

# REGULACIÓN DE CAUDALES EN LOS ABASTECIMIENTOS DE AGUA ROMANOS

José Manuel de la Peña Olivas<sup>1</sup>

Rómul Gabarró i Castellort, *in memoriam*<sup>2</sup>

## 1. INTRODUCCIÓN

Cuando pretendemos estudiar los sistemas de abastecimiento de agua que poseía la sociedad romana, nos encontramos que no existen prácticamente restos que permitan reconstruir, al menos, de manera general estas redes. Dentro de las ciudades, el expolio que se ha producido a lo largo del tiempo es prácticamente total y lo que queda: lo sacamos de su sitio y lo ponemos en urnas en museos. ¿Qué nos queda? Del sistema: nada. Y de la infraestructura que lo sostenía: algo de la obra civil que no ha servido para reciclar o no se ha necesitado destruir. Esto suele ser: los puentes, casi todos fuera de las ciudades, los túneles olvidados en las montañas, y algún que otro resto de lo que pudo ser un depósito.

A falta de datos, la historia ha encontrado una doble solución: la sencilla, y la más compleja. La sencilla es abstraer la hidráulica romana a los puentes, de tal manera que, para la mayoría de los humanos, los acueductos son puentes y no conducciones de agua. Y abstrayéndonos de ello, solamente estudiamos su infraestructura. La segunda de las vías, la erudita, ya no solamente inventaría los puentes, sino que va algo más lejos: Intenta seguir la conducción, el verdadero acueducto; pero, ¿hasta dónde? y ¿cómo? Los grandes especialistas hacen una descripción rigurosa de todo el trayecto: casi desde las fuentes hasta cerca de la entrada de la ciudad. Miden sus pendientes y las acoplan a la realidad de entonces. Se atre-

---

1. Doctor Ingeniero de Caminos Canales y Puertos. CEDEX. Ministerio de Fomento. Correo electrónico: jose.m.pena@cedex.es.

2. Este trabajo lo he dedicado a la memoria de mi amigo Rómul Gabarró i Castellort, una de las personas que he visto amar más el agua en Roma. También agradezco profundamente a Isaac Moreno Gallo, gran amigo, la oportunidad que me ha dado y animado a escribir estas líneas.



Fig. 1. Fuente de Juturna, junto al Foro romano, cercano a ella estuvo durante mucho tiempo la sede de aguas de Roma, Statio Aquarum (Foto cortesía de Carlos de la Peña).

ven a medir el caudal circulante, usando una regla de dudosa validez en su propia concepción. Y, a falta de conocimiento de la tecnología hidráulica romana, aplican algunas reglillas hidráulicas de abastecimiento actual de las ciudades. Ya que, en ocasiones queremos trasladar los conceptos propios de nuestra época a otros periodos de la historia; pero, no siempre es posible y esto sucede con la propia idea del agua y su regulación que se tenía en la antigua Roma. Algunos trabajos anteriores han incidido en ello (Moreno Gallo 2007; Peña Olivas 2010), pero se sigue usando conceptos equivocados por ese traslado automático de la idea que se tiene en la actualidad del agua, su distribución y cálculo de volúmenes.

Habría que transportarnos a los primeros tiempos de Roma cuando aparece la necesidad de conducciones de agua para traerla limpia, pura y en abundancia. En un inicio la ciudad se abastecía de agua del río, de las fuentes que manaban de las colinas cercanas, como la fuente de Camenas, la de Apolo o Juturna (fig. 1), la más famosa de todas, que se encontraba cerca del Foro Romano, o de pozos que podían ser privados de cada casa o públicos. La afición a las fuentes era tan grande en Roma que existía una fiesta, *Fontanalía*, de las fuentes que se celebraba el 13 de octubre<sup>3</sup>.

3. Front. *Aq.* 4.1: "Por espacio de 441 años desde la fundación de la ciudad, los romanos se conformaron con la utilización de aguas extraídas del Tíber, de los pozos y de las fuentes".

Pero las aguas, especialmente las provenientes del Tíber, no solían estar limpias, y en ocasiones podían estar contaminadas, al verter directamente las aguas residuales o mediante la salida de la Cloaca Máxima que desembocaba, y desemboca, cerca del actual Puente Palatino. Además, las aguas del Tíber solían venir turbias y los fondos cenagosos hacían más fácil esta turbidez, lo que era signo para los romanos de aguas poco saludables (Front. *Aq.* 90; Vitruv. 8.8.3).

Las aguas de los pozos eran escasas, y debieron ser insuficientes para una sociedad como la romana que gustaba del agua y de sus placeres, quedando todavía hoy en día de esa vocación las numerosas fuentes públicas de la que manan buena y fresquísima agua para el turista que hacen inservible cualquier agua embotellada en plástico. Durante estas cuatro décadas, los romanos fueron aprendiendo de la necesidad de aguas más saludables y ciudades más limpias, ya que según se tiene constancia, las pestes y problemas gástricos en verano en la ciudad eran males endémicos; constatando Tito Livio grandes epidemias de peste en 464 a. C. que tuvo a la población tan esquilada que “Los senadores a los que la edad y la salud se lo permitían desempeñaban personalmente la labor de centinelas...”, muriendo los dos cónsules (3.6.2); en la de 454 a. C. “sobrevinieron dos tremendas calamidades, el hambre y la peste... El campo quedó despoblado, la ciudad se despobló por las ininterrumpidas muertes...” (3.32.2); y en 399 a. C. que “vino seguido de un verano malsano portador de epidemias para todo ser viviente” (5.13.3). Estos ejemplos de los problemas que dieron a los romanos el uso de este tipo de aguas, los obligó a emprender un plan de captación de aguas limpias y saludables fuera de la propia zona de influencia de la ciudad, donde las aguas fecales se unían con la propia captación de aguas del Tíber y los acuíferos donde captaban los pozos las aguas recibían los lixiviados de los residuos que generaban. Así, en el programa electoral para la censura, Apio Claudio incluyó la construcción de una vía y una conducción o acueducto, como lo relata Tito Livio en el siguiente pasaje:

*Aquel año también fue notable la censura de Apio Claudio y Gayo Palucio, para la posteridad fue, sin embargo, de más feliz memoria el nombre de Apio porque construyó una calzada [via Apia] y llevó el agua a la ciudad [agua Apia] (...) (9.29.6).*

Y ello en plena guerra con sus vecinos los samnitas. A partir de esta obra, la tecnología hidráulica romana fue mejorando hasta lograr tener un sistema de distribución y administración de agua no alcanzado en el occidente europeo hasta bien entrado el siglo XX; cada conducción o acueducto que se iba realizando a lo largo de los años en Roma, iba mejorando el anterior; estando en la cumbre del desarrollo e inversión hidráulica el nombre de Marco Vipsanio Agripa, que revolucionó, no solamente el ámbito hidráulico sino toda la obra pública, siendo probablemente la persona que concibió la idea moderna de obra pública en su ámbito general y global que hoy en día subsiste.

La idea inicial de la distribución de agua era llevar el río, manantial, etc., desde su origen a Roma para que fluyese por ella con la garantía de calidad suficiente. Esto es, se buscaba llevar una corriente continua de agua a la ciudad “enlatándola” para que no perdiese su pureza, como así lo ha transmitido Estrabón:



Siendo S la sección por la que atraviesa el fluido y la velocidad media del fluido en la sección. Este concepto tan sencillo también se debió tener en Roma ya que de él habla Frontino:

*En este decreto senatorial creo que podía ser destacado el hecho de que el Senado prohibía tanto el aumento como disminución del número de fuentes públicas. Pienso que ello se debió a que el caudal de los acueductos que en esta época llegaban a la ciudad antes de la conducción Claudia y del Anión Nuevo, no parecía admitir una distribución mayor... (Aq. 104).*

Pero, aun teniendo este concepto, los romanos medían el agua por la sección de las conducciones, tomando una unidad tipo, la “quinaria”, y no por caudal circulante: ¿Por qué? Pues muy probablemente porque no tenían equipos de medición de la velocidad en las tuberías o en los canales como se tiene en la actualidad y el control se hacía por otros medios.

