

## LA CONSTRUCCIÓN DE UN ACUEDUCTO

La construcción de un acueducto de abastecimiento a una ciudad, siempre era una tarea complicada, por la cantidad de personas que intervenían en la misma.

Quizá fuese la obra pública más compleja en su conjunto de las que se realizaban.

En principio hay una serie de intervinientes de carácter político y administrativo:

1. **Duumviri.-** En un principio, la decisión de construir un acueducto, en una ciudad de provincias, la toman estos magistrados locales, que la adjudican a los contratistas.
2. **Decuriones.-** Son los dirigentes locales que autorizan la decisión de los *Duumviri* y aprueban la *munitio*, o prestación de servicios gratuitos con el fin de abaratar los costes de la obra. Asimismo, son los que aprueban la partida de gastos.
3. **Censores.-** Magistrados públicos que fijan las condiciones de los contratos públicos.
4. **Curator Operis.-** Administrador público que supervisa la obra y verifica el cumplimiento de las cláusulas o condiciones del contrato.
5. **Questores.-** Magistrados encargados del erario publico que habilitan el dinero con que se paga a los contratistas.
6. **Apparitores.-** Personal subalterno de los magistrados, entre ellos los escribientes, con diversas funciones administrativas y de secretaría.

Una vez tomada la decisión se encarga el acueducto al personal especializado que lo llevará a cabo.

7. **Aquilegus.-** Experto en localizar y descubrir manantiales y fuentes de agua. Zahorí. Una vez localizadas estas, interviene el *librator*.
8. **Librator.-** Topógrafo. Persona que lleva a cabo las mediciones de agrimensura. Está a las órdenes directas y en estrecha colaboración con el *architectus*.
9. **Architectus.-** Ingeniero que diseña el acueducto, realiza los cálculos y la estimación presupuestaria. Es la máxima autoridad técnica de la obra, y en ocasiones es el jefe directo dela obra.
10. **Machinadores.-** Personal experto en el diseño y fabricación de máquinas de todo tipo, tanto de grúas como otros ingenios. Sus proyectos los realizan carpinteros y herreros.
11. **Praedes.-** Fiadores o garantes que avalan a los contratistas privados.

12. **Conductor Operis.-** Contratista privado al que se le adjudica una obra o parte de ella. Paga a los operarios a sus órdenes y ha de tener fiadores que respondan con su patrimonio. En ocasiones, es el arquitecto el *Conductor Operis*.
13. **Institores.-** Agentes encargados del abastecimiento de los materiales de construcción y las diversas herramientas. Está en contacto directo con los transportistas.
14. **Vectularii.-** Transportista terrestre.
15. **Navicularii.-** Transportista fluvial o marítimo.
16. **Praepositi.-** Capataces de obra.

En el siguiente escalón se encuentran los obreros especializados, que son múltiples, habida cuenta de la cantidad de aspectos que toma la construcción del acueducto.

17. **Artífices.-** Trabajadores especializados en algún oficio. Se dividían en:
18. **Structores.-** Albañiles especializados en mampostería y fábrica de ladrillo
19. **Calciscoctores.-** Trabajadores especializados en la fabricación de mortero de cal y hormigón.
20. **Tectores.-** Especialistas en impermeabilizar depósitos y canales con *opus signinum*.
21. **Plumbarii.-** Especialistas en las conducciones de plomo, tanto en la traída de agua como en la ulterior distribución por el interior de la ciudad.
22. **Serrarii.-** Obreros especialistas en cortar piedras blandas como el *lapis speculari*.
23. **Metallarii.-** Especialistas en arrancar piedras de las canteras.
24. **Lapidarii.-** Canteros, que tallan las dovelas de los arcos que necesitan las obras.
25. **Marmolarii.-** Canteros que tratan las piedras especiales y ornamentales, haciendo molduras complicadas.
26. **Silicarii.-** Empedradores. Encargados de llevar a cabo los solados de la obra si fueran necesarios.
27. **Teselarii.-** Especialistas en tallar teselas de mosaicos. Si los hubiere.
28. **Tignarii.-** Carpinteros encargados de los encofrados, así como de andamios y cimbras de arcos.
29. **Lignarii.-** Leñador, encargado de cortar la madera.
30. **Fossarii.-** Especialistas en la excavación y entibado de túneles.
31. **Ferrarii.-** Herreros que además de fabricar las herramientas metálicas, se encargan de la reparación de las mismas.
32. **Figulusii.-** Alfareros encargados de la confección de los tubos cerámicos, cuando estos eran necesarios en los sifones.

