, una auténtica revolución industrial con nuevas fuentes de energía hidráulica y eólica, y el desarrollo de máquinas para las ferrerías, batanes y demás industria²¹.

La edificación de puentes también se incrementa mucho y en concreto en Galicia se conservan obras de esta época identificadas por la abundante presencia de marcas de cantero, sobre todo en las dovelas de los arcos (figura 19).

21 GIMPEL, J. (1981).

Fig. 19: Marcas de cantero medievales en la bóveda de Ponte Sobreira (Ourense) (M. Durán)



El papel de la Iglesia fue decisivo en este auge al disponer no solo de personal con conocimientos sino de los fondos para su financiación, procedentes de limosnas y mandas testamentarias. Son conocidos diversos santos muy populares que tuvieron un papel relevante en esta labor, como Santo Domingo de la Calzada y San Juan de Ortega en Castilla, San Telmo en Galicia, San Gonzalo de Amarante en Portugal o San Armengol en Cataluña.

Los caminos y puentes medievales de Galicia han sido la base de la implantación territorial de su posterior red viaria, como puede verse en los estudios realizados²² y en los numerosos puentes que fueron reparados y mejorados en el siglo XVIII e incluso adaptados a la red de carreteras de los siglos XIX y XX (figura 20).

22 FERRERIRA PRIEGUE, E. (1988).

Fig. 20: Ponte Olveira (A Coruña) sobre el río Xallas ampliado en el siglo XX y en uso (M. Durán)



Las características constructivas más relevantes de los puentes medievales eran su menor anchura con relación a los romanos, la rasante alomada de su perfil que resulta por construir el arco sobre el cauce con la mayor luz posible y que los laterales fueran de luces progresivamente más pequeñas, y sobre todo la adopción del arco de directriz ojival o apuntado como la forma más habitual (figura 21). Esta forma genera sobre los estribos empujes más inclinados, con menor componente horizontal, por lo que pudieron reducir el tamaño de los estribos, una cuestión de diseño que hasta el siglo XIX produjo una gran inseguridad a sus constructores. Este tipo de arco tuvo su origen en el Oriente Próximo²³ y pudo ser introducido en Europa por peregrinos o cruzados retornados.

23 En la Fortaleza de Los Omeyas en Baalbek (Líbano) hay arcos apuntados del siglo VIII.

Fig. 21: Vista aguas abajo del puente medieval de Navia de Suarna (Lugo) (M. Durán)



4. La red viaria de España entre los siglos XV al XVII

En el siglo XV se conforma un reino cristiano que abarca la totalidad del territorio español de la península Ibérica, con el matrimonio de Isabel de Castilla y Fernando de Aragón y la posterior conquista del reino nazarí de Granada. Toda la actividad política y bélica que estos acontecimientos generaron, con abundantes viajes regios por toda la geografía española, supusieron un adecentamiento de los malos caminos que había por aquellas fechas y que pusieron de manifiesto los viajeros que los transitaban. En las crónicas escritas por los viajeros León de Rosmithal y Jerónimo Münzer, se dan a conocer los itinerarios que siguieron, los malos pasos que se encontraron y algunos de los puentes cruzados además de otras curiosidades del país y sus gentes. Esta reunión territorial potenció la red viaria, se promulgaron leyes que reforzaban la conservación y el mantenimiento de los caminos así como la seguridad de los viajeros, con la creación de la Santa Hermandad. También se construyeron nuevos caminos y puentes sobre todo en las tierras conquistadas.

La red viaria de Galicia tenía las mismas o peores condiciones por su climatología que el resto de España, eran frecuentes los malos caminos y los puentes

inseguros por la falta de atenciones. Estas dificultades las experimentaron Felipe el Hermoso y su séquito cuando desde A Coruña, ciudad en la que desembarcó procedente de Inglaterra el 26 de abril de 1506, se dirigió hacia Castilla al encuentro del rey Fernando. Pasó por Santiago y se encaminó hacia Ourense por un camino muy malo, con un calor agobiante que les fatigaba y enfermaba, y faltos, por no hallarlos, de cabalgaduras y carros que transportasen los equipajes²⁴. Parece que en el endémico retraso económico de Galicia han debido influir estas malas e insuficientes infraestructuras viarias persistentes a lo largo de muchos siglos.

En el siglo XVI llegó a España el invento húngaro del coche, un notable avance con respecto a los carros y carretas por la suspensión de la caja con cinchas de cuero²⁵ y de un apreciable aumento de la maniobrabilidad por tener el eje delantero giratorio, que unido a una mejor rodadura, por el mayor mantenimiento de los caminos, aunque siempre escaso y malo, incrementaron de forma apreciable la comodidad de los viajeros.