Frontino describe las capacidades de las conducciones usando esta medida de superficie mojada que era la “quinaria” o “quinario”, y lo explica así:

*Inmediatamente después un calibre que no se origina a partir de la pulgada ni de ninguno de los dos dedos [cuadrado y redondo], e introducido, según piensan algunos, por Agripa, en la opinión de otros, por plomeros a iniciativa del arquitecto Vitruvio, llegó a utilizarse en Roma con exclusión de los precedentes, bajo la denominación de quinaria [tubo de cinco] (...). Lo más probable es que la quinaria haya recibido su nombre de su diámetro que es de 5/4 de un dedo (...) (Aq. 25).*

Como el propio Frontino deja traslucir, no se sabía a ciencia cierta quién puso la quinaria como medida de agua, ni quién introdujo los sistemas de calibres. Aunque, sí se puede asegurar con bastante probabilidad de acertar, que fue introducida “oficialmente” en tiempos de Agripa y Vitruvio, y que fue el propio Agripa, según Frontino (Aq. 99.2-3), en un edicto, quien estableció la tabla de calibres de tuberías, usando esta unidad, 5/4 de dedo, que está cerca de 5/3,14 que sería el valor real del diámetro de una circunferencia de 5 dedos (1 dedo = 1/16 pies = 29,6/16 cm = 1,85 cm) de longitud. Lo cierto que la unidad de medida era una superficie llamada “quinaria” que equivalía a: 1 quinaria =  $3,14 \times (5/4 \times 1,85)^2/4 = 4,19 \text{ cm}^2$

A lo largo de la historia algunos autores han querido transformar esta medida de sección, “quinaria”, en una medida de caudal (Cioli 2009). El primer intento corrió a cargo del barón Gaspar Prony, un profesor de matemáticas francés que en una Memoria de 1817 determinó esa relación dando un valor a la quinaria de 56 m<sup>3</sup>/día (o 0,65 l/s). Pocos años después, el arquitecto Jean Baptiste Rondelet generalizó el dato de Prodi para lámina libre, aumentando el valor de esa relación hasta 60 m<sup>3</sup>/día (o 0,69 l/s). Algunos años más tarde el que fue probablemente ingeniero Blumenstihl en un trabajo de 1872 titulado *Brevi notize su-ll'Acqua Pia* también calculó dicha relación, dándole un valor de 27 m<sup>3</sup>/día (o 0,31 l/s). Muy poco tiempo después en 1875 Eugene Belgrand discrepa de los datos anteriores y dice que era variable dependiendo del tipo de conducto. Ya en el siglo XX, el ingeniero italiano Claudio Fenizio, interpretando el texto de Frontino da en 1930 un valor de la quinaria que lo sitúa en 41,5 m<sup>3</sup>/día (o 0,48 l/s). Muy interesante es la

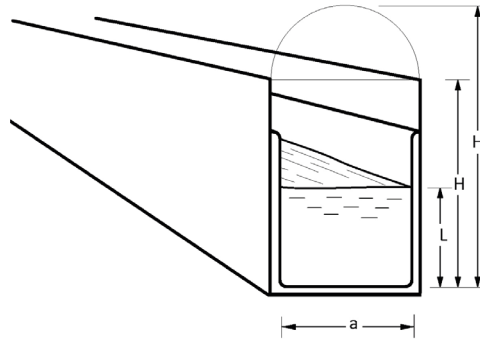


Fig. 3. Dimensiones de un canal romano (specus).

opinión que da Thomas Ashby en su espléndido y famoso libro, publicado en 1935, que critica el enfoque que según él hace Frontino y dice que sus cálculos son inútiles para una exacta evaluación de la cantidad de agua suministrada o consumida, pero utiliza el valor de Fenizio de 0'48 l/s para transformar la quinaria en caudal. Blackman en 1978 calculó la capacidad de cuatro principales de Roma, obteniendo un valor, comparándolo con la quinaria, de 32,8 m<sup>3</sup>/día (0,38 l/s). Autores más modernos como González Román usa una equivalencia de 40 m<sup>3</sup>/día (0,46 l/s) o Egea Vivancos (2002) que da un valor para la “quinaria” de 40'6 m<sup>3</sup>/día (0,47 l/s). Lo cierto es que los propios romanos solamente comparaban secciones, y una transformación exacta del caudal equivalente a la quinaria sería absurdo, como indica Ashby, y no obedecería a la realidad, solamente se pueden utilizar valores comparativos aproximados dentro de una horquilla que vendría dada por el tipo de sección y la carga hidráulica, siempre que la tubería no fuese en carga o la presión fuese baja.

Las conversiones que han pretendido hacerse de esta medida en caudal nunca pueden ser rigurosas, aunque sí aproximadas, y como tales dar una idea general. Solamente, para determinar el caudal aproximado de agua se puede transformar la sección en caudal usando las características de la conducción. Así, si se supone un canal de agua de una anchura  $a$ , una altura sobre techo o clave  $H$ , y una altura de columna de agua  $L$ , la superficie mojada (fig. 3) vendrá dada por:

$$S = a \cdot L$$

Y si esta superficie, dada en quinarias que es como Frontino lo da, se quisiera pasar a m<sup>2</sup>, solamente habría que aplicar la conversión:

$$S(\text{m}^2) = [S(\text{q}) \times 4'19] / 10.000$$

Para determinar el caudal circulante en cada una de las conducciones se aplica la fórmula de Manning para canales:

$$Q = \frac{S}{n} R_H^{2/3} \sqrt{I_0}$$

Dónde:  $n$  es el número de Manning que para canales toma un valor de 0,013;  $S$  es la superficie mojada;  $R_H$  es el radio hidráulico [=  $S/(a + 2L)$ ], e  $I_0$  es la pendiente del canal. Poniéndose en función de la superficie mojada y la anchura del canal, da:

$$Q = \frac{\sqrt{I_0}}{n} \left( \frac{L a}{2L + a} \right)^{2/3} S = A \frac{\sqrt{I_0}}{n}$$

Esta es la fórmula, en  $m^3/s$ , que tiene que utilizarse para convertir las quinarias en caudal, indicando, por tanto, que esta conversión depende de la pendiente del canal; no ajustándose un número para una conversión general como algunos autores han pretendido, queriendo simplificar un problema sencillo, pero que necesita de otra variable importante que es la pendiente.

Respecto a la pendiente hay que hacer una serie de matizaciones técnicas hidráulicas e históricas: 1) La pendiente con que llega el agua a una red de abastecimiento no es la diferencia de cotas de la toma y la llegada a la ciudad, como habitualmente se supone, sino la pendiente real del canal en los últimos tramos, sin tener en cuenta las pérdidas de carga que se producen y provocan en ella, como las debidas a resaltos o cascadas, que siempre debe ser tal que la velocidad en el canal sea menor de 0,5 m/s para que vaya en régimen laminar o lento; y 2) La pendiente entonces recomendada en canales es indicada por Vitruvio, quien afirma que los canales “deben ser lo más sólidas posible y con una pendiente de no menos de un cuarto de pulgada por cada cien pies de longitud” (8.7.2), que da un valor de:

$$I_0 = \frac{1}{4} \text{ pulgada} / 100 \text{ pies} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{12} \text{ pies} / 100 \text{ pies} = 1 : 4800 = 0,021 \%$$

También lo indica Plinio, según él “la caída mínima del agua es de un cuarto de pulgada para cien pies...” (*Nat.* 31.57). Sin duda usó a Vitruvio como fuente.

Si volviésemos a repasar el concepto de caudal ( $Q = S \cdot v$ ) y sabiendo que el caudal circulante en un canal viene expresado por la fórmula de Manning, se puede poner:

$$Q = f(I_0) g(L)$$

Con la anchura  $a =$  constante y hacemos que la pendiente  $I_0$  sea constante en la sección de medición (dada por Vitruvio y Plinio), entonces podemos conocer  $Q$  midiendo  $L$ , que es lo que se hace en los aforos de canales, ríos, etc. Y era lo que se hacía en Roma. El único problema era que la relación entre  $a$  y  $L$  no era igual en todos los canales y, por tanto tampoco lo era el radio hidráulico; lo que hacía variar el valor de la unidad de superficie-caudal (la quinaria) para cada canal; siendo igual cuando el radio hidráulico lo era. Esta explicación tan sencilla es la que no se ha comprendido.

Vamos a poner un ejemplo usando las conducciones o acueductos que Frontino nos describe. Si usásemos

**TABLA 1. SUPERFICIE MOJADA Y PENDIENTES MEDIAS DE LAS CONDUCCIONES DE ROMA**

Conducción	Quinarias (Q)	m <sup>2</sup>	Pendiente (%)
Apia	1.825	0,77	0,055 (0,021)
Anión Viejo	4.398	1,84	0,35 (0,021)
Marcia	4.690	1,97	0,29 (0,021)
Tépula	445	0,19	0,35* (0,021)
Julia	1.206	0,51	0,35* (0,021)
Virgen	2.504	1,05	0,019
Alsietina	392	0,17	0,021**
Claudia	4.607	1,93	0,36 (0,021)
Anión Nuevo	4.738	1,99	0,49 (0,021)

Si ahora se rectifican las pendientes medias cuando éstas superan el valor dado por Vitruvio, en paréntesis en la tabla anterior, el cálculo de caudales en Roma daría:

**TABLA 2. CÁLCULO DE CAUDALES POR CONDUCCIÓN EN ROMA**

Conducción	S (m <sup>2</sup> )	a (m)	I <sub>0</sub> (%)	$\frac{\sqrt{I_0}}{n}$	A	Q (m <sup>3</sup> /s)
Apia	0,77	0,52	0,021	1,115	0,282	0,314
Anión Viejo	1,84	1,22	0,021	1,115	1,055	1,176
Marcia (x 2)	0,985	0,66	0,021	1,115	0,412	0,459
Tépula	0,19	0,46	0,021	1,115	0,053	0,059
Julia	0,51	0,46	0,021	1,115	0,169	0,188
Virgen	1,05	(0,7)**	0,019	1,060	0,453	0,480
Alsietina	0,17	(0,46)***	0,021**	1,115	0,046	0,051
Claudia	1,93	1,22	0,021	1,115	1,117	1,245
Anión Nuevo	1,99	1,2	0,021	1,115	1,152	1,284

\* = No se conoce ningún dato.



