



# La Ingeniería Técnica de Obras Públicas en la época de Felipe II

Especial sobre la Ingeniería Civil española,  
extraído de Cimbra



Colegio de Ingenieros Técnicos  
de Obras Públicas



**INGENIEROS-  
CIVILES**.ES



# Faustino Merchán Gabaldón

Números 329, 330 y 332 de Cimbra,  
años 1999 y 2000



Colegio de Ingenieros Técnicos  
de Obras Públicas



**INGENIEROS-  
CIVILES**.ES

## INTRODUCCIÓN

En el **siglo XVI** se toma conciencia por primera vez de la necesidad de potenciar el desarrollo tecnológico como uno de los elementos esenciales para la organización, el abastecimiento o la defensa de los reinos. El impulso al conocimiento se tradujo en una decidida política de **Obras Públicas** en la que colaboraron las principales instituciones de los reinos de España. Corona y Ayuntamientos, sobre todo, acometieron la construcción de puentes, puertos y obras hidráulicas con una intensidad que modificó sustancialmente las infraestructuras y la propia superficie de la península.

Mientras, en el **Nuevo Mundo** cobró vital importancia la introducción de la nueva metalurgia de amalgamación de la plata que pronto se importaría también a Europa.

En la encrucijada europea del **Renacimiento**, la figura de Felipe II emerge como uno de los gobernantes más comprometidos con el mecenazgo de la ciencia y de la técnica. Consciente de que profesiones tan vitales para el funcionamiento de la monarquía como Ingenieros, Arquitectos, artilleros o navegantes desconocían por lo general el latín, instrumento de conocimiento aún esencial, el monarca creó y financió la **Academia Real Matemática de Madrid**. En este primer centro de formación avanzada en la materia, a diferencia de las universidades, las clases se impartían enteramente en castellano.

En relación con ese nuevo centro, el rey impulsó la traducción y la impresión de muchos de los tratados necesarios para la enseñanza y encargó a su principal agente artístico, Juan de Herrera, la elaboración de un nuevo **programa de carácter politécnico**. Asimismo, la biblioteca de El Escorial, compendio de los saberes de su tiempo, reunió una extraordinaria colección de libros de carácter científico y técnico.

El interés constante mostrado por el rey hacia las Obras Públicas y, singularmente, hacia las cuestiones técnicas y de **Ingeniería**, se trata de una dimensión esencial en el gobierno de los principales estados del Renacimiento que, incentivada por los avances científicos de la época, llegó a asumir una importancia política de primer orden, movilizandoo importantes recursos humanos y materiales.

La **Corona** intentó responder a ese desafío incentivando la construcción de las infraestructuras básicas para agilizar las comunicaciones y aprovechar, con todos los medios disponibles, la explotación de las fuentes de riqueza.

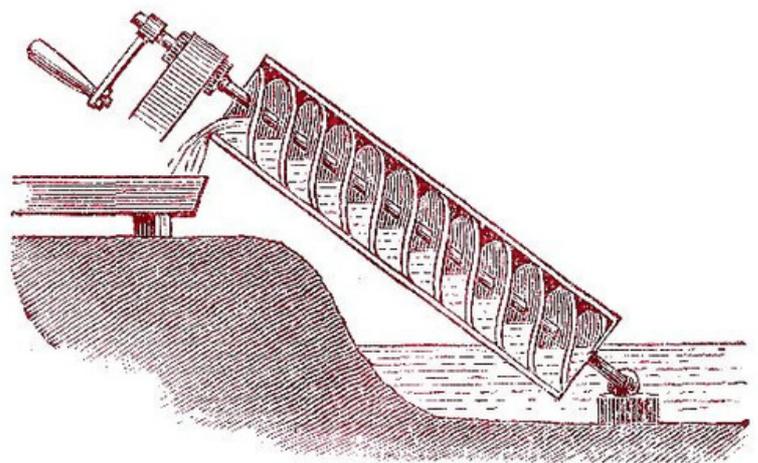


## INGENIOS Y MÁQUINAS EN LA ÉPOCA DE FELIPE II

A lo largo del **siglo XVI**, España se convierte en uno de los escenarios europeos donde confluyen técnicos de las más diversas procedencias. Ello se debe a motivos muy diversos, entre los que hemos de señalar la relativa indiferencia que las diversas ingenierías tenían en los negocios religiosos –que llevaba a la Corona a hacer la vista gorda acerca de las creencias de los artífices que trabajaban para ella- y el prestigio, la universalidad y la riqueza de la casa gobernante y del propio rey.

Durante el largo reinado de este monarca, que se identifica con la segunda mitad del siglo, se fijan, además, los términos técnicos del español, fundiéndose en un único crisol palabras de procedencia latina y árabe, pero también otras muchas italianas, francesas (fandería, tenería...), flamencas (dique) e incluso magiars (coche) junto con otras procedentes de ultramar, tanto del virreinato de la **Nueva España** (malacate) como del Perú e incluso de territorios tan lejanos y recién descubiertos como las Islas Filipinas.

Forjar esta lengua común –acuñando términos que han permanecido vigentes hasta hoy- fue una labor coral y popular, sin que haya habido una personalidad genial que la impulsara y acuñara los nuevos términos que la ciencia y la técnica en castellano precisaban. Desarrollaron esta labor un grupo de **Ingenieros, Arquitectos**, fundadores de cañones, constructores de barcos y navegantes, que pasaban de mano en mano sus manuscritos técnicos, que con frecuencia se heredaban de padres a hijos.



Archimedean Screw.

Imagen. Tornillo de Arquímedes. Juan Vilar



Colegio de Ingenieros Técnicos  
de Obras Públicas



INGENIEROS-  
CIVILES.ES

## EL ENTORNO: LA INGENIERÍA EUROPEA EN TIEMPOS DE FELIPE II

Una gran parte del siglo XVI transcurrió en medio de atroces **guerras**, no solo entre los principales estados sino también en el interior de ellos. La Reforma partió a Europa en dos partes y dividió internamente a muchas naciones, originando persecuciones y sangrientas guerras civiles.

Al parecer, el crecimiento de la población se debió más bien al incremento gradual de la **producción agrícola**. A medida que las ciudades crecían, la necesidad de agua para el suministro urbano obligó a buscar nuevos recursos. Hasta entonces, se había recurrido simplemente a pozos o a ríos cercanos –que con frecuencia eran también el receptáculo de las aguas residuales–, aunque ya muchas ciudades habían comenzado a copiar a la Roma antigua en la construcción de conductos para recoger el agua de manantiales situados a cierta distancia.

Desde mediados del siglo XVI, se elaboraron grandes programas para emular conscientemente los **Toros de la antigüedad**. El más sorprendente se llevó a cabo en la propia Roma. Los cuatro papas cuyos pontificados coinciden con el reinado de Felipe II intentaron reformar el deteriorado abastecimiento de agua de Ciudad Santa. Ello supuso, en primer lugar, la reconstrucción y la restauración de dos antiguos acueductos, Aqua Claudia y Alexandriana.

Bajo el **pontificado de Gregorio XIII** y, sobre todo, del activo urbanista Sixto V, se añadieron unos 40 kilómetros de canalizaciones y se capturaron las aguas de muchos manantiales próximos a la ciudad.

Al principio, el nuevo sistema de abastecimiento terminaba en Santa Susana, donde un enorme arco de triunfo señalaba el final de las obras. Posteriormente, se amplió el sistema para abastecer de agua a las posesiones papales situadas en el monte Quirinal y luego también al antiguo corazón de **Roma, el Foro y el Capitolio**, a medida que se iban derivando nuevos ramales del tronco principal.

El **papa Sixto** estaba tan orgulloso de su logro que dio al nuevo sistema de canalización el nombre de Acqua Felice (que era su propio nombre bautismal).

Los **papas Gregorio XIII y Sixto V** se ocuparon también de que el agua fuese más accesible a la población en su conjunto, mandando construir una serie de fuentes que, al mismo tiempo que servían a la población, proporcionaban un majestuoso y refrescante ornato para la ciudad en los veranos cálidos y polvorientos.

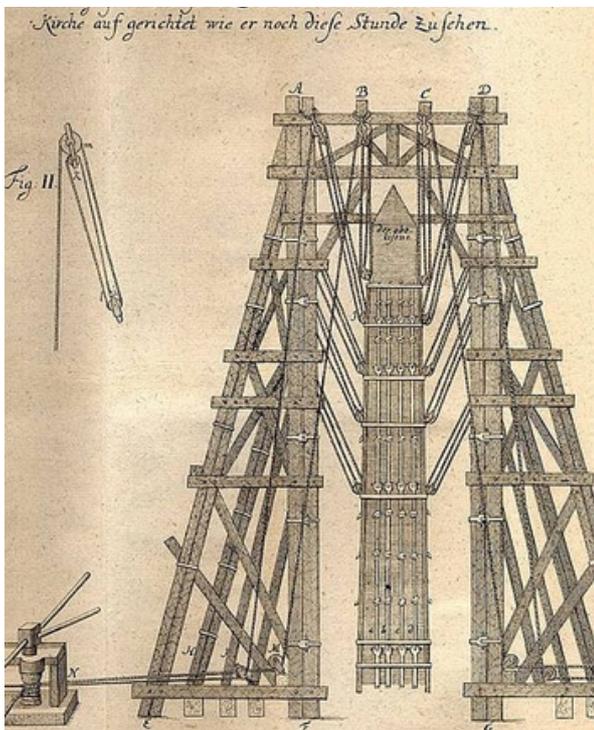


## EL ENTORNO: LA INGENIERÍA EUROPEA EN TIEMPOS DE FELIPE II

Algunas de las fuentes más famosas de la ciudad, como la de la **Piazza Navona** y la de **Piazza del Popolo**, datan de aquellos años o, al menos, las pilas originales, pues las esculturas que ahora las adornan fueron añadidas posteriormente.