En el reinado de Felipe II los ingenieros Pedro de Esquivel y Pedro Juan de Lastanosa iniciaron la medición topográfica de todo el territorio español, como paso previo para una correcta ordenación del territorio y para un planteamiento racional de las comunicaciones. Fue una oportunidad perdida dado que no pudo completarse el trabajo.

La red viaria más transitada en este período se describe en el *Repertorio de todos los caminos de España*, obra de Pedro Juan Villuga escrita en 1546 que fue primer libro europeo de estas características²⁶, en el que se describen 139 itinerarios con una longitud aproximada de 18.000 km.

Esta, además de carecer de una ordenación planificada, por ser el simple resultado de su evolución histórica, tuvo unas infraestructuras de mala calidad, los caminos estaban carentes de pavimentación por lo que se generaba mucho polvo en épocas secas y se volvían intransitables en invierno. Los mantenimientos puntuales que se realizaban con ocasión de un viaje de una alta autoridad de la Corte o de la Iglesia o un movimiento de artillería pesada, se reducía al extendido de una capa de grava. Seguía siendo endémica la falta de ventas o albergues para el aprovisionamiento y descanso de los viajeros. Además eran caras y malas, donde el viajero podía ser sorprendido por falta de ajuares, de comida o ser robado impunemente.

A principios de este siglo se establece el correo como un servicio que, al inicio, fue solo oficial y posteriormente se hizo público, concedido a Francisco de Tasis, que no supuso una mejora de la red viaria para poder circular con vehículos de

24 URIOL SALCEDO, J.I. (1990): I, 88.

25 URIOL SALCEDO, J.I. (1990): I, 93.

26 MENÉNDEZ-PIDAL, G. (1992): 130.

rueda, y hubo que esperar al siguiente siglo para que las comunicaciones fueran algo más fáciles y cómodas. Tampoco mejoraron las ventas y mesones que siguieron recibiendo las quejas de los viajeros nativos y extranjeros que se atrevían a transitar por España²⁷.

En lo referente a la construcción de puentes hubo ciertos avances tecnológicos propiciados por el impulso innovador del Renacimiento en Italia. Se desarrollaron nuevos tipos de puentes y mejores técnicas constructivas. De esta zona y época son los avanzados puentes urbanos de Florencia, el Ponte Vecchio y el Santa Trinitá. El primero fue construido en 1345 por Tadeo Gaddi con tres bóvedas rebajadas y pilas estrechas que mejoraba el comportamiento hidráulico. El rebajamiento de los arcos vino impuesto por el carácter urbano de la obra para conseguir una calzada a nivel de las calles adyacentes, que facilitase su inserción en la trama urbana de la ciudad y tuviese una buena accesibilidad. Atrás quedaban los puentes con pronunciada rasante alomada de la época medieval, pues los modelos de esta época volvían a ser los puentes romanos como el de Augusto de Rímini. Con el posterior puente de Santa Trinitá, construido por el ingeniero Bartolommeo Ammannati, se da un paso muy importante en el diseño de las bóvedas al darle una directriz formada por dos curvas parabólicas que se cruzaban en el centro, que mejora su estabilidad y optimiza la cantidad de fábrica necesaria, al ser la forma que mejor se adapta al antifunicular de las cargas habituales en los puentes.

Estos avances tardan en llegar a España donde se siguen mayoritariamente construyendo puentes con la asentada tradición medieval, tanto en lo referente a las técnicas como a la formación de los constructores cuyos conocimientos son fruto de la experiencia y no de un estudio reglado. Se dejaron a un lado los arcos apuntados para retomar la forma semicircular romana, con luces modestas y pilas que siguen siendo bastante anchas. Sin embargo hay casos singulares como el puente cacereño de Almaraz construido por Pedro de Uría en 1537 por orden de Carlos I, con un gran arco de 38 metros de luz, uno de los mayores arcos de fábrica de piedra de los construidos en España, que requirió el diseño de una cimbra especial que fue muy reconocida en su época (figura 22).

27 MENÉNDEZ-PIDAL, G. (1992): 137.

Fig. 22. Vista del lado aguas abajo del Puente de Almaraz (Cáceres) (M. Durán)



La financiación para la construcción de un puente en el siglo XVI era aportada por las poblaciones supuestamente beneficiadas y no por la población de ubicación o los comerciantes. Para determinarlas se trazaba un círculo de varias leguas y toda población que quedase en su interior debían contribuir con los conocidos «repartimientos» o «repartos». Otra figura fiscal era la «sisa», impuesto sobre el comercio y venta de determinados productos, como la sal o el vino. El mantenimiento, en el caso de que lo hubiese, se sufragaba con los caudales obtenidos por el cobro de los portazgos o pontazgos.

