

MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

TÉCNICA E INGENIERÍA EN ESPAÑA

I

EL RENACIMIENTO

De la técnica imperial y la popular

Alicia Cámara Muñoz	M. ^a Jesús Mancho Duque
Jordi Cartaña i Pinén	Pedro Mora Piris
Fernando Cobos Guerra	Fernando Sáenz Ridruejo
Jesús Criado Mainar	Julio Sánchez Gómez
Mariano Esteban Piñeiro	Manuel Silva Suárez
Nicolás García Tapia	M. ^a Isabel Vicente Maroto
Miguel Á. Granada Martínez	Siro Villas Tinoco
Alexander G. Keller	

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA
INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO»
PRENSAS UNIVERSITARIAS DE ZARAGOZA

Publicación número 2.829
de la
Institución «Fernando el Católico»
(Excma. Diputación de Zaragoza)
Plaza de España, 2 • 50007 Zaragoza (España)
Tels.: [34] 976 288878/79 • Fax [34] 976 288869
ifc@dpz.es
<http://ifc.dpz.es>

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA SUÁREZ, Manuel
El Renacimiento: De la técnica imperial y la popular / Manuel Silva Suárez. —
Zaragoza: Real Academia de Ingeniería : Institución «Fernando el Católico» :
Prensas Universitarias, 2008

760 p. : il. ; 24 cm. — (Técnica e Ingeniería en España ; I)
ISBN: 978-7820-XXX-X

1. Ingeniería-Historia-S. XVI y XVII. I. SILVA SUÁREZ, Manuel, ed. II. Institución
«Fernando el Católico», ed.

© De los textos, sus autores.

© De la presente edición, Real Academia de Ingeniería, Institución «Fernando el Católico»,
Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008.

Cubierta: Diversos modelos de alambiques recogidos por Miguel Agustí en el libro
Secrets d'Agricultura, casa rústica i pastoril (Barcelona, 1617). El uso más
común de estos ingenios era la destilación de licores. No obstante, con el
objetivo de conseguir restaurativos medicinales, también se empleaba para
conseguir extractos de flores, cortezas, frutas y raíces, e incluso de animales
como ranas, garzas, babosas u hormigas.

Contracubierta: Para romper una pieza defectuosa de artillería se construía un peque-
ño horno con el que se le calentaba por el lugar deseado. Una vez alcanza-
da la temperatura adecuada se rompía con golpes de maza. Con objeto de
avivar el fuego se solía emplear una pareja de barquines como los mostra-
dos. (*Discurso del Capitán Cristóbal Lechuga, en que trata de la Artillería y
de todo lo necesario a ella con un tratado de fortificación y otros adverti-
mientos*, Milán, 1611; fig. 27).

ISBN: 978-84-7820-814-2 (obra completa)

ISBN: 978-84-7820-975-0 (2.ª edición ampliada del volumen I)

Depósito Legal: Z-XXXX-08

Corrección ortotipográfica: Marisancho Menjón y María Regina Ramón

Maquetación: Littera

Impresión: ARPI Relieve, Zaragoza

IMPRESO EN ESPAÑA - UNIÓN EUROPEA

Ingeniería y obra pública civil

Fernando Sáenz Ridruejo
Ministerio de Medio Ambiente

A los efectos de esta conferencia, consideramos que el Renacimiento español se extiende desde la subida al trono de los Reyes Católicos hasta la muerte de Felipe II. Analizaremos, por lo tanto, la evolución de las obras públicas en nuestro país durante el último cuarto del siglo xv y la práctica totalidad del siglo xvi. No haremos un estudio específico de la influencia ejercida por la ingeniería renacentista europea, italiana o de otros países, ni nos extenderemos de forma general sobre el estado del arte en este periodo. Tampoco se analizan detalladamente los conocimientos científicos, el origen o la formación de los técnicos que trabajaron en las obras públicas del Renacimiento español, ni los tratados en que se formaron o que ellos mismos escribieron, por ser materias que se abordan en otras sesiones. No obstante, algunos de los técnicos más importantes y de los tratados más representativos irán apareciendo al hilo del análisis de las diversas obras y sectores de actividad.

Los reinados, en conjunción perfecta, de Isabel I de Castilla y de Fernando II de Aragón, marcaron ante todo el triunfo del poder real frente a la nobleza y, aparte de la extensión de los límites territoriales de estos reinos, representaron su fortalecimiento, con anulación de privilegios señoriales y ruptura o permeabilidad de las fronteras, lo que acarrió la consiguiente homogeneización del país, la extensión del comercio y el aumento de la riqueza. En el reinado de Carlos I podemos distinguir dos periodos diferentes, caracterizado el primero de ellos por las revueltas ciudadanas frente a los gobernantes flamencos y el segundo por la implantación del poder imperial, que quedará plasmado en los escudos y lápidas que en las obras públicas se conservan. La atención del emperador estará centrada, en cualquier caso, en sus guerras exteriores. Felipe II es, en contraposición a su padre, un monarca centrado en la Península, preocupado por la minuciosa administración de sus reinos, pero también por la arquitectura, la jardinería y las obras de utilidad pública. De las primeras décadas de su reinado data buena parte de las obras de ingeniería que hemos de encontrar en nuestro rápido recorrido.

El historiador de las obras públicas en España Pablo de Alzola, tan crítico de la labor realizada por los monarcas españoles en esta materia y tan poco dado a las efusiones líricas, se expresa en estos términos al referirse a los Reyes Católicos:

El corazón se ensancha al seguir paso a paso la obra de regeneración que debió España a la más ilustre de sus reinas, secundada por el saber, la sagacidad, la extremada prudencia y la habilidad de Fernando, y debieran servir de grandísima enseñanza a los gobernantes españoles los prodigiosos resultados alcanzados como por ensalmo en la prosperidad nacional mientras la nave del Estado estuvo guiada por manos tan expertas¹.

En matización de las afirmaciones precedentes, y como crítica que más bien se refiere a sus descendientes, considera Alzola que el excesivo dirigismo de los Reyes Católicos era necesario para salir de la anárquica situación anterior; pero que, en un cierto momento, ese dirigismo se convirtió en un dogal que terminó por ahogar cualquier iniciativa. Señala que los ayuntamientos no sólo necesitaban autorización para edificar las casas consistoriales, lonjas de peso, hospitales, hospicios, alcantarillas, abrevaderos y puentes, sino para empedrar las calles y dictar ordenanzas o reglas de policía. «La tutela —afirma— que resulta conveniente en la primera juventud llega a ser perniciosa en la madurez». Y termina diciendo: «Por desgracia, fueron cada vez más fuertes las ligaduras y deplorables sus consecuencias, especialmente para el desarrollo de la producción nacional».

Se puede decir, por lo tanto, con todo el riesgo que cualquier simplificación comporta, que el periodo más fecundo para el desarrollo de las obras públicas fue el reinado de los Reyes Católicos, hasta la muerte de Fernando, aunque, paradójicamente, sea la época de menos realizaciones físicas. La época de la que más símbolos quedan, en pilas de puentes o fachadas de edificios, es la de Carlos V y los años en que más se trabajó son los veinte o veinticinco primeros del reinado de Felipe II.

La exposición que sigue se va a circunscribir al examen sectorial de la ingeniería civil del siglo XVI y de los últimos años del XV, distinguiendo las tres ramas clásicas en que luego, a partir del XIX, se dividiría esta materia: vías y obras de comunicación, obras hidráulicas y obras portuarias.

I

CAMINOS Y PUENTES

I.1. *Caminos de los Reyes Católicos*

No puede decirse que, al advenimiento de los Reyes Católicos, hubiese en España una red viaria en el sentido que hoy damos a esa expresión. Existían restos inconexos de la antigua red de calzadas romanas, existían rutas tradicionalmente seguidas por las tropas en los ya cada vez menos frecuentes escauceos militares y existían caminos de herradura, abiertos por trajinantes y peregrinos. La única red de comunicaciones estructurada era la de las vías pecuarias, que quedarán fuera de

¹ P. de ALZOLA, p. 100.

nuestra atención: eran los caminos de la Mesta, con sus cañadas, con los cordeles y veredas que a ellas concurrían y con toda una serie de contaderos, rediles, descansaderos y demás instalaciones auxiliares.

La labor de los Reyes Católicos, como se ha dicho, fue más de impulso que de construcción. Hay que advertir, por otra parte, que los caminantes de la época no precisaban tanto de grandes infraestructuras como de liberalización de derechos señoriales, de seguridad frente al bandidaje y de reparaciones puntuales en puentes o barcas. Como el movimiento se demuestra andando, fueron los monarcas unos impenitentes viajeros. Su corte itinerante cruzó mil veces la Península, tomando el pulso a todos los asuntos de sus reinos y, en primer término, al estado de los caminos. El *Itinerario* publicado por el profesor Rumeu de Armas, en que se les sigue la pista día a día, plasmando en mapas trianuales los viajes que juntos o separados realizaron, resulta apabullante². Aparte de estancias prolongadas en poblaciones donde se reunían las Cortes —como fue el caso de Fernando en Monzón, durante varios meses de 1510—, podemos contabilizar 54 estancias distintas, correspondientes a otros tantos viajes, en Medina del Campo, 49 en Valladolid, 47 en Burgos, 38 en Madrid, 35 en Córdoba, 28 en Tordesillas, 26 en Sevilla, 25 en Logroño, 22 en Segovia, 21 en Zaragoza, 16 en Toledo, 15 en Barcelona, 13 en Almazán (corte de su hijo el príncipe don Juan, cerca del confín de ambos reinos), 11 en Granada. Frente a estas cifras pueden parecer escasas las 7 veces en que recalaron en Cáceres, las 5 de Valencia, las 3 en que viajaron a Murcia o las 2 en que lo hicieron a Bilbao o La Coruña.

Podría componerse, con todos estos itinerarios, en los que también constan muchos puntos intermedios del recorrido, un mapa de los caminos de España; pero no serviría para reflejar las condiciones de los viajes de la época, pues los Reyes Católicos, que se mueven lentamente, despachando toda clase de asuntos, y acampan cuando es preciso en su campamento, no necesitan atenerse a los caminos de los arrieros ni rendir jornada en las posadas. Diremos, en cualquier caso, que las meras cifras antes citadas reflejan una mayor densidad de movimientos en el triángulo Salamanca-Burgos-Toledo, que también aparecerá privilegiado en los repertorios de caminos de los siguientes reinados. Y no es casual que la primacía de estancias se sitúe en el centro de gravedad de ese triángulo, en Medina del Campo, verdadera capital económica de Castilla.

García Ortega señala el impulso dado por los Reyes Católicos a la reparación de caminos y, aparte de las ordenanzas reguladoras de la Mesta, destaca cuatro aspectos principales en su actividad normativa: creación, en 1497, de la «Cabaña Real de Carreteros y Tragineros», con privilegios semejantes a los mesteños; orden, mediante cédula de 1495, para construir carriles en el recién conquistado reino de Granada; providencia dada en Medina, en 1497, ordenando a los concejos reparar los caminos de sus términos y vigilar para que los colindantes no los cerrasen ni «angostasen» y,

² A. RUMEU DE ARMAS: *Itinerario de los Reyes Católicos*.

previamente, creación, en 1476, de la Santa Hermandad, cuyos cuadrilleros debían garantizar la seguridad en los caminos y despoblados³. La orden de abrir los carriles granadinos, de Guadix con Baza y La Calahorra y de Granada con los puertos de Almuñécar y Adra, vendría inmediatamente seguida por otra referente a los enlaces de Ronda con Sevilla y Jerez y de Ronda con Marbella y Gibraltar. El espíritu que presidió estas disposiciones —y todas las de su reinado— quedó plasmado en esta frase magnífica:

Fechos estos carriles toda la tierra se podrá proveer de una parte a otra a muy poca costa e será mucho bien e provecho de toda la gente.

Es decir, acabada la reconquista, han desaparecido las motivaciones militares y lo que prima en la consideración de los monarcas son las razones económicas y el bienestar de sus súbditos.

I.2. *El siglo XVI*

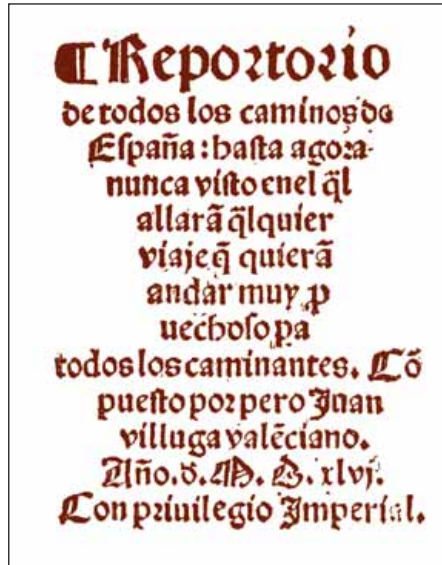
García Ortega se muestra muy crítico al referirse a los caminos de tiempos de los Austrias. «La situación de los caminos en España —afirma— fue deplorable por la nula atención de los poderes públicos tanto a la apertura de nuevos caminos, como en lo tocante a la conservación de los existentes, salvo ocasionalmente en determinados tramos por necesidades de transporte de trenes de artillería o para hacer posibles, o menos incómodos, los viajes de reyes o de personas de la Casa Real». Únicamente cabe señalar algunas disposiciones camineras de Felipe II, entre las que resulta interesante la acordada en las Cortes de Madrid, de 1586 a 1590, para que se balizasen los puertos de montaña con pilares que marcaran el camino en tiempo de nieves⁴.

Existen dos «repertorios de caminos», uno de 1546 y otro de treinta años más tarde, que, con ciertas salvedades, nos permiten trazar un mapa de los caminos del siglo XVI. El primero se debe al valenciano Pedro Juan de Villuga, que al parecer ejercía de correo entre monasterios, por lo que estos aparecen abundantemente representados en los 139 itinerarios de que consta. La longitud de estos caminos, prescindiendo de los tramos solapados, asciende a 18.000 kilómetros. En ellos se señalan 214 ventas, 6 barcas y 21 puentes. José Ignacio Uriol llama la atención sobre el hecho de que los itinerarios atraviesan las fronteras, no sólo entre los reinos de Castilla y Aragón, sino también con Portugal, sin que se efectúe la menor advertencia al viajero, a pesar de que son frecuentes las anotaciones sobre otros aspectos de las rutas⁵. Es esto muestra de la avanzada integración entre los reinos peninsulares, incluso antes de la unión, bajo Felipe II, de España y Portugal. En conjunto, los caminos de

³ P. GARCÍA ORTEGA, pp. 35-37.