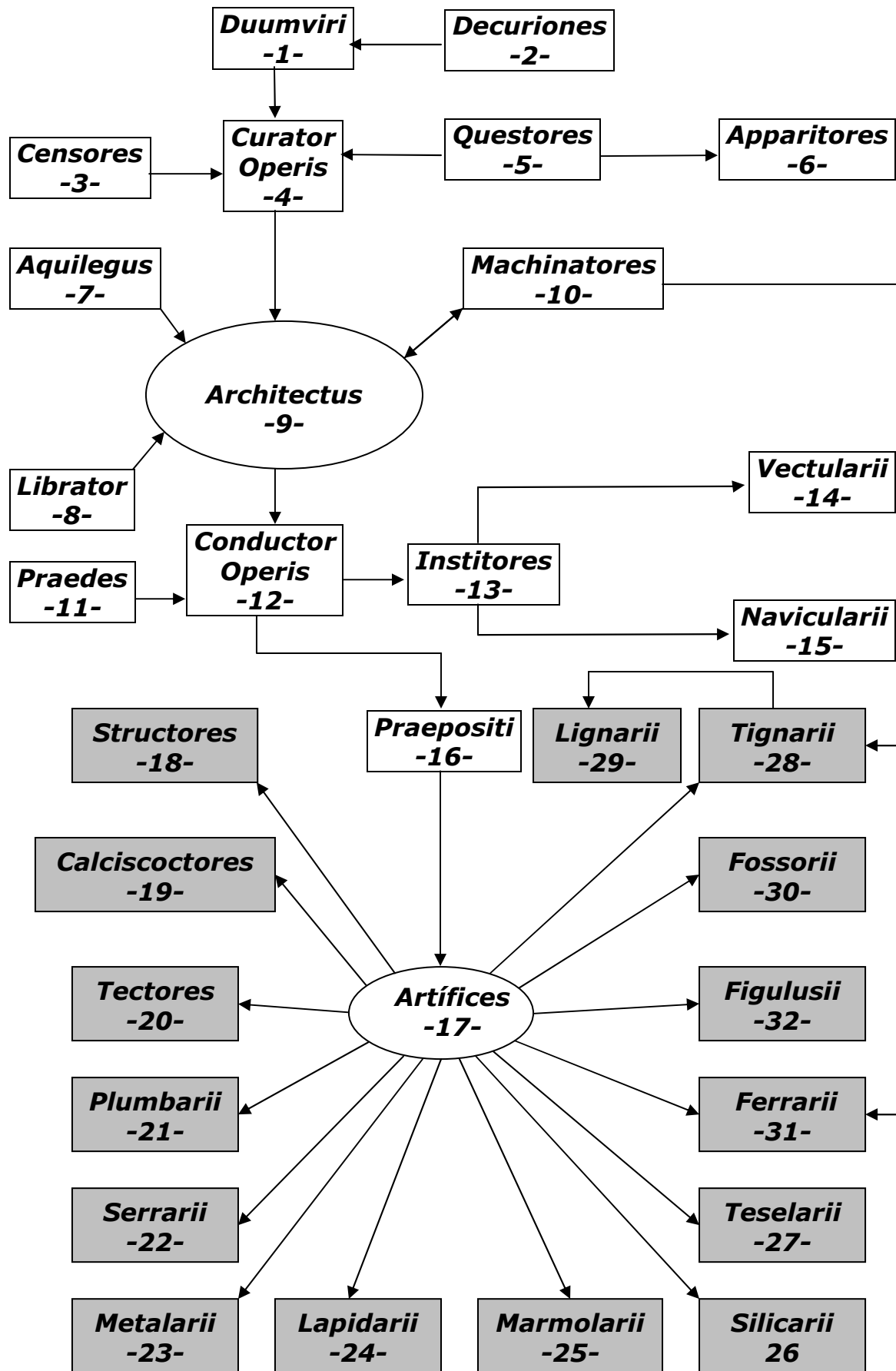
## Acueductos romanos de Hispania

Evidentemente, a toda esta gran cantidad de trabajadores, habría que añadir una masa enorme de mano de obra no especializada, encargada del acarreo, suministros, y en general, del trabajo más duro.

Lógicamente, el trabajo resultante era terriblemente oneroso, pues la intervención de gran cantidad de mano de obra especializada, en muchos casos importada, hace que los costes se disparen. Aparte de ello, los materiales, aunque generalmente trataban de aprovechar los del lugar, en ocasiones, debían traerlos de lejos, como es el caso del plomo.

En general, la organización de un acueducto se podría estructurar de la siguiente manera:

# Acueductos romanos de Hispania



Evidentemente, las obras se encarecían y complicaban si había que construir en la toma de agua una presa para retener el agua de cara a los meses de estiaje.

Esta solución, generalmente era necesaria en lugares con fuerte diferencia hídrica entre las diferentes partes del año, como ocurre con Mérida. En otros lugares, bastaba con el desvío parcial de una corriente lo suficientemente caudalosa, como ocurre en Segovia.

- **LA CAPTACIÓN**

Era la primera dificultad a que se debían enfrentar los ingenieros encargados de la construcción del acueducto. No siempre resultaba fácil encontrar unas fuentes de agua lo suficientemente próximas y abundantes como sería lo deseable.

En el capítulo I de su libro VIII, Vitruvio propone un procedimiento curioso, que consiste en tumbarse con el mentón apoyado en el suelo, y antes de la salida del sol, buscar en algún lugar vapores ondulantes.

Evidentemente, este procedimiento sólo es válido en algunas condiciones y en algunas épocas concretas del año, sin embargo, da fe de la preocupación romana de encontrar agua en cualquier lugar, y no sólo donde la vegetación o el terreno húmedo indican la presencia de agua.

En general, tenían tres maneras de conseguir el agua para los acueductos: Por derivación de una caudal, por almacenamiento en una presa, y por captación subterránea de venas de agua.

- **La captación por derivación.**

Este era el caso preferido y el más sencillo. Consistía en levantar una pequeña presa en una corriente de agua lo suficientemente homogénea a todo lo largo del año.

Esta presa se levantaba oblicuamente a la corriente, de manera que desviase el caudal necesario para el acueducto. El resto del agua de la corriente, caía por encima de la presa, de manera que no se embalsaba.