5. Los caminos reales del siglo XVIII

La llegada a España de la nueva monarquía de los Borbones con raíz en Francia, supuso un cambio en las formas de gobernar, con una importante repercusión en la construcción y mantenimiento de la red viaria nacional, que favoreció la realización de nuevos y mejores caminos en los que apoyar el desarrollo económico y el fomento de la riqueza de los reinos españoles, incrementando el comercio interior y su libre tránsito. La red de caminos antiguos se desarrollaba preferentemente en torno a las ciudades castellanas con conexiones a Cataluña, Valencia, Andalucía y

Lisboa, por lo que había zonas del país que quedaban aisladas, como Galicia, sin caminos aptos para el tráfico rodado y solo transitados a pie o en caballerías. Esta nueva administración planifica una amplia red de caminos llamados «carreteriles», con una concepción radial y con centro en Madrid, a imitación de la realizada por el ministro Colbert unas decenas de años antes en Francia con un sistema similar con centro en París. Los primeros tramos realizados fueron el camino entre Reinosa y Santander, terminado en 1752, que formaría parte del que daría a Castilla una salida al mar, y el de paso del puerto de Guadarrama que facilitaba el acceso de mercancías a Madrid, capital y corte, desde el norte, y concluidos sus 16 km de recorrido en 1750.

En 1755 aparece en Valencia el primer tratado sobre la construcción de caminos publicado en España cuyo autor es Tomás M. Fernández Mesa, que se inspiró en los sistemas legales y técnicos de los caminos romanos.

La construcción de los nuevos caminos se estructuró de acuerdo con un Real Decreto de 1761 impulsado por el Marqués de Esquilache, donde se planteaba la construcción de cuatro carreteras con inicio en Madrid y con direcciones a Cádiz, La Coruña, a la frontera con Francia pasando por Barcelona y La Junquera, y a Valencia. Posteriormente estos cuatro caminos iniciales pasan a ser seis, con dos nuevos accesos a la frontera francesa por San Sebastián, y a Badajoz. Sobre la base de estos caminos se construyeron las carreteras generales o nacionales, ya definidas por la Ley de 1851 conocida por Ley Arteta y desarrolladas en otras posteriores como la Ley Moyano de 1857²⁸.

El ingeniero militar Agustín de Betancourt y Molina, Inspector General de Caminos y Canales a comienzos del siglo XIX y primer director de la Escuela de Ingenieros de Caminos abierta en 1802, criticó con dureza la excesiva grandiosidad con la que se habían construidos los nuevos caminos, al haber sido concebidos erróneamente como grandes y anchos paseos dotados de numerosas obras de fábrica, muchas de ellas inútiles y de tamaños desproporcionados. Todo ello había producido unos gastos desorbitados que no habían sido suficientes para la conclusión de muchos de ellos.

Con la llegada del superintendente Floridablanca se intentó corregir esta situación con la construcción de caminos más modestos, pero las malas ejecuciones continuaron ante la escasez de personas facultativas a lo que se unía la poca inteligencia y la mala fe. Según Betancourt, estas deficiencias habían originado caminos mal trazados con curvas de escaso radio y bombeos inadecuados, aperturas del terreno sin afirmado ni compactación, plataformas ausentes de los materiales correspondientes, con alcantarillas mal ejecutadas que todos los inviernos se caen y con cuestas de

28 GARCÍA ORTEGA, P. (1982): 45 y ss.

fuerte pendiente que exigían el atado de las ruedas de las carretas para evitar que se despeñasen. En las obras de puentes de cierta entidad también se habían cometido importantes errores en el modo de cimentarlos superficialmente y sin pilotes, por lo que quedaban muy expuestos a la socavación. En otros la inversión ha sido desperdiciada por distintos errores de planteamiento y diseño, por ejemplo el diseño y construcción parcial de un puente sobre el río Júcar que se inició en tierra firme con la intención posterior de canalizar el río por un nuevo cauce bajo el puente²⁹. Este malogrado proyecto todavía se ve en medio de un naranjal de la huerta valenciana (figura 23).

Fig. 23: Vista del puente sin rematar en las cercanías del río Júcar en el trazado inicial del Camino Real de Madrid a Valencia (M. Durán)



Los caminos reales tenían anchuras que variaban entre los 7,00 y 12,00 metros entre cunetas, con firmes que seguían los diseños de Gautier o de Trésaguet. En el primero el relleno de cascajo y arena era confinado entre dos muretes o bordillos laterales, con un perfil bombeado y cunetas a ambos lados, mientras que en el segundo se abría una caja en el terreno y se iba rellenando con una primera capa de piedras gruesas recebadas con piedras más menudas, y dos capas más de piedras que eran partidas con martillos o «porrillas»³⁰. La picaresca de los contratistas adjudicatarios provocó algunos problemas ya que no vacilaban en forzar los taludes de los desmontes que los hacían inestables con frecuentes derrumbes, sobre todo en época invernal. Las cunetas eran someras, los espesores de las capas del firme

29 URIOL SALCEDO, J.I. (1990): I, 311-318.

30 MADRAZO, S. (1984): I, 190-191.

disminuían con frecuencia y en las obras de fábrica se escamoteaban los espesores de la sillería o la cantidad de cal en los hormigones o morteros.