⁴ Ídem., p. 37.

⁵ J. I. URIOL, p. 115.



9.1. Repertorio de Caminos por Pedro Juan de Villuga, 1546.

Villuga muestran una red descentralizada, con mayor densidad en el triángulo formado por Burgos, Salamanca y Toledo.

El repertorio de Alonso de Meneses, publicado en 1576, no es sino una reedición del de Villuga, ordenado alfabéticamente, con la supresión de algún itinerario y la adición de algunos otros entre los que destacan el de Madrid a Roma y el de Madrid a Valladolid. Son reflejo del establecimiento de la Corte en Madrid a partir de 1561 y de la creciente importancia de las actividades en Italia. Nuestro conocimiento de los caminos en época de Felipe II se completa con los itinerarios de los viajes regios, que nos han dejado cronistas como el arquero Enrique Cook, o de los caminos seguidos por otros personajes como Santa Teresa, cuyos viajes ha estudiado Jesús María Ugalde.

1.3. Los puentes renacentistas

A diferencia de los caminos, los puentes son un buen reflejo de la ingeniería del Renacimiento pues, aunque en general se siguiera utilizando y reparando los puentes medievales, en los de nueva planta pueden distinguirse algunas características representativas de los nuevos tiempos y de una nueva mentalidad. El puente medieval va casi siempre unido a un concepto defensivo, es estrecho y está jalonado, en sus extremos o incluso sobre su arco central, por torres con rastrillos. El tremendo lema de la ciudad de Cieza (*Por pasar la puente, nos dieron la muerte*) puede ser un ejemplo de esa situación. A finales del siglo xv, pacificados los reinos, el puente recupera su plena función de vínculo y pierde el carácter de frontera. El puente renacentista es más ancho, no tiene torres o si las tiene son conmemorativas, con

capillas o monumentos. Se refuerzan los aspectos ornamentales; incluso lejos de las ciudades, se cuida su estereotomía y se realiza la estética con impostas y líneas verticales que dan vida a los paramentos. Son frecuentes los escudos de sus promotores, colocados sobre la clave o en alguna de las pilas. No tanto en España, pero en el centro de Europa los puentes urbanos se aprovechan para la construcción, sobre ellos, de casas y comercios.

Los puentes siguen formándose con arcos de medio punto, mientras desaparecen casi por completo los arcos ojivales. Aunque, ya en el siglo XIV, el Ponte Vecchio de Florencia constase de bóvedas segmentales y luego, sobre el mismo río Arno, se construyese el puente de la Santa Trinitá, la tipología de los arcos rebajados no se impondría hasta bien entrado el siglo XVIII y no entraría en España hasta principios del XIX. No fue ajeno a esto el problema de la escasez de madera para las cimbras, pues, a menos que se construyeran pilas robustísimas que permitieran, como había sido el caso del puente romano de Alconétar, tender arcos escarzanos cimbrados de uno en uno, los fuertes empujes que los arcos rebajados transmitían obligaban a cimbrar y descimbrar todos los arcos simultáneamente. La relación entre la luz de los arcos y el espesor de las pilas no muestra una esbeltez mucho mayor en los puentes renacentistas que en los medievales.

Aunque en algunos casos la sección transversal del valle obligase al perfil en lomo de asno más o menos acentuado, las rasantes tienden, en general, a la horizontal, que había sido la tónica de los puentes romanos. En las pilas, lo común es que los tajamares, si no rematan en pináculos cónicos, se prolonguen hasta la coronación, dando lugar a ensanchamientos de la calzada que se aprovechan como descansaderos y festejaderos. Son lugares a los que las gentes acuden, como en la famosa novela de Ivo Andrić, a charlar, a pescar o a ver pasar las aguas. La sección de los tajamares es normalmente triangular —o, más raramente, ojival— aguas arriba y rectangular o semicircular aguas abajo. En puentes monumentales de fuertes pilas, éstas rematan con tambores semicilíndricos en ambos paramentos.

Begoña Arrúe, estudiando los puentes renacentistas de La Rioja, ha encontrado unas características que pueden aceptarse de forma general: «Se hace evidente la tendencia a la simetría y seguridad en el trazado de arcos y bóvedas [...] y se busca una mayor regularidad en los aparejos, en especial en el corte de la sillería y su asiento, tanto a hueso, con grapas o argamasa, isódomo a soga y con alternancia de tizones en ciertas zonas»⁶.

También se hicieron, por supuesto, muchísimos puentes de madera, no forzosamente con carácter provisional; pero, por las avenidas o por la mala conservación, no han llegado a nuestros días. Los entramados de las estructuras de madera fueron objeto de diseños racionales, como los de Palladio, y de otros que no lo son tanto,

⁶ En B. ARRÚE y J. G. MOYA, p. 135.

como los que aparecen en *Los veintiún libros*⁷. Se conservan dibujos de algunos francamente disparatados, como el que Patricio Caxés propuso para un puente sobre el Manzanares, en Madrid. Entre los puentes de madera de que tenemos noticias destacaremos el de San Sebastián, sobre el Urumea. «Tiene este río —afirma Pedro de Medina— una puente de madera muy hermosa de quasi quinientos pasos de largo sobre grandes pinzones de pino y mástiles altos y gruesos. Y por ser el río hondo es de gentil artificio»⁸.

La actividad ingenieril fue mucho mayor, y ha quedado mejor reflejada, en la construcción de puentes que en reparación de caminos. Llaguno, en su *Noticia de la arquitectura y arquitectos en España*, cita muchas órdenes expedidas por los Reyes Católicos para la reedificación o reparación de puentes antiguos en varias ciudades españolas. En 1498 autorizaron las actuaciones en los puentes de Oviedo, Trujillo y Medina, así como en el de Boecillo, sobre el Duero, y en los del Congosto, Úbeda, Olivares y San Vicente de la Barquera. De este último, el puente de la Maza, de 32 arcos, sabemos, sin embargo, que se no se construyó hasta la segunda mitad de la centuria siguiente.

Especial interés tiene la actuación promovida por la reina en «las puentes» de Segovia y su tierra. Llaguno da la fecha de 1497; pero, como consta en la documentación recogida por Gómez de Somorrostro, mucho antes, en 1483, Isabel encomendó al prior del monasterio del Parral, fray Pedro de Mesa, el arreglo del acueducto —«la puente seca»—, de los puentes de la ciudad y su tierra —que entonces era muy amplia y abarcaba numerosos municipios del oeste de la actual provincia de Madrid— y de la cerca y los adarves de la ciudad, que estaban mal reparados y «encomenzaban a caer». En compañía de los maestros y regidores diputados de la ciudad, efectuó fray Pedro el reconocimiento y la tasación de las obras y estableció un repartimiento de los gastos en que participaban los distintos estamentos de Segovia, incluidos el obispo y las aljamas de judíos y de moros, y las diferentes poblaciones que habrían de beneficiarse de las reparaciones.

Los trabajos duraron varios años y se extendieron al mandato de su sucesor, fray Gonzalo de Frías. Se encargó de la dirección de los trabajos Juan de Escovedo, un fraile procedente, como tantos constructores de la época, de la Merindad de Trasmiera, en la Montaña. Por fin, en abril de 1489, fray Gonzalo y fray Juan dieron cuenta a la «muy alta e muy poderosa Princesa Reina e señora nuestra» de los reparos que se habían hecho y de las cantidades empleadas en cada uno de los tajos. Especial importancia tuvieron las reparaciones del acueducto, que incluían la presa

⁷ J. A. FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ y D. FERNÁNDEZ-ORDÓÑEZ: «¿Un plumífero plagiarlo?», *Revista de Obras Públicas*, abril 1991, pp. 19-32. [Los autores muestran que los dibujos de puentes de madera de *Los veintiún libros* proceden de los diseños de Palladio y señalan diversas imprecisiones en que incurrir el copista].

⁸ P. de MEDINA, p. 174.

de Riofrío, en que se tomaban las aguas, y de las arcas de Santo Domingo y de El Aceñuela, así como los albañares y la limpieza de la madre del agua dentro de la ciudad. Las puentes de la ciudad citadas en la documentación son las del Parral, de La Dehesa, con una calzada sobre pilotes, la de Santo Matías, con su pretil, y la puente Castellana. En la tierra se repararon las de Oñez, Bernardos y El Espinar, y se dieron dineros para arreglar las de Sacramenia, La Hervencia, Colmenar del Arroyo, Sotosalbos y Robledo de Chavela, en la actual provincia de Madrid. No faltó una cuantiosa partida que hubo de gastarse en un pleito que la ciudad «trujo con el duque del Infantado»⁹.

Durante el siglo XVI la actividad constructora no está necesariamente vinculada a la Corona, siendo muchos los puentes promovidos por los concejos o por la Iglesia, como ha quedado reflejado en la toponimia —Puente del Obispo y, anteriormente, Puente del Arzobispo o Puente del Cardenal—. Los nombres de los autores de los puentes son, en muchos casos, los de algunos de los más afamados arquitectos de la época: Juan de Herrera, Andrés de Vandelvira, Hernán Ruiz, etc.

Algunos ejemplares notables

En los últimos años se ha hecho una gran labor de catalogación de los puentes antiguos, pero estamos lejos aún de tener bien inventariado este patrimonio histórico, que no está, por lo tanto, ni bien valorado ni suficientemente protegido. Una prueba de este conocimiento insuficiente es que, en los distintos libros y publicaciones sobre puentes antiguos, siguen teniendo un peso fundamental los que Pedro Celestino Espinosa incluyó en su *Reseña de varios puentes construidos en España*, hecha en 1878 a partir de los datos enviados por los ingenieros de determinadas provincias, como Jaén o Cáceres, cuyo elenco ha quedado por esa causa sobreestimado.

Entre los puentes renacentistas españoles podemos citar el conjunto de los puentes sobre el Turia, en Valencia: de Serranos, de la Trinidad, del Mar, del Real. Por la configuración del cauce no tienen grandes luces (en torno a los 15 m), y aunque de desigual valor arquitectónico, son todos ellos interesantes. En Andalucía destacaremos el Puente del Obispo, de cuatro ojos, atribuido a Pedro de Mazuecos; el de Ariza, de sillería rojiza, que va a quedar inundado por un embalse, aunque existe un proyecto para su traslado; el pequeño puente de Herrerías, de un solo arco, resaltado por una doble rosca de dovelas; el de Marmolejo, de perfil alomado; el de Mazuecos, que debió de ser magnífico, pero cuyo arco central, de más de 31 m de luz, se destruyó por una avenida y fue reconstruido a principios del siglo pasado mediante una anties-tética viga de celosía metálica. También el puente de Puente Genil está deslucido por el desmañado recreado de unas aceras en voladizo con vigas en celosía. Quizás el ejemplar más impresionante sea el de Benamejé, sobre el río Genil, construido en 1556 por encargo de don Diego Bernuy, bajo la dirección de Hernán Ruiz. Tiene un

⁹ A. GÓMEZ DE SOMORROSTRO, anejo n.º 5.

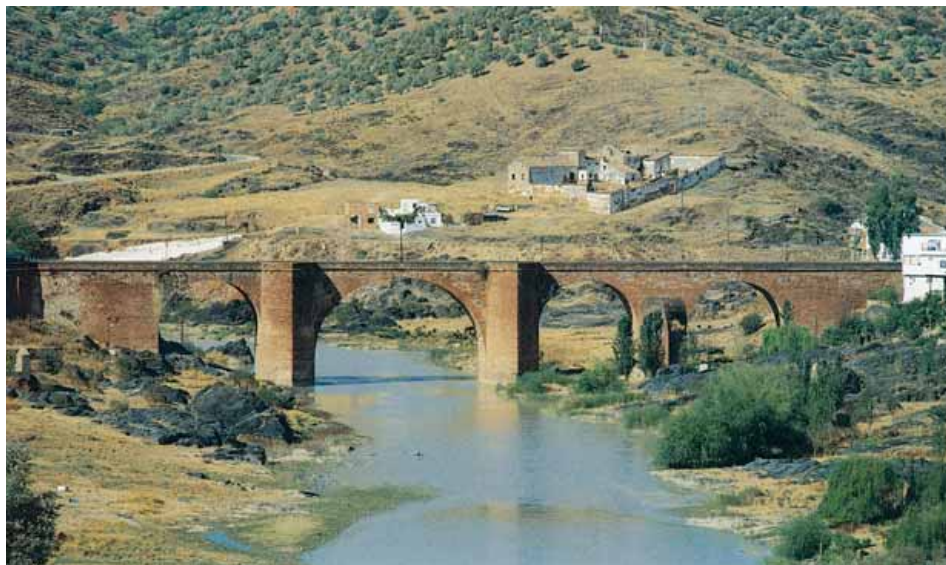


9.2. Puente de Benamejí, sobre el Genil. *Hernán Ruiz, 1556.*

gran arco central de 30 m, jalonado por grandes pilas cuyos tambores cilíndricos llegan hasta la coronación. También es notable el de Montoro, sobre el río Guadalquivir. Se trata de un puente muy sobrio, adaptado a la sección asimétrica del valle mediante cuatro arcos, el mayor de los cuales tiene una luz de 28 m.

Extremadura, con excelentes materiales graníticos, ha originado, desde época romana, buenos puentes de piedra. En el periodo que nos ocupa señalaremos, además del de Almaraz, que requiere un párrafo aparte, los puentes de Galisteo, Plasencia y Jaraicejo. Este último es datado por algunos autores en torno a 1635, pero lo probable es que su origen sea anterior; tiene un tramo de cuatro arcos sobre el cauce y otro de varios arcos más pequeños sobre la plana de inundación, estando separados ambos tramos por un descendadero. Sobre su coronación existe un monumento con las armas de su promotor. Debe citarse también el puente de las Palmas, de 28 arcos, en Badajoz, objeto de múltiples derrumbamientos y reparaciones.