Este procedimiento, que fue muy usado por los árabes en la península, tanto que le acabaron dando nombre (Azud), es el que se empleó para desviar la corriente que alimentaba, entre otros, a los acueductos de Segovia y Tarragona.

- **La captación por embalse.**

Principalmente empleado en aquellos lugares en los que las corrientes de agua tenían un fuerte estiaje.

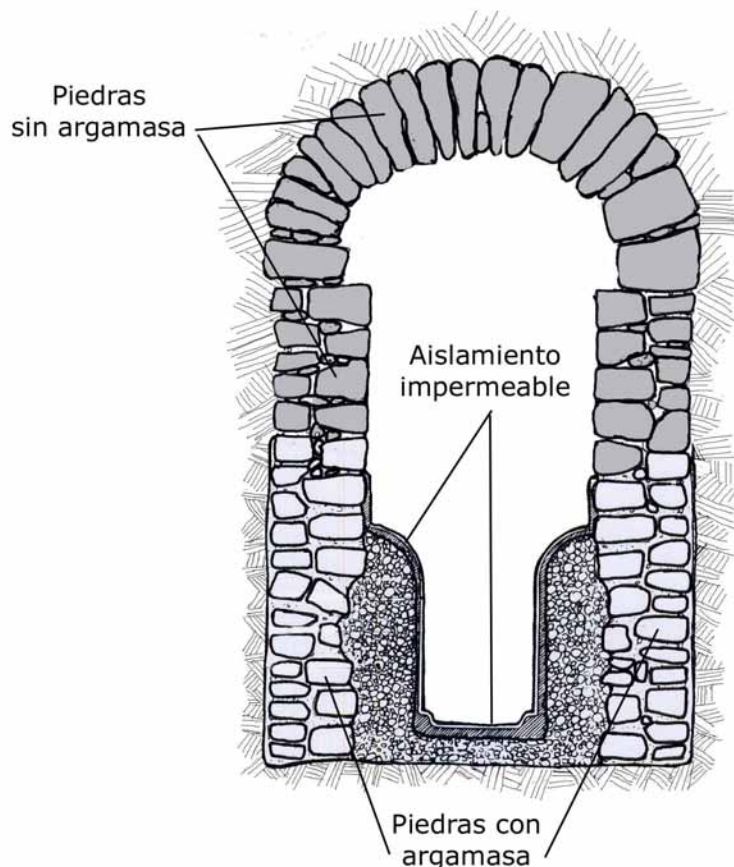
Su diseño y construcción es un asunto tan complejo, que está tratado en un capítulo aparte.

- **La captación subterránea.**

En aquellos lugares donde el agua estaba próxima a la superficie, pero no llegaba a brotar de manera natural, se realizaban captaciones por el procedimiento de excavación de galerías.

Estas galerías no diferían apenas de las que conducían el agua normalmente, salvo en un detalle: La bóveda estaba construida con piedras unidas "a hueso", es decir, sin argamasa ni ningún tipo de mortero, de manera que el agua pudiera filtrarse a su través hasta el fondo. Este fondo, que se construía con la pendiente requerida, iba impermeabilizado como el resto del *specus*, de manera que el agua se canalizaba normalmente.

Cuando la situación lo requería, se excavaban varias galerías convergentes en otra principal, de manera que esta evacuase el caudal filtrado. Este es el caso del acueducto de Rabo de Buey en Mérida, y el de Almuñécar.



### • Los canales

El canal que trazaban, en la medida de lo posible, trataban de hacerlo excavando sobre el terreno, por facilidad y economía, siempre que las pendientes lo permitieran.

En general, los acueductos no tienen la misma pendiente en todo su recorrido, teniendo diversos tramos independientes. Aunque en la inmensa mayoría se aprecia un invariante: La zona (o una de las zonas) de menos pendiente, corresponde a la primera parte del trazado. Esto puede ser debido principalmente a un hecho: Al tener menos pendiente, el nivel de agua es máximo. De esta manera se limitaba el caudal máximo que llevaba el acueducto. No hay que olvidar que los acueductos están diseñados para llevar una cantidad "necesaria y suficiente" en toda época del año.

No obstante, tampoco hay que descartar la pericia de los ingenieros, unos, mejor que otros, que finalmente se alejarían más o menos de los planteamientos teóricos.

Los acueductos se modificaban, una vez contruidos, cuando se consideraba oportuno. No eran pues una obra "para siempre". Frontino, en su capítulo XVIII dice que en el *Aqua Marcia* se ha abandonado un túnel para acortar el recorrido, y ahora se cruzan los valles sobre muros de contención y arcos.

No obstante, siempre que era posible, la parte enterrada era muy superior a la visible. Según Frontino, de un total de 405 Km. de acueductos, sólo hay 52 Km. sobre arcos y muros, el resto, o sea más del 87% enterrado. (**Malisard. Alain.** *Los romanos y el agua*) Y esto que pasaba en Roma, no hay motivos para dudar que no fuese una pauta para el resto del Imperio.

Cuando las pendientes lo requerían, los romanos construían a cielo abierto. Es lo que llamaban *Substructio*. Generalmente un simple muro de *Opus Caementicium*.

Cuando la altura de este muro era demasiado elevada (generalmente por encima de los 3 metros), resultaba el conjunto demasiado caro y pesado, por lo que se construían arcos para soportar el *specus* o canal.