Como elementos de señalización y adorno del camino se instalaron hitos pétreos llamados «leguarios» por marcar las leguas a la ciudad de destino, con variadas formas geométricas y adornos (figura 24). Era frecuente la plantación de árboles a ambos lados del camino que además de dar sombra la venta de su madera contribuía a su mantenimiento.

Fig. 24: Leguario de la carretera construida por el Arzobispo de Santiago Sebastián Malvar, y que unía Santiago con Tui (M. Durán)



El Camino Real a Galicia se dirigió a La Coruña, una vez descartada su entrada por el sur de la comunidad a pesar de su mayor poblamiento y economía, por motivos administrativos y militares ya que en Ferrol se ubicaba un importante arsenal de la Marina y en La Coruña tenía su sede la Real Audiencia y la Capitanía General de Galicia. El primer ingeniero jefe del camino fue José Crame, al que sucedió Carlos Lemaury. El primero elaboró un proyecto en 1762 con un trazado que trataba de evitar los puntos de difícil acceso en mal tiempo, por Villacastín, Zamora, Padornelo, Portomarín y La Coruña. Este trazado fue rechazado por desavenencias con la superioridad que le destituyó y envió comisionado a Cuba. Le substituyó en 1763 el polémico ingeniero de origen francés Carlos Lemaury que hizo las obras del

camino con el trazado que se conserva actualmente. Con base en los estudios del territorio realizados concluyó que el trazado más idóneo era el de la antigua vía romana, por lo que decidió a ocuparla con la nueva carretera y evitar, de este modo, los movimientos de tierra necesarios para una nueva apertura, con el consiguiente ahorro de caudales públicos. En 1764 halló en las cercanías del camino seis piedras romanas con restos de sus inscripciones, cinco de las cuales dibujó con detalle. Tres de ellas son trozos de columnas miliarias.

A lo largo del siglo XVIII, la construcción de una buena parte de los puentes de España siguió estando marcada por la mencionada tradición constructiva medieval representada y defendida por el cantero trasmerano Marcos de Vierna, que ocupó el puesto de Director de los Caminos y Puentes del Reino hasta su muerte en 1780 (figura 25).

Fig. 25: Puente Largo de Aranjuez en el Camino Real de Andalucía construido por Marcos de Vierna (M. Durán)



A partir del último tercio del siglo XVIII comienza una creciente participación de los ingenieros militares y posteriormente de los ingenieros de caminos en la construcción de las obras públicas, y en concreto de los puentes viarios. Incorporaron a su diseño y construcción los avances teóricos y prácticos que se habían desarrollado e implantado en países europeos como Italia y Francia, sobre todo este último que ejerció una gran influencia sobre la ingeniería española hasta bien avanzado el siglo XX. Se incorporaron los modelos y las técnicas desarrollados por la *École de Ponts et Chaussées* dirigida por el ingeniero Perronet, un gran constructor de puentes, que innovó su concepción y su construcción al cimbrar y ejecutar todas

las bóvedas de una vez lo que permitía una mayor delgadez de las pilas que, además de estar sometidas a una menor flexión, reduce favorablemente la perturbación en la corriente del río. Al finalizar la construcción solo quedaba la delicada operación de la retirada simultánea de todas las cimbras, para evitar que se produjesen empujes desequilibrados de las bóvedas sobre las pilas que provocar su vuelco y la consiguiente ruina de la obra. También se adaptaron las directrices parabólicas o de varios centros en los arcos, geometrías muy extendidas en Europa, por suponer una gran mejora sobre las semicirculares (figura 26).