Pero, si se supone que la ingeniería romana no permitía velocidades superiores a 0,5 m/s en canales para ir en régimen laminar, y se hacen esas correcciones en la tabla 2, daría un caudal aproximado por cada conducción de:

**TABLA 3. CÁLCULO DE CAUDALES POR CONDUCCIÓN EN ROMA (CORREGIDO)**

Conducción	S (m <sup>2</sup> )	a (m)	V (m/s)	V corr. (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Qcorr. (m <sup>3</sup> /s)
Apia	0,77	0,52	0,41	0,41	0,314	0,314
Anión Viejo	1,84	1,22	0,64	0,5	1,176	0,92
Marcia	0,985	0,66	0,47	0,47	0,459	0,459
Tépula	0,19	0,46	0,31	0,31	0,059	0,059
Julia	0,51	0,46	0,37	0,37	0,188	0,188
Virgen	1,05	(0,7)**	0,46	0,46	0,480	0,480
Alsietina	0,17	(0,46)***	0,3	0,3	0,051	0,051
Claudia	1,93	1,22	0,64	0,5	1,245	0,97
Anión Nuevo	1,99	1,2	0,64	0,5	1,284	1

Si este caudal calculado corregido se quisiese compara con la quinaria, daría:

**TABLA 4. CAUDAL POR QUINARIA EN CADA CONDUCCIÓN DE ROMA**

Conducción	Caudal (l/s) por quinaria
Apia	0,172
Anión Viejo	0,210
Marcia	0,196
Tépula	0,133
Julia	0,156
Virgen	0,192
Alsietina	0,130
Claudia	0,210
Anión Nuevo	0,211

Que daría entonces una vez corregido una cantidad (corregida) de agua para el abastecimiento de Roma 4'441 m<sup>3</sup>/s, sin tener en cuenta las conducciones Trajana (0,30 m<sup>3</sup>/s) y Alejandrina (0,30 m<sup>3</sup>/s). Y teniendo ambas en cuenta (Peña Olivas 2018) el caudal de abastecimiento a Roma era de 5, 041 m<sup>3</sup>/s o 435.542 m<sup>3</sup>/día, valor bastante diferente del que da algunos autores calculan sin tener en cuenta estas rectificaciones técnicas necesarias.

Si se usasen los datos corregidos de caudales entrantes en la red de abastecimiento a Roma, entonces el consumo diario sería:  $383.702 \text{ m}^3/\text{día} / 1.760.000 \text{ habitantes} = 218 \text{ l/habitante y día}$ , o si se supone la cifra de habitantes que da Carcopino (1939; 1989) de 1.200.000, este consumo aumentaría hasta  $378 \text{ l/habitante y día}$ . Como comparación, en España se consumieron  $172 \text{ l/habitante}$  en 2018 de media.

Así pues, la ingeniería romana era capaz de controlar la cantidad que entraba en la ciudad con solamente conocer la superficie, o lo que es lo mismo; el calado de cada uno de los canales de entrada en la ciudad, como hizo Frontino y así describe por ejemplo el canal de la conducción Apia cuando la inspeccionó:

*(...) junto a los Gemelos, lugar situado por debajo de la Vieja Esperanza, en donde se une con el ramal de la Augusta [conducción Augusta] descubrí una profundidad de agua de 5 pies y una anchura de 1 pie  $\frac{3}{4}$ ; esto hace una superficie de 8 pies  $\frac{3}{4}$ , es decir 22 centenariae y una quadragenaria, lo que supone 1.825 quinarios (...)* (Aq. 65.3).

Como hizo con todas las demás cerca de Roma y, además, indica que la lámina de agua era bastante constante, tanto en verano como en invierno lo que evidencia el control o regulación que tenían entonces del caudal de entrada en la ciudad.

### 3. PROBLEMA DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN Y EL CAUDAL DE REGULACIÓN DE AGUA EN ROMA

A la hora de estudiar y analizar la distribución de agua y su regulación en la antigua Roma, nos enfrentamos a varios problemas que, conceptualmente, se pueden resumir en que tenemos una idea de ello actual que la trasladamos a aquella época, cometiendo graves errores. Los más frecuentes e importantes se citan a continuación:

- El concepto de distribución de agua actual que tienen los especialistas, y el que se tenía entonces era esencialmente diferente. En la actualidad hay un concepto estático de regulación y almacenaje y entonces era dinámico.
- No se da mucha importancia a la pendiente de los canales ni al valor de la presión de las tuberías.
- Cuando se determina la pendiente de los canales, se hace o de manera global (diferencia de cotas inicial y final/longitud de la conducción) y no la pendiente final del tramo de distribución donde los romanos, Frontino, medían el número de quinarias. O se determina la pendiente de los restos actuales de canales, se hace la media, etc. Y no tienen en cuenta la que entonces tenían, que es diferente de la actual debido a asentamientos, movimientos, etc.

Todo ello lleva a pensar en una falta de comprensión de la hidráulica de entonces y cómo se concebía.

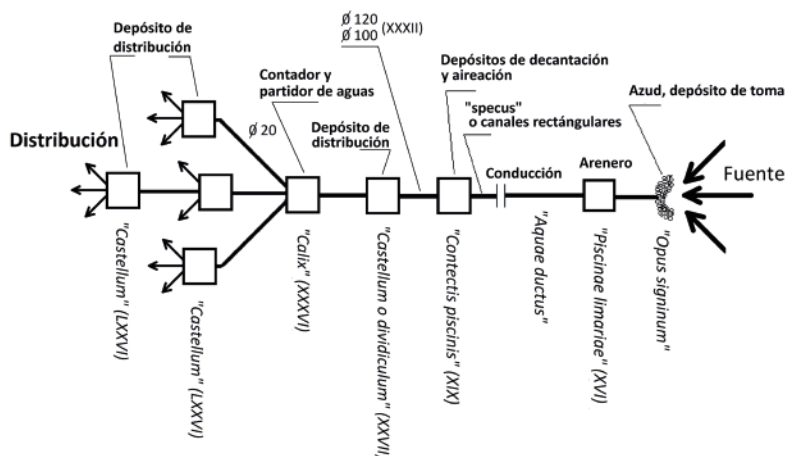


Fig. 4. Esquema de una red de abastecimiento de agua romana según Frontino.

#### 4. CONCEPTO DE REGULACIÓN DEL CAUDAL CIRCULANTE EN LOS ACUEDUCTOS ROMANOS

La estructura de las redes de abastecimiento en Roma (fig.4), la describe perfectamente Frontino (Peña Olivas 2010). El concepto dinámico de la red de abastecimiento requería que el agua estuviese continuamente en movimiento, con unas características físicas determinadas en los canales en los puntos de control. Ello hacía que el caudal de agua que entraba en la ciudad era mucho menor que el tomado en cabecera, que iba reduciéndose por: pérdidas en la red, regulación (desviaciones laterales en canales, depósitos, fuentes, etc.) y, por último, por averías.

Si se quisiera calcular de manera aproximada cuanta cantidad de agua se tomaba de la fuente, primeramente, habría que pensar en el tipo de fuente y posteriormente las pérdidas normales propias de la conducción, tanto en el transporte como en la distribución. Para determinar de manera aproximada la cantidad de agua que los canales, o acueductos romanos absorbían en la entrada, solamente se puede recurrir a un símil actual de esas pérdidas. Por ejemplo, las pérdidas de agua en España por fugas en la red fueron del 19,4 % en 2008 (33 l/persona y día); oscilando entre un valor mínimo en Asturias del 13,9 %, un máximo del 32 % en Valencia, y un extremo del 70% en Melilla. Los fraudes en la red suponían el 8 % del total de agua, con un total de 3500 fraudes en 2007.

Por tanto, para hacernos una idea aproximada del agua desviada de las fuentes de abastecimiento tendríamos que suponernos unas pérdidas de, al menos el máximo en España, el 32%, a las que habría que sumar otro porcentaje debido a los fraudes y al coeficiente de seguridad, que se han tomado como un total del 28 %. Dando que para calcular el caudal inicial medio se podría aplicar la siguiente correspondencia:

$$Q_{\text{inicial}} \geq (1,32 + 0,28) Q_{\text{distribución}} = 1,6 Q_{\text{distribución}}$$



Fig. 5. Pérdidas de agua en el acueducto de Almuñécar.