Generalmente, salvo excepciones, el acabado de estos arcos, no se esmeraba demasiado. Así nos encontramos con que en el acueducto de Segovia, no tallaron todas las dovelas de los arcos iguales, ni se molestaron en disimular los agujeros de las garras que emplearon para elevar las piedras, y en el Pont du Gard, no se molestaron en quitar los machones destinados a soportar las cimbras de los arcos. (sin embargo, paradójicamente, el de Tarragona, erigido en medio del campo está construido con un cuidado exquisito).

## Acueductos romanos de Hispania

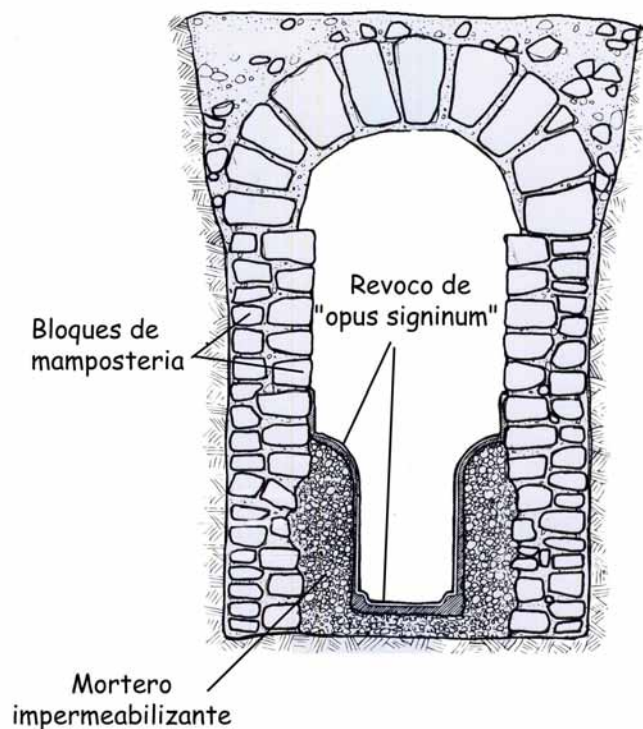
El resto del acueducto se enterraba. En principio una zanja continua revocada de *opus signinum*.

No seguían sin embargo un procedimiento estandarizado, ni tan siquiera en la propia Roma para la construcción de estas zanjás, por lo que puede decirse, que no hay dos iguales.

El ancho de esta zanja es muy variado, estando lógicamente en función del caudal transportado. Así el *specus* del *Aqua Marcia*, sólo tiene 1.46 m. De alto por 61 cm. de ancho, mientras el del Pont du Gard 1.80 por 1.30m. (**Malissard. Alain.** *Op. Cit.*).

La impermeabilización se conseguía con capas sucesivas de *opus signinum*. Siendo el espesor de las mismas variable. En las paredes laterales no solía pasar de 4 cm., pero en la cara del fondo, hay mucha variedad. El acueducto de Trembaly sólo tiene 2cm, el de Cartago 13, y el *Aqua Marcia* 18 (**Malissard. Alain.** *Op.Cit.*). También, para dar mayor estanqueidad se solía encintar las esquinas de unión entre las caras laterales y el fondo, con un cuarto bocel de *Opus signinum*.

La parte superior del *specus* se cubría generalmente con una bóveda de cañón continua. Los materiales de los cuales estaba hecha, generalmente eran los de la zona. Podían ser ladrillos, o simplemente lajas de piedra. El resto, hasta el nivel del terreno se cubría de tierra.



Este *specus* era periódicamente revisado, para lo cual se dejaban cada cierto trecho unos pozos de registro con una doble finalidad. Por una parte servían como acceso al *specus* para el mantenimiento del mismo, y al mismo tiempo servían para airear el agua.



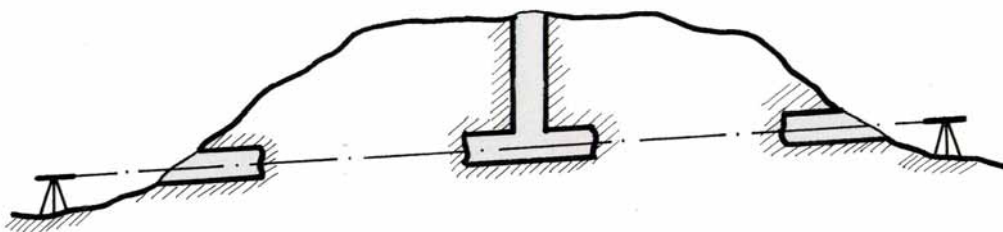
La distancia a la que se intercalaban estos pozos no sigue una regla fija. Vitruvio (VIII,VII) recomienda colocarlos cada 125 pies, pero la realidad es que esta distancia entre pozos no se mantiene casi nunca, ni tan siquiera en la forma de los mismos. Unos tienen forma redonda y otros cuadrada. Incluso en el mismo acueducto. Esto puede ser debido a una relativa "independencia" entre las distintas cuadrillas de obreros que participaban en la construcción del acueducto, o tal vez (y esto es muy difícil de saber) a reparaciones de los pozos hechas con más o menos posterioridad a la construcción del acueducto.

- **Los túneles**

Las elevaciones del terreno, planteaban tantos problemas como las depresiones, sin embargo, jamás los ingenieros romanos dudaron en perforar las montañas cuando era necesario. Es notable en este aspecto la experiencia adquirida en la excavación de túneles mineros. técnica anterior a los acueductos. Es por esto que los túneles abundan más que las grandes *arcuationes* y mucho más que los sifones.