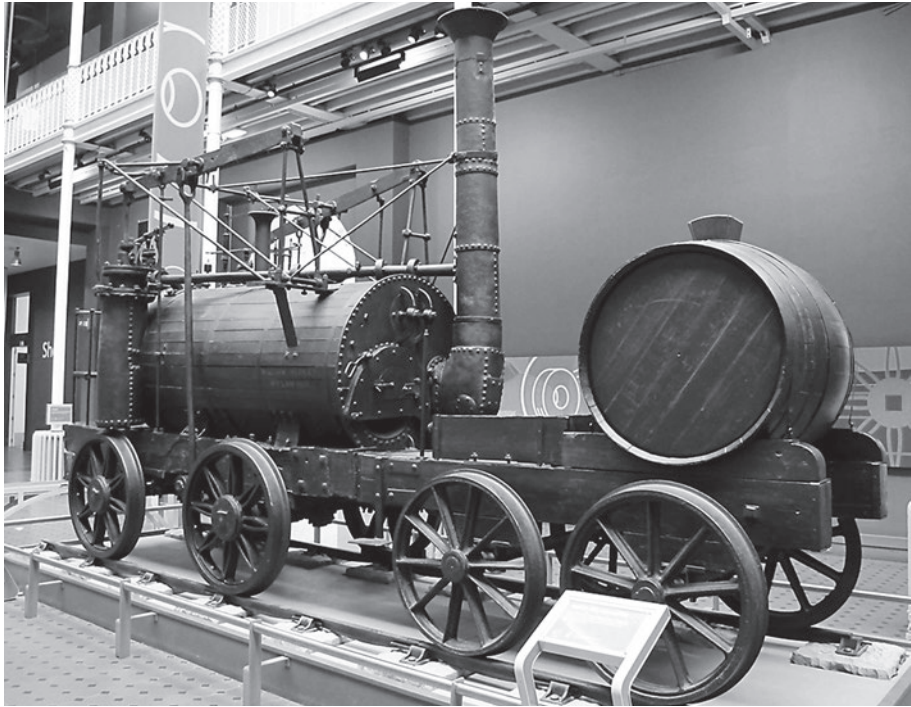
Fig. 26: Alzado aguas arriba de un puente del Camino Real A Galicia antes de Medina del Campo (M. Durán)



6. Las infraestructuras viarias de los siglos XIX y XX

El siglo XIX fue para la Ingeniería Civil un tiempo de grandes evoluciones y cambios, que vinieron de la mano de las revoluciones industrial, urbana y ciudadana que se habían iniciado en el siglo anterior y en diversos países europeos. Entre ellas se destaca la profunda remoción de los sistemas de transportes, tanto física como conceptualmente por la aparición del ferrocarril en una primera fase (figura 27) y de los vehículos motorizados posteriormente, que, entre otras ventajas, trajeron la posibilidad de transportar un gran volumen de mercancías y un importante número de viajeros a un precio económico y a gran velocidad para la época.

Fig. 27: La Rocket fue una de las primeras locomotoras a vapor, Museo Nacional de Escocia (M. Durán)



El número de puentes que ambos medios de transportes necesitaron fue impresionante, pues el tendido de vías y la construcción de carreteras se extendieron por toda Europa con una gran rapidez. Las fábricas habituales de piedra, ladrillo u hormigón de cal se siguieron empleando, pero fueron pasando a un segundo plano por su carestía una vez que fueron implantándose los nuevos materiales como la fundición, el acero y el cemento portland como aglomerante artificial de los hormigones.

La primera utilización de la fundición en un puente la llevó a cabo el inglés Abraham Darby en el puente de Coalbrookdale en 1777, que no logró imponerse ya que la industrialización del hierro y posteriormente del acero, interrumpió de un modo definitivo su uso. Estos nuevos materiales hacen que los ingenieros procedentes del sector de las obras públicas, entren en el campo de la arquitectura con proyectos de palacios de exposiciones, estaciones del ferrocarril, mercados, etc. La obra más paradigmática fue la Torre Eiffel de París de 300 metros de altura, construida para la Exposición Universal de 1889 y que a punto estuvo de ser derribada unos años más tarde ya que la estética de la arquitectura de acero tardó muchos años en ser comprendida y aceptada³¹.

31 DESWARTE, S., LEMONE, B. (1997): 11 y ss.

El desarrollo posterior de la industria metálica con la obtención del hierro colado y de los perfiles laminados obtenidos gracias al desarrollo de los trenes de laminación, permitió realizar estructuras de mayor envergadura y capaces de soportar las crecientes cargas de los nuevos medios de comunicación. La mayor novedad tipológica surge con los puentes colgantes, por la demanda creciente de puentes de gran luz; las primeras construcciones se realizan en Inglaterra, con Thomas Telford a la cabeza, que construyó el puente colgante sobre el estrecho de Menai en Gales, abierto al tráfico de carruajes en enero de 1826. El vano tenía 177 m. de luz y fue récord del mundo en su momento. Estas nuevas construcciones se hicieron mayores de edad en los Estados Unidos de América, con el emblemático puente de Brooklyn, primer gran puente colgante moderno, con un vano central de 487 m. de luz y dos laterales de 283 m. y una longitud total de 1.825 metros. La obra se inauguró el 24 de mayo de 1883³².

El modelo de puente metálico más habitual es el de celosías formadas con perfiles laminados de acero, unidos con roblones y posteriormente con cordones de soldadura, fáciles de montar y económicos, muy empleados tanto en la red ferroviaria como en la de carreteras. Otro modelo menos usado fue el puente de vigas con secciones en doble T o cajón (figura 28).