A ello tendría que añadirse un porcentaje que se tenía de inseguridad que podría hacer que el caudal sustraído en la toma fuese en torno al doble del distribuido. Que iba reduciéndose a medida que se acercaba el acueducto a la ciudad (Front. *Aq.* 64). Este excedente de agua a lo largo del canal se utilizaba para diversos fines, entre los que se encontraban los fraudes y ventas ilegales de agua que nos cuenta Frontino (*Aq.* 75/77/129).

El caudal de distribución a los diferentes usuarios, que en el periodo de Frontino eran (q=quinaria) (*Aq.* 79):

Total de agua distribuida:	14.018 q (771 q duplicados)	
Fuera de Roma:	4.063 q	(29%)
• Concesión emperador:	1.718 q	(12%)
• Particulares:	2.345 q	(17%)
Dentro de Roma:	9.955 q	(71%)
• Concesión emperador:	1.707'5 q	(12'2%)
• Particulares:	3.847 q	(27'4%)
• Servicio Público:	4.401 q	(31'4%)
- 20 Campamentos:	279 q	(2%)
- 95 Obras públicas:	2.301 q	(16'4%)
- 39 Fuentes ornamentales:	384 q	(2'8%)
- 591 Fuentes públicas:	1.335 q	(4'2%)

Por lo que todos estos valores y los de las tablas 2 y 3 habría que multiplicarlos por, al menos, 1,6 para dar el valor real aproximado que se tomaba en origen. Así Frontino, al medir en cabecera los caudales le daba 10.000 quinarias más que las distribuidas (*Aq.* 64); lo que suponía un 71 % más.

Lo lógico es que los calados que tenían los canales, según el propio Frontino, pudieran variar en los periodos estivales; pero él mismo los inspeccionó en el mes de julio, afirmando que permanecían casi constantes (LXXIV, 3):

*(...) lo que me impide creer que ha sido el miedo a la sequía del verano el que los apartó tanto de la cifra autentica, es que yo en persona, una vez concluidas las mediciones, comprobé en el mes de julio la cuantía anteriormente descrita de cada acueducto y ésta permanecía inalterable luego durante todo el verano (...)* (*Aq.* 74.3).

Pero solamente puede ocurrir esto si el caudal circulante por estas conducciones estaba en todo momento regulado. Pero, ¿cómo y cuándo se iba regulando el caudal a lo largo de la red? La respuesta no la da Frontino, quien solamente se ocupaba de procurar abastecer de agua a los usuarios en las quinarias adjudicadas. Para dar respuesta a estas preguntas habría que retroceder al inicio de la red y recorrerla para ir describiendo los elementos de regulación en cada tramo.

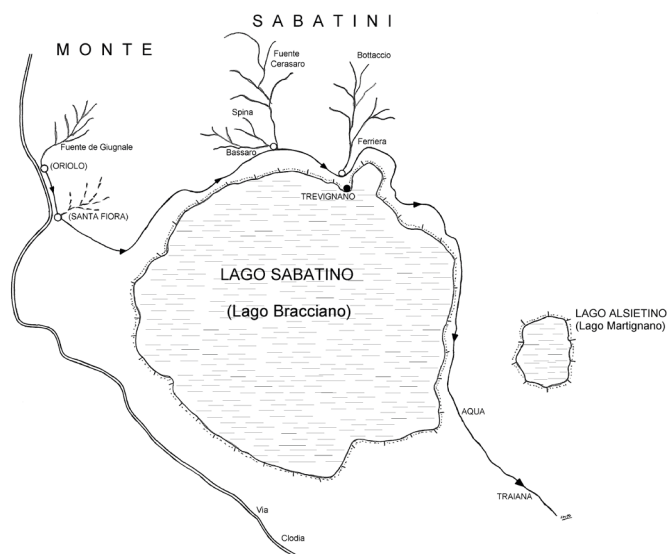


Fig. 6. Conjunto de galerías de infiltración de las fuentes de Aqua Traiana (Peña Olivas 2018).

## 5. ELEMENTOS DE REGULACIÓN A LO LARGO DE LOS ACUEDUCTOS

La regulación del agua circulante en la conducción tenía como objetivo final que a lo largo del tramo tuviese en cada momento el caudal requerido; de especial importancia eran los tramos cercanos a la ciudad. Se realizaba mediante equipos de control de la lámina de agua, poniendo elementos de derivación; especialmente aliviaderos de derivación, desviaciones, etc. que iban a fuentes, alcantarillados, distribuciones fuera de la ciudad etc. Es muy interesante, en este sentido, el trabajo de Schram (2014) que nos muestran una gran cantidad de datos acerca de estos elementos de regulación. Los elementos básicos de regulación de un acueducto eran:

### 1. Canal exterior:

- *Piscina limaria*
- Canales de derivación
- Aliviaderos laterales (fuentes adosadas y en *piscinae limariae*)
- Depósitos de derivación
- Control en entradas de puentes acueducto
- Otros

### 2. Control en partidores:

- Sumideros de niveles (Fuentes, canales de derivación)
- Control de depósitos

## REGULACIÓN DE CAUDALES EN LOS ABASTECIMIENTOS DE AGUA ROMANOS

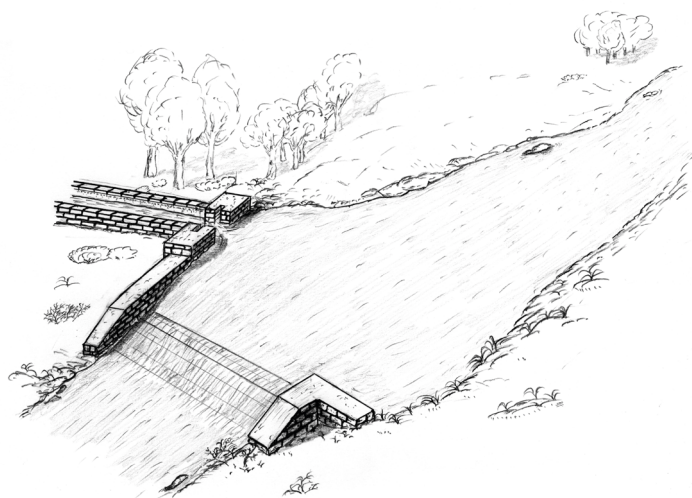


Fig. 7. Toma de agua de un río para un acueducto romano.

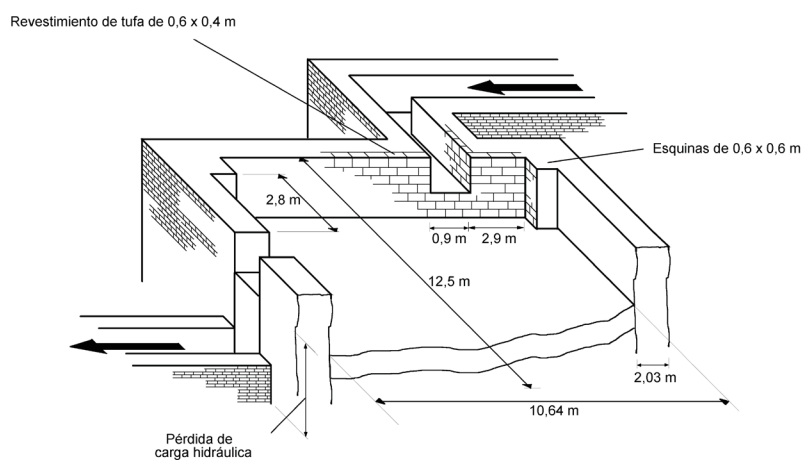


Fig. 8. Depósito piscina limaria cerca de la toma de Aqua Alexandrina según los datos de Thomas Ashby (Peña Olivas 2018).

- Sumideros de niveles
- Aliviaderos laterales

## 3. Control en tuberías de distribución:

- Aireadores
- Válvulas de presión
- Válvulas de cierre

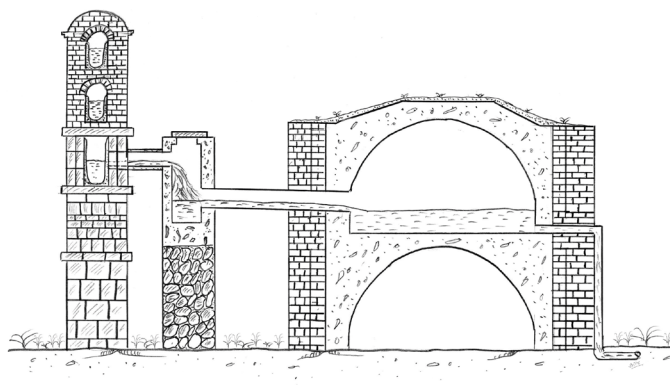


Fig. 9. Esquema de depósito de derivación de la conducción Marcia de Roma que permitía mantener una altura constante de lámina de agua en el canal.