El mismo Vitruvio, recomienda en el capítulo VII de su libro VIII referido al agua, horadar sin más ante la presencia de un obstáculo en el trazado de un acueducto.

Los túneles, generalmente empezaban a excavarse por los dos extremos. Si tenían una longitud considerable, se empezaban también por puntos intermedios, manteniendo siempre la misma pendiente.

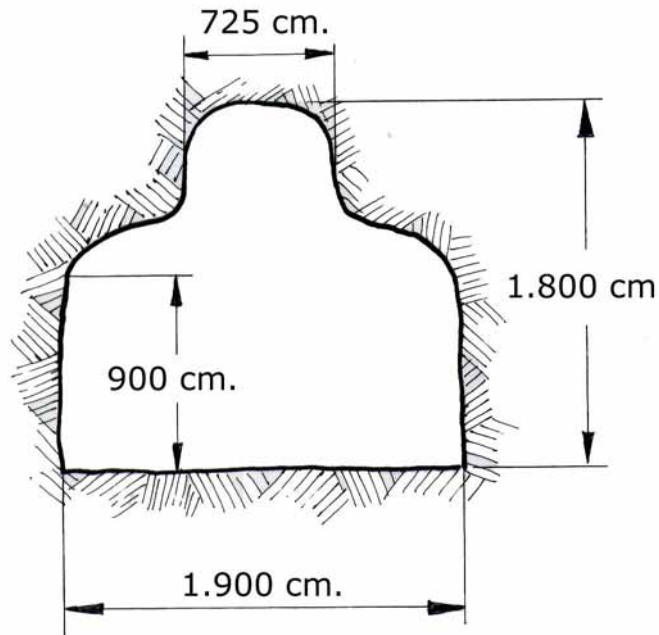


Los pozos intermedios servían al mismo tiempo como respiraderos y como vía de acceso al interior del túnel para el caso de una eventual reparación.

## Acueductos romanos de Hispania

Cuando el terreno era lo suficientemente impermeable, el canal simplemente se tallaba en la roca, lo más pulida posible. Si el terreno era blando, y susceptible de tener filtraciones, se procedía a un revoco de las paredes.

Las dimensiones de estos túneles eran muy variables, pero en general semejantes a las medidas del canal excavado. Constituye una excepción la forma "antropomorfa" que se le dio a la parte de túnel del acueducto de *Uxama*.



En realidad las dimensiones eran las necesarias para que pudiera proceder a la excavación un operario. Esta es la causa de que la excavación de un túnel fuera una labor lenta y ardua, pues sólo podía excavar un trabajador cada vez.

- **Los sifones**

Cuando la depresión a salvar era demasiado profunda (Si tenemos en cuenta que el "record" de altura de unas *arcuationes* está aproximadamente en 50 m. en el Pont du Gard Es de suponer que este era el límite) se procedía a la construcción de un sifón.

La tecnología de los sifones llegó a Roma desde Grecia, y desde luego no llegaron los romanos a dominarla completamente.

Los ingenieros griegos realizaron en Pérgamo un acueducto desde las fuentes de Madra Dagi, a 1.174m. de altitud, hasta dos depósitos de acumulación, sobre la colina de Hagios Georgios, a 3 Km. al Este de la ciudad, sobre una colina, a 375m. de altitud. Desde aquí se conducía el agua por una tubería de plomo a presión, debiendo salvar una elevación intermedia.

Esta conducción se construyó en el año 180 a.C. y en su tiempo, debió ser algo totalmente revolucionario, pues hasta el año 165 a.C. no se le dio una explicación física provisional al fenómeno del sifón (**Fernández Casado C.** *Ingeniería Hidráulica romana*).

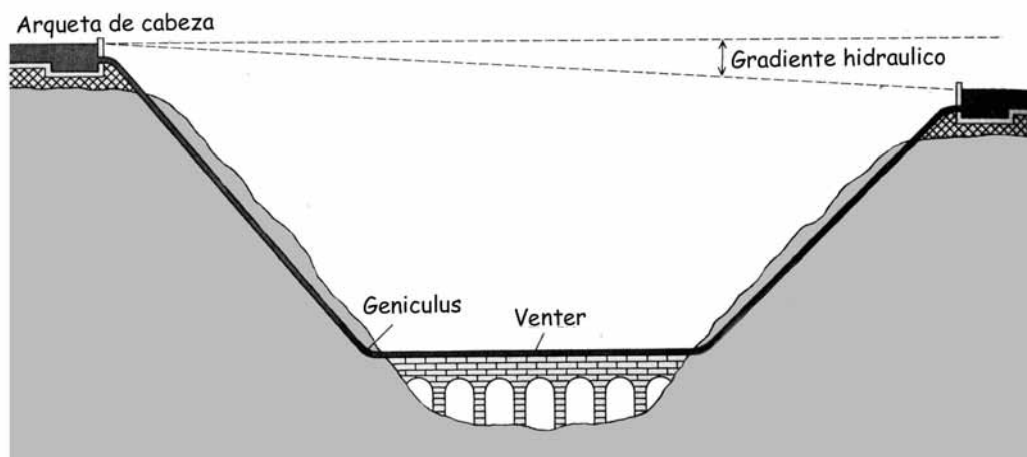
No obstante, la tubería debió presentar muchos problemas de funcionamiento, pues los romanos terminaron abandonándola, construyendo un acueducto alternativo de agua rodada, que daba servicio únicamente a la parte baja de la ciudad.