Sin embargo, cuando había que abastecer a una población numerosa, lo primero que se hacía era buscar la forma de elevar el agua desde el río hasta la ciudad por medio de algún mecanismo hidráulico. Uno de los más famosos era la **torre de Augsburgo**. Esta torre, construida en la década de 1540, probablemente sirvió de inspiración, gracias a los relatos de los viajeros, a otras torres en que una o dos bombas elevaban el agua hasta la cubeta, desde la cual una segunda bomba la elevaba aún más. De esta manera, tras tres o cuatro etapas, el agua estaba lo bastante alta como para fluir por gravedad en dirección a las fuentes públicas y a las tinajas y aljibes de los centros de consumo. Las bombas de Augsburgo eran probablemente tornillos de Arquímedes, cuya invención se atribuía al mayor matemático e Ingeniero de la antigüedad.

Los alemanes y, sobre todo, los flamencos y holandeses, eran considerados expertos en la materia, por lo que, con frecuencia, recibían contratos del extranjero. De este modo, en 1582, **Peter Merris** construyó una rueda hidráulica, a orillas del Támesis, que proporcionaba energía a unas bombas impelentes capaces de elevar el agua a una altura igual al campanario de la iglesia de San Magnus. Poco después, se levantó una segunda estación de bombeo.



El **agua corriente**, además de usarse para beber, cocinar y lavar –siendo monopolizada frecuentemente por los palacios de los reyes y las mansiones de la nobleza- se empleaba también para regar.

Durante el siglo XVI, **en el norte de Italia**, es también el periodo en el que los Ingenieros comenzaron a plantearse seriamente el control de los ríos, tanto los grandes, como el Tíber y el Po, como aquellos que amenazaban con encenagar la laguna de Venecia o causar las inundaciones inesperadas.

Imagen. Traslado de obelisco egipcio por Domenico Fontana. Wikiwand



## EL ENTORNO: LA INGENIERÍA EUROPEA EN TIEMPOS DE FELIPE II

La **canalización de los ríos** para promover la navegación era común desde la Edad Media y hubo proyectos para enlazar los principales afluentes del Po o desviar cursos tan difícilmente navegables como los del Reno o el Brenta, haciéndolos más útiles, ya sea como arteria de transporte (el Brenta) o como fuente de energía (el Reno).

En **Italia**, los mismos papas que procuraron a la capital un abastecimiento de agua digno de su pasado, también querían ampliar las tierras cultivables y reducir quizás el riesgo de malaria, que hacía a Roma tan insalubre durante el verano, saneando para ello las marismas próximas a Terracina.

El agua era un **medio de transporte** ciertamente más cómodo y rápido que las carreteras enlodadas por el agua y enlomadas por el discurrir de las carreteas. Por ello, durante los últimos años del siglo XVI, se construyeron muchos puentes, sobre todo en los principales centros urbanos.

En Florencia, en el puente de **Santa Trinitá** –uno de los puentes con arco más elegantes, ingeniosa combinación de dos curvas que lo hace parecer casi elíptico, logrando así una luz mayor que la que se hubiese obtenido con un arco semicircular- fue construido, siguiendo los planos de Bartolomeo Ammannati, en la década de 1560 y contrasta poderosamente con el pintoresco y sobrecargado Ponte Vecchio.

Otro puente que marcó una época en la evolución de la **Ingeniería Civil** fue el Pont Neuf de París. Unos puentes más antiguos comunicaban la Île de la Cité –la parte más antigua de la ciudad- con las dos orillas del Sena. A finales del siglo XVI, todavía no se podía cruzar el río directamente.

La solución consistía en utilizar un punto de la isla como elemento central en el que se unían sin solución de continuidad sendos puentes, uno hacia cada orilla. En realidad, éste no fue el primer puente de piedra del París renacentista, pues lo precedió el **Pont Notre Dame**, cuyo Arquitecto fue Fra Giocondo, editor de Vitrubio. La primera obra de este italiano fue la restauración del antiguo puente romano de Verona, que nos recuerda al Ingeniero romano del mismo nombre (siglo I a.C.), autor del tratado De Architectura.



## EL ENTORNO: LA INGENIERÍA EUROPEA EN TIEMPOS DE FELIPE II

El comienzo de la **navegación oceánica** a gran escala estimuló el desarrollo de los puertos atlánticos de Europa occidental. Si Sevilla y Cádiz iban adquiriendo cada vez más importancia, lo mismo sucedía con los puertos franceses como la Rochelle-Amberes y, posteriormente, Ámsterdam en los Países Bajos o Londres, Bristol y los puertos del canal de Inglaterra.

De hecho, el puerto francés más importante del canal de La Mancha, Le Havre, adquirió precisamente importancia en el siglo XVI, cuando fue ampliado y modernizado sobre las instalaciones preexistentes.

Pilotes y **cajones de cimentación** eran necesarios para fundar los pilares de los puentes, por lo que las obras de la época sobre Ingeniería ofrecen instrucciones detalladas sobre cómo construir dichos cajones, qué tipo de bombas se deben emplear para achicar el agua y el lodo y cómo mantenerlos estancos durante la realización de las obras.

Para **hincar los pilotes de los puentes** o de las obras portuarias, se habían ideado unos martinetes especiales, ya durante la Edad Media. Se introdujeron entonces diversos mecanismos a fin de aumentar su eficacia, como por ejemplo topes para liberar la maza de manera automática.

Por mucha importancia que tuvieran las grandes obras públicas, durante la segunda mitad del siglo se empleó mucho más esfuerzo y dinero en la **refortificación de Europa**. Cuando el rey de Francia cruzó los Alpes a finales del siglo XV, con una batería de cañones nunca vista hasta entonces, provocó toda una serie de avances en la construcción de fuertes y edificios defensivos. Los castillos medievales, con sus altas torres y murallas, ofrecían un blanco demasiado fácil para los grandes cañones. El nuevo estilo nació a principios de siglo, inicialmente sobre todo en el norte de Italia y en el sur de Alemania, extendiéndose rápidamente por Europa gracias a los Ingenieros que recorrían el continente dispuestos a ponerse al servicio de cualquier príncipe que les pagase bien.

Naturalmente, la mayoría de los gobernantes prefería formar a personas de su propio reino para que, en el futuro, una **profesión** tan importante para la seguridad del Estado pudiera quedar en manos de sus súbditos.



## EL ENTORNO: LA INGENIERÍA EUROPEA EN TIEMPOS DE FELIPE II

En el nuevo estilo de **Arquitectura militar**, las murallas eran mucho más bajas, reduciendo así la superficie expuesta a los cañones enemigos. Las murallas de piedra se protegían mediante enorme terraplenes de tierra, revestimiento exterior en el que se incrustaban las balas de cañón sin causar apenas daño a la fortificación. Se amplió, asimismo, el perímetro fortificado con el fin de desconcentrar el riesgo, de forma que si se producía una brecha, la mayor parte de la fortificación quedaba intacta. En este proceso, las ciudades sustituyeron a los castillos como plazas fuertes del reino.

No en vano, define **Covarrubias**, en su Diccionario: “llamamos Ingeniero al que fabrica máquinas para defenderse del enemigo y ofenderle”.

El **summun de la maquinaria y de la Ingeniería mecánica** en aquellos años fue sin duda el reloj. Aunque se seguían haciendo magníficos relojes públicos, el de Estrasburgo fue el más famoso de su época. Los relojes pequeños aparecieron durante el primer cuarto de siglo. Eran mucho más pesados que los modernos, se les denominaba “huevos de Nuremberg” por su forma y se llevaban colgados del cuello. Nuremberg y Augsburgo fueron los principales centros de este arte. Los relojes de mesa más elaborados, los cuales además de dar la hora estaban decorados con autómatas, fueron los de nefs de Augsburgo, que tenían forma de barco.



Imágenes. Huevos de Nuremberg. Watches World y Reloj de Bolsillo



## LA FORMACIÓN DE LOS TÉCNICOS: LOS GREMIOS

A lo largo del siglo XVI, las obras de Ingeniería Civil fueron proyectadas y construidas por técnicos-maestros canteros o fustersos, alarifes, fontaneros, Ingenieros o Arquitectos de origen y formación muy diversa. A esta heterogeneidad manifiesta contribuyó el hecho de que durante el ámbito temporal que estamos considerando no existió en España un centro educativo específico para formar Ingenieros especializados en la construcción de Obra Públicas.

A primera vista, sorprende el hecho de que muchas de las grandes obras de Ingeniería fueran proyectadas y construidas por artífices que no solo ignoraban cualquier rudimento de **lengua latina**, sino que en muchos casos –como atestigua el hecho de que en las adjudicaciones tuvieran que recurrir a que otros firmaran por ellos- tampoco podían escribir medianamente en castellano.