Las fuentes principales de agua que utilizaba los acueductos romanos eran: 1) manantiales, 2) galerías de infiltración, y 3) ríos y lagos. Cuyas variantes u obras auxiliares podían ser: pozos, presas y embalses, y cisternas o aljibes.

El agua de los manantiales era la más afamada por su calidad, como así lo dicen Frontino y Vitruvio. Solían construirse azudes de regulación, como se hizo con *Aqua Virgo*, aunque no siempre se hacía, como pasó con *Aqua Appia*. Las galerías de infiltración se usaron en muchos lugares como en Mérida, y *Aqua Traiana* (fig. 6) en Roma que consistía en un conjunto de galerías alrededor del lago Sabatimo (hoy Bracciano) que desembocaban en un canal común (Peña Olivas 2018).

La desviación de ríos, y ocasionalmente lagos, se realizaba mediante la construcción de un pequeño azud, o resalto, que elevaba la lámina de agua y permitía la desviación mediante canal de una parte del caudal del río (fig. 7), como se hizo con *Aqua Anio Vetus* y *Novus*, y *Aqua Claudia*.

En todos los casos, tras la toma se situaba la *piscina limariae* (Front. Aq. 16). No se conocen casi restos de ellas. Sí reproduce una Fabretti (1680), de la que se hace eco Ashby (1935) que lo midió, y del que Peña Olivas (2018) ha tomado las medidas (fig.8). Se trata de la *piscina limaria* del *Aqua Alexandrina*; pero en ella no aparece aliviadero alguno, que puede hayan obviado estos autores.

A lo largo de la conducción se iban poniendo elementos de regulación de la lámina de agua. Alguno de ellos eran depósitos de derivación que abastecía a zonas exteriores a la ciudad, como el que tenía *Aqua Marcia* antes de entrar en Roma (fig. 9).

También podían adosarse fuentes a los canales (fig. 10); habitualmente se hacía en zonas con una población o un servicio, *mansio* o *mutatio* por ejemplo, cercano.



REGULACIÓN DE CAUDALES EN LOS ABASTECIMIENTOS DE AGUA ROMANOS

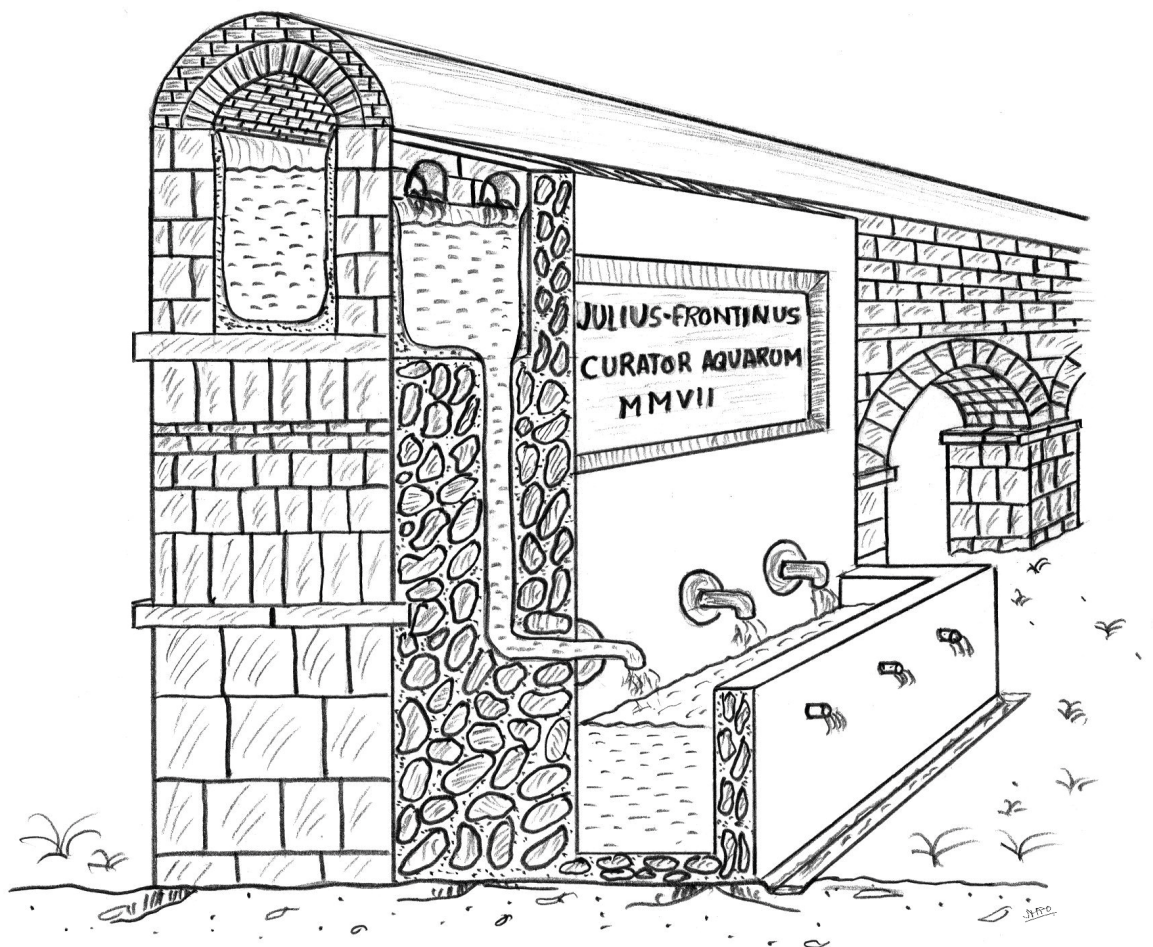


Fig. 10. Esquema de una fuente aliviadero romana.

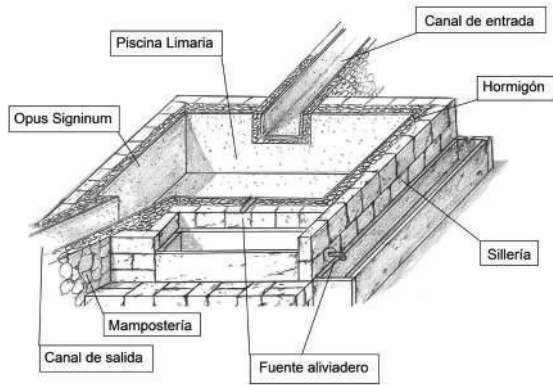


Fig. 11. Piscina limariae del acueducto de Los Milagros de Mérida.

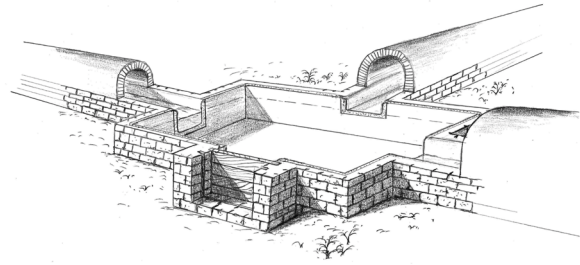


Fig. 12. Regulador de caudales en canales romanos, similar al existente aguas arriba de Pont du Gard.



Fig. 13. Desviación de canales en la Casa de Aguas del acueducto de Segovia.

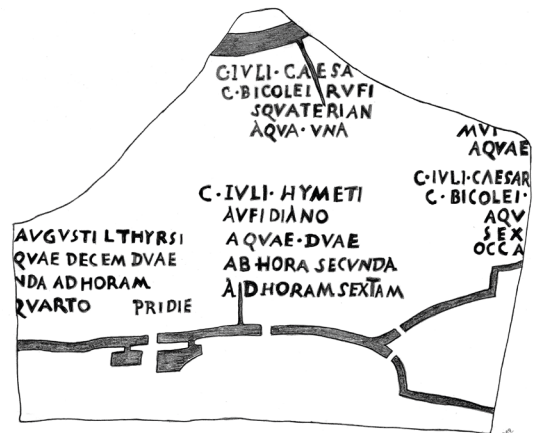


Fig. 14. Copia del dibujo de Raffaello Fabretti (1680, 151), de un plano romano de concesiones de agua fuera del Roma de la conducción Crabra, hoy perdido.

Antes de que los canales entrasen en un puente acueducto, era habitual que se pusiera algún elemento de derivación que podía estar asociado a un depósito de decantación, *piscina limaria*, como sucede en el acueducto de Los Milagros en Mérida (fig. 11), o con una doble derivación de agua: a canal, para mantener el nivel de la lámina de agua o con compuerta, en el caso de avería, como sucede en el puente acueducto de Pont du Gard de Nimes (fig. 12). También podía derivarse, con compuerta incluida para el canal de derivación justo a la entrada, como sucede en el acueducto de Segovia (fig. 13).