Fig. 28: Puente metálico formado por dos vigas doble T de alma llena en la antigua N-120 en Os Peares (Ourense-Lugo) sobre el río Sil (M. Durán)



32 DESWARTE, S., LEMONE, B. (1997): 131 y ss.

Otro descubrimiento del siglo XIX que ha resultado decisivo en el ámbito de la construcción fue el cemento artificial, un aglomerante que sustituyó definitivamente a la cal de los hormigones estructurales. Las primeras aportaciones importantes fueron del ingeniero inglés Smeaton, que ensayó una cal hidráulica artificial en la construcción del famoso faro de Eddystone y de los también ingleses James Parker y Wyatt que en 1796 obtuvieron la patente de un ligante hidráulico que llamaron «cemento romano», realizado con cenizas naturales y margas calcáreas. Otro investigador fundamental fue el ingeniero francés L.J. Vicat, que concibió la exitosa preparación artificial del cemento calcinando conjuntamente creta (carbonato cálcico) y arcilla (sílice y alúmina). Pero la aportación definitiva la hizo el inglés Joseph Apsidin que consiguió producir el primer cemento artificial sometiendo a altas temperaturas una mezcla de arcilla y creta³³. Le llamó cemento Portland a causa de la semejanza con la piedra de esta zona de Inglaterra, que era un material muy empleado en la época. Lo patentó en 1824 y su fabricación se desarrolló industrialmente a partir de 1850³⁴.

El entorno social, técnico y económico de la mitad del siglo XIX estaba preparado para la invención del hormigón armado, una mezcla de cemento y acero que mejoraba sus prestaciones resistentes al ser capaz, por la incorporación de barras de acero, de soportar los esfuerzos de tracción.

La incorporación de este nuevo material a la construcción de puentes supuso la paulatina e irremediable desaparición de las fábricas de piedra y ladrillo que limitaban la luz de sus bóvedas. El hormigón armado permitió llevarlas a unas medidas cuatro veces mayores, con una mayor economía, rapidez de ejecución y sobre todo facultó a los proyectistas a proyectarlos con nuevas formas estructurales —al principio imitaban los tipos realizados con madera o metálicos (figura 29)— gracias a la maleabilidad del hormigón fresco que le permite reproducir la forma del encofrado una vez fraguado.

33 SIMONET, C. (2009): 221-222.

34 SIMONET, C. (2009): 19 y ss.

Fig. 29: Puente antiguo de hormigón armado imitando las celosías metálicas, cercano a Portimão (Portugal) (M. Durán)



A partir de la segunda mitad del siglo XX se impone el pretensado en la construcción de puentes, por la posibilidad de anular la fisurabilidad de la estructura de hormigón gracias a la introducción previa de unos esfuerzos de compresión a través de unas armaduras, que se tensaban previamente hasta un valor similar a las tracciones que se generarían una vez puesta en servicio. Sin duda la figura principal del empleo inicial de este material es el ingeniero francés Eugène Freyssinet que le da un espectacular impulso. Construyó importantes obras con hormigón armado como los hangares de dirigibles en Orly o el puente de tres grandes arcos de Plougastel los cuales, con unas luces de 186,40 m, fueron durante un tiempo récord del mundo. Abandona el uso del hormigón armado en 1928 y se dedica con gran intensidad al desarrollo del hormigón pretensado, empleando en ello muchas meditaciones y ensayos. A partir de 1936 año en el que construye su primer puente de hormigón pretensado en la presa de Portes-de-Fer, Freyssinet avanza en sus diseños, que materializa de un gran manera en el puente de Luzancy de 55 m. de luz sobre el río Marne cerca de París, iniciado en 1941 y finalizado en 1946 después de una interrupción de cinco años por la guerra. Consta de tres vigas cajón formadas por 22 dovelas prefabricadas unidas entre sí por armaduras postesadas en sentido longitudinal y transversal, y que para su montaje no necesitaron cimbras³⁵.

A pesar de que a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX el ferrocarril fue considerado como un prometedor y exitoso medio de transporte, no por ello los vehículos quedaron relegados así como la mejoras de las carreteras que siguieron siendo impulsadas por los diferentes gobiernos de España, sobre todo en las redes

35 FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, J.A. (1978): 220-228.

provinciales y vecinales. Los coches y las diligencias sobrevivían lánguidamente en aquellas rutas no cubiertas por el ferrocarril, y discurrían por carreteras afirmadas con «macadam», sistema en el que se empleaban piedras irregulares que se ligaban entre sí por una compactación inicial, unión que se volvía más sólida por la acción de las ruedas de los vehículos. El transporte por carretera comenzó a competir con el ferrocarril a partir de la invención de los motores, que por la combustión interna de un combustible en un cilindro y la expansión de los gases producidos producía el movimiento vertical de los pistones, alojados en el citado cilindro, transformado en un movimiento giratorio por medio de un cigüeñal.