Ello no quiere decir que no fueran capaces de realizar con pericia dibujos, mediciones de obra y presupuestos, contando asimismo muchos maestros con una importante capacidad económica y empresarial. Tal fue el caso del cantero aragonés Joan de Albistur, que repara el puente de Sabiñánigo y construye el de **Biescas**, realizando también diversas obras hidráulicas –molinos, aljibes- y de Arquitectura, todo ello sin saber escribir.

La mayoría de las obras de Ingeniería Civil fueron realizadas por **maestros en diversas ramas** (canteros, fustersos, alarifes, etc.), que iniciaban su formación entrando como aprendices en la empresa de un maestro en el oficio.

La formación de los **aprendices en el gremio** tenía un carácter eminentemente práctico, incluyendo el conocimiento de las propiedades de los materiales con los que iba a trabajar en su vida profesional. Así, los canteros aprendían a conocer las diferentes piedras, sus calidades y su facilidad para la labra. Distinguían las piedras isótropa (como el granito), que eran duras pero de fácil talla, de las anisótropas (como el gneis), que son muy difíciles de trabajar.



Imagen. Cantero. Artifex Balear



Colegio de Ingenieros Técnicos  
de Obras Públicas



AGENDA  
2030

INGENIEROS-  
CIVILES.  
ES

## LA FORMACIÓN DE LOS TÉCNICOS: LOS GREMIOS

Manejaban los instrumentos para fabricar dovelas por diversos procedimientos y aprendían también a fabricar una **buena argamasa de cal y de arena**, mezclando las proporciones adecuadas de los ingredientes. De su contacto con los puentes y con las obras portuarias aprendían a respetar a una naturaleza hostil, capaz de provocar graves inundaciones o de levantar temporales en el mar de consecuencias imprevisibles.

Los carpinteros o fusteros estaban obligados a conocer con precisión las calidades y las propiedades de las principales maderas de construcción y también la mejor época para cortarlas y aserrarlas en las serrerías, generalmente ya movidas por ruedas hidráulicas. Muchas de las principales madres de construcción aparecen recogidas en los manuscritos conocidos como "**Los Veintiún Libros de los Ingenios y las Máquinas**", obra de uno o varios técnicos aragoneses, escrita en la segunda mitad del siglo XVI.

Su oficio comprendía todo lo referente a la construcción de techumbres, a la **fabricación de cimbras para puentes y de pilotes** de madera para las cimentaciones profundas. Los carpinteros tenían también a su cargo el levantar las plataformas y las vallas en las plazas mayores de villas y ciudades cuando se celebraban fiestas públicas, que con gran frecuencia incluían corridas de toros.

Existían algunos tipos de **carpinteros muy especializados**, como los carpinteros de ribera, que se ocupaban de fabricar embarcaciones, y los carpinteros de lo prieto, con conocimientos específicos en la construcción de ingenios y máquinas, como ruedas de carro, rodeznos de molino, batanes y otros ingenios que precisaban algún tipo de rueda hidráulica.

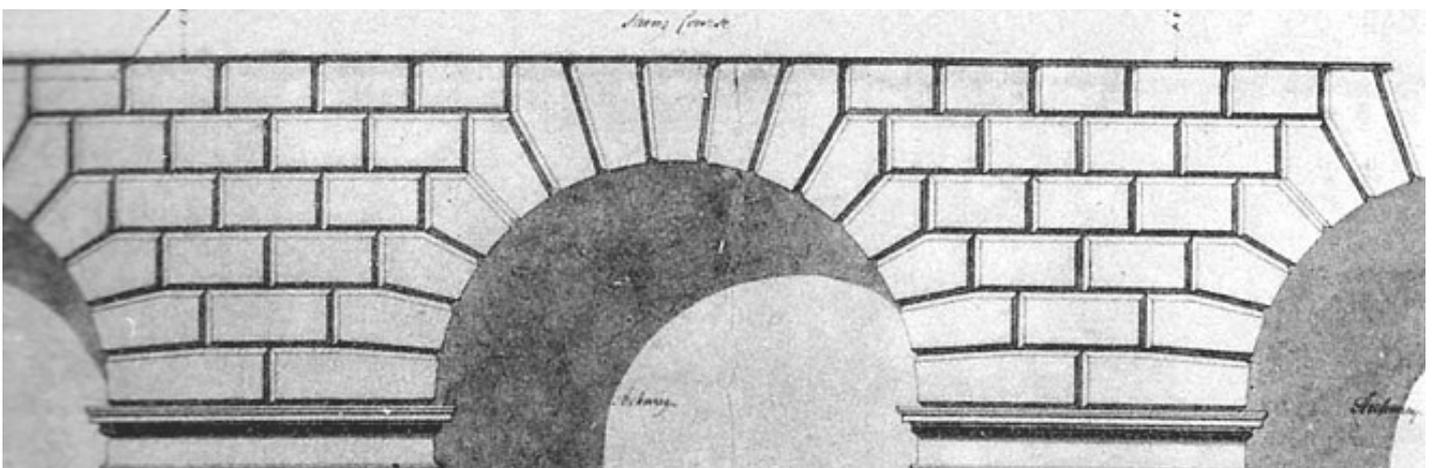


Imagen. Dovela. HMN Wiki



## UNIVERSIDADES: LA ACADEMIA REAL MATEMÁTICA

Las universidades españolas del siglo XVI estaban orientadas en su práctica totalidad a la enseñanza de las humanidades y a la formación de **hombres de leyes** que sirviesen, una vez licenciados, a la administración del Estado en sus diversas ramas.

A la mayoría de los artífices que deseaban dedicarse a la construcción, la universidad les estaba vetada, tanto por **motivos económicos como de lengua**. La enseñanza de las matemática –de interés para todos los campos de la Ingeniería- estaba restringida a la Universidad de Salamanca, donde las clases se impartían en latín, lengua que ya solo se conocían los clérigos, los humanistas, los cortesanos cultos y los abogados. Y como ya hemos comentado, la mayoría de las personas que se dedicaban a la construcción, no solo ignoraban el latín, sino que en ocasiones tampoco sabían escribir el castellano.

Felipe II, que era bastante instruido en el campo de las Matemáticas –tuvo como maestro y tutor a Juan Martínez Silíceo, que había escrito varias obras sobre esta materia-, veía con preocupación una situación que el paso del tiempo agravaba. De hecho, durante décadas se vio obligado a contratar **Ingenieros** en los reinos más diversos, españoles o extranjeros, lo que resultaba bastante costoso y a largo plazo, peligroso.

Convencido de la imposibilidad de reformar las universidades, Felipe II decidió intervenir directamente en la reforma de la enseñanza, propiciando y organizando un nuevo centro politécnico en Madrid: la **Real Academia Matemática**, cuyo programa de estudios estaba preparado por Juan de Herrera.

La Institución o plan de estudios que **Herrera** preparó para su uso en el nuevo centro de enseñanza en castellano revela bien claramente el ambicioso proyecto real y comprendía un vastísimo conjunto de enseñanzas destinadas a formar profesionales similares a las que hoy se cursan en una universidad politécnica.



Imagen. Arca de tres llaves. Info Bierzo



Colegio de Ingenieros Técnicos  
de Obras Públicas



INGENIEROS-  
CIVILES.  
ES

## LA REALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS

Las **grandes obras de Ingeniería** requerían, como primera condición para realizar un proyecto, conocer con precisión la naturaleza del terreno y del medio. En la construcción de puentes, resultaba de gran importancia tener una idea aproximada de las máximas avenidas posibles, noticias que se averiguaban generalmente por conocer la gran riada que había dañado o destruido un puente próximo o incluso el mismo que se iba a construir.

En las **obras hidráulicas**, convenía saber las crecidas de los ríos (si se trataba de levantar una presa o un azud) y la naturaleza, la calidad y la abundancia de unos manantiales si se pensaba en ellos para construir un nuevo abastecimiento de agua.

En las **obras portuarias**, por el contrario, convenía estimar los vientos y los oleajes dominantes, así como la naturaleza de las corrientes, pues tan enemigo de un puerto resultaba el oleaje como lo eran los aterramientos casi siempre imprevisibles y, con frecuencia, agravados por la actividad constructora de los hombres.

Después, era necesario verificar en el campo que la obra era posible, estudiando la topografía del terreno y realizando las nivelaciones correspondientes.

- **Los rasguños, los planos y las maquetas.** La inexistencia de una cartografía de cierto detalle obligaba, además, a recorrer el territorio tomando notas y levantando rasguños de los lugares más adecuados para construir una presa, encontrar un paso entre montañas para abrir un nuevo camino carretero o situar en la costa un lugar relativamente abrigado de los vientos, oleajes y arenas para construir una nueva dársena.

Con todos estos datos, era ya posible para los Ingenieros y otros artífices hacer los primeros **rasguños o bocetos**, que presentaban a los Concejos que promovían las obras y que revisaban, cuando la obra era de suficiente entidad, el rey y sus Ingenieros.



## LA REALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS

Al igual que hoy día, las autoridades se encontraban con propuestas contradictorias, avaladas por técnicos enfrentados entre sí. En estos casos, para estar más seguros de que comprendían bien las complejidades de un proyecto técnico, las autoridades que iban a pagar la **Obra Pública** (y el rey, que aunque no pagase, supervisaba) reclamaban además la construcción de modelos a escala.

El propio **Felipe II** era muy aficionado a estas maquetas o modelos a escala, pues él mismo señalaba “que así lo entendía mejor que por las plantas”. Modelos de este tipo de hicieron para el rey, de las fortificaciones de Cádiz y Gibraltar, bajo la dirección del gran Ingeniero Militar – artífice también de obras civiles- Cristóbal de Rojas.