Estas dificultades se debieron sin duda a la existencia de ese punto elevado intermedio, donde el aire que se introducía en la tubería, se acumulaba, llegando a obstruir el conducto. La tecnología de la época no disponía de los elementos necesarios para permitir la salida del aire introducido y acumulado en la tubería, pero no la del agua, como ocurre en los sifones que se construyen en la actualidad.

Sin duda, los ingenieros romanos tomaron buena cuenta de esta dificultad, pues en los sifones que construyeron tuvieron cuidado de hacerlos en forma de codo, y nunca con un punto elevado intermedio.

En un principio, los sifones eran simples tuberías apoyadas en las laderas de las montañas, con una parte horizontal (*Venter*) en el fondo del valle, para suavizar el cambio de dirección, y un acodamiento más o menos pronunciado en cada extremo de la parte inferior (*Geniculus*).

## Acueductos romanos de Hispania



Posteriormente, las tuberías se enterraban por dos motivos. Uno era protegerlos de la rapiña, y el otro era evitar en la medida de lo posible que los cambios de temperatura afectasen a las dilataciones de las tuberías.

La arqueta o depósito de cabecera, debe hacerse con mucho cuidado, pues el nivel de agua debe ser tal que no exceda un cierto límite a fin de que la presión dentro de la tubería no exceda un cierto nivel y la tubería reviente por exceso de presión. Esto se soluciona, poniendo un rebosadero. Sin embargo, el nivel de agua debe ser tal que en ningún momento entre aire en la tubería, y además la entrada del agua en la misma debe ser lo suficientemente pausada que no se formen remolinos que absorben aire hacia el interior. Este aire, muy difícil de evacuar podía llevar, por un lado a interrumpir el flujo de agua, si se acumulaba excesivamente en un punto, o a reventar la tubería, por la presión que sobre él ejercía el agua al pasar (En los puntos de acumulación de aire, la sección efectiva de la tubería disminuye, por lo que la presión local aumenta).

Otra medida imprescindible en las arquetas de cabecera era un buen sistema de decantación de arenas y limos. Si estos llegaban a introducirse en la tubería, se quedaban irremediablemente depositados en el fondo del sifón. (La introducción de estos limos era aún más preocupante que la de aire, pues si este se introducía en forma de pequeñas burbujas, éstas podían ser arrastradas hasta la salida por el agua en circulación, mientras que los depósitos sólidos no podían remontar la pendiente que daba fin en la arqueta de salida. Evidentemente, la obstrucción de un sifón entrañaba una obra muy costosa, pues al no disponer de un procedimiento para desatascar las tuberías, pues estas no tenían ningún punto de acceso (Por evidentes problemas de estanqueidad), se debía proceder al casi total desmantelamiento del sifón, lo que es de suponer, implicaba un gran coste de material y de tiempo.

Sin duda esta fue una de las causas por las que los romanos en la medida de lo posible, evitaron construir sifones, prefiriendo dar largos rodeos para la conducción del agua, y sólo construyeron los sifones, cuando estos rodeos eran excesivamente largos, (Caso de los sifones de Lyon), con la consiguiente pérdida de cota, o cuando se veían en la necesidad de cruzar un río caudaloso (Caso del Ebro, en Zaragoza)

Los ingenieros romanos, a base de sentido común, llegaron de una forma empírica a solventar la manera de enfrentarse a tres fuerzas que aparecen en los sifones: La resistencia de las paredes, la presión estática, y la pérdida de carga.

La resistencia de las paredes del sifón es debida a que en el mismo, la superficie de contacto entre el agua y la tubería es total, a diferencia de lo que ocurre en los canales, donde la superficie del agua rueda libre. Esto hace que el rozamiento sea comparativamente mayor en los sifones que en los canales abiertos. Por ello, si las arquetas de entrada y de salida del sifón se colocasen a la altura que correspondería a un canal de agua rodada, al agua fluiría tan despacio que acabaría desbordándose en la arqueta de cabecera. El gradiente hidráulico necesario, para un sifón ha de ser por lo tanto mayor. Generalmente decuplica la pendiente normal del acueducto.

La presión estática es la que soporta la tubería debido a la profundidad a la que está respecto la arqueta de cabeza. Esta presión es independiente de si el agua está quieta o en movimiento. Cuando la presión era muy elevada se recurría las tuberías de plomo. Cuando no era demasiado alta, se colocaban tuberías cerámicas.

La tuberías de plomo se fabricaban enrollando sobre un cilindro de madera una plancha de plomo, y posteriormente soldando la junta. Las longitudes de estas tuberías eran de unos tres metros. El ancho de la plancha de plomo, oscilaba entre tres y cinco centímetros. (*Hodge T. Roman acueducts & water supply*)

Las tuberías cerámicas presentaban el inconveniente de la estanqueidad, y de la relativamente escasa resistencia a la tracción que presenta la cerámica.

La resistencia la obviaban empleando estas tuberías en aquellos sifones que no estaban sometidos a una presiones demasiado altas, y la estanqueidad la resolvían empleando una pasta adherente especial (*Malthae*) que menciona Plinio el Viejo.

En otras ocasiones, y sin duda impelidos por la necesidad, se vieron obligados a construir la tuberías de piedra. Es el caso del sifón de Cádiz, formado por el ensamblaje de miles de piedras perforadas y unidas con *Maltae*.