El primer viaje de un vehículo con un motor de explosión de gasolina se realizó en 1863. El empujón definitivo lo dieron, en primer lugar, el alemán Otto en 1876 con la invención del motor de cuatro tiempos, y en segundo lugar los también alemanes Daymler y Maybach que lo perfeccionaron en 1882 y 1883. Un complemento auxiliar muy importante fue la invención de las llantas neumáticas por el veterinario irlandés Dunlop en el año 1888. Con ellas el coche pudo incrementar su velocidad que ascendió a gran ritmo, desde la de 20 km/h alcanzada en la primera carrera internacional de vehículos en 1894, a los 83 km/h de 1902 y los 105 km/h de 1909³⁶.

El incremento de la circulación de vehículos, su mayor velocidad y la necesidad perentoria de reducir la producción de polvo, exigieron la mejora de la rodadura de los pavimentos de tierra de las carreteras, para lo cual se emplearon nuevos materiales como el hormigón de cemento portland, utilizado por primera vez en unas carreteras de Escocia en 1865 cerca de la ciudad de Inverness y siete años más tarde en Edimburgo. Donde tuvieron una gran expansión las carreteras con pavimentos de hormigón fue en Estados Unidos pues desde 1915 a 1926 el número de metros cuadrados en uso se multiplicó por 7 hasta alcanzar los 38 millones. Otro de los materiales empleado por los países europeos que carecían de petróleo, fue el alquitrán, un producto barato obtenido en la destilación seca de la hulla.

En 1930 la mayoría de las carreteras inglesas estaban alquitranadas³⁷. Finalmente fue el asfalto, ya utilizado en las calzadas mesopotámicas, el material más empleado en las carreteras y que inicialmente procedía del fundido de rocas asfálticas —utilizado por primera vez en 1854 en la pavimentación de calles de París— y posteriormente de los yacimientos de asfalto natural como los de la isla Trinidad. Con la explotación de los yacimientos de petróleo, el asfalto comenzó a proceder del betún, un subproducto de la destilación del petróleo, y de él han derivado las emulsiones elaboradas con agua, agentes emulsionantes y betún asfáltico, que

36 HENTRICH, H. (1934): 5-6.

37 HENTRICH, H. (1934): 441-442.

constituyen el producto asfáltico base de los pavimentos de las modernas carreteras y autovías³⁸.

Al principio del siglo XX en España el problema de las malas carreteras se había agudizado, ya que el 90 % de ellas eran inservibles para las nuevas exigencias de los automóviles. Había que rehacerlas o desaprovechar las ventajas económicas que ofrecía el transporte automóvil. Gracias al notable auge económico que tuvo España durante la Primera Guerra Mundial y a la proliferación del automóvil que desde 1925 circulaba por las carreteras españolas, se incrementó de una forma progresiva la mejora de las carreteras. La transformación más importante se produjo con el *Circuito Nacional de Firmes Especiales* de 1926. Con este plan se pretendía no solo la mejora de la construcción de los firmes de las carreteras y su adaptación al creciente tránsito de automóviles, sino también fomentar el turismo que comenzaba a generalizarse por las zonas de mayor valor histórico y artístico creando unos circuitos de buenas carreteras. Para llevar a cabo este ambicioso plan se creó un nuevo organismo autónomo con personal y medios propios para llevarlo adelante.

Tuvo un gran éxito ya que cambió las carreteras españolas hasta tal punto que ilustres visitantes extranjeros, como el arquitecto Le Corbusier, alabasen sus resultados. En un conocido libro del viajero inglés Freeston se manifestaba que las carreteras españolas en 1930 eran las mejores del mundo³⁹. Después de la guerra civil destacan el Plan de Modernización de Carreteras de 1950, el Plan General de Carreteras de 1960, el Plan Redia de los años 60 y 70, el de Autopistas del 70 y de Autovías (Plan General de carreteras 1984-1991), hitos que jalonan la historia más cercana de nuestras carreteras.

Un escalón más en el progreso de la red viaria española fue la incorporación en los años 60 del siglo pasado de las modernas autopistas⁴⁰. La primera que se construyó en Europa fue en 1921 en Italia para unir la ciudad de Milán con los lagos Como, Varese y Maggiore. Las autopistas son vías para uso exclusivo de automóviles, con sentidos de circulación separados, que no tienen cruces a nivel, con un trazado de alineaciones rectas y curvas de amplios radios, que no pasa por las poblaciones y que está cerrada mediante vallas.

Para finalizar solo queda mencionar el gran avance del transporte ferroviario de viajeros en España, con la construcción de una amplia red de vías de alta velocidad, la segunda más extensa del mundo en 2013, que le ha permitido ser un país competitivo a nivel mundial en la construcción de este tipo de infraestructuras y en la tecnología empleada.