Estos modelos permitían **al rey y a los regidores de las villas** y las ciudades que los pagaban hacerse cargo de lo que en realidad se proponían hacer los Ingenieros. En su ejecución, se empleaban materiales diversos y con frecuencia se hacían de cera, materia fácil de trabajar y que permitía fáciles modificaciones.



Una vez que las primeras trazas contaban con la aprobación de las autoridades, los Ingenieros realizaban el conjunto de planos que definían el proyecto y que debían de ir suficientemente acotados para poder realizar las mediciones, de gran importancia, para poder realizar la **subasta o almoneda de las obras**.

Además de los planos, los **Ingenieros o maestros de obras** complementaban el proyecto con las condiciones, de carácter generalmente técnico, que terminaban de definir el proyecto. En ellas, se especificaban las principales dimensiones, la naturaleza (sillería, mampostería, ladrillo, madre, cal...) de los materiales que debían emplearse, sus dimensiones y sus características técnicas, la naturaleza de las argamasas (generalmente, se recomienda emplear a partes iguales cal y arena), la forma de aparejar los muros o de labrar las dovelas, los caminos de accesos que era necesario crear, etc.

Imagen. Cristóbal de Rojas. Altorres



Colegio de Ingenieros Técnicos  
de Obras Públicas



**INGENIEROS-  
CIVILES**.ES

## LA REALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS

- **Las capitulaciones o condiciones de ejecución.** Una vez definido un proyecto, era necesario buscar un constructor que lo llevara a feliz término, a unos precios lo más baratos posibles. Es decir, adjudicárselo a uno o a varios contratistas para que los llevaran a cabo de acuerdo con los plazos, precios y otras condiciones que quedaban fijadas en la capitulación, documento a veces muy detallado que recogía también los materiales empleables, las ayudas que proporcionaría la propiedad –por ejemplo, suministrar cal en condiciones ventajosas- y los años de garantía que debía aceptar a su costa el constructor que resultara adjudicatario de la obra.

En muchas ocasiones, las cláusulas contenidas en las capitulaciones son muy precisas, ya que de su claridad depende el que un **maestro pueda ofertar la obra** –hacer una postura de manera ajustada, sin incertidumbres-. Entre las ventajas concedidas más frecuentes, se encuentra el poder disponer de canteras –para abastecerse de piedra de construcción- y de bosques donde poder cortar la madera para las obras.

Otro aspecto interesante que recogen estas capitulaciones hace referencia a las facilidades que requerirá el constructor para fabricar la cal que necesitará en morteros y hormigones.

- **El plazo de garantía.** Con mucha frecuencia, en el documento de capitulación de una obra, además del precio estipulado y del plazo convenido para su realización, se establecía un plazo de garantía, durante el cual el constructor debía de reparar a su costa la obra realizada en el caso de que sufriera desperfectos o daños.

El **plazo de garantía era muy variable** y en él, el contratista estaba obligado a responder de los defectos de la obra ejecutada y a realizar a su costa las reparaciones que fueran necesarias. Así, en la capitulación o contrato para realizar un molino de cubo de 1563, entre el propietario Jerónimo de Suelbes y el artífice Bernat Donper, éste se compromete a “dar teniente el molino por tiempo de dos años acabado que sea de hacer”. Es decir, una garantía de dos años, contados a partir de su terminación. Un plazo de garantía que habla muchas veces de la seriedad y capacidad empresarial de los constructores, que se tenía muy en cuenta al proceder a adjudicar la obra.



## LA REALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS

- **La financiación de las obras:** los puentes. El dinero para construir puentes se recaudaba generalmente mediante la organización de un “repartimiento” entre las poblaciones situadas a menos de un determinado número de leguas del puente. Todos los vecinos contribuyen con igual cantidad en el repartimiento.

En Castilla, juega en el procedimiento un importante papel el **Consejo de Castilla**. El Concejo que estaba interesado en levantar un nuevo puente o en reconstruirlo, ya que se arruinaban con facilidad, iniciaba los trámites enviando al Consejo de Castilla una relación en la que se justificaba la necesidad de llevar a cabo la obra. El Consejo de Castilla, tras estudiar la propuesta, comunicaba su aprobación al Concejo o Municipio con jurisdicción en el lugar donde se iba a construir el puente.

El Consejo de Castilla encargaba a uno o a varios técnicos de su confianza las trazas o proyectos (incluyendo **presupuestos**) que consideraran más adecuados, eligiendo finalmente la que consideraba más idónea.

El Consejo de Castilla sacaba a subasta pública mediante pregón el proyecto, acudiendo con sus ofertas los **diversos contratistas**, que eran generalmente experimentados en la construcción de obras. Tras estudiar las diversas propuestas, que incluían bajas sobre lo presupuestado, el Consejo de Castilla adjudicaba la obra al contratista que realizaba la oferta que consideraba más ventajosa.

La decisión se la comunicaba este organismo, mediante una **Provisión Real**, al Corregidor de la población donde se iba a levantar el puente. Seguidamente, el Corregidor enviaba una “requisitoria” al contratista para que éste pudiera pedir ante el alcalde de la población, donde era vecino, una fianza (mediante la hipoteca de sus bienes) para responder del presupuesto total de la obra. Asimismo, el Corregidor nombraba un “veedor” o director técnico de la obra, encargado de defender los intereses del Concejo y de asegurar su adecuada ejecución.

El Corregidor llevaba a cabo, por orden del Consejo de Castilla, la **propuesta de financiación** de la obra mediante la organización de un repartimiento, que afectaba por igual a todos los vecinos.



## LA REALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS

El dinero para construir o reparar puentes provenía en ocasiones de las cantidades que se recaudaban mediante la concesión durante un determinado número de años de un derecho de peaje o **pontazgo** -llamado pontaje- al constructor que lo había levantado a su costa. Este procedimiento era más frecuente en los puentes de madera, que requerían mayores gastos de conservación pero que resultaban de construcción más barata.

- **La organización técnica y administrativa de las obras.** La organización de una obra proyectada adquiría una complejidad que solía correr pareja con su importancia económica. Así, mientras que en obras pequeñas no se requería la intervención de la Corona, realizándose bajo el control del Ayuntamiento que la promueve, cuando se trataba de obras de gran envergadura el rey seguía muy de cerca las vicisitudes y los avances de las mismas. Una vez aprobado el proyecto realizado y establecido el procedimiento para recaudar los fondos que requería la ejecución de la obra, hacen su aparición los personajes que la van a tratar de convertir en una realidad tangible.

Una vez decidido el comienzo de las obras, se nombra el veedor, persona que acumula en su cargo la máxima **responsabilidad, tanto técnica como administrativa**. Además de la responsabilidad técnica, el veedor ejerce control presupuestario de la obra, contando para llevar a cabo sus actividades con la colaboración de varios subalternos. El veedor es una de las tres personas que dispone de una de las llaves del arca donde se guardan los caudales y en la que se custodia el libro de asientos que refleja los gastos.

El **veedor**, así, se encarga también de realizar las compras de materiales de construcción (madera, piedra, cal, ladrillos, fagina) y herramientas y útiles necesarios para llevar a cabo las obras. En estas labores de compra, puede estar asistido por un contador, aunque esta actividad puede realizarla en algunos casos el propio veedor.



Imagen. Retrato de Eustaquio Galavís y Hurtado, corregidor de Santa Fe (obra de Joaquín Gutiérrez). Wikipedia



## LA REALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS

En cualquier caso, el veedor tiene siempre la obligación de dar parte de las compras efectuadas a la **Junta de Precios**, organismo que vigila que las compras se realicen a precios convenientes para la economía de la obra.

En la obra, generalmente, el rey ordena que el veedor ha de visitar “las más veces que pudiera la obra para ver si se va haciendo conforme a la **traza y modelo**” para comprobar que todo se realiza de acuerdo con el proyecto.

El veedor tiene también la función de preparar las listas de la **gente contratada para trabajar** en la obra, así como la de bagajes, recuas y carros que se hayan comprado para la misma. Semanalmente, el veedor hace entrega de las listas –que han de ir escritas de su mano- al sobrestante mayor, quien tiene a su cargo los restantes sobrestantes o capataces.

El **sobrestante** mayor –una especie de capataz de capataces- reparte las listas que recibe a los distintos sobrestantes que trabajan en la obra, los cuales anotan a lo largo de la semana los días que han trabajado los obreros que figuran en las listas. Al final de la semana, el sobrestante mayor recoge las certificaciones de los sobrestantes y, si está conforme con las anotaciones que han realizado, da la aprobación para que se efectúen los pagos. Éstos se realizan con el dinero que se custodia en el arca de las tres llaves, lo que obliga al veedor, al corregidor –que representa la autoridad del rey en la villa o ciudad donde se ubica la obra- y al pagador. Éste último, el miembro de menor categoría con derecho a llave, saca el dinero que se precisa y anota los movimientos realizados en el Libro de Asientos.

Cada uno de los sobrestantes es un **capataz que vigila, organiza y controla** una cuadrilla de obreros dedicados a una actividad específica. Dentro de las cuadrillas, la persona más cualificada y, por tanto la que ejerce la dirección técnica, es el maestro de obras, a cuyas órdenes trabajan oficiales, obreros y aprendices, canteros, carpinteros, fontaneros, etc. Completan la organización de la obra el tenedor de bastimientos, persona encargada del acopio y de la vigilancia de los materiales y de las herramientas que se van comprando para la obra y que le entrega el pagador.