En Castilla fue notable el puente de San Pablo, en Cuenca, mencionado por Ponz y reproducido por varios pintores románticos. Construido en 1528 para dar paso al convento de ese nombre, tenía cinco arcos de más de 40 m de altura, sobre el río Huécar. Fue sustituido por una estructura metálica. En la provincia de Toledo citaremos el puente de Montalbán, de doce arcos; en la Burgos el de Lerma; en la de Soria el puente Ullán, sobre el Duero, y en la de Palencia el de Saldaña y el puente



9.3. Puente de Montoro, sobre el Guadalquivir. *Primera mitad del siglo xvi.*

Mayor, sobre el Carrión. También en La Rioja hay algunos puentes de interés, que están, además, muy bien documentados. Citaremos los de San Andrés y de Santiago, de arco único, en Arnedillo, y el de Arenzana, atribuidos a Rodrigo de la Cantera, que también intervino en los de Logroño, Nájera y Murillo.

En Madrid hay dos ejemplares notables debidos a Juan de Herrera. Uno, de un solo ojo, sobre el río Guadarrama y otro, el de Segovia, en la capital, sobre el río Manzanares. Este puente, a pesar de su solidez excesiva —con anchos de pila de 5 a 6 m, para unas luces variables de 10 a 12 m—, es un ejemplo de adecuación al medio geográfico y al paisaje urbano en que se inserta. Destaca su ejecución cuidadosa, tanto en la estereotomía de sus sillares graníticos como en sus albardillas, en las bolas que jalonan su coronación y los pináculos que rematan sus tajamares redondos. Sus dimensiones, consideradas excesivas en relación con el río, fueron objeto de burlas por los poetas contemporáneos, pero responden a la pretensión de duración y al empaque que la nueva capitalidad de la villa requería.

En otras regiones mencionaremos, en Cantabria, el puente Arce, así como el ya citado de San Vicente de la Barquera. En León sobresale el puente de San Marcos, sobre el río Bernesga, con antecedentes medievales o anteriores. Consta de ocho bóvedas de luces variables entre los 8 y los 14 m. Sus pilas, con espesores de unos 4,5 m, presentan tajamares de planta ojival en la base que se prolongan, por encima del nivel de las avenidas, mediante tambores semicilíndricos que llegan hasta la coronación. Naturalmente la actividad de reparación de puentes, obligada por los destrozos producidos por las avenidas, fue constante en todo el periodo y se extendió

a grandes puentes de épocas anteriores, como pueden ser el Puente de Piedra de Zaragoza, el puente romano de Córdoba y el puente de Zuazo, en Cádiz, o el modesto, pero famoso, puente de San Antón, de Bilbao.

El puente de Almaraz

Merece un párrafo aparte por estar considerado el mejor puente del Renacimiento español. Situado sobre el río Tajo, se construyó en época de Carlos V, por iniciativa de la ciudad de Plasencia, y su autor fue Pedro de Uría, maestro del que ignoramos todo a excepción de su nombre. Es asimétrico: consta de dos grandes arcos desiguales, uno de medio punto, de 38 m de luz, y otro apuntado, de 33 m. Cortado en la guerra de la Independencia, se reedificó dignamente entre 1842 y 1845 por el padre Ibáñez. Su luz principal, superior a la del puente romano de Alcántara, no volvió a alcanzarse hasta bien entrado el siglo XIX. Sus paramentos, lisos, arrancan, con un mínimo zócalo, desde el terreno; su gran pila central tiene tajamares triangulares en los que a partir del nivel de máximas avenidas se insertan sendos tambores semicilíndricos. Sobre uno de ellos se conserva un gran escudo imperial y una lápida que, cosa muy poco frecuente en la época, recuerda al ingeniero y no al regidor de la ciudad.

En 1769 publicó Sánchez Taramas un grabado del puente en que puede verse su aspecto original. Aparecen allí las tres roscas de ambas bóvedas, que no se man-



9.4. Puente de Segovia, sobre el Manzanares en Madrid. Juan de Herrera, hacia 1580.



9.5. Puente de Almaraz, sobre el Tajo. Pedro de Uría, 1537.

tuvieron en la bóveda reconstruida, y se marca el nivel alcanzado por las máximas avenidas. También consta, y es dato muy interesante, que el puente se llamaba entonces ‘de Alvalat’, es decir, en árabe, ‘del camino’¹⁰. En Almaraz concurrían los caminos de Plasencia a Guadalupe y de Toledo a Évora, recogidos en los repertorios de Villuga y Meneses, y hemos de señalar que este último, mero copista del anterior, no se refiere aún al puente sino a las barcas preexistentes, denominándolas de Barzaona o de Arballa. Resulta curioso que un puente de tanta importancia para la comunicación de Toledo con Lisboa no se hiciese por impulso de la Corona sino por el interés de la ciudad de Plasencia de enlazar con el monasterio de Guadalupe. El diseño de la cimbra del puente de Almaraz se utilizaría más tarde para ejecución de la del puente de Apurimac, en Perú.

II

OBRAS HIDRÁULICAS: PRESAS, ACEQUIAS, ETC.

Durante el siglo XVI se desarrolló en España una intensa actividad de construcciones hidráulicas que abarcaron tanto la ejecución de azudes y acequias para riego como abastecimientos a poblaciones y, en menor medida, saneamientos y obras de

¹⁰ J. MULLER: *Tratado de fortificación*, traducción de M. Sánchez Taramas, con notas y láminas adicionales, Barcelona, 1769. Una reproducción en P. CHÍAS y T. ABAD, p. 148.

defensa contra las inundaciones. Por iniciativa regia, durante el reinado de Felipe II se hicieron obras de navegación interior, especialmente en el río Tajo, y trabajos hidráulicos para mejora de los sitios reales, con construcción de ajardinamientos, fuentes y juegos de agua. A continuación pasamos revista a algunas actuaciones importantes, dedicando un párrafo aparte a los abastecimientos y acueductos.

II.1. Presas

En España existía, desde la época de la colonización romana, una gran tradición en materia de presas de embalse. Esta tradición se mantuvo durante la dominación musulmana, especialmente en la zona mediterránea. Aparte de eso, durante la Edad Media proliferaron por todo el territorio peninsular los azudes de derivación para tomar aguas, tanto para molinos y batanes como para acequias de riego. A pesar de esos antecedentes, resulta sorprendente la construcción, en la segunda mitad del siglo XVI, de la gran presa de Tibi, cuyas dimensiones sobrepasaban con mucho lo hecho anteriormente. Esta presa daría lugar, a lo largo de la centuria siguiente, a toda una floración de grandes presas en el reducido ámbito de la actual provincia de Alicante.

Antes de tratar sobre las presas levantinas nos referiremos a dos que las antecedieron: una de muy distinta tipología, la de Ontígola, y otra que puede considerarse como un claro precedente, la de Almansa. No nos ocuparemos de otras, también



9.6. Presa de Ontígola, en Aranjuez. Grabado de Brambilla. Principios del siglo XIX (Reproducido por Chueca Goitia).

interesantes, como la presa de la Granjilla, para suministro del monasterio de El Escorial, o las albueras extremeñas de Castellar y de Trujillo.

La presa de Ontígola es una pequeña estructura, de no más de 8 m de altura, construida a mediados del siglo xvi para crear el embalse que hiperbólicamente se denominó 'Mar de Ontígola'. Su importancia radica en que, promovida por el todavía príncipe Felipe en 1552, dio lugar a la intervención de los más famosos ingenieros y arquitectos de la época y sus vicisitudes están perfectamente documentadas. Su estructura, de 150 m de longitud, está formada por dos muros de fábrica separados unos 20 m, que contienen un relleno de tierras arcillosas y limos yesíferos. Su función debía ser, en principio, que a ella acudiesen las aves «para la altanería», pero se acabó aprovechando para alimentar el sistema hidráulico de Aranjuez. Los proyectos y las obras se sucedieron entre 1563 y 1573, habiéndose producido entre tanto, en 1568, una rotura que obligó a su reconstrucción y a la adición de contrafuertes de fábrica en el muro de aguas abajo. Entre los artífices que intervinieron en la obra hay que citar al holandés Pietre Janson y a Juan de Castro, Francisco Sánchez, Juan Bautista de Toledo, Jerónimo Gil y, finalmente, Juan de Herrera. Es interesante señalar que la presa de Ontígola —con los muros que, en la terminología de la época, se denominaron «pared delantero» y «pared baxero»— responde a la misma tipología que los diques de la Casa de Campo de Madrid¹¹.

La presa de Almansa se ha datado tradicionalmente en el siglo xiv, con un recrecimiento en 1586; aunque lo más probable es que toda ella sea obra del xvi. Se trata de una presa de planta curva con talud de aguas arriba vertical y talud de aguas abajo escalonado, que posteriormente se ha recrecido con un muro poligonal, inscrito sobre la coronación antigua, hasta una altura de 25 m. Actualmente sigue en uso aunque con su capacidad de embalse mermada por los sedimentos.

La presa de Tibi se promovió hacia 1580 por iniciativa particular, para riego con aguas derivadas del río Monegre. Pronto se implicó en ella el ayuntamiento de Tibi, que pidió ayuda a la Corona. Parece que Felipe II envió en un primer momento a Juanelo Turriano y, más tarde, fue Cristóbal Antonelli quien intervino en su proyecto. Tras un periodo de interrupción de las obras, se terminó en 1594. Tiene forma ligeramente arqueada y una altura de 42,70 m sobre el cauce y 46 m sobre cimientos. Su perfil transversal es un trapecio, con paramento de aguas arriba casi vertical y el de aguas abajo, más tendido y escalonado. Tiene 33,70 m de anchura en la base y 20,50 m en la coronación, lo que, unido a la angostura de la cerrada, hace pensar que trabaja, en cierta medida, como presa arco. El desagüe de fondo es una galería rectangular, con compuerta de madera, cuyas dimensiones aumentan desde 1,8 × 2,7 m en la entrada, hasta 4 × 5,85 m en la salida. Tiene una torre de toma con 51 pares de orificios de 0,1 × 0,2 m, dispuestos en cuadrícula.

¹¹ Véase M. ARENILLAS, C. DÍAZ GUERRA y R. CORTÉS: «El Mar de Ontígola: una obra singular del Renacimiento», en F. J. MARTÍNEZ DEL OLMO: *Agua e ingenios...*, cap. 7, pp. 95-137.



9.7. Presa de Tibi, en Alicante. Segunda mitad del siglo xvi.

Con posterioridad a la terminación de Tibi, y sin duda animadas por su éxito, se construyeron en la comarca las presas de Elche, Relleu, Petrel, Elda y Onteniente, que, cada una con sus peculiaridades, constituyen un elenco único en la época. Estas obras marcarían la pauta para la construcción de presas de fábrica en el mundo mediterráneo hasta bien entrado el siglo xix y su explotación, con su particular sistema de limpia, serviría de ejemplo para las presas establecidas por los ingenieros franceses en el norte de África. Todas ellas tienen en común la escasa entidad de sus ríos y la importancia relativa de las aportaciones sólidas, que, en algunos casos, han determinado su atarquinamiento.

II.2. La Acequia Imperial

La gran sequía sufrida por la cuenca del Ebro en la última década del siglo xv provocó la idea, propuesta por el jurado primero Martín de la Raga, de construir una acequia para el riego de la Almozara, en la margen derecha del río, aguas arriba de Zaragoza. Después, en 1508, Fernando el Católico otorgó un privilegio para la denominada acequia de Gallur, que tenía su toma dentro del reino de Aragón, aguas arriba de la confluencia del río Jalón. En 1528, una carta de Carlos V animó al concejo a emprender los estudios. Las nivelaciones efectuadas por Juan Montañés, Juan de Sariñena y Gil de Morlanes mostraron que, para adquirir cota para el cruce del Jalón, era necesario situar la toma en Navarra. Ante las dificultades económicas y políticas, la ciudad cedió sus derechos al emperador, que percibiría las rentas. Las obras comenzaron en 1530 bajo la dirección de Gil de Morlanes y se prolongaron durante diez años. Un informe de 1540 daba cuenta de que la acequia empezaba a «azer mucho bien en tres lugares del reyno de Nabarra y otros tres de Aragón» y que con

lo recogido se había socorrido a Guipúzcoa, Vizcaya, la tierra de Álava y mucha parte de Navarra «que padecían mucho trabajo»¹². A la muerte de Morlanes, en 1551, aún no estaban rematados los trabajos.

Se ha insistido en varias ocasiones en los defectos técnicos de la Acequia Imperial, pero no se ha ponderado suficientemente el enorme mérito de este escultor, sólo ocasionalmente ingeniero, que en un plazo menor y con medios mucho más reducidos, hizo una obra en algún modo equiparable a la que Pignatelli realizaría dos siglos y medio más tarde. A partir de 1561, como el agua no llegaba a la Almozara, se sucedieron visitas e informes. En 1566 tuvo lugar el reconocimiento de Juan Francisco Sitón (o Sitoni), y el año anterior, según sabemos por García Tapia, el de Pedro Juan de Lastanosa¹³.