Existe un dibujo de un plano de la época, realizado por Raffaello Fabretti (1680) (fig. 14), de desviaciones de los canales, por concesiones imperiales (*CIL VI 1261*) en el que se aprecia claramente la cantidad de derivaciones de los acueductos antes de entrar en la ciudad de Roma.



Fig. 15. Partidor de Pompeya (Foto cortesía de Carlos de la Peña).

Cuando el acueducto entraba en la ciudad se dirigía directamente a un depósito decantador y de ahí a un “partidor” (Front. *Aq.* 36) que distribuía el agua a los depósitos primarios, de ahí a los secundarios, etc. El concepto de partidor cambió respecto al que se tenía del uso del agua. Así, inicialmente se primaba el uso público, fuentes, al privado como indica Vitruvio (8.7.2): 1º fuentes, 2º baños públicos, y 3º particulares, y así estaba concebido el partidor de Pompeya (fig. 15).

Pero, esta distribución descrita por Vitruvio pronto cambiaría por una más compleja (Peña Olivas 2010) como nos relata Frontino (*Aq.* 94) y es la que se refleja en el partidor de Nimes (fig. 16), donde se aprecia claramente los avances que se había producido en el campo de la distribución, control y regulación de agua.

Cuando el receptor de agua de un depósito cortaba el suministro, ésta no se quedaba estancada en el depósito; ya que manaba continuamente agua de la entrada, lo que hacía elevar el nivel del agua hasta

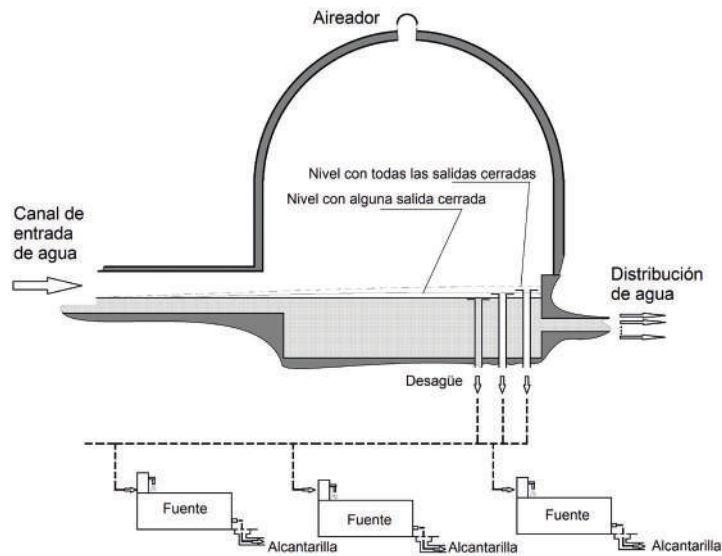


Fig. 16. Esquema de un distribuidor de agua similar al existente en el acueducto de Nimes.

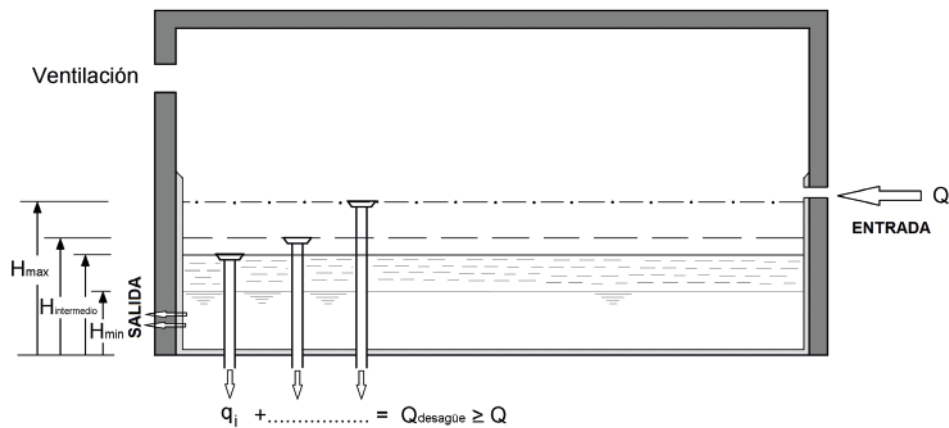


Fig. 17. Niveles de agua y regulación de caudal en un depósito romano (Peña Olivas 2018).

que entraba en funcionamiento una toma de desagüe. Si aumentaban las interrupciones, y el primer desagüe no era capaz de absorber el excedente; volvía a elevarse el nivel de agua hasta que un segundo desagüe entraba en funcionamiento. Si continuaban los cierres de demanda de agua y tampoco con este segundo desagüe era capaz de absorber en excedente, el nivel subiría; entrando en funcionamiento un tercer desagüe que podía ser el último y debía ser capaz de desaguar toda el agua entrante, o en sucesivas entradas de desagües se alcanzaría esa condición. Esta es la técnica usada en el equipo montado en el partididor de Nimes.

En este distribuidor se aprecia unos aliviaderos de agua para regular los caudales, niveles de agua, que entraban en el partidor, para así poderse distribuir con la misma carga hidráulica, esto es, con la misma presión y caudal. Cuando llegaba el agua al depósito de distribución, habitualmente elevado para mantener la carga hidráulica, también podía haber excedente de ella, por el cierre de alguna conducción, etc. Para regularla existían aliviaderos (fig. 17) que descargaban el agua sobrante a fuentes adosadas, como se observa en todos los depósitos secundarios elevados de Pompeya. Y el excedente de estas fuentes se soltaba a la calle y de ahí iba a las alcantarillas, y con ese sistema se limpiaban por baldeo las calles y se limpiaban las alcantarillas para que la ciudad no oliese mal, como también nos dice Frontino que llama a esta agua *caducce* (Aq. 88/111).

A partir de este depósito secundario se distribuía el agua a los particulares, cuarteles y servicios públicos que debían de haber conseguido una concesión oficial, cuya tramitación administrativa también la relata Frontino (Aq. 94). Se realizaba por los llamados contadores o partidores.

La estructura así formada, de distribución de agua en Roma era muy compleja, como se refleja en el esquema de la figura adjunta, donde se muestra una distribución cruzada (fig. 19).

El último tramo de regulación del caudal se realizaba en las redes de distribución de agua por tubería. En esta tupida red, totalmente esquilada en todas las ciudades a lo largo de la historia, tenía esencialmente tres equipos de regulación de caudales: llaves de paso, aireadores y válvulas de presión.

Las llaves de paso no eran en sí reguladores de caudal; pero sí elementos de corte de él. Seguramente entonces, si existía una tipología de llaves de paso no obedecería a una idea como la actual; solamente se diferenciarían por la presión que soportaban o la calidad de la llave. Pero lo cierto es que analizando las diferentes llaves de paso romanas que han llegado hasta la actualidad se observa ciertas diferencias entre ellas. Estas diferencias, a veces pequeñas y a veces importantes, han llevado a una clasificación de todas ellas en cuatro tipos (fig. 20).

- El primero de los tipos, tipo I, es el más común observado. El cilindro fijo central de la válvula se asienta sobre una plataforma no muy grande respecto de la sección del cilindro. La parte superior del cilindro finaliza en un anillo que sobresale en forma de inglete, casi pegado al tubo de salida del agua, tras de él, sigue el cilindro. La espiga macho toca al cilindro en otra chapa circular de mayor superficie que el cilindro.
- El segundo de los tipos, tipo II, se diferencia del primero, básicamente en la parte superior del cilindro fijo tras la tubería de salida. Siendo todo este tramo hasta la cabeza de la llave muy alto que se adorna con diferentes muescas de anillos horizontales. Probablemente este tipo de llaves era para soportar mayores presiones que el resto de los tipos y las muescas tuviesen un significado técnico hoy desconocido.