## LA REALIZACIÓN DE LOS PROYECTOS

Periódicamente, el **tenedor de basamentos** informa al veedor del o que contienen sus almacenes, siendo auxiliado en sus trabajos por el apuntador de la obra, que anota y controla todas las salidas y entradas de materiales y herramientas que se producen en los almacenes. Una vez realizado el remate y asegurada la solvencia del constructor, éste podía ya iniciar la construcción de la obra pública que se le había encomendado.

Las formas de pago, recogidas siempre con claridad en las capitulaciones, variaban de unos lugares a otros. Generalmente, **la villa o la ciudad** que promovía la obra daba un adelanto al principio de la misma al constructor, cantidad que era descontada del último pago, realizado al finalizar la obra.

El maestro o maestros asociados que recibían la adjudicación de una obra pública no estaban autorizados a **subcontratar a otros constructores** si éstos habían estado presentes en la almoneda o en la subasta pública. Con ello, se buscaba tal vez evitar acuerdos previos a la subasta para lograr precios más elevados y, por tanto, condiciones más ventajosas.

En las obras de gran envergadura, la organización de las mismas alcanzaba una notable complejidad. Un **Arquitecto o Ingeniero** era el máximo responsable, del que dependía un maestro de obra. Categoría inferior tenían los sobrestantes –como capataces actuales- de quienes dependían los obreros de villa (que habían aprobado el examen de aprendizaje) y sus aprendices, ocupando el último lugar del escalafón los peones, que carecían de cualificación.

El veedor era la persona puesta por la propiedad para supervisar y aprobar la obra ejecutada. Los **veedores de la ciudad** tenían a su cargo la defensa de los intereses municipales. La elección adecuada de estos personajes preocupó siempre a los administradores e Ingenieros al servicio de la corona y así el Ingeniero Cristóbal de Rojas recomendaba elegir para veedores y alarife, hombres de “ciencia y conciencia y de pecho para resistir quelesquiera ladronicios que se hacen en las fábricas”.

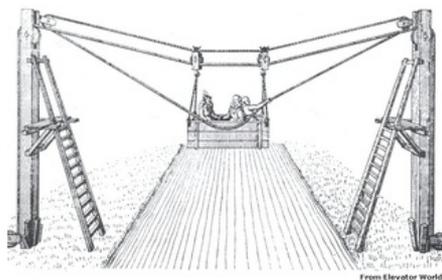


Imagen. Tarabita. Flickr



## LOS CAMINOS Y LOS PUENTES

A lo largo de la historia, los caminos han sido no solo una vía física para transportar viajeros y mercancías, sino también vehículo para difundir nuevas ideas y noticias, unas veces por boca de los propios hombres que por ellos que por ellos transitaban y otras por medio del correo. “Abrir camino”, nos dice **Covarrubias** en su Tesoro es “dar luz y noticia de cómo se aya de guiar algún negocio”, sea éste material o espiritual.

**A lo largo del siglo XVI** por los surcos de los caminos heredados de época anteriores transitaron las mercancías de siempre y, junto a ellas, los nuevos productos llegados de Ultramar, como el tabaco, que comenzaban a fumar los marineros que habían estado en las Indias, o las patatas andinas, que iniciaron su lenta aclimatación en España y que en las siguientes centurias ayudarían a paliar las hombrunas que asolaban con frecuencia el Viejo Mundo.

Esas mismas rutas conocieron la presencia del **nuevo cereal americano, el maíz y también del dulce chocolate**, feliz síntesis de cacao americano y del azúcar extraído de la caña dulce y que pronto haría furor en toda Europa. “Adereçar el camino, limpiarle, quitarle tropiezos y guiarle por mas derecho” – según Covarrubias-, ha sido hasta hoy una preocupación compartida por gobernantes, comerciantes y viajeros y que en este periodo temporal solo se llevó a cabo tímidamente allí donde resultaba imprescindible.

- **Puentes de madera y de criznejas.** Vadear los ríos sin puentes era una tarea ardua y peligrosa, solo posible cuando la profundidad y la velocidad de las aguas eran pequeñas. En época de crecidas, era preciso contratar los servicios de un barquero que se ganaba la vida pasando viajeros, carros y mercancías de una orilla a la opuesta con ayuda de su barcaza y de una gruesa maroma de cáñamo, fuertemente anclada en ambas márgenes del río, que constituían el puente flotante.

Este barquero cobraba un **derecho de barcaje** por sus servicios, que para atraer clientes era inferior al peaje o pontazgo de los puentes alternativos que arrieros y carreteros trataban de ahorrarse cuando podían.



## LOS CAMINOS Y LOS PUENTES

Los **maestros carpinteros o fusteros** eran los encargados de levantar los puentes e madera, mucho más baratos que los de cantería, aunque también menos resistentes y duraderos. Su mayor fragilidad en el devenir histórico se debe tanto a su rápido envejecimiento como a la facilidad con la que arde, por lo que los puentes de madera no han llegado hasta nosotros, perviviendo tan solo en los documentos y planos de la época.

La construcción de estos puentes se llevaba a cabo en **cauces fluviales arenosos**, donde era posible cimentar mediante pilotes de madera hincados con ayuda de martinetes accionados a mano, sobre los que se levantaban las pilas que soportaban los arcos o las vigas y celosías, que eran también de madera.

- **Los primeros puentes colgantes españoles.** En la Europa medieval y renacentista, las cadenas de hierro tenían un uso muy limitado, debido a su gran peso y al elevado costo que representaba su forja en las herrerías, donde el hierro se labraba artesanalmente con ayuda de un martinete hidráulico.

Se utilizaban cadenas de hierro para subir plataformas y **puentes levadizos** en los castillos y en las fortificaciones abaluartadas, para cerrar el paso a las embarcaciones en las entradas en los puertos y en laboras de policía urbana para defender algunos edificios públicos –audiencias, universidades, catedrales, lonjas- de la invasión de los coches que por entonces ya empezaban a señorearse de las ciudades. Pero por su peso y por su elevado coste, el hierro no se empleó en la construcción de grandes puentes colgantes hasta mucho tiempo después.

En América, sin embargo, los **puentes colgantes** –que entonces se llamaban puentes de criznejas o puentes hamaca-, contaban ya en el siglo XVI con una larga tradición indígena, sobre todo en las regiones andinas, donde los incas habían sido verdaderos expertos en su construcción. Constaban de unas gruesas sogas o criznejas, que podían llegar a tener dos palmos de diámetro y que se anclaban en sus extremos en unos estribos llamados padrones.

Carecían de un **tablero rígido** y, frecuentemente, estaban constituidos por cinco maromas vegetales, colocándose además unos tirantes laterales para evitar que se movieran excesivamente cuando se levantaban vientos fuertes. Sobre tres de estas sogas, se asentaba el piso del puente, formado por un material ligero, como tablas, guadas o el tallo de la flor de pita. Las otras dos, situadas a una altura superior y enlazadas con las que soportan el piso, tenían como fin facilitar el paso por el puente, usándose a manera de antepechos o pasamanos.



## LOS CAMINOS Y LOS PUENTES

Además de estos **puentes colgantes de tablero flexible**, los incas utilizaban en los caminos secundarios unos transbordadores o andariveles que recibían el nombre de “oroyas” o “tarabitas”. Garcilaso de la Vega, el inca, nos describe su funcionamiento en sus Comentarios.

Los españoles que llegaron al **Nuevo Mundo** no habían visto nunca nada parecido y admiraron estos extraordinarios puentes cuyas maromas se hacían trenzados bejucos o hilo de una planta americana, hoy frecuente en España, que llamamos pita.

De todos estos puentes, destacaba por su longitud y por el agreste lugar en que se emplazaba, el de **Apurímac**, en el Camino Real que unía la capital de los incas, Cuzco, con la Ciudad de los Reyes, que pronto pasaría a llamarse Lima.

Durante muchos años, los españoles comenzaron también a construir estos puentes colgantes a la manera de los incas, a pesar de que no permitían el paso de las cuadrillas de carros y de que los **cables vegetales** que los sustentaban, sometidos a un ambiente muy húmedo y agresivo, tenían una duración muy escasa, por lo que era necesario cambiar cada pocos años las sogas.

Con el fin de mejorar la durabilidad de estos puentes, los Ingenieros españoles que vivían en América idearon en la última década del siglo XVI los primeros puentes formados por cadenas de eslabones de madera, de los que se tienen escasas aunque indudables noticias.

- **Los puentes de cal y de canto.** Éstos tienen la peculiaridad, respecto a los de madera, de su enorme peso propio, que requiere una cimentación suficientemente sólida para poder transmitir esas cargas al terreno de cimentación. Estos puentes eran, a veces, totalmente de piedra, aunque en ocasiones empleaban también el ladrillo, sobre todo para construir los arcos o las bóvedas. En general, nos referiremos a puentes de arcos formados por dovelas de piedra, ya que los puentes mixtos de ladrillos y de piedra no presentan novedades notables desde el punto de vista constructivo.



## LOS CAMINOS Y LOS PUENTES



Imagen. Puente de Arce, Cantabria. Cazando Puentes

Estos puentes de cal y de canto, a diferencia de los de **madera**, son más sólidos y duraderos (mayor resistencia al fuego y al envejecimiento) y son los últimos de la época que han llegado hasta nosotros.