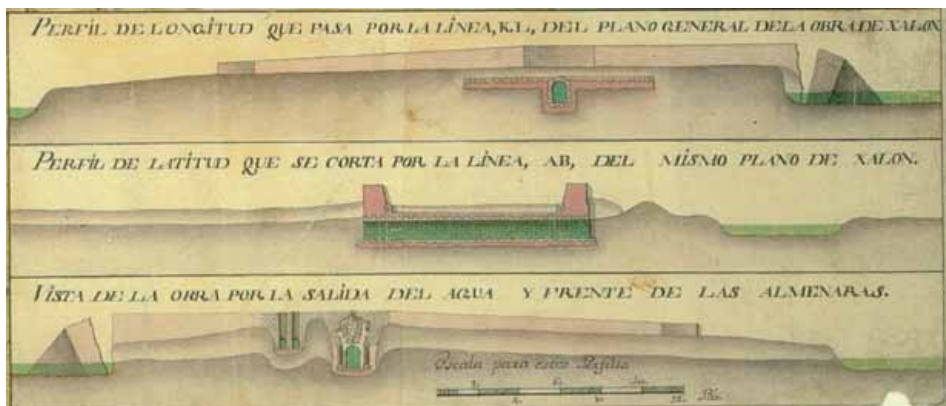
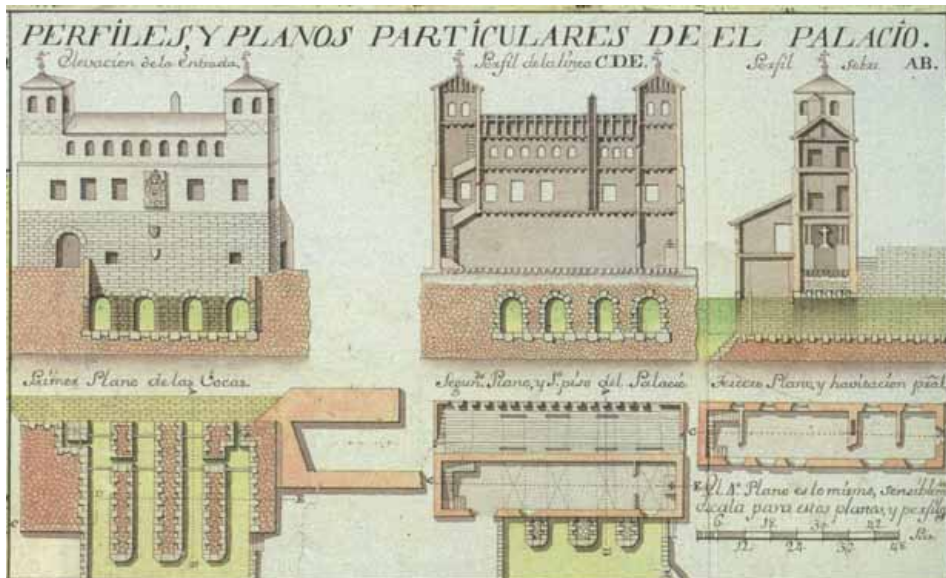
La Acequia Imperial fue sustituida por el Canal navegable del siglo XVIII y sus obras son hoy irreconocibles. Ni siquiera quedan restos de su obra más notable, las «Murallas de Grisén», para cruce por debajo del río Jalón. Sólo ha llegado a nosotros, con modificaciones, el llamado Palacio de Carlos V. El sifón funcionó mal desde el primer momento y muy pronto dejaron las aguas de llegar al término de Zaragoza. En cualquier caso, la acequia dio riego hasta que una crecida rompió el bocal en 1722. Tras las reparaciones efectuadas en 1739 por Sebastián Rodolphe, las aguas volvieron a alcanzar hasta el término de Boquiñeni.

Debemos dedicar un párrafo a los dos grandes planos hechos en 1746 por Rodolphe, como consecuencia de los estudios y proyectos que anteriormente había realizado con Bernardo Lana. El primero de ellos lo publicamos en 1984 y el segundo se publicó un año más tarde¹⁴. Aunque su exactitud no es grande, en ellos puede seguirse el trazado de la Acequia, aparecen planitos esquemáticos de la ciudad y de los pueblos del valle y se observan muchos detalles del río Ebro y sus meandros. En sus varias cartelas y encartes se contienen informaciones interesantes sobre las superficies regadas, sobre el Palacio de Carlos V y sobre las murallas de Grisén. Sabemos que, ya desde el siglo XVII, el Jalón se había salido de madre, abandonando las murallas. En el plano de Rodolphe aparecen las murallas y el río en planta, y dos secciones, longitudinal y trasversal, y puede verse que el río había volcado el estribo de una de ellas. En el alzado del lado de aguas abajo de la acequia aparece una boca de salida jalonada por dos columnas y, sobre ella, un famoso escudo imperial, citado por diversas fuentes. Aparecen también dos almenaras para incorporar el Jalón a la acequia, que tal vez contribuyeron a atarquinarla. Este alzado y estas secciones dejan ciertas dudas sobre el supuesto sifón: más parece que se elevó el nivel del cauce, lo que luego facilitaría su desbordamiento, y que la acequia, al menos en su salida, no

¹² J. I. FERNÁNDEZ DE MARCO, p. 105.

¹³ N. GARCÍA TAPIA: *Los veintiún libros...*, p. 194.

¹⁴ El primer plano, reproducido en F. SÁENZ RIDRUEJO: «Algunos aspectos...». El segundo, en *Planos históricos de Obras Hidráulicas*, Madrid, MOPU, 1985.



9.8 y 9.9. Acequia Imperial. Palacio de Carlos V y Murallas de Grisén (alzado y sección). Planos de Rodolphe, 1746.

funcionaba en carga. Según Giménez Soler, el duque de Jovenazo habría intentado salvar el escudo a finales del xvii, cuando las murallas se derribaron para aprovechar sus sillares en el templo del Pilar. Pues bien, este plano nos muestra que, cincuenta años más tarde, aún seguían en su sitio las murallas y el escudo.

En relación con la Acequia Imperial debe mencionarse el Canal de Tauste, también derivado del Ebro, pero por la margen izquierda. Sus antecedentes se remontan al siglo xiii, en que Teobaldo I de Navarra otorgó una Carta de Donación para la construcción de la llamada Acequia del Ebro, que con tres leguas de longitud regó los términos de Cabanillas y Fustiñana. Pretendió después la población

aragonesa de Tauste la prolongación de la obra para riego de su término, pero nada se adelantó hasta que, incorporada Navarra a la monarquía española, en 1524 otorgó Carlos V, con su madre doña Juana, la ansiada concesión.

En 1552 suscribieron las tres villas una escritura de concordia a la que se adheriría más tarde Buñuel. La acequia construida, que se denominó de Tauste, era de escasa calidad y con poca agua, por lo que llevó una vida azarosa hasta que, en 1780, se incorporó a la empresa del Canal Imperial.

II.3. *Los riegos de Aranjuez*

En Aranjuez existía de antiguo la huerta de la Isla, creada por los gran-maestres de la Orden de Santiago. Cuando pasó a depender de la Corona, fue reformada por Isabel la Católica y sirvió de estímulo para la extensión de los riegos, aprovechando las aguas del Tajo. En época de Carlos V se creó un gran heredamiento de 27.000 hectáreas dedicadas a la caza y, hacia 1535, se acometió el riego a partir de la presa del Embocador, situada 5 kilómetros aguas arriba de Aranjuez. Hay que relacionar también esta iniciativa con la acequia que cinco años antes había emprendido, por iniciativa propia, el municipio de Colmenar.

De la presa salían dos acequias, una por cada margen. Por la izquierda la del Caz de las Aves y por la derecha la denominada Azuda. Ya en la segunda mitad del siglo XVII se emprendió la construcción de la cuarta obra de riego que afecta a la vega de Aranjuez, la Acequia del Jarama, que deriva aguas de dicho río en las proximidades de Vaciamadrid y termina en el Tajo, aguas abajo de la desembocadura del río Jarama.

La presa del Embocador está construida según el modelo clásico de los azudes de toma, con planta recta, muy oblicua. Su cuerpo está formado por un pilotaje, con un emparrillado superior, relleno de mampostería y ripio, cuyos intersticios se han colmatado por el légamo aportado por la corriente. Las aguas que no entran en la toma de la acequia saltan sobre la coronación de la presa. El Caz de las Aves tiene una longitud de algo más de 15 km con una caída del orden de los 10 m. Tenía en su cabeza un desarenador, con aliviadero, seguido por dos compuertas generales de madera que se maniobraban mediante un tornillo de madera que giraba en una viga horizontal.

La sección, en su primer tramo, era de 8 m², pasando enseguida a otra de 6,04 m², con lo que el caudal se reducía a 2,6 m³/s. Dos kilómetros más adelante volvía a reducirse hasta 1,37 m³/s, devolviéndose al río las aguas sobrantes. Esta acequia, que todavía está en pleno uso, regaba una superficie de 165 ha en fincas del Patrimonio Real y 1.060 en terrenos del Estado o de particulares. El cruce con los barrancos se efectuaba mediante pasos inferiores, circulando éstos por la parte superior. Su obra de fábrica más notable es una bóveda de ladrillo de 830 m de longitud, con sección trasversal de 5,25 m², que atraviesa por el centro de Aranjuez. Está provista de registros para la limpieza y extracción del fango.

II.4. Otras acequias

Tenemos noticias de la construcción de varias acequias durante el siglo XVI. Unas veces se trataba de conducciones de nueva planta y en otros casos de la reconstrucción de antiguas obras de riego destruidas por las avenidas. Ambas situaciones encontramos en algunas acequias de la huerta de Murcia. Se registran reparaciones como las de la antigua acequia de la Aljufía, cuya presa, hecha al modo tradicional con madera y piedra, había destruido el río Segura en 1494 y se rehizo parcialmente de cal y canto. También hay construcciones como la de la Acequia Churra La Nueva, que se hizo a partir de 1565; tomando aguas del Segura llegaba hasta el pueblo de ese nombre.

La acequia de Colmenar, ya citada entre las del entorno de Aranjuez, tiene personalidad propia por ser de iniciativa municipal y porque inició una tradición constructiva en la zona, con la explotación de sus canteras de piedra blanca, que ha llegado a nuestros días. Ya en 1528 hubo un primer proyecto, que no se llevó a cabo, para sacarla desde la presa del Cascajar, en la encomienda de Biedma.

En 1568 se pactaron las capitulaciones entre el concejo de Colmenar de Oreja y la Corona para derivar el agua del Tajo, y ese mismo año efectuó la nivelación, desde los molinos de Yepes, Mariano *el Ermitaño*, que encontró una longitud de 27.000 varas y consideró la obra muy cara, proponiendo arrancar la acequia en los molinos de Buenamesón. En 1569, el ingeniero del rey Juan Francisco Sitón efectuó una nueva nivelación y sus conclusiones no coincidieron con las del Ermitaño. Propuso ubicar la toma en el sitio de Valdajos y ese parecer fue el que prevaleció. En 1577 se hizo constar en documento público el asiento para la construcción de la acequia y, a pesar de los daños causados por las crecidas de 1579, en agosto de 1581 se daba cuenta de que ya estaba finalizada.

Entre tanto, Jerónimo Gil, que sustituyó a Sitón, había elevado demasiado el embocadero de la acequia y hubo que rebajarlo para que entrara el agua en los estiajes. Finalmente, en 1589 mandaba Felipe II hacer las ordenanzas para la conservación y limpieza del caz¹⁵.

En algunas acequias de construcción medieval, como la de Piñana o la Acequia Real del Júcar, se registran en esta época muchas actividades de mantenimiento y numerosos pleitos y discusiones por el uso de las aguas. En relación con la segunda tenemos que citar, además, a lo largo del siglo XVI, gran cantidad de proyectos para derivar las aguas del Júcar a Valencia. Fue ésta una idea recurrente durante cinco siglos, que sólo ha cristalizado hace pocos años, cuando la regulación de la cuenca, los conocimientos técnicos y los sistemas de elevación lo han hecho posible. Sabemos, por ejemplo, que en octubre de 1501 se pagaron 25 ducados al minador Alonso de Mesa, «ciudadá de la ciutat de Çaragoçça, del Regne de Aragón», por nivelar

¹⁵ F. J. MARTÍNEZ DEL OLMO, pp. 66-75.

las aguas del Júcar para llevarlas a Valencia. Después, las propuestas y los estudios continuarían, infructuosamente, durante toda la centuria¹⁶.

II.5. *La Fuente Grande de Ocaña*

Como ejemplo de las fuentes monumentales construidas durante el siglo xvi citaremos la Fuente Grande de Ocaña o Fuente Nueva, que es una magnífica construcción situada en la falda norte de dicha villa. Aprovecha las aguas de una captación subterránea de 400 pasos de longitud en la que se aprecian restos romanos y árabes. Se terminó en 1578 y en ella trabajó Francisco Sánchez, que intervino también en la presa de Ontígola. En ella se ha querido ver, sin otro dato que su monumentalidad, la mano de Juan de Herrera. Las aguas recogidas por una galería abovedada se reunían en un depósito desde el cual, por dos canales de piedra, pasaban a un pilón construido bajo una bóveda de ladrillo sostenida por veinte arcos de piedra blanca. En primer lugar estaban las pilas para abasto de los vecinos y desde allí, mediante canales, se dirigían a los pilones. Uno en una plaza con arcos se usaba de abrevadero y otro, separado por un muro, como lavadero.

II.6. *La mina de Daroca*

La ciudad de Daroca se extiende por las dos márgenes de un estrecho barranco cuyo fondo constituye su calle principal. Esto daba lugar a inundaciones producidas por las tormentas que cruzaban la población antes de ir a desaguar al río Jiloca, arrastrando, además, gran cantidad de aluviones. Después de una de estas inundaciones, en 1555, resolvió el concejo encargar la desviación del barranco al arquitecto francés, residente en Teruel, Pierres Vedel, que tenía vinculaciones familiares en Daroca. La solución consistió en la excavación de un túnel o mina que, derivando el barranco inmediatamente aguas arriba de la ciudad, vertía las avenidas de aguas al río. La obra constaba de una barbacana, muro de piedra para encauzar el barranco, de unos 300 m de largo y 5 de altura, un tramo en túnel de unos 550 m de longitud, y otro de salida, excavado en trinchera, de otros 360 m, que termina en una 'rodadera', vertedero en piedra sobre una antigua acequia¹⁷.

En los archivos de Daroca está documentada la fecha de inauguración de los trabajos el 20 de septiembre de 1555. Se emplearon en ellos dos brigadas de 25 hombres compuestas por peones, que cobraban un jornal de 4 reales, y especialistas, que ganaban 9, mientras que al maestro Vedel se le pagaban 26 reales. La perforación duró hasta el 7 de febrero de 1560, en que se encontraron las dos brigadas. Los trabajos complementarios se prolongaron hasta 1562.