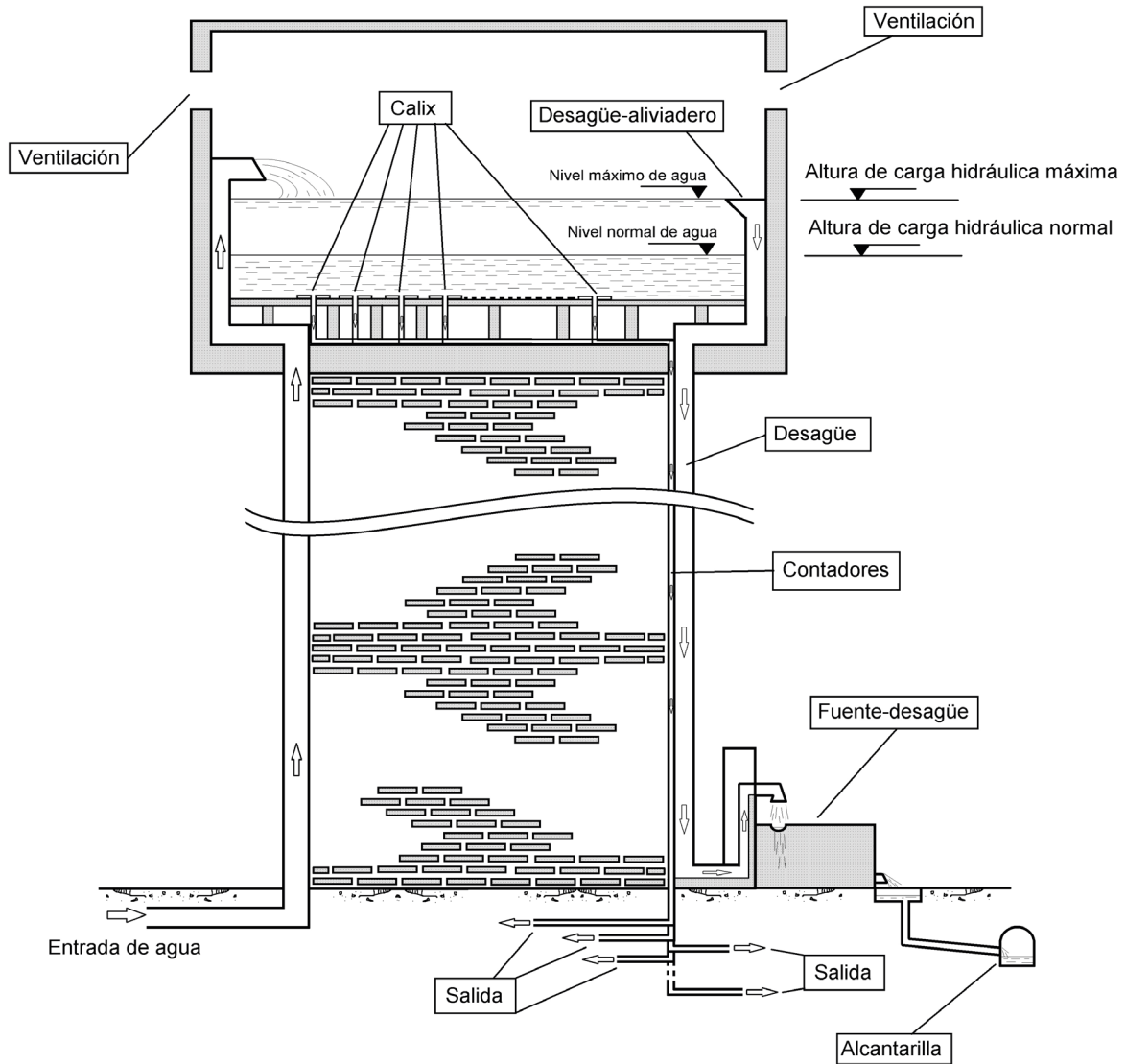


Fig. 18. Esquema de un depósito secundario elevado de distribución de agua (Peña Olivas 2018).

## REGULACIÓN DE CAUDALES EN LOS ABASTECIMIENTOS DE AGUA ROMANOS

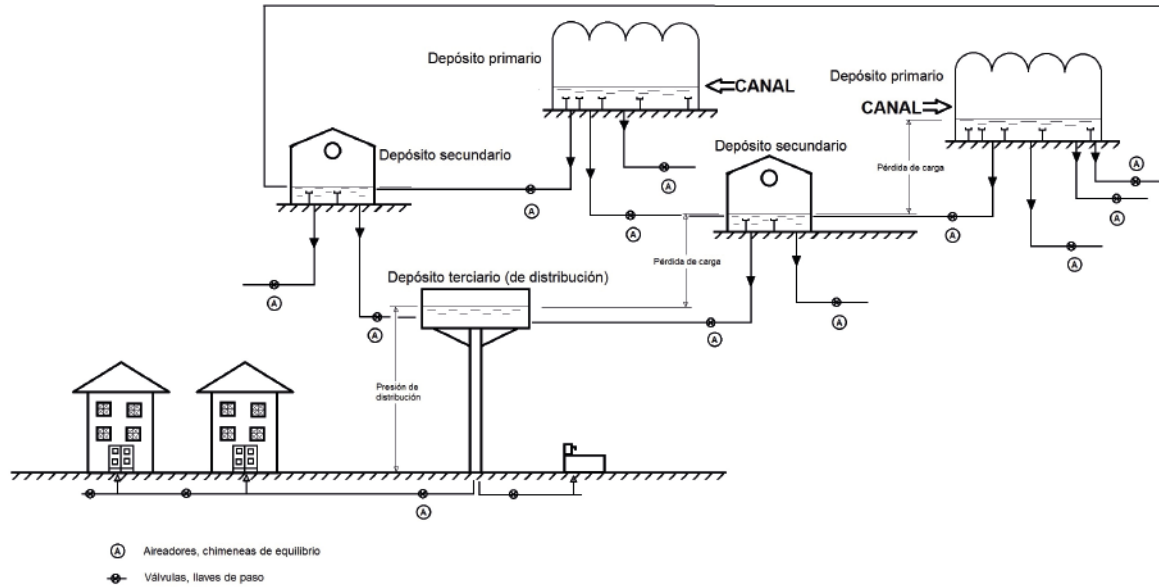


Fig. 19. Esquema de una distribución de agua romana (Peña Olivas 2018).

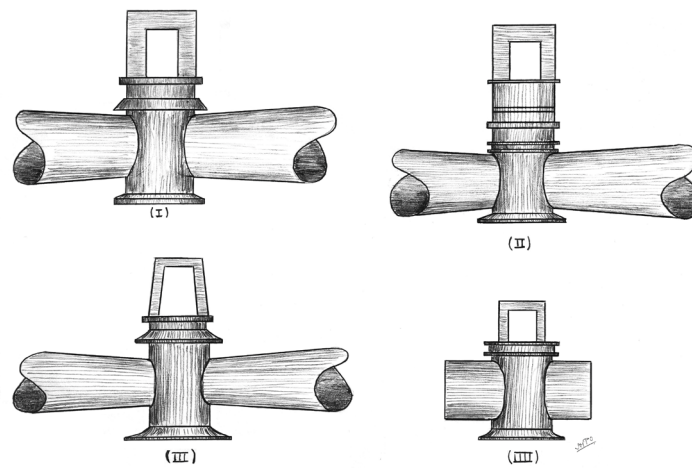


Fig. 20. Tipos de llaves de paso romanas.

- El tercero de los tipos, tipo III, es bastante similar a tipo I, diferenciándose de éste en que el anillo superior con inglete está más separado de la tubería y, en general el cilindro es algo más espigado.
- El cuarto de los tipos de llave de paso, tipo IIII, era el menos robusto de todos. Las tuberías de salida y entrada eran muy cortas, y normalmente cilíndricas y no en forma de tronco de cono como



Colección particular (Ruiz Yañez)

Fig. 21. Grifo romano tipo III de 6 y 5.5 cm de entrada y salida, para una tubería duodecenaria 12/4, en desuso en el siglo I d. C. según Frontino, probablemente del siglo I a. C. (Foto y fuente cortesía de Manuel Ruiz Yañez).

eran en los otros tres tipos. El cabezal de la llave estaba muy junto a la plataforma cilíndrica del cilindro fijo de la llave. Probablemente este tipo era el que menos presión soportase.

Las llaves de paso eran similares a las actuales. Estaban construidas en bronce y constaban de dos piezas: una fija, o hembra, que se unía a los dos extremos de la tubería y se asentaba sobre una peana. El centro era hueco de forma cilíndrica con eje vertical donde se alojaba la segunda pieza, móvil, que tenía forma cilíndrica, espiga o macho, que tenía un hueco horizontal que atravesaba la espiga transversalmente, de tal manera que cuando este hueco coincidía en su posición con el eje de la tubería, el agua lo atravesaba; estando en posición abierta. Mientras que cuando se giraba la espiga 90° y su hueco no coincidía; la espiga no permitía el paso del agua; estando en posición cerrada. El giro de la espiga se hacía mediante un palo situado en la cabeza de la llave que, como en la actualidad, se alineaba con la tubería cuando estaba abierto y estaba perpendicular a ella cuando estaba cerrado.

Cuando el agua pasaba a ser transportada por tubería, que iban a baja presión (entre 5 y 10 m) pero los incrementos en ella podían ser peligrosos. El cierre de la conducción producía un incremento de presión sobre el tramo de tubería anterior a la llave de paso que se conoce con el nombre de “golpe de ariete”. Para contrarrestar este incremento de presión, en la actualidad, se sitúan unas chimeneas de equilibrio (figs. 22/23/24) que evitan esa sobrepresión, muy peligrosa. Los romanos conocían este fenómeno y lo que hacía era situar unas pequeñas chimeneas de equilibrio que además de evitar sobrepresiones extraía el aire de las tuberías que tienden a formarse burbujas tras una llave de paso.