El principal lugar de aprendizaje de los **maestros canteros e Ingenieros** acerca de los puentes fue, sin duda, la reparación de los puentes legados por el Mundo Antiguo y el periodo medieval. Así, Juan de herrera, que proyectó varios puentes, hizo su aprendizaje proyectando la reparación del Puente Mayor de Orense, una monumental obra romana constituida por siete arcos que salvaba el cauce del río Miño.



Colegio de Ingenieros Técnicos  
de Obras Públicas



AGENDA  
2030

INGENIEROS-  
CIVILES.ES

## EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN PUENTE DE CANTERÍA

La construcción de un puente de **piedra cimentado** sobre un terreno poco consistente se lleva a cabo siguiendo el siguiente procedimiento, que incluye la construcción de ataguías, que aunque no era un procedimiento frecuente, se utilizó no solamente en la construcción de nuevos puentes, sino también en la reconstrucción de otros arruinados.

- **Trabajos de reconocimiento y replanteo.** Una vez que las trazas o el proyecto habían sido aprobados por el rey y se había rematado o adjudicado la obra a uno o a varios maestros canteros en subasta pública, se iniciaban los primeros trabajos auxiliares.

Se adquirían las herramientas de obra y se abrían las canteras que iban a suministrar los sillares y dovelas de la obra y la piedra caliza que debería alimentar los hornos de cal. Asimismo, si resultaba necesario, se habilitaban nuevos caminos o carriles para transportar en carros la piedra y la cal desde las **canteras** hasta el emplazamiento elegido para el futuro puente.

La madera necesaria para construir **la cimbra y los pilotes de hinca** se obtenía a veces en bosques próximos (cuando lo permitían las capitulaciones establecidas) pero era también frecuente si el río tenía un caudal de agua suficiente, que llegase desde lugares alejados hasta su destino, utilizando como vía de transporte el propio río.

En este caso, la madera que llegaba inservible se empleaba, una vez seca, como leña en los hornos de cal. Asimismo, se realizaba el **replanteo de las obras** con ayuda de los planos del proyecto, echando cordeles y estacas con el fin de situar en su emplazamiento definitivo la cimentación de los pilares del puente. Se procedía entonces a reconocer los lugares donde se iban a asentar las pilas, averiguando la naturaleza del fondo del río con ayuda de una barca de hierro de gran longitud. Si este reconocimiento daba por resultado un terreno extremadamente inconsistente, generalmente se podía alterar la luz del arco principal, situado en el centro del cauce, con el fin de asegurarse un terreno de cimentación más adecuado.

- **Preparación de una ataguía para cimentar las pilas.** Una ataguía –llamada también catarata o bastardel- es un recinto cerrado de estacas o pilotes que se realiza para aislar un espacio de terreno en el que se quiere cimentar con comodidad un pilar del puente, incluyendo sus tajamares y espolones.



## EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN PUENTE DE CANTERÍA

Su construcción era costosa y requería gran habilidad técnica y, por ello, solo se empleaba en aquellos casos en que no era posible realizar una cimentación directa desviando el cauce del río mediante un simple **azud de tierras** que dejara temporalmente seco el lugar de cimentación.

Estas ataguías tenían generalmente una planta rectangular para ajustarse lo más posible al contorno de la pila que se quería cimentar. Estos recintos estacados unas veces se realizaban simples, lo que obligaba a labrar las estacas de madera con gran precisión para que pudieran engargolarse o enhebrarse con la finalidad de asegurar la impermeabilidad del conjunto de la ataguía o del recinto destacado. Es el procedimiento que dibuja Leonardo Da Vinci.

Otras veces, estas **ataguías** estaban formadas por un doble recinto de pilotes o estacas, rellenándose el espacio comprendido entre ambos con tierra arcillosa –vertida directamente o en grandes cestos- que se compactaba con ayuda de un pisón para, de este modo, garantizar una impermeabilidad suficiente y evitar las filtraciones interiores.

Este procedimiento de doble recinto conlleva un mayor gasto de madera, pero tiene la ventaja de no requerir la cuidadosa **labra de las estacas** que exige para garantizar la estanqueidad del simple recinto de tablestacas.

Para clavar los pilotes o estacas que conforman la ataguía se utilizaban martinets de hinca, una máquina que constaba de una torre de madera provista de guías para asegurar el golpe certero de la **maza de madera** sobre la cabeza del pilote que se hinca. Para elevar la maza hasta la altura adecuada, se precisaba el esfuerzo coordinado de un numeroso grupo de hombres, cada uno de los cuales tiraba de una soga de esparto o de cáñamo para izar la maza hasta la altura requerida.

El aparejo de estas máquinas puede verse en diversos tratados españoles, como los manuscritos anónimos “**Los Veintiún Libros de Ingenios y Máquinas**” o en el “Sumario de la Milicia Antigua y Moderna”, del Ingeniero Cristóbal de Rojas.

Estas **máquinas de hinca** podían instalarse sobre barcazas de fondo plano, lo que proporcionaba una gran ventaja al hacer la ataguía, pues la propia barcaza podía al mismo tiempo llevar los pilotes hasta el lugar donde se hincan.



## EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN PUENTE DE CANTERÍA

- **Vaciado de la ataguía y preparación de la cimentación.** Una vez terminada la ataguía, era necesario proceder al vaciado del agua interior empleando diversas máquinas de achique. Unas veces, se utilizaban grandes ruedas de pisar, Ingenieros que tenían una larga tradición en España, pues hay se habían utilizado en las minas romanas para el mismo fin.

De tradición también romana es el tímpano, utilizado en el achique de ataguías. Era una caja cilíndrica compartimentada, que elevaba una mayor cantidad de agua, aunque a una menor altura. En algunas ocasiones, cuando la ataguía no era muy profunda, se utilizaban también cócleas o **tornillos de Arquímedes**. Estos Ingenios tenían el inconveniente de que, por su naturaleza, subían el agua con gran dificultad cuando la inclinación del eje superaba los 30 grados, aunque funcionaban bien con aguas fangosas, teniendo hoy un gran uso en la Ingeniería de depuración de aguas.

Una vez sacada el agua de la ataguía, era necesario limpiar los fangos y reconocer el fondo de la cimentación para ver si era suficientemente consistente.

- **Construcción de las pilas.** Una vez que se había alcanzado un terreno de consistencia adecuada, se inicia la construcción de la capa superficial sobre la que se asentará el pilar del puente con su tajamar y espolón. Esta capa estaba formada, generalmente, por un emparrillado de maderos longitudinales, llamados carreras y otros transversales, denominados riostras, relleno del conjunto con un hormigón de cal y de piedra gruesa. Sobre este zócalo enrasado se levantaban las pilas de sillería –y también las medias pilas o estribos- junto con los tajamares y espolones.

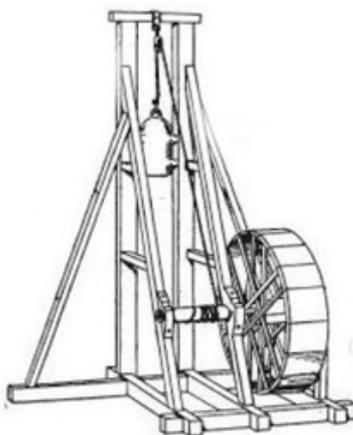


Imagen. Martinete de hinca con rueda de andar.  
JLuisGSA Blog

Cuando la pila alcanza la altura a la que van a arrancar los arcos, es preciso dejar algunos dispositivos que faciliten la colocación de la cimbra. Generalmente, se dejaban unas piedras en ménsula, llamadas canes- porque, al parecer, los romanos labraban estas piedras en forma de cabezas de perros- sobre las que se apoyaban los maderos que sustentarán la cimbra que ha de soportar las dovelas hasta el **cierre del arco**. Pero también hay ocasiones en que se prefiere dejar unos huecos –llamados mechinales- en los que se encajan los maderos de la cimbra.



## EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN PUENTE DE CANTERÍA

- **Construcción de la cimbra.** La construcción de las bóvedas se realizaba en el siglo XVI a la romana, es decir, de una en una, utilizando, si el puente tenía varios arcos iguales, la misma cimbra. En los puentes en los que dominaba un gran arco central, se construían, en primer lugar, los arcos laterales, ya que ayudan a resistir los empujes que el gran arco central transmitirá a las pilas en las que se apoya.

Los **carpinteros** montaban las cimbras, que les facilitaban los maestros del oficio, apoyándose en los canes o mechinales dejados para este fin en las pilas a la altura del arranque de los arcos. Esta cimbra no se hacía tan ancha como la bóveda del puente, sino que se realizaba en varias fases, avanzando desde los extremos laterales hacia el centro, siempre guardando una simetría.

El mayor peligro en esta fase lo constituía el viento lateral, que podría destruir la cimbra. Para evitarlo, se arriostraban las **estrechas cimbras** mediante gruesas maromas de cáñamo –llamadas guindaletas- utilizando tornos. Una vez terminada la cimbra, era preciso hacer uniforme la superficie de la misma sobre la que se iban a colocar las dovelas, ya que la superficie de contacto estaba formada por medios troncos –llamados azares- con la superficie curva del lado de las dovelas. Para ello, se vertía sobre esta superficie una capa de yeso, que facilitaba el asiento de las dovelas sobre la cimbra.