La mina tiene un desnivel de unos 10 m entre la boca de entrada y la de salida, y una cota roja máxima de 60 m. Su anchura es de 6 m y la altura, que es mayor a la

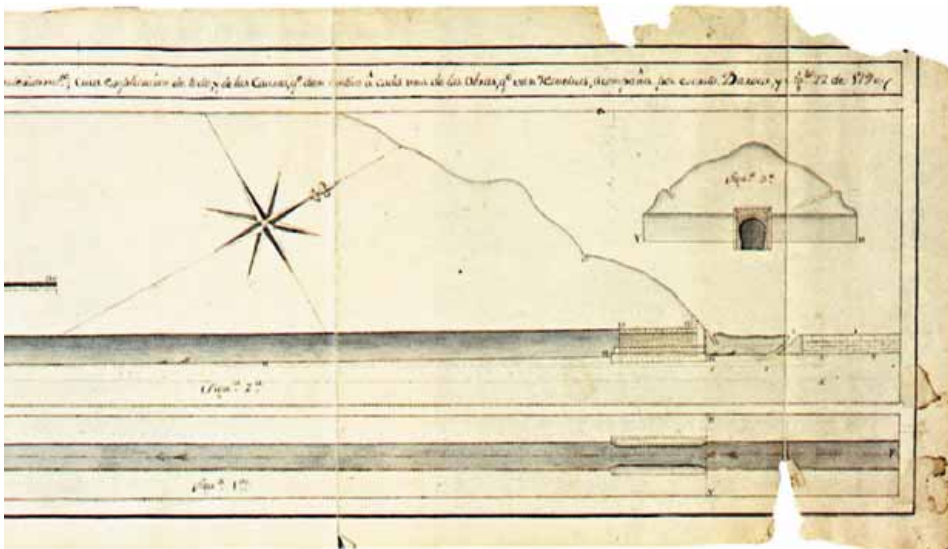
¹⁶ M. GUAL CAMARENA, p. 175.

¹⁷ J. FUERTES MARCUELLO, *ROP*, 1987.

salida que a la entrada, tiene 9,5 m de media. Está excavada en un conglomerado arcilloso compacto de colores abigarrados, que en la comarca llaman 'piñonada', y que sólo requirió un corto revestimiento de sillería cercano a la salida. A unos 30 m de ésta se encuentra una chimenea de 2,5 m de diámetro y de unos 15 ó 20 de altura, que no cabe interpretar como pozo auxiliar para la construcción y que debe de tener funciones de aireación, para mejorar el desagüe a conducto lleno. Se trata de una notable intuición en una época muy anterior a los primeros estudios de hidráulica teórica.

Felipe II, durante su visita a Daroca de febrero de 1585, atravesó la mina con hachas encendidas, acompañado por el príncipe y por sus hijas y seguido por las damas en sus coches, según dejó consignado en su reseña del viaje el arquero Cook. Traggia, que escribía en 1789, cita una lápida colocada en las inmediaciones de la boca de entrada, con la siguiente inscripción: «Esta mina, arcos y fuentes de Teruel hizo el insigne arquitecto y famoso escultor maestro Pierre Vedel. Murió año de 1561 a 30 de mayo, está sepultado en Santa María de Albarraçín, empezóse año 1555, acabóse año 1562». Más interesantes son las noticias que da de las obras de mantenimiento, para las que en 1683 se formó una junta, titulada «Ayuntamiento del Aguaducho», que se reunía cuatro veces al año y tomaba medidas para su limpieza, después de las avenidas de invierno.

Entre las obras de encauzamiento de corrientes efectuadas en esa época citaremos la cubrición del río Queiles en Ágreda (Soria), con dos bóvedas. Sobre la primera se estableció la plaza Mayor de la villa y sobre la segunda unos jardines.



9.10. Mina de Daroca, detalle del perfil y embocadura de entrada. Obra de Pierres Vedel, hacia 1560. Plano de M. de Traggia (1792). Archivo Municipal de Daroca (Zaragoza)

III

ABASTECIMIENTOS DE AGUA, ACUEDUCTOS

El siglo xvi, y especialmente su tercio central, fue un periodo de gran actividad en abastecimientos de aguas y fueron muchas las ciudades que reformaron sus viejas traídas o construyeron otras de nueva planta, según los modelos de las conducciones romanas, recurriendo a las obras sobre arcos allí donde lo exigía la topografía del terreno. Las poblaciones que habían tenido conducción en época romana trataron de restaurarla, según hemos visto en el caso de Segovia y según parece que se intentó en otros casos. Pero el recuerdo de los grandes acueductos romanos, reavivado por los artífices italianos y por los españoles que habían viajado a Italia, fue un estímulo incluso para otras ciudades de origen más reciente.

III.1. *Teruel*

El más interesante de los acueductos construidos en España durante el siglo xvi es, sin duda, el de los Arcos, de Teruel, obra del francés Pierres Vedel. Se trata de una obra de abastecimiento completa, desde la captación hasta la distribución en el interior de la ciudad, en la que destaca especialmente la obra sobre arcos, que le da nombre y que permite salvar el barranco de las Ollerías, contiguo al recinto amurallado. La toma, a 3 km de la población, se verifica mediante una larga galería visitable, revestida por una falsa bóveda de lajas, excavada bajo la Peña del Macho. La galería desemboca en la primera de las arcas o registros que, en número de 140, jalonan la conducción. Ésta, que en principio se hizo por medio de una canal tallada en la roca, fue después entubada en tubos de cerámica vidriada de 15 cm de diámetro. La conducción sigue la margen derecha de la Rambla y salva los barrancos laterales mediante obras de fábrica que, en algún caso, alcanzan los 11 m de altura. Tras pasar en túnel el cerro de Santa Bárbara y pasar en un arco de piedra sobre el camino de San Cristóbal, se llega a la obra sobre arcos que es para la que comúnmente se reserva el nombre de acueducto¹⁸.

La entrada de las aguas en la ciudad se verificaba por el Portal de la Traición para seguir por encima de la muralla, en su cara interior, atravesando el torreón de la Bombardera, en que comenzaba una galería visitable de 80 m de longitud. Desembocaba ésta en una arca de sillería con bóveda de medio punto, a partir de la cual se bifurcaba a derecha e izquierda para abastecer las distintas fuentes de la ciudad. Para alimentar la fuente del Arrabal era necesario atravesar otra vez la muralla mediante un orificio seguido por un tramo en galería. Todo el conjunto suma más de 2 km de conducciones urbanas. Está minuciosamente descrito en una relación hecha en 1583 por el maestro Juan de Alavés y el sobrestante Pedro Fortún, incluida

¹⁸ *Boletín MOPU*, junio 1982.

en el llamado *Libro Verde*, manuscrito que contiene los hechos más notables de la ciudad desde su reconquista hasta finales del XVIII.

La cronología de la construcción no está demasiado clara, pues consta que las obras comenzaron en 1537 y parece que no se remataron hasta 1583; pero Llaguno dice que la obra sobre arcos fue construida por Pierres Vedel entre 1552 y 1554. Es posible que el conjunto de la distribución, con las diversas fuentes, se demorase más de treinta años, siendo obra de más de un alarife, mientras que la labor de Vedel se circunscribiese a la conducción y a la obra sobre arcos que, en sentido estricto, conocemos como el acueducto.

El acueducto se compone de un doble orden de arcos, dos en el nivel inferior y seis en el superior, y tiene como particularidad más interesante un camino peatonal que discurre sobre los arcos inferiores y que obliga a perforar las pilas en la base de los superiores. Parece ser que esta disposición venía obligada por una cláusula del Fuero de Teruel que obligaba a hacer un camino a quienes quisieran construir un acueducto. La fábrica es de sillería almohadillada en las pilas centrales y de sillarejo o de mampostería concertada tanto en las superiores como en los tímpanos y estribos. El camino, provisto de una barandilla metálica reciente, está volado sobre ménsulas labradas de piedra. La impresión del conjunto resulta magnífica, a pesar de que lo encajado del barranco y la vegetación circundante no permiten la contemplación de su totalidad.

Las dimensiones, con luces de 13 m y una altura máxima de 24,70 sobre el fondo del barranco, le dan una esbeltez superior a la de los acueductos de la época e, incluso, a la mayoría de los romanos. En ocasiones anteriores hemos definido dos índices para evaluar la esbeltez de puentes y acueductos¹⁹. El más sencillo, suficiente para comparar obras de alturas similares, es la relación entre la superficie diáfana del alzado de la obra y la sección transversal del valle. Pues bien, en el acueducto de Teruel esta relación es superior a 0,6, con un valor análogo al del acueducto de Segovia, más alto que el del acueducto de Tarragona y mucho más alto que el del acueducto de Plasencia, que no llega a 0,50.

Las referencias antiguas de esta obra son unánimemente elogiosas. El autor de *Los veintiún libros*, posiblemente Pedro Juan de Lastanosa, la toma, aun sin citarla, como modelo para lo que denomina «acueducto rústico»; aunque, por su ubicación y por lo cuidado de su disposición y de sus detalles, es una obra claramente urbana. Desde luego, Llaguno no concuerda con el calificativo de rústica, pues la define como «fábrica suntuosa y de gran solidez». Es significativa la consideración que recibe de Pedro Celestino Espinosa y Pablo de Alzola, los dos autores decimonónicos que se ocuparon de la historia de las obras públicas. Espinosa la califica de «obra notable» y

¹⁹ F. SÁENZ RIDRUEJO: «El acueducto romano de San Jaime dels Domenys», *Revista de Obras Públicas*, junio 1974, pp. 429-434. También, «Observaciones técnicas sobre el abastecimiento romano de aguas a Tarragona», en *Segovia y la arqueología romana*, Barcelona, 1977, pp. 351-358.



9.11. Acueducto-viaducto de Teruel. Pierres Vedel, hacia 1550.

la describe en su *Reseña de varios puentes construidos en España*, indicando que lo hace como excepción, por ocuparse exclusivamente de puentes. Alzola, por error, la incluye entre los acueductos romanos, que es el mayor elogio que en su época podía hacerse de una obra de este género.

La figura de su autor, Pierres Vedel, resulta también muy interesante pues, a diferencia de otros técnicos extranjeros que trabajaron en la España del Renacimiento, no fue traído por la Corona ni estuvo relacionado con ninguna obra de promoción regia. De él sabemos que trabajó en múltiples obras de ingeniería y arquitectura, todas ellas en Teruel y en el Bajo Aragón. Además de la mina de Daroca, de la que nos hemos ocupado, se sabe que construyó la iglesia de Fuentes de Ebro. Entre 1549 y 1551, recalzó los cimientos de la torre de San Martín en Teruel²⁰ y también hizo la fuente del cercano pueblo de Celadas. Trasladado a Albarracín, trabajó en la iglesia de los dominicos y en la reparación de la catedral de Santa María,

²⁰ J. IBÁÑEZ FERNÁNDEZ: «La intervención de Pierres Vedel en la torre mudéjar de San Martín de Teruel (1549-1551)», en *Arte mudéjar aragonés, patrimonio de la Humanidad*, Zaragoza, 2002, pp. 265-301.

en la que fue enterrado cuando falleció. Su muerte, que Traggia data en 1561, ocurrió, según Llaguno, en 1567. Por este último sabemos que tuvo dos hijos en Aragón, pero, contra lo que era habitual en la época, ninguno continuó su labor: uno fue franciscano y el otro boticario.

III.2. *Otros acueductos, Valladolid*

Otras ciudades que podemos citar entre las que en ese periodo rehicieron o hicieron de nueva planta sus conducciones son Cuenca, San Sebastián o Valladolid, además de Toledo, que por sus especiales condiciones merece un capítulo aparte. Para el monasterio de El Escorial, obra por excelencia del siglo XVI español, se construyó un complejo sistema de abastecimiento, con presa, conducción, arcas y depósitos. También, ya dentro del XVII, se construyó una traída de aguas para el castillo de Simancas, que había sido reformado para instalar el Archivo General del reino. En muchos otros puntos de la geografía española se conservan restos o noticias de acueductos, que, aunque no en todos los casos tengan una rigurosa adscripción cronológica, pueden atribuirse a esta época; por ejemplo, los de Miranda del Castañar o Sigüenza. El de Morella, por sus arcos ojivales y su anárquica disposición, parece claramente medieval. Mejor conservado está el acueducto que abastecía al monasterio de Portaceli, en Valencia. Por Cavanilles sabemos que se construyó en tiempos de los Reyes Católicos y que seguía en uso a mediados del siglo XVIII. Nos informa, asimismo, del coste de la construcción: once mil ducados²¹. Para Torrelaguna se construyó una conducción de aguas en tiempos del Cardenal Cisneros, pero sus restos son hoy de difícil identificación, por estar mezclados con otros posteriores.

Ceán-Bermúdez, en sus adiciones a Llaguno, atribuye a Juan de Vélez la traída de aguas de Cuenca, datándola en 1538, y afirma que se le nombró fontanero mayor con un salario de treinta mil maravedíes anuales y con la obligación de cuidar las fuentes, para evitar que ocurriera lo que en Salamanca, donde, por haber muerto quien condujo el agua, costó mucho volverla a poner corriente y para ello tuvieron que recurrir a Rodrigo de Vélez, hermano de Juan. Es interesante consignar que en 1559 sucedió a Juan, en su cargo de fontanero mayor de Cuenca, Joannes de Mendizábal, con salario de noventa mil maravedíes²². Este incremento, con triplicación en sólo 21 años, refleja la fuerte inflación sobrevenida en esa época, que es bien conocida de los historiadores económicos.

Juan Sanz de Lapaza trazó en 1566 la traída de aguas de la fuente de Olarín, situada al pie del monte Igueldo, hasta San Sebastián. Construyó para ello, según afirma Llaguno, «un magnífico acueducto, cuyas ruinas permanecen para memoria de una empresa que no llegó a concluirse»²³. Otra traída de aguas que no llegó a

²¹ A. J. CAVANILLES: *Historia Natural del Reyno de Valencia*, Zaragoza, 1958, t. II, p. 62.

²² E. LLAGUNO, t. II, p. 15.

²³ Ídem, t. II, p. 106.

buen fin fue la del abastecimiento de Burgos, en la que Martín de Haya fracasó por no seguir los consejos de García de Céspedes, según este último recuerda²⁴.

Los principales problemas de todos los sistemas de abastecimiento fueron, tanto o más que los constructivos, los derivados de una deficiente conservación. Por eso debe señalarse la detallada ordenanza que, en septiembre de 1505, la reina doña Juana, y en su nombre su padre don Fernando, «administrador y gobernador de estos reinos», decretó y mandó observar para conservación, conducción y repartimiento de las aguas de Segovia.