El tercer problema que los ingenieros romanos debieron solventar fue el de la pérdida de carga inercial del agua (debida al movimiento) en los codos de la cañería.

Por una parte habría que anclar fuertemente los codos, pues la pérdida de carga se produce siempre hacia el exterior de la curva. Aparte de esto, debían tener en cuenta el llamado "golpe de ariete" que se produce en una tubería acodada cuando se somete a presión bruscamente. La tubería pues, debe ser rellenada poco a poco para evitar que reviente en el primer codo. Al mismo tiempo, para vaciarla, tampoco debe cortarse el suministro de golpe, pues el efecto de onda de choque que se introduce, hace que esta se dispare en el interior de la tubería.

Por desgracia, los romanos no dejaron apenas escrito nada sobre los sifones. Frontino ni los menciona, lo cual es lógico si tenemos en cuenta que en Roma no había sifones para el suministro de agua. Vitruvio ofrece una descripción, que es la única que ha llegado escrita hasta nuestros días. Reconoce la necesidad de llenar lentamente y vaciarlo también lentamente, indicando que las tuberías debían empotrarse en grandes masas de fábrica, para ser reforzadas, pero andaba errado en los principios básicos, y quizás no llegó a entender del todo el funcionamiento del mismo.

En un lugar introduce un enigma, que a día de hoy aún no se ha resuelto del todo.

Dice en el capítulo VII del libro VIII: "*Etiam in venter collivaria sunt fachenda per quae vis spiritus relaxetur*"

La traducción no ofrece dificultad: "En el fondo del sifón debemos colocar *collivaria* para liberar la presión" Sin embargo la interpretación resulta poco menos que imposible, porque el latín es claro, pero lo que dice, carece de sentido.

Hay dos problemas. El primero es que el término "*Collivaria*" aparece en ningún otro texto latino.

El segundo es que hace referencia a la presión del aire. Las tuberías modernas disponen de válvulas de ventosa que impiden la formación de bolsas de aire, y por eso se ha querido ver en estos artefactos el término *Collivaria*. Sin embargo, esa teoría olvida algunos aspectos: En primer lugar, las bolsas de aire se forman en los puntos altos de las tuberías, y ahí es donde se instalan las válvulas modernas, pero no "en el fondo".

En segundo lugar, el sifón romano no tenía aire. La tubería estaba llena de agua. Además, el aire acumulado sale solo a baja presión, y el sifón romano estaba sometido a alta presión en todo su recorrido.

El aire forma bolsas por expansión cuando está sometido a baja presión y se aloja en los puntos más altos del sifón. Además, en el sifón romano, el aire que entrase, discurriría simplemente hacia abajo, y luego subiría para escapar por el otro extremo.

En tercer lugar, como las bolsas de aire se forman por baja presión, las válvulas cumplen la misión de igualar presiones, admitiendo aire del exterior.

La ausencia de aire en un sifón invertido, del tipo romano, ha llevado incluso a considerar que Vitruvio se estaba refiriendo a una válvula que no liberara aire, sino presión de agua. Pero esta suposición, es todavía peor, pues aunque los romanos (y no hay constancia de ello) hubiesen diseñado una válvula que con resorte o contrapeso se abriese a una presión establecida, no habría habido forma de reducir la presión estática (salvo reduciendo la altura del sifón) por lo que la válvula habría estado permanentemente abierta, funcionando como una cañería.

Por lo tanto, ni había aire en el sifón, ni manera de reducir la presión de agua. Por ello, lo más probable es que dicha *colliviaria* fuese una llave de drenaje para la limpieza de la tubería. (**Hodge T.** *Sifones en los acueductos romanos*)

Se ha especulado mucho con lo que era la referida *colliviaria*. Ignacio González Tascón las describe las *colliviaria*, basándose en el sifón de la ciudad de Aspendos (Hoy Belkis, Turquía) (**González Tascón I.** *Ingeniería romana en España*)

Según lo cual, para evitar presiones laterales excesivas en los cambios de dirección del sifón, se hace una torre que lleve el agua, justo hasta el nivel de la presión hidrostática superior, es decir, hasta la cota piezométrica, estableciéndose en ese punto una pequeña arqueta. Con esa posición favorable se efectuaría el cambio de dirección, para de nuevo bajar y entrar en carga.

Sin embargo, Vitruvio la menciona en el *venter* del sifón, y no en los cambios de dirección.

En cualquier caso, este procedimiento parece diseñado para los sifones "Tipo Pérgamo", es decir, con un punto elevado intermedio, cosa que los romanos trataron siempre de evitar a toda costa.

Pese a todo, en algunas traducciones de la obra de Vitruvio, el término aparece como: "respiradero".