- **Tallado y colocación de las dovelas.** Las dovelas que constituyen el arco habían sido talladas cuidadosamente por los canteros, utilizando alguno de los dos procedimientos: por robos o mediante baivel, que describe el Arquitecto Andrés de Vandelvira. Cuando la dovela se talla por robos, se parte de un bloque de piedra prismático, que tenga la altura o el espesor de la dovela. Sobre la superficie superior, se dibuja la cara de la dovela que formará parte de la superficie del arco una vez colocada, tallándose la dovela en vertical, sin más ayuda que la plomada y la saltarregla.

Una vez en la obra, una grúa las levantaba e izaba para colocarlas sobre la superficie de la cimbra. La **disposición de estas grúas en obra** requería gran pericia, ya que si estaban situados los sillares y las dovelas, podrían colocarse tomándolos la grúa directamente sobre los carros. Las grúas que se utilizaban en la construcción de puentes no eran muy diferentes de las utilizadas en otros campos de la construcción, algunas de las cuales fueron proyectadas por importantes artífices.



## EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN PUENTE DE CANTERÍA

Entre todas ellas, destacan por su buena factura y su gran movilidad las que proyectó Juan de Herrera para acelerar las obras del Monasterio de El Escorial, tras la muerte del Arquitecto **Juan Bautista de Toledo**. Al poco tiempo de hacerse cargo de las obras, Juan de Herrera implantó una nueva organización más eficaz y moderna, consistente en tallar o labrar en la propia cantera los sillares que se necesitaban, de manera que llegaban al lugar donde iban a colocarse labrados y dispuestos para ser emplazados.

Estas grúas que elevaban **los sillares y dovelas** iban montadas sobre un eje vertical alrededor del cual podían girar y, por tanto, orientarse en la dirección más conveniente. Empleaban, por tanto, la misma disposición que los molinos de viento de poste o de trípode, frecuentes desde la Edad Media en buena parte de Europa. Para aumentar su radio de acción, las grúas de construcción tenían una larga pluma de madera y eran accionadas por uno o por varios hombres que se movían en el interior de ruedas de gran diámetro, provistas interiormente de travesaños, de manera que se multiplicaba el esfuerzo, permitiendo levantar grandes pesos.

En general, estas grúas y también las **portuarias**, que son muy parecidas, aunque más pesadas, ya que no tienen que cambiar de emplazamiento, tienen dos ruedas, lo que posibilitaba aumentar la seguridad, al permitir la sustitución de uno de los gruistas sin perder el control de la máquina, cosa que sí ocurriría si había tan solo una rueda y un único operario.

Cuando se querían elevar otros materiales –cal, ladrillos, etc.- se sustituían las tenazas por un simple garfio, que se enganchaba en una argolla de la que colgaba la plataforma que portaba los instrumentos o los **materiales de construcción**.

Una vez que se habían cerrado los **arcos colocando la dovela de clave**, era necesario proceder al descimbrado, operación delicada, ya que al retirar la cimbra todo el empuje se transfiere a los pilares o estribos sobre los que se apoya el arco. Una vez retiradas las cimbras, queda tan solo levantar los muros de los paramentos laterales o tímpanos y llevar a cabo el relleno interior con piedra y con mortero hasta alcanzar la configuración proyectada de la calzada horizontal, con pendiente, etc.

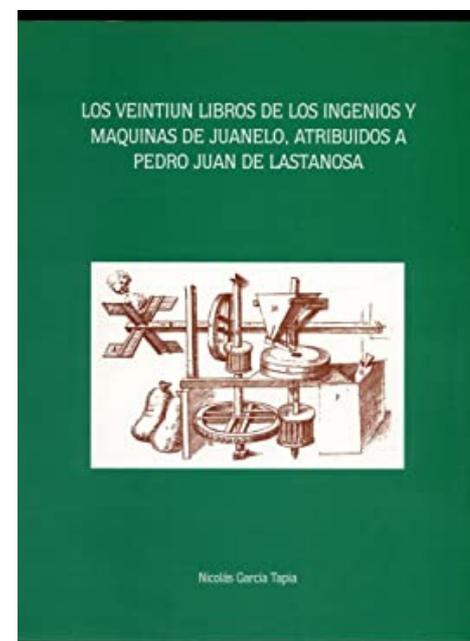


## EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN PUENTE DE CANTERÍA

Entonces, se podían colocar los **antepechos de piedra**, generalmente monolíticos, que sirven de protección a los viajeros, dejando, si la rasante es horizontal, unos caños laterales para facilitar el desagüe del agua de lluvia.

Se procedía a continuación a empedrar o a enlosar la calzada del puente, para evitar que el agua de lluvia y los orines de las bestias penetraran en el interior del puente, causándole graves deterioros. Quedaba tan solo colocar los **escudos de piedra** que pregonasen la grandeza de quienes financiaron la obra (el escudo imperial en el puente de Almaraz o la parrilla de San Lorenzo en el puente camino al Escorial, constituyen sendas muestras) y la fecha de su terminación.

Imagen. Los Veintiun Libros de los Ingenios y Máquinas.  
García Tapia



Colegio de Ingenieros Técnicos  
de Obras Públicas



INGENIEROS-  
CIVILES.ES

## LA CONSTRUCCIÓN DE GRANDES PRESAS DE CANTERÍA

Durante la **segunda mitad del siglo XVI**, se construyeron en España una gran variedad de presas con la finalidad de acumular el agua caída en los meses lluviosos para regar durante el estío. En su emplazamiento, continuaban la técnica hispano-romana de ubicar este tipo de presas en cauces de ríos o de arroyos muy modestos, que solo aportaban importantes caudales de agua –y con frecuencia, de lodo- en época de grandes avenidas.

Eran, por tanto, conscientes de las limitaciones de sus desagües de fondo y aliviaderos frente a los irregulares y violentísimos ríos peninsulares. Estas **grandes presas** eran de gravedad, aunque con mucha frecuencia tenían planta curva en forma de arco, lo que nos lleva a considerarlas precursoras de las primeras presas de bóveda del mundo. De entre todas ellas, las dos más significativas se encuentran en las resecas tierras de Alicante y de Albacete: son las presas de Tibi y Almansa.

Tres lustros fueron necesarios para construir, sin aportación económica de la Corona, el hito más monumental de la Ingeniería española renacentista: la **presa de Tibi (1580-1594)**. Su altura –que supera los 40 metros- la convierte en la más importante del mundo, no siendo superada hasta la construcción de las grandes presas del período ilustrado.

La gran mole pétreo de Tibi, levantada para regar la sedienta huerta de Alicante, constituye hoy uno de los más impresionantes paisajes conformados por el tesón y por el buen oficio de los **Ingenieros renacentistas**.

Con su construcción, se pudieron, finalmente, **represar y aprovechar las aguas erráticas** del río Montnegre, incrementando los cultivos de la vid. La cebada y el trigo se destinaban al consumo propio y su incremento, gracias a los nuevos regadíos, permitió disminuir las importancias, hasta entonces frecuentes, de cereales que llegaban en gran medida por mar, procedentes de Sicilia.

También les proporcionó Felipe II ayuda de técnicos competentes que estaban a su servicio, sobre todo sus excelentes Ingenieros militares, expertos en fortificaciones –Jorge Fratin, **Juan Bautista Antonelli** y su sobrino, Cristóbal Antonelli-. Se pidió opinión, además, a otros personajes especialistas en hidráulica y a notables canteros, como el Maestro de Tortosa, Joan Inglés.



## LA CONSTRUCCIÓN DE GRANDES PRESAS DE CANTERÍA



Imagen. Presa de Tibi. Wikipedia

En 1580, se visitó en Toledo a **Juanelo Turriano** –que ya era un venerable anciano–, el gran Ingeniero cremonés que había servido al César y cuyo Ingenio o máquina para subir la aguas del río Tajo hasta la ciudad de Toledo supuso un gran avance en la Ingeniería de la época.

Con el mismo fin de recabar el parecer de una persona experta, se llevaron los modelos que se habían realizado de la presa al convento de Denia, donde vivía el célebre fraile **Mariano Azaro**, que gozaba de amplios conocimientos como versado en los negocios del agua.



Colegio de Ingenieros Técnicos  
de Obras Públicas



AGENDA  
2030

INGENIEROS-  
CIVILES.  
ES

## LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS

Fue un recurso común, no solo en viviendas particulares, sino también en monasterios y palacios a lo largo del siglo XVI. Aunque la mayoría de las **ciudades** no se abastecían mediante un único procedimiento, hubo algunas poblaciones que utilizaban casi exclusivamente el agua de los pozos.

Entre las ciudades importantes que solo contaron con pozos dentro de las murallas de la ciudad, se cuenta la emergencia **ciudad portuaria** de Coruña. Solo extramuros, saliendo hacia Pescadería, se encontraba una fuente con su pilón de la que bebía toda la ciudad.

## CISTERNAS Y ALJIBES

Cuando no era posible contar con pozos o bien éstos quedaban secos o contaminados, lo que ocurría con frecuencia al crecer las ciudades, una alternativa a la que se recurría con frecuencia, era construir **cisternas o aljibes**, procedimiento tradicional muy utilizado en España, ya que permitía recoger las aguas de lluvia y almacenarlas en un depósito cubierto durante largo tiempo.