Las vicisitudes del abastecimiento de aguas de Valladolid, desde mediados del siglo xv hasta bien entrado el xvii, han sido estudiadas con detalle por García Tapia y son muy representativas de las que se presentaron en otras ciudades²⁵. Comienzan en 1443 con la traída, mediante tubos de barro, de las aguas de la fuente de Argales para el convento de Santo Benito y continúan con el intento de rehacerla, en 1489, sustituyendo los tubos con caños de pino verde. En 1494 dos alarifes mahometanos vecinos de Guadalajara, los maestros Yuza y Mahoma, contrataron la traída de agua de la huerta de las Marinas hasta la plaza del Mercado, para lo cual se encargaron 2.919 caños a los moros de Valladolid. En 1496 habían llegado las aguas a la Puerta del Campo, pero a causa, sin duda, de las pérdidas de carga, muy superiores a los 10 m de desnivel existentes en los 5 km de conducción, no alcanzaron la fuente ya construida en la plaza. Al no cumplir su compromiso, en 1497 ingresó Yuza en prisión. Un nuevo episodio fue protagonizado en 1500 por el maestro Alí, encargado de nivelar gratuitamente la conducción desde la Puerta del Campo a la Rinconada.

Un segundo viaje de aguas desde las Marinas se hizo a raíz de una provisión de la reina doña Juana, que en 1513 había ordenado su construcción. Se contrató para ello al zaragozano Juan Gálvez, avalado por una cédula de la propia reina («pues es persona que sabe dello mucho»). Trabajó entre 1514 y 1519, en que se le pagaron mil ducados de oro y en que proyectó la continuación de la conducción hasta el arco de la Costanilla. A pesar del éxito alcanzado, el deterioro de las obras y el aumento de población hizo pensar, en 1550, en tomar aguas del Duero.

Se volvió finalmente a pensar en la fuente de Argales, para lo que el propio Felipe II envió una carta al concejo en diciembre de 1583. En este viaje trabajaron varios ingenieros, pero el trazado definitivo fue obra de Juan de Herrera, que se desplazó a Valladolid en 1585. Las obras, paralizadas durante muchos años, se impulsaron en el tiempo en que se estableció la Corte en la ciudad del Pisuerga, dándose agua al Palacio Real en 1608²⁶. Lo más notable de esta obra fueron las llamadas Arcas

²⁴ A. GARCÍA DE CÉSPEDES: *Libro de instrumentos nuevos de Geometría*, Madrid, 1606.

²⁵ N. GARCÍA TAPIA: *Ingeniería...*, pp. 321-365.

²⁶ Como reflejo de las vicisitudes sufridas por esta traída quedó la siguiente copla, recogida por Narciso Alonso Cortés: «Truxe la fuente de Argales / en una costa soberbia / hasta la fuente del Campo / corto plazo y larga pena».

Reales que se construyeron en los últimos años del siglo xvi, con proyecto de Herrera y según las ideas de Cristóbal de Rojas, que recomendaba colocar un arca grande cada 500 pasos y una pequeña (cauchil) cada 100 pasos. Sólo se conservan doce arcas, aunque se calcula que hubo unas sesenta y cinco.

III.3. *Plasencia y Oviedo*

El acueducto de Plasencia tiene menos empaque que el de Teruel, pero su obra sobre arcos es de mucha mayor extensión. No entraremos ahora a describir la pequeña historia —más o menos común a casi todas las ciudades peninsulares— de sus primeras obras de abastecimiento ni las vicisitudes ocurridas por sequías o por averías, que dieron lugar a pleitos entre los distintos estamentos beneficiarios de las aguas. Desgraciadamente, lo que suele dejar huella en los archivos son estas carencias y estas disputas, más que las precisas descripciones técnicas. En el caso concreto de Plasencia, parece que la primera conducción de la que existen restos conocidos data de época musulmana. Discurría por la linde entre los términos de Navamojada y Navalanguilla, salvaba el cerro de la Data y, pasando por el barrio del Cristo de las Batallas, rompía la muralla para entrar en el recinto urbano a la altura de la Puerta de los Carros. La historiografía local cita el desaguisado del corregidor que, al intentar subir el agua a la fortaleza, reventó los caños. También hay abundantes indicios epigráficos y documentales de obras de traída, de fuentes y de repartimientos de agua a lo largo del siglo xv. Durante la primera mitad de la centuria siguiente



9.12. *Arcos de San Antón, Plasencia. Construido hacia 1570.*

se suceden los pleitos entre el Cabildo y el Concejo, reflejados en una provisión de la reina doña Juana, una concordia de 1514 y un mandamiento de 1529, litigando por dos o por cuatro caños. Todo ello está confusamente aludido por el cronista Sayans, que, en sus glosas a Luis de Toro, da por sabido casi todo lo que trata de explicar, como es muy frecuente en los eruditos locales²⁷.

El acueducto, conocido como «los arcos de San Antón», se construyó entre 1566 y 1574 y su autor, por lo menos en su fase inicial, fue un cantero llamado Juan de Flandes. El 1 de marzo de 1571 la conducción llegaba ya muy cerca de la ciudad y para poder terminarla se otorgó en Madrid una real carta de sisa, para que la ciudad pudiera tomar a censo dos mil ducados sobre una dehesa que era propiedad de la obra de Los Caños. En 1 de diciembre de ese mismo año, el concejo volvió a tomar a censo 26.750 maravedíes «para concluir el acueducto». Existe, en el intradós de uno de los arcos, una inscripción, que transcribió Mélida, dando la fecha de finalización, bajo el corregidor don Fernando Megía, en 1574.

Actualmente se conservan dos series de arcos, una más modesta en las proximidades de la actual residencia de la Seguridad Social y otra que corresponde a los arcos de San Antón propiamente dichos. La primera, situada en el punto en que la rasante se despega del terreno, consta de los restos de un arco junto a tres obras de paso adinteladas y de tres arcos de poco más de cuatro metros de luz. El segundo tramo, ya en zona urbana, consta de treinta y ocho pilares de un solo orden de arca-das, dispuestos en dos alineaciones distintas, que forman un ángulo próximo a los 140°, una con diecisiete y la otra con veintidós arcos. En su punto más elevado, el acueducto alcanza algo más de 9 m de altura sobre el suelo. El conjunto es muy desigual, mostrando dos o más etapas en su ejecución y más de una reparación poco mañosa. La mayoría de los arcos es de medio punto, pero existe una serie de siete arcos escarzanos. Las pilas son, en una zona, rectangulares y de espesor uniforme, y en otra tienen sección pentagonal o hexagonal, con cuatro tramos de espesor creciente desde la base al arranque de los arcos. La fábrica de algunas pilas es de una sillería perfectamente labrada, con sillares de media vara de altura por vara y cuarto de largo, y en otras es de sillarejo o de una mampostería profusamente ripiada. Las dimensiones son también variables, con anchuras de pilas que en las hexagonales alcanzan 2,66 m. Las luces de los arcos contiguos a dichas pilas son de sólo 4,30 m, mientras que las luces máximas llegan a 6,10. El espesor de los arcos es de vara y cuarto (de 1 a 1,05 m) y algo mayor en las pilas.

Del acueducto de Oviedo, generalmente llamado de los Pilares, quedan restos de arcos en la parte alta de la ciudad, por encima de la estación. Tras un recorrido de dos leguas y media, las aguas llegaban a la iglesia de San Pedro de los Arcos, donde

²⁷ L. DE TORO: *Descripción de la ciudad y Obispado de Plasencia*. Comentado por M. Sayans Castaños, 1961.

comenzaba la obra elevada. Constaba de 41 pilares, con sus arcos correspondientes. Tenía una longitud de 400 m y una altura más de 10 en el collado por el que cruza sobre la carretera de Grado.

Las obras se remataron en 1564 a favor del maestro Juan de Cereceda, en la cantidad de 1.900 ducados, y se empezaron bajo su dirección en 1574, tomando aguas de las fuentes de Ulés, Bóo y Naranco. En 1568 se había acordado también tomar las del manantial de la Fitoria. No tuvieron éxito estas obras, que en 1582 se dieron por inútiles, debido a su poca elevación y solidez. Sacadas a nuevo remate se adjudicaron en 8.100 ducados al fontanero mayor de Valladolid, Gonzalo de Bárcena o de Bárzana, natural, como Juan de Herrera y como tantos otros alarifes de la época, de la Merindad de Trasmiera, en la Montaña. Tras un largo expediente, alegando haber sido engañado en el pliego de condiciones, consiguió Bárcena una cantidad adicional de 5.500 ducados. En el año de 1599 ya estaban en la ciudad las aguas de la Fitoria, que al decir de Madoz eran cristalinas, finas y de gusto exquisito²⁸. Aún hubo necesidad de hacer reparaciones y de encañar el alto de Lavapiés mediante 800 arcaduces. La obra resultante mereció los elogios de Jovellanos, quien la calificó de «bellísima, de arquitectura montañesa, pero digna de romanos». Entre 1864 y 1865 se hizo una nueva traída, y en 1905 y 1910 el ayuntamiento de Oviedo intentó derribar los arcos, dando lugar a un dictamen de la Real Academia de la Historia²⁹.

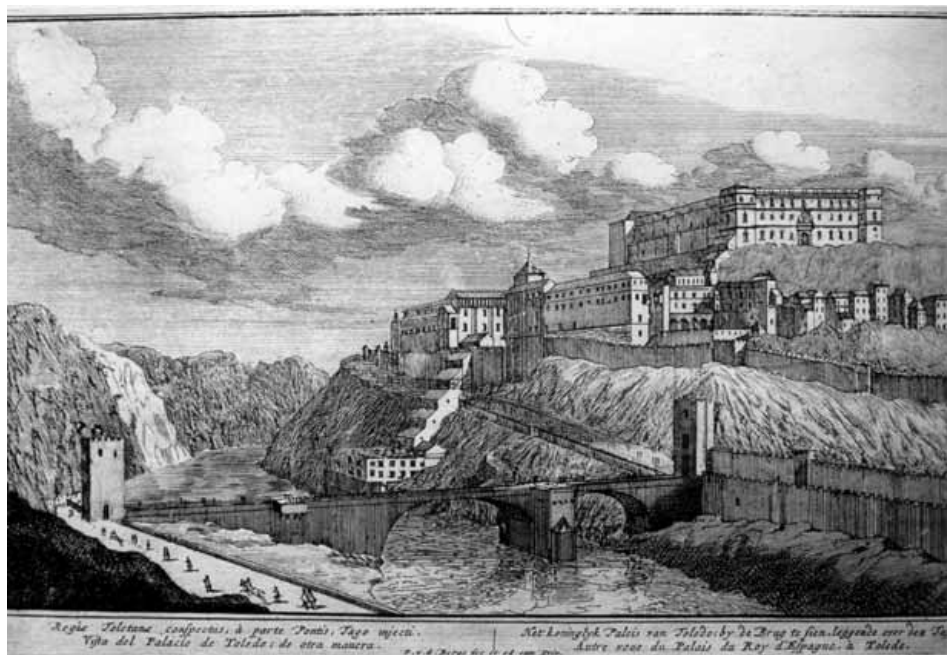
III.4. *Elevación de aguas a Toledo*

Toledo dispuso en época romana de un acueducto con conducción procedente de la presa de Alcantarilla, que tomaba el agua del río Guajaraz y que atravesaba el Tajo mediante una obra de la que quedan algunos vestigios, pero que, por su gran diferencia de nivel sobre el cauce, ha dado lugar a varias interpretaciones. Alfonso Rey Pastor imaginó un magno acueducto con tres órdenes de arcadas y Carlos Fernández Casado, tras una primera hipótesis de conducción a nivel con sólo dos órdenes de arcos, se decantó por una obra de altura más modesta que servía de portasifón.

Cuando, en el siglo XVI, la predilección de Carlos V convirtió a Toledo en «la ciudad imperial», se hizo necesario asegurar su abastecimiento y fue precisamente la dificultad técnica de repetir el abastecimiento de aguas rodadas al estilo romano lo que determinó una curiosísima solución para elevar las del río mediante un artilugio debido a Juanelo Turriano (o Torriano), relojero e ingeniero del emperador y, más tarde, de Felipe II. A partir de 1526 hubo varios intentos de elevar, con bombas u otros ingenios, el agua del Tajo hasta el Alcázar. Todos fracasaron a causa del gran desnivel existente, próximo a los 100 m; pero, en 1565, Juanelo, tras estudiar el asunto detenidamente, firmó un contrato con la ciudad y con la Corona, en términos tan

²⁸ P. MADOZ: *Diccionario Geográfico*, t. XII, p. 486.

²⁹ A. FERNÁNDEZ CASANOVA: «El acueducto de los Pilares, Oviedo», *Boletín Real Academia de la Historia*, 1915, LXVI, pp. 537-540.



9.13. Restos del ingenio de Juanelo en Toledo. Grabado holandés del siglo XVII.

leoninos que, a pesar de su éxito técnico, acabarían determinando su ruina. Se comprometió a colocar 12.400 litros diarios en la plaza del Alcázar, no cobrando nada hasta que el agua corriese a entera satisfacción. Después se le pagarían 8.000 ducados por parte del rey y 1.900 de renta anual por la ciudad, debiendo conservar el ingenio a sus expensas.

El ingenio se basaba en un conjunto de cazos de latón montados sobre un mecanismo de brazos articulados que, movido por cuatro ruedas hidráulicas, iba pasando el agua de unos a otros. Se calcula que constaba de 384 cazos en dos hileras, repartidos entre varios escalones³⁰. En 1569 estaba el ingenio funcionando y daba un caudal vez y media superior a lo estipulado, a pesar de lo cual ni el ayuntamiento ni el rey pagaron nada. Lo cierto es que el Alcázar tomaba toda el agua para sí y la ciudad no se beneficiaba. En 1576 se llegó a un acuerdo por el que el rey quedaba con toda el agua del ingenio y Juanelo, que ya estaba construyendo otro nuevo artificio adosado al anterior, suministraría a la población, quedando la conservación de ambos a su costa y a la de sus herederos. El segundo ingenio, más perfeccionado, funcionaba satisfactoriamente y con mayor caudal del previsto en 1584. Juanelo, ya octogenario y arruinado, murió en 1585 y la conservación de ambos arti-

³⁰ N. GARCÍA TAPIA: *Ingeniería...*, pp. 281-290.

lugios pasó a su nieto, del mismo nombre. Como prueba de la fama alcanzada por los ingenios, es curioso señalar que en 1593 solicitaron los herederos permiso para cobrar una entrada a los visitantes, en lo que hubiera sido, a decir de Nicolás García Tapia, «el primer museo de la Técnica».