38 *Ibidem*: 487-99

39 FREESTON, C. L. (1930): 13

40 RODRÍGUEZ LÁZARO, F.J. (2004): 183-290

BIBLIOGRAFÍA

a) Monografías

- BELLO DIÉGUEZ, J.M; CRIADO BOADO, F.; VÁZQUEZ VARELA, J.M. (1987): *La cultura megalítica de la provincia de La Coruña y sus relaciones con el marco natural: implicaciones socio-económicas*, A Coruña, Diputación Provincial..
- BERGIER, N (1728) [2008]: *Histoire des grands chemins de l'Empire Romain*, Hisdesheim, Reed - Georg Olms - Verlag.
- CHEVALLIER, R. (1997): *Les voies romaines*, París, Picard.
- CONNAN, J. (2012): *Le bitume dans l'antiquité*, Arlés, Éditions Errance.
- DESWARTE, S., LEMONE, B. (1997): *L'architecture et les ingénieurs*, París, Éditions du Moniteur
- DURÁN FUENTES, M.; NÁRDIZ ORTIZ, C.; FERRER SIERRA, S.; AMADO ROLÁN, N. (1999): *La Vía Nova en la Serra do Xurés-Ourense*, Santiago de Compostela, Xunta de Galicia.
- DURÁN FUENTES, M. (2005): *La construcción de puentes romanos en Hispania*, Santiago de Compostela, Xunta de Galicia.
- DURÁN FUENTES, M.; SIERRA FERRER, S. (2013): *A Ponte Vella de Lugo. Arqueoloxía e enxeñería histórica*, Lugo, Concello de Lugo.
- FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, J.A. (1978): *Eugène Freyssinet*, Barcelona, 2c Ediciones.
- FERRERIRA PRIEGUE, E. (1988): *Los caminos medievales de Galicia*, Ourense, Boletín Auriense [Anexo nº 9].
- FREESTON, C.L. (1930): *The roads of Spain. A 5000 miles journey in the new touring paradise*, Londres, Humphrey Toulmin.
- GARCÍA ORTEGA, P. (1982): *Historia de la legislación española de caminos y carreteras*, Madrid, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
- GIMPEL, J. (1981): *La revolución industrial de la Edad Media*, Madrid, Taurus.
- HENTRICH, H. (1934): *La moderna construcción de carreteras*, Barcelona, Lábor.
- LÓPEZ PAZ, P. (1994): *La Ciudad Romana ideal. 1. El territorio*, Santiago de Compostela, La Editorial de la Historia.
- MADRAZO, S. (1984): *El sistema de transportes en España, 1750-1850*, Vols. I y II, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos-Turner.
- MARGUERON, J-C. (1991): *Les Mesopotamiens*, Tomos I y II, París, Armand Colin.
- MENÉNDEZ-PIDAL, G. (1992): *España en sus caminos*, Madrid, Caja de Madrid.
- MIZAL, J.A. (1989): *Los caminos de Al-Andalus en el siglo XII*, Madrid, CSIC.
- PAVÓN MALDONADO, B. (1990): *Tratado de arquitectura musulmana. I Agua*, Madrid, CSIC.

- RODRÍGUEZ LÁZARO, F.J. (2004): *Las primeras autopistas españolas (1925/1936)*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos.
- SIMONET, C. (2009): *Hormigón. Historia de un material*, San Sebastián, Nerea.
- STEINMAN, D.B.; WATSON, S. R. (1979): *Puentes y sus constructores*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos-Turner.
- TILBURG, C. VAN (2007): *Traffic and congestion in the Roman Empire*, Nueva York, Routledge.
- URIOL SALCEDO, J.I. (1990): *Historia de los caminos de España*, Vols. I y II, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos.
- VITRUBIO POLIÓN, M. [1997]: *Los diez libros de Arquitectura*, Madrid, Alianza (Trad. de J.L. OLIVER DOMINGO).

b) Artículos de revista

- ALVARADO BLANCO, S. (1979): «A Pontóriga. Sobre los restos de un antiguo puente romano cerca de Sobradelo de Valdeorras», *Boletín Auriense*, 9.
- SÁNCHEZ REY, J.A. (1994): «Portazgos y otras exacciones por el uso de los caminos en la Edad Media», *Revista de Obras Públicas*, 3.337.

c) Colaboración en obra colectiva

- MARTÍNEZ LILLO, S. (2003): «Poblamiento y red viaria», en *Curso de Ingeniería Hispano Musulmana*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos.
- MORENO GALLO, I. (2002): «Infraestructura viaria romana», en *II Congreso: Las obras públicas romanas en Hispania*, Mérida.