Aljibes monumentales se construyeron en los siglos XV y XVI, sobre todo en fortalezas y en baluarte, entre los que destaca la **Plaza de los Aljibes en Granada**, cuya construcción ordenó el Conde de Tendilla en 1494, en el barranco que separaba la Alcazaba de los Palacios Nazaríes. Estaban formados por dos naves cubiertas con bóvedas de cañón que tenían una longitud de 34 metros.

## INGENIOS PARA ELEVAR EL AGUA: EL ABASTECIMIENTO DE AGUAS A TOLEDO

En este abastecimiento, se planteaba un problema muy grave, consecuencia del arriesgado emplazamiento de la ciudad. A lo largo del siglo XVI y una vez que se hubo descartado la posibilidad de reconstruir el acueducto romano y la gran rueda o rueda de agua construida en época islámica, todos los esfuerzos para dotar de agua a la Ciudad Imperial se centraron en diseñar máquinas o ingenios capaces de elevar las aguas del **río Tajo** hasta la ciudad.

Mientras tanto, los toledanos hubieron de recurrir a recoger el agua de lluvia en los aljibes de las casas o a comprarla a los **aguadores** que la recogían en el río, subiéndola a lomos de asno por las pronunciadas cuestas para vendérselas al vecindario.



## INGENIOS PARA ELEVAR EL AGUA: EL ABASTECIMIENTO DE AGUAS A TOLEDO

La mayor dificultad que había que afrontar y que provocó los primeros fracasos se derivaba del fuerte desnivel –unos noventa metros- existente entre el río Tajo y la plaza situada al pie de la torre **Noroeste del Palacio Real o Alcázar**, lugar elegido para situar los depósitos de acumulación y distribución de la ciudad.

La situación se agravaba a medida que Toledo creía hasta convertirse en la ciudad más poblada de Castilla, llegando a alcanzar los 60.000 habitantes. Era, además, una ciudad monumental que, a pesar de haber dejado de ser Corte –en beneficio de Madrid, capital a partir de 1561- mantuvo una gran importancia durante todo el **reinado de Felipe II**.

Fue entonces cuando irrumpió un nuevo personaje, llamado **Gionvanni Torrani** (1500-1585) que, aunque nacido en Cremona (Lombardía), vino a España al servicio del Emperador, incorporándose tras su muerte al servicio de su hijo, Felipe II.

Juanelo Turriano, que es como se le conoció en España a este científico, era un extraordinario relojero y fabricante de mecanismos que acompañó a **Carlos V** en su retiro de Yuste y, tras su muerte, pasó al servicio del nuevo rey, quien depositó en el cremonés la misma confianza que había disfrutado con su padre.

Su prestigio hizo que fuera propuesto por el papa **Gregorio XIII** para plantear soluciones para la reforma del Calendario. Su fama legendaria como Ingeniero e inventor ha hecho que durante mucho tiempo se le atribuyeran obras que nunca realizó o libros como “Los Veintiún Libros de los Ingenios y las Máquinas” que nunca escribió. Pero lo que sí hizo y de un modo extraordinariamente novedoso fue subir hasta el Alcázar de la ciudad las aguas del río Tajo.

En 1565 y por recomendación de Felipe II, la ciudad de Toledo le encargó la construcción de una máquina capaz de subir el agua del río Tajo hasta el pie del Alcázar, donde se situaron los depósitos desde los que **se distribuía el agua a la ciudad**. Juanelo, consciente de que tratar de subir el agua en tuberías a presión era muy arriesgado, propuso un ingenio mecánico constituido por torres de cucharones, de manera que el agua subiese a la presión atmosférica. Construyó, además, un modelo a escala para comprobar su funcionamiento.



## INGENIOS PARA ELEVAR EL AGUA: EL ABASTECIMIENTO DE AGUAS A TOLEDO

Pero, a pesar de ello, la ciudad, escéptica por los anteriores fracasos, se negó a adelantar dinero alguno, comprometiéndose, sin embargo, a hacerlo una vez que el ingenio estuviese construido y funcionando de manera satisfactoria. Solo entonces se pagaría a Turriano las cantidades gastadas por el propio Ingeniero.

En abril de 1565, se firmó el acuerdo por el cual Turriano se comprometía a realizar la maquinaria a su costa, el rey a financiar las obras de fábrica y la ciudad a pagarle el artificio cuando éste fuera capaz de subir **400 cargas de agua en 24 horas**, es decir, unos 12.400 litros diarios. Solo entonces, cuando el agua llegara a plena satisfacción al pie del Alcázar, cobraría la cantidad estipulada de 8.000 ducados por las obras realizadas, además de una renta anual de 1.900 ducados para el mantenimiento y para la reparación del delicado ingenio.

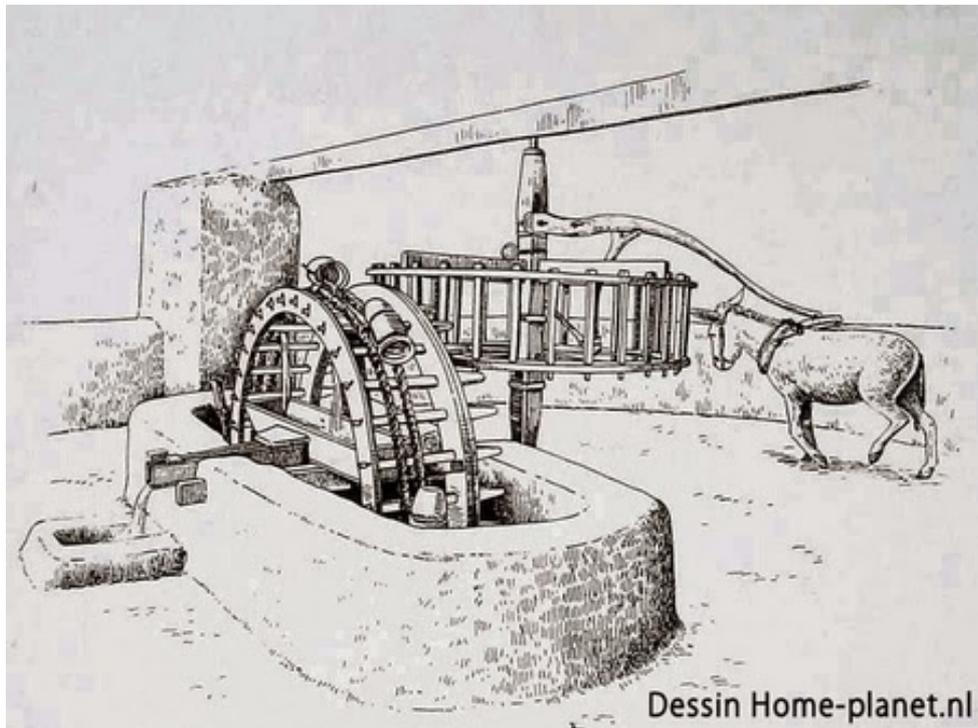


Imagen. Noria de sangre. Tres Culturas



## OBRAS DE SANEAMIENTO

Eliminar **aguas estancadas e insalubres** fue en la antigüedad un motivo de orgullo entre demiurgos y artífices. Ya en la Magna Grecia, uno de los mayores timbres de gloria de Empédocles de Agrigento (hacia 490-430 a.d.C.) fue llevar a cabo una obra hidráulica. Su fama en campos tan diversos como la filosofía, la retórica, la medicina o la poesía ha oscurecido hoy en buena medida su obra como Ingeniero en el saneamiento de los alrededores de la ciudad de Selinunte, cercana a Agrigento.

Entre las mejoras que se llevaron a cabo durante el reinado de Felipe II, el **empedrado de calles y de plazas** tuvo un papel relevante. Estos empedrados tenían como finalidad eliminar el polvo y el barro de los lugares públicos y su realización se abordaba empleando técnicas tradicionales y los materiales de construcción disponibles en cada villa o ciudad. Todavía hoy se conservan muchos empedrados renacentistas que testimonian la riqueza pétreo de las ciudades.

Así, los rotundos enlosados de granito de Santiago, prueba inequívoca, tanto de la abundancia de esta roca como de la habilidad de sus maestros canteros. O los pavimentos enladrillados de Sevilla y muchas poblaciones de Aragón, testimonio inequívoco de la abundancia de barros capaces de transformarse en rejolas y de la escasez de buena **pedra de construcción**.

Estas obras, de importancia básica para evitar el polvo que se levantaba en el verano y, sobre todo, para eliminar las aguas estancadas, que no solo podían causar hediondez y malos olores, sino también provocar graves enfermedades.

Estos empedrados había que construirlos estudiando las pendientes adecuadas para dar salida a las aguas de lluvia, encargadas con frecuencia de arrastrar las inmundicias que se acumulaban en la calle y que muchas veces nadie tenía el encargo de retirar. Esto tenía una importancia mayor, ya que, en general, las ciudades carecían de una **red de cloacas**, utilizando cuando era posible un río o un arroyo que atravesara la ciudad.

Así ocurrió en Granada, donde durante el siglo XVI se comenzó a **embovedar el río Darro**, que pronto se convirtió en el colector de aguas sucias de la ciudad, hasta el punto de que todavía hoy la palabra “darro” es utilizada como equivalente a cloaca.

Estas calles empedradas tenían, generalmente, una fuerte pendiente longitudinal y una transversal hacia el centro de la calle, que se convertía, cuando llovía, en un **canalillo de evacuación**.