A la muerte de Juanelo *el Mozo*, ocurrida en 1595, se encargó de los ingenios Juan Fernández del Castillo, que no era relojero, y cuando el primero de ellos empezó a deteriorarse, propuso su sustitución por un sistema de bombas de émbolos alternados, de las llamadas «tisibicas». Aceptado el proyecto en 1606, se dismanteló el primer ingenio de Juanelo y se construyó la máquina de Fernández del Castillo arimada al tabique de separación con el nuevo, que fue reparado. En 1619 llegaba ya el agua al Corral de Pavones y al año siguiente vertía dentro del Alcázar. Castillo murió, arruinado como Juanelo, en 1626. Para entonces, el segundo ingenio de Juanelo, falto de una conservación adecuada, estaba paralizado y sólo funcionó ya ocasionalmente. Su triste historia terminó en 1639 con el robo de buena parte de los cazos y codillos de latón. Era para entonces el vestigio de una tecnología superada y no volvió a reconstruirse.

IV

LOS PUERTOS

El Renacimiento es la época de los grandes descubrimientos geográficos y la de mayor expansión militar y comercial. Mientras se mantienen los intereses españoles en el Mediterráneo, la conquista de Canarias primero y el descubrimiento de América después abren las rutas del Atlántico. Las guerras con Inglaterra y la cuestión de Flandes obligan a atender la fachada cantábrica de la Península Ibérica. Por lo tanto, es ésta una época dorada en el desarrollo naval, que necesariamente ha de llevar consigo una mayor atención a los puertos.

Al tratar de los puertos debemos distinguir siempre entre los abrigos naturales que históricamente han servido para acoger a las embarcaciones y las obras en ellos realizadas, como son las fortificaciones y establecimientos militares destinados a su defensa, las estructuras exteriores construidas para suplir o complementar a dichos abrigos allí donde eran insuficientes y las instalaciones construidas en tierra para facilitar la carga y descarga de pasajeros y mercancías. Es de esas obras de las que aquí hemos de ocuparnos, teniendo siempre en cuenta que, hasta épocas relativamente recientes, las obras exteriores han experimentado un desarrollo muy pequeño en comparación con el de las obras terrestres, sean de fortificación o de carga y descarga.

Escalante de Mendoza en su *Itinerario de navegación de los mares*, de 1575, distinguía «tres géneros y maneras de puertos, que son barras, bahías y playas». Denominaba barras a los puertos propiciados por las desembocaduras de los ríos, bahías a los formados en los estuarios y playas a los surgidos en el mar. Rodríguez-

Villasante, de quien tomamos esta referencia, esquematiza estos tres tipos de puertos en un dibujo en que, en cualquiera de los casos, las instalaciones portuarias aparecen acompañadas por la típica fortificación poligonal con torres artilladas, de la que parte un espolón que se adentra en el agua³¹. Los puertos de Sevilla, Lisboa o Málaga podrían servir de ejemplo para cada uno de estos tipos, respectivamente. Naturalmente, los puertos en playa exigían una mayor protección frente a los enemigos y también frente a los agentes naturales. Si nos fijamos en la vista de la última de las ciudades citadas, dibujada por Anton Van der Wyngaerde, en 1563, veremos un gran lienzo de murallas, con numerosas torres y puertas, que recorre toda la fachada marítima. Detrás aparece el caserío y, en la ladera de Gibralfaro, la Alcazaba. En una de las playas, la más próxima a la desembocadura del Guadalmedina, se ven numerosas barcas que indican que se usaba como puerto pesquero, mientras que el puerto comercial estaría instalado en la playa contigua, protegido por fuertes torres y con un espigón que se adentra en el mar. Frente a él aparecen fondeados numerosos veleros³².

Modesto Viguera y Javier Peña, que son los autores que con mayor detalle han estudiado la evolución de las estructuras portuarias españolas, han dedicado a la época que ahora nos ocupa un extenso capítulo de su gran tratado sobre nuestros puertos. Tras referirse a la situación histórica y su influencia sobre la navegación y el comercio, estudian la evolución de los conocimientos técnicos y científicos. Analizan el efecto que sobre las técnicas portuarias, como sobre tantas otras, tuvieron las ediciones de la obra de Vitrubio y los diversos tratados de construcción en ella inspirados. Se ocupan de los ingenieros y autores que en ese periodo trabajaron y entran a describir la tecnología de la construcción y los medios auxiliares disponibles, para pasar, finalmente, al examen pormenorizado de las actuaciones en los más importantes puertos peninsulares y ultramarinos³³.

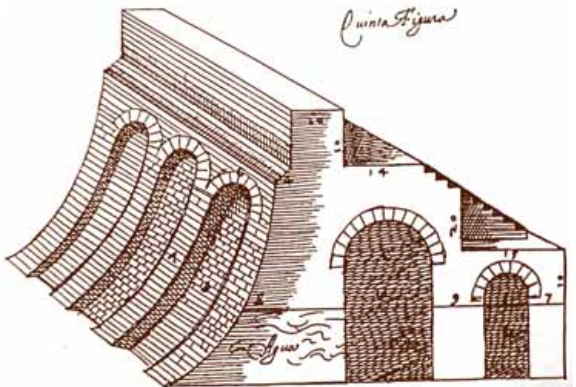
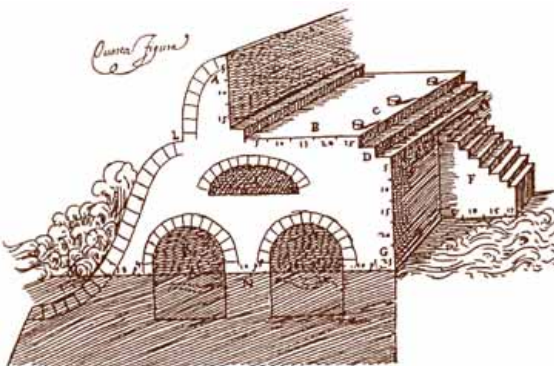
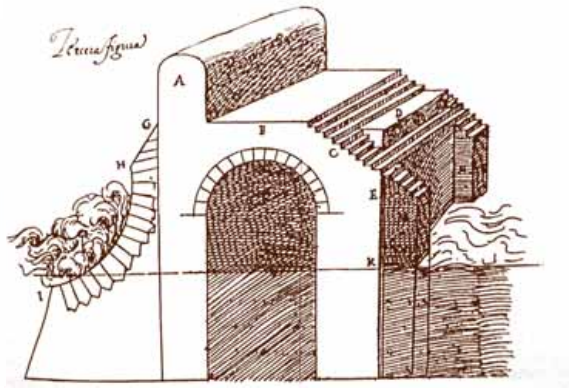
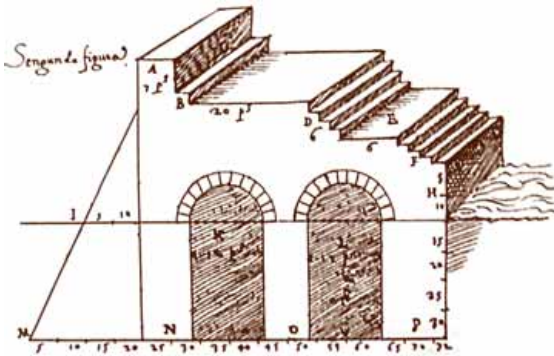
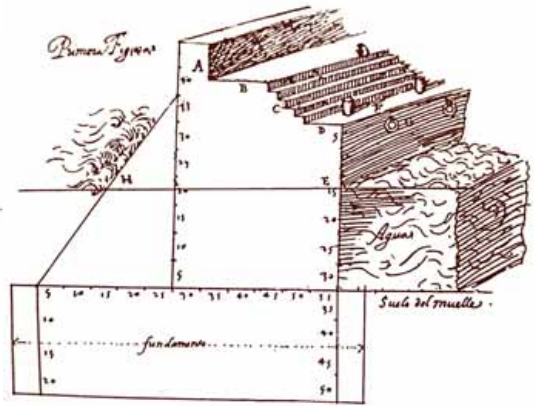
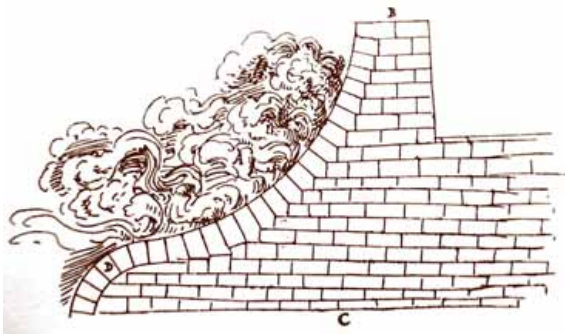
Según estos autores, durante el Renacimiento la tecnología portuaria experimentó un notable desarrollo que queda reflejado en una serie de aspectos entre los que, partiendo de la ya comentada difusión de la obra de Vitrubio, se incluyen:

- Colaboración de grandes ingenieros de diversas nacionalidades, al servicio de la monarquía hispánica; entre ellos los italianos Antonelli, Spanoqui y Bursoto y los españoles Herrera, Rojas, Roda, etc.
- Aparición de un texto, *Los veintitún libros de los ingenios y máquinas*, que puede ser considerado el primer tratado portuario.

³¹ J. A. RODRÍGUEZ-VILLASANTE, pp. 61-76.

³² Las imágenes de diversas ciudades peninsulares recogidas por Van der Wyngaerde se encuentran, por ejemplo, en *Atlas histórico de ciudades europeas, I. Península Ibérica*, Salvat, Barcelona, 1994. En el caso de Málaga, otras representaciones de la época pueden verse en la obra de Cabrera y Olmedo sobre su puerto.

³³ M. VIGUERAS y J. PEÑA, tomo I, capítulo 2.3, pp. 135-203.



9.14. Defensas de puerto. Secciones de dique: cóncavo, macizo, con doble abovedado, abovedado, con triple abovedado y con abovedado asimétrico y pilastrones frontales. Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas (Biblioteca Nacional, Madrid).

- Dominio de las técnicas de cimentación mediante pilotes, enfaginados, cajones flotantes de madera, etc.
- Conocimiento de las cales hidráulicas, puzolanas, morteros y mamposterías.
- Utilización de escolleras en diques de abrigo y en la base de muelles de cantería.
- Técnicas para construir espigones, aligerados y de pedraplén o mampostería.
- Desarrollo, al final del periodo, de los primeros equipos de dragado.
- Conocimiento de las estructuras básicas —mandrachos— para delimitar los canales de acceso a los puertos.
- Utilización, a mediados del siglo xvii, de diques de escollera con superestructura vertical constituida por muros o cajones.

Los veintiún libros de los ingenios y máquinas constituyen una fuente fundamental para juzgar el estado de los conocimientos portuarios en el siglo xvi. A lo largo de los libros 19 y 20, el autor analiza la misión e importancia de los puertos, las condiciones físicas que debe cumplir su emplazamiento, la planificación de su construcción, la ejecución de diques, muelles y otras infraestructuras, la cimentación de las obras y otros temas relacionados, como, por ejemplo, el salvamento de navíos hundidos o el rescate de sus restos. Viguera y Peña, que encabezan su obra con una frase de este libro («Porque no es dado a todos los hombres hacer tales obras...»), subrayan la claridad y contundencia de sus juicios sobre las características de las obras marítimas y la necesidad de encargarlas a hombres sensatos y expertos.

Al analizar la labor desarrollada durante este periodo no podemos entrar al casuismo de cada puerto, con sus vicisitudes, accidentes, reparaciones y proyectos. Diremos que las actuaciones estuvieron muy condicionadas por las características de cada zona. Los puertos del Mediterráneo, con excepciones como los de Cartagena o Mahón, situados en dársenas y que, por lo tanto, no requerían obras de defensa, se situaban sobre costas abiertas (los puertos en playa de Escalante) o, a lo sumo, en una bahía amplia como Rosas o Palma de Mallorca. En estos puertos las obras solían consistir en un escollero con coronación de mampostería, como en Gibraltar, Málaga o Ibiza, que penetra en el mar y crea una protección incipiente. En otros casos, como el de Valencia, donde las condiciones físicas no posibilitaban la ejecución de una obra definitiva, se construyeron pequeños embarcaderos de madera que los temporales y los animales xilófagos se encargaban de destruir paulatinamente.

En el Atlántico el puerto fundamental fue Sevilla, sin duda el centro comercial más importante del mundo; pero por sus condiciones de puerto fluvial, no se acometieron obras permanentes. Viguera y Peña dan por sentado que los galeones fondeaban en el río y la carga y descarga se realizaba con barcazas. Sin embargo, una vista panorámica de autor anónimo, fechada en 1617, nos muestra una ribera, entre la Torre del Oro y el puente de barcas, literalmente abarrotada de navíos. Están en la orilla y sólo alguno que no tiene sitio aparece anclado en el centro del cauce, a la espera, sin duda, de poder descargar. En Huelva no hubo ningún tipo de instala-

ción y en Cádiz sólo había obras de defensa y, según se deduce por grabados, un pequeño espigón de desembarque.

En las rías bajas gallegas, de tan magníficas condiciones marítimas, no han quedado restos de obras. Es el mismo caso de Canarias, aunque por las razones contrarias. Con difíciles condiciones físicas, con grandes calados y sin abrigo frente al mar, no se hicieron obras durante este periodo o por lo menos no han quedado rastros de ellas.

En los puertos del Cantábrico hay que distinguir los situados en ríos, como Bilbao o Avilés, en que se hicieron obras longitudinales de encauzamiento, y los situados en amplias rías, como Pasajes o El Ferrol, en que sólo se levantaron pequeñas obras de servicio. El problema de estos puertos estribaba en los aterramientos y en la pérdida de calado en sus entradas, en las que se formaban peligrosas barras que amenazaban seriamente la navegación y no podían ser combatidas con los rudimentarios métodos de dragado disponibles. Un tipo de instalación importante y muy representativo de la técnica española fueron las dársenas construidas con diques convergentes que arrancaban desde la orilla. Así puede verse en San Sebastián y Gijón, de morfologías semejantes, puesto que en ambos casos se trata de una pequeña isla unida por un tómbolo, y en Santander, cuyo puerto está situado en una amplia ría al abrigo de los temporales³⁴.