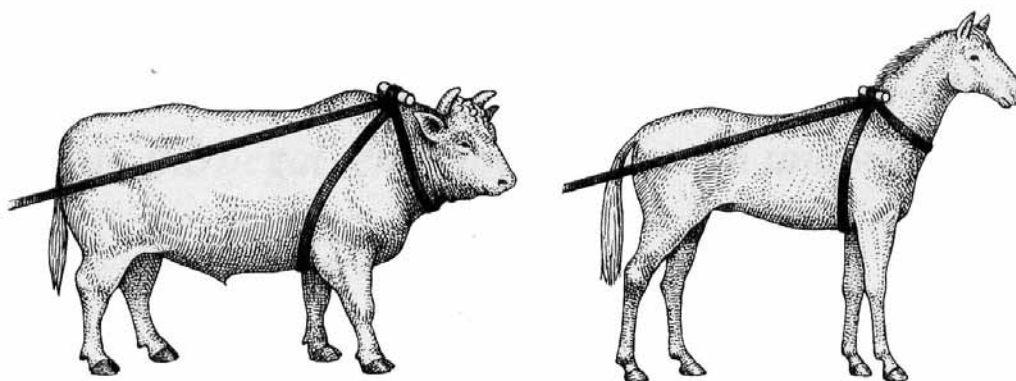
## Acueductos romanos de Hispania

Cuando se compara la altura relativa de acueductos de fábrica y de sifones, se evidencia que en general, no se superponían, prefiriendo hacer un puente cuando la altura a salvar estaba por debajo de 50 metros (altura máxima que los arquitectos de Roma afrontaron en un puente de arcadas). Por encima de esa altura, hacían un sifón.

La causa más probable de que esto fuese así ha sido apuntada por Norman A.F. Shmith, del Imperial College of Science and Technology de Londres, quien ve en ello una causa de índole económica: los sifones les costaban a los romanos más que los acueductos de fábrica. La obra de sillería o mampostería resultaba barata, sobre todo si las piezas se extraían del lugar. El plomo era barato también, se obtenía como subproducto derivado del refinado de la plata, pero sumamente pesado.

El enorme trabajo de acarreo de las 15.000 toneladas de plomo necesarias para construir los sifones que abastecían a *Lugdunum* (Actual Lyon) fueron la razón para no repetir la experiencia demasiado en otros lugares del imperio. (**Hodge. T.** *Op.Cit*)

Una de las causas directas, bien pudo ser el atalaje romano.



El atalaje romano estaba pensado para que una yunta de bueyes pudiesen tirar del yugo con sus cervices.

Para un trabajo similar, no servían los caballos, pues se estrangulaban si tiraban de una carga pesada. La collera para las caballerías fue un invento muy posterior. Debían elegir por tanto, entre bueyes penosamente lentos y caballos, que desfallecían a causa del dolor. El transporte de grandes cantidades de plomo a gran distancia, resultaba por lo tanto muy caro. Los grandes sifones con tuberías de plomo que abastecían la ciudad de *Lugdunum*, pueden considerarse excepcionales dentro de la ingeniería romana (**Hodge. T.** *Op.Cit*)



En cuanto a los sifones con tuberías de cerámica, no eran muy recomendables, pues las averías eran mucho más frecuentes que en los de plomo, por rotura de la tubería o por pérdida de estanqueidad. Además la poca altura que requerían para su correcto funcionamiento, les hacía ser poco “competitivos” frente a un acueducto de agua rodada, pues éste último, presentaba muchos menos problemas de mantenimiento.

El acueducto de agua rodada, presentaba además una ventaja añadida frente al sifón: Su majestuosidad, sobre todo si estaba ubicado en las proximidades de la entrada a la ciudad, como eran en *Hispania* los casos de Mérida o Segovia, entre otros. No cabe duda que representaba un magnífico elemento de propaganda, lo que no es un factor a desdeñar en absoluto. Sin embargo, la terca realidad, como hemos visto se encarga de demostrar que no hay regla sin excepción

### • Los “errores”

Los ingenieros romanos pese a su vasto conocimiento técnico y científico, también cometieron numerosos errores, por ejemplo:

- ❑ En *saldae*, en el trazado de un túnel de 428 m. teóricamente fácil y empezado por los dos extremos, los dos equipos de excavación se desviaron cada uno a su derecha, de manera que acabaron casi avanzando dándose la espalda. Cuando se dieron cuenta del error, se necesitaron 4 años para enmendarlo. (**Malissard. A.** *Op.Cit.*).
- ❑ En otros casos aparecen errores de diseño. Los fallos cometidos en la construcción del puente de Bouchaoum fueron tan numerosos que hubo de cruzarse el río por otro lugar y suprimir el suministro en los barrios altos.
- ❑ En el tramo subterráneo del acueducto de *Uxama*, aparecen titubeos en el trazado de la línea de excavación.
- ❑ En el acueducto de Cherchell, pueden apreciarse modificaciones de última hora, cambios de nivel, rupturas de pendiente, y toda clase de intervenciones de urgencia, tanto por errores de diseño, como negligencia o fallos de los maestros de obras. (**Malissard. A.** *Op.Cit.*)
- ❑ Plinio el Joven, se quejaba a Trajano, de las incompetencias de los arquitectos locales, siendo gobernador de Nicomedia, como hemos visto.
- ❑ El comentario de Frontino sobre los edificios modernos es sintomático.
- ❑ A los problemas de construcción se unían los de mantenimiento, incluso en los acueductos “importantes”. En Roma, la puerta *Capena*, estaba constantemente rezumando agua en forma de gruesas gotas, según cuenta Juvenal en sus sátiras( III,11).

## Acueductos romanos de Hispania

- ❑ Según Marcial (IV, 18) a un arco del *Aqua Virgo* le llamaban *Porta Pluens*. La puerta que llueve, porque caía una lluvia continua, formando placas de hielo en invierno.
- ❑ Hasta la ley romana, consideraba como “aguas rebosantes” a las que rezumaban de las arcas de agua o de las tuberías, según cuenta Frontino (CX,1)