En Ultramar, con un terreno casi virgen, los colonizadores pudieron elegir el asentamiento más favorable para sus puertos y lo hicieron en bahías abrigadas, como es el caso de La Habana, Veracruz, Acapulco, Guayaquil o Puerto Cabello, y sólo en algún caso, como el de El Callao, trataron de establecer sus muelles en mar abierto. Las únicas obras que en un primer momento se emprendieron fueron las de fortificación contra los depredadores. Se sabe, no obstante, de obras como los muelles de Santo Domingo, que estaban terminados en 1548. En Filipinas, podemos referirnos al pantalán de madera construido en el puerto de Cavite y señalar que 'pantalán' es palabra tagala, por lo que cabría hablar de una importación de tecnología desde Extremo Oriente.

Los Reyes Católicos dictaron numerosas disposiciones tendentes a favorecer el tráfico marítimo y las obras portuarias. Pablo de Alzola recoge referencias a algunas de ellas. En 1482 crearon la Lonja de Comercio de Valencia; en 1494 se fundó el Consulado de Burgos y en 1503 ordenaron el establecimiento de la Casa de Contratación de Sevilla. En 1511 se autorizó en Bilbao una institución análoga. En el campo de las obras podemos señalar las del puerto de Barcelona, que se reemprendieron en 1477 bajo la dirección del ingeniero hidráulico Stasio. Los trabajos se desarrollaron lentamente, llegando el espigón en 1484 hasta la isla de Mayan, con una longitud de 103 m. En ese reinado se ordenó la construcción del muelle de Rentería (Pasajes) y en 1509 se proyectó un dique que partiendo de la torre de San Sebastián

³⁴ Ídem, p. 190.



9.15. *Bahía y puerto de Santander en el siglo XVI.* Civitatis orbis terrarum, de Braun y Hogenber.

llegase a la punta de las Cruces. Para esta obra ofreció la villa 12.000 ducados y libró el monarca 24.000, raro ejemplo de subvención directa, probablemente a causa de su interés estratégico. También autorizó al ayuntamiento de Bermeo para la exacción de ciertos tributos destinados a construir el muelle. Se dieron licencias, asimismo, para instalación del alumbrado en el puerto de Guetaria y en los de Cádiz y Santa María³⁵. De las obras y del estado del puerto de San Sebastián nos daría noticia, años más tarde, Pedro de Medina:

Está asomado a la costa del mar, tiene un buen puerto, aunque es playa donde las naos hacen sus cargazones. Tiene junto a la mar un muelle grande y muy bueno, donde las naos y otros navíos cargan y descargan sus mercaderías en mucha cantidad, para Francia, Flandes, Inglaterra y para otras muchas partes. Junto a este muelle es una torre muy grande donde las naos quitan y ponen sus mástiles; y a la parte de la

³⁵ P. de ALZOLA, 3.ª edición, pp. 116-118.

playa tiene un contramuelle muy fuerte, donde la mar bate en sus crecientes y tormentas, por que con la fuerza y embate del agua el muelle no reciba daño³⁶.

Otro ejemplo de tales disposiciones para impulsar las obras marítimas lo ofrece la que don Fernando II de Valencia (el Rey Católico) concedió a don Bernardo de Rojas y Sandoval, marqués de Denia, para reparar el puerto de dicha población y construir en su entrada dos torres con sendos faros que habrían de alumbrar toda la noche. Ello le daría derecho a cobrar una tarifa de anclaje y otra por el uso del balizamiento, tarifas de las que quedaban exentos los barcos reales y los de los vecinos de la ciudad de Valencia y su reino³⁷.

Durante la segunda mitad del siglo XVI hay abundantes noticias de trabajos en el puerto de Cartagena, con obras en el muelle de San Leandro y la construcción de un pantalán de madera. En 1586 el albañil Juan Martínez trabajaba en el espigón de la plaza; pero las obras de un muelle de cantería, adjudicadas a Pedro Milanés, no se emprenderían hasta 1607. También se trabajó mucho en Gibraltar, donde un temporal destruyó 130 varas del muelle de El Mandracho, quedando otras 300 varas en pie. Cristóbal de Rojas aconsejó la construcción de un muelle nuevo; pero, tras la visita de Bautista Antonelli, partidario de reforzar el viejo, proyectó Rojas su refuerzo con un manto de escollera de gran tamaño en el exterior y un muro de atraque de cantería en el interior. De otro Antonelli, Cristóbal, sabemos que estudió por esas fechas el puerto de Los Alfaques, en el delta del Ebro.

En cualquier caso, a pesar de los progresos de las técnicas constructivas, las obras marítimas exteriores fracasaron, en buena parte de los casos, por falta de conocimientos oceanográficos. Obras costosas proyectadas empíricamente, sin estudio de los movimientos del mar, se destruían en pocos años o provocaban efectos contraproducentes, al inducir el aterramiento de los puertos que trataban de defender. Un ejemplo de cómo las esperanzas y los esfuerzos de los pueblos se consumían en un continuo tejer y destejer, en medio de quejas y polémicas, nos lo ofrece el puerto de Málaga, a lo largo del siglo XVI. En 1548, Pedro de Medina, tras informar de la gran actividad militar que en la ciudad se desarrolló con motivo de la conquista de Túnez y de la gran cantidad de galeones y carabelas que llenaron su puerto, decía: «Hácese en ella un muelle para reparo y abrigo de los navíos, que acabado, será una de las buenas obras del mundo»³⁸. La realidad, sin embargo, resultó muy distinta. En 1596 se efectuaba una información sobre la situación del muelle y los efectos producidos por la parte realizada. El mercader Esteban Romero declaraba que el muelle, que tenía una longitud de 88 pasos, estaba siendo cegado por las arenas y que en el plazo de veinte años sería de muy poco provecho. Decía, asimismo, que un arrecife construido en la orilla por el maestro mayor de las obras había sido

³⁶ P. de MEDINA, p. 174.

³⁷ J. FERRER MARSAL, pp. 65-67.

³⁸ P. de MEDINA, p. 187.

muy perjudicial, pues las olas al romper causaban destrozos en los navíos y la muerte de las personas, y que las tormentas de levante habían derribado parte del muelle, provocando la pérdida de dos navíos con sus mercaderías. Con estas declaraciones concordaban los testimonios de otros siete testigos (marineros, patrones y vecinos, incluido uno que siendo estudiante iba a bañarse al arrecife)³⁹.

En definitiva, a pesar de los grandes progresos teóricos y de la gran labor desarrollada, podemos aceptar como cierto el diagnóstico de Dolores Romero y Amaya Sáenz:

La prolijidad y el nivel de detalle en los diseños portuarios contrasta con la parca realidad de los muelles y la desprotección de nuestras costas. Tan es así que el trasbordo de pasajeros y mercancías, a través de pequeñas embarcaciones en un ir y venir continuo desde la costa a los buques frente a ella fondeados, siguió siendo el sistema generalizado en buena parte de los puertos, y no sólo a falta de las instalaciones adecuadas sino a menudo por su manifiesta inutilidad⁴⁰.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILÓ, Miguel: *La enjundia de las presas*, Madrid, ACS, 2002.
- ALZOLA Y MINONDO, Pablo de: *Las obras públicas en España. Estudio histórico*. Bilbao, Casa de Misericordia, 1899. [Reeditado con el título *Historia de las Obras Públicas en España*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1979, 3.ª ed. 1994].
- ARENAS DE PABLO, Juan José: *Caminos en el aire*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2003.
- ARAMBURU-ZABALA, Miguel Ángel y Begoña ALONSO RUIZ: *Santander: un puerto para el Renacimiento*, Santander, Cajacantabria/Puerto de Santander, 1994.
- ARRÚE UGARTE, Begoña y José Gabriel MOYA VALGAÑÓN (coords.): *Catálogo de puentes anteriores a 1800: La Rioja*, Logroño, 1988.
- Boletín MOPU*, «Una grandiosa obra de ingeniería del siglo XVI», MOPU, junio 1982, pp. 38-42.
- CABRERA PABLOS, Francisco R. y Manuel OLMEDO CHECA: *El puerto de Málaga, 30 siglos de vida, 400 años de historia*, Málaga, Junta de Obras del Puerto, 1988.
- CEHOPU: *Cuatro conferencias sobre historia de las Obras Públicas*, Madrid, CEHOPU, 1987.
- CHÍAS NAVARRO, Pilar y Tomás ABAD BALBOA: *Los puentes de España*, Madrid, FCC, 1994.

³⁹ M. OLMEDO CHECA, documento n.º 9, pp. 21-23.

⁴⁰ D. ROMERO y A. SÁENZ, p. 30.

- CHUECA GOITIA, Fernando: «El agua en el renacimiento y el barroco», en *El hombre y el agua en la geografía y en la historia de España*, Grupo FCC, 1995, capítulo IV, pp. 119-193.
- ESPINOSA, Pedro Celestino: «Reseña de varios puentes construidos en España desde la Antigüedad hasta principios del siglo XIX», *ROP*, 1878 y 1879.
- Felipe II. Los ingenios y las máquinas. Ingeniería y obras públicas en la época de Felipe II*, Madrid, Sociedad Estatal para la Conmemoración de los Centenarios de Carlos V y Felipe II, 1998.
- FERNÁNDEZ MARCO, Juan I.: *El Canal Imperial de Aragón. Estudio geográfico*, Zaragoza, 1961.
- FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, José Antonio, Tomás ABAD BALBOA y Pilar CHÍAS NAVARRO: *Catálogo de puentes anteriores a 1936*. León, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1988.
- ROSARIO MARTÍNEZ VÁZQUEZ DE PARGA, Tomás ABAD BALBOA, Carmen ANDRÉS MATEO y Aurora GALÁN HERGUETA: *Catálogo de noventa presas y azudes anteriores a 1900*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1984.
- ROSARIO MARTÍNEZ VÁZQUEZ DE PARGA, Teresa SÁNCHEZ LÁZARO, Luis de CARRERA GONZÁLEZ y Alejandro CARRO PÉREZ: *Catálogo de treinta canales españoles anteriores a 1900*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos/CEHOPU, 1986.
- FERRER MARSAL, Juan: *El puerto de Denia. Una ilusión de progreso*, Valencia, Generalitat Valenciana, 1994.
- FUERTES MARCUELLO, Julián: «El túnel o 'mina' de Daroca. Obra hidráulica del siglo XVI», *Revista de Obras Públicas*, n.º 3257, 1987, pp. 253-261.
- GARCÍA ORTEGA, Pedro: *Historia de la legislación española de caminos y carreteras*, Madrid, MOPU, 1982.
- GARCÍA TAPIA, Nicolás: *Los veintiún libros de los ingenios y máquinas de Juanelo, atribuidos a Pedro Juan de Lastanosa*, Zaragoza, Diputación General de Aragón, 1997.
- *Ingeniería y arquitectura en el renacimiento español*, Valladolid, 1990.
- GÓMEZ DE SOMORROSTRO, Andrés: *El acueducto y otras antigüedades de Segovia*, Madrid, 1820. [Edición facsimilar, Segovia, 1974].
- GONZÁLEZ TASCÓN, Ignacio: *Ingeniería española en Ultramar (siglos XVI-XIX)*. Madrid, MOPT/Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1992.
- GUAL CAMARENA, Miguel: *Estudio histórico-geográfico sobre la Acequia Real del Júcar*, Valencia, 1979.
- Guía de los puentes de España*, MOPU, 1987.
- LLAGUNO DE AMÍROLA, Eugenio: *Noticias de los arquitectos y arquitectura de España desde su restauración* (reedición), Madrid, Turner, 1977.
- LÓPEZ GÓMEZ, Antonio: «Embalses de los siglos XVI y XVII en Levante», *Estudios Geográficos*, 1987, pp. 617-656.

- MARTÍNEZ DEL OLMO, Francisco J. (ed.): *Agua e ingenios hidráulicos en el valle del Tajo*, Madrid, Confederación Hidrográfica del Tajo, 1998.
- MEDINA, Pedro de: *Libro de grandezas y cosas memorables de España*, Sevilla, 1548. [Ed. de Ángel González Palencia, Clásicos españoles I, Madrid, CSIC, 1944].
- MENÉNDEZ PIDAL, Gonzalo: *España en sus caminos*, Madrid, Caja de Madrid, 1992.
- MENESES, Alonso de: *Repertorio de caminos*, Alcalá de Henares, 1576 [Ed. facsimilar, con epílogo de José I. Uriol, Madrid, Ministerio de Educación y Ciencia, 1976].
- OLMEDO CHECA, Manuel: *Miscelánea de documentos históricos urbanísticos malacitanos, recopilados por...*, Málaga, Excmo. Ayuntamiento de Málaga, 1989.
- RODRÍGUEZ-VILLASANTA PRIETO, Juan Antonio: «La evolución de los puertos españoles en la Edad Moderna», en *Puertos españoles en la historia*, pp. 61-76. Madrid, CEHOPU, 1994.
- ROMERO, Dolores y Amaya SÁENZ: «La construcción de los puertos: siglos XVI-XIX», en *El sistema portuario español (siglos XVI-XX)*, pp. 29-56, Madrid, CEHOPU, 1995.
- RUMEU DE ARMAS, Antonio: *Itinerario de los Reyes Católicos, 1474-1516*, Madrid, CSIC, 1974.
- SÁENZ RIDRUEJO, Fernando: «Algunos aspectos poco conocidos en la historia del Canal Imperial de Aragón», en Conde de SÁSTAGO: *Descripción de los Canales Imperial de Aragón y Real de Tauste*. Ed. facsimilar, dos tomos, Madrid, MOPU, 1984.
- SMITH, Norman: *The heritage of Spanish Dams*, Madrid, 1971 [Reedición, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1992].
- UGALDE AGÚNDEZ, Jesús María: *Los caminos teresianos*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1989.
- URIOL SALCEDO, José I.: *Historia de los caminos de España*, vol. I, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1992.
- VIGUERAS GONZÁLEZ, Modesto y Javier PEÑA ABIZANDA: *Evolución de las tecnologías de las infraestructuras marítimas en los puertos españoles*, Madrid, Puertos del Estado, 2000, tomo I, pp. 135-203.