REGULACIÓN DE CAUDALES EN LOS ABASTECIMIENTOS DE AGUA ROMANOS

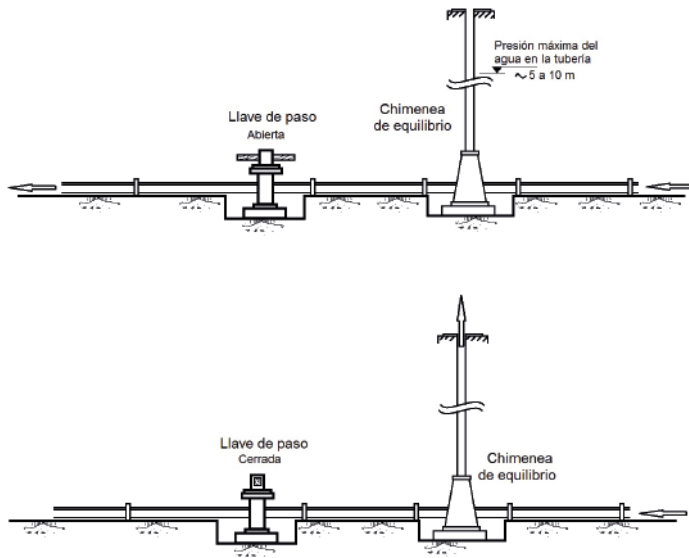


Fig. 22. Funcionamiento de una chimenea de equilibrio.



Fig. 23. Chimenea de equilibrio romana del Museo de Rómulo Gabarró.

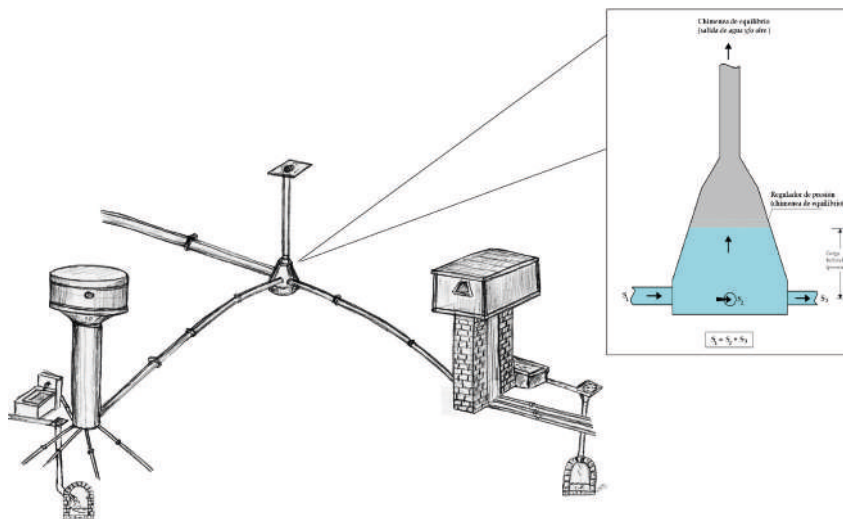


Fig. 24. Situación de una chimenea de equilibrio en una bifurcación de tuberías.

El caudal que expulsaba esta chimenea o donde acababa no lo conocemos, pero tenía que alcanzar un lugar elevado ya que tenía que mantener la columna de agua de presión. Es posible que estos equipos estuviesen conectados a depósitos o cisternas, o directamente se enviasen a las alcantarillas.

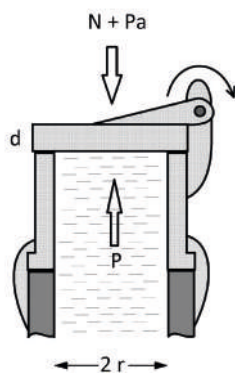


Fig. 25. Funcionamiento de una válvula de presión de cazoleta.

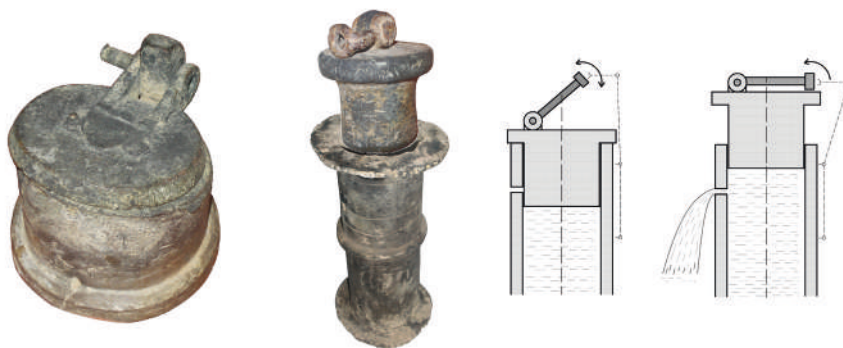


Fig. 26. Composición fotográfica de una válvula de tapón romana, con dos piezas del Museo de Rómulo Gabarró.

Estas chimeneas de equilibrio, o pozos de regulación de presión, se situaban a lo largo de una tubería, como las chimeneas que posee el Museo de Rómulo Gabarró (fig. 23); pero también lo hacía en bifurcaciones de tuberías, como la chimenea que existe en el Museo de *Baelo Claudia* (Bolonia).

De los depósitos de distribución salían las tuberías que desembocaban en los diferentes puntos de consumo: fuentes públicas y ornamentales, lavaderos, baños públicos, cuarteles o casas particulares.

Pero, sabemos también que en las tuberías, directamente o en la parte superior de la chimenea de equilibrio se ponía válvulas de presión, poco estudiadas, que regulaban la presión y caudal de la tubería. De los restos que se han podido estudiar, se han detectado dos tipos de válvulas: de cazoleta y de tapón. Las válvulas de cazoleta trabajaban como una tapadera con un cierto peso que junto a la presión atmosférica se oponía a la presión del agua, y cuando ésta era superior, se abría y expulsaba agua hasta regular la presión. Este mecanismo es habitual en conducciones, tanto entonces como en la actualidad. Se podían situar en la parte superior de la chimenea de equilibrio o directamente en la tubería (fig. 25).

Más complicado ha sido conocer e identificar la válvula de presión de tapón (fig. 26). Recuerdo cuando Rómulo me enseñó su espléndido museo, había dos piezas sin relación aparente: Una era un tapón de una válvula, y la otra una corta tubería de bronce que ni él ni yo sabíamos qué era. De hecho, por mucho tiempo supuse que era un calibrador de tubería. Pero este trabajo me dio la luz, al analizar las válvulas: era la parte inferior de la válvula a la que le faltaban los agarres del tapón y tope.

El funcionamiento debía ser similar al que actualmente se usan, por ejemplo, en cisternas, si bien, todavía no he encontrado suficientes piezas para su estudio en profundidad.

El final del agua sobrante, *caducce*, era el mismo que el de un río, seguir su camino por las calles a las alcantarillas y de ahí al cauce o río (Front. *Aq.* 88/111). Pero, entre medias había quedado toda

una tecnología hidráulica romana para su control y buen uso de la que aún conocemos muy poco, gracias a los depredadores de conducciones o al desconocimiento del esta red y sistema de abastecimiento que hace cortar las tuberías y ponerlas en vitrinas antes de un análisis completo de la red en que estaba inmersa.

## 6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Cuando estudiamos las conducciones y distribución de agua en el mundo romano antiguo; pecamos de confundir la conducción con la infraestructura: confundiendo conducción (acueducto) con acueducto (puente acueducto). Admiramos la belleza de los arcos y la longitud de los puentes. Pero, en el mundo antiguo se admiraba otra cosa, como se puede deducir de los siguientes textos:

Dionisio de Halicarnaso (3.67.5):

*Al menos yo, entre las tres construcciones más magníficas de Roma, por las que principalmente se muestra la grandeza de su poder, coloco los acueductos, los pavimentos en los caminos y las obras de las cloacas, y esta opinión no se refiere sólo a la utilidad de la construcción (...) sino a la magnitud de los gastos (...).*

Frontino (Aq. 16.1):

*(...) con moles tan necesarias de tantos acueductos compara si quieres, las más superfluas pirámides o las construcciones de los griegos, inútiles, aunque famosas (...).*

Plinio (Nat. 36.15):

*Pero si alguien calculara cuidadosamente la cantidad de agua de los suministros públicos, baños, depósitos, casas, zanjas, jardines, y villas suburbanas; y por la distancia que deben atravesar, los arcos construidos, las montañas perforadas, los valles nivelados; tendremos que confesar que nunca ha habido nada más maravilloso en todo el mundo (...).*

Estabón (5.3.8):

*El agua es traída a la ciudad a través de los acueductos en cantidades tales que son verdaderos ríos que fluyen a través de la ciudad y las alcantarillas; y casi todas las casas tienen cisternas, tuberías de servicio y abundantes fuentes de las cuales Marco Agripa se preocupaba más (...).*

En resumen, admiraban el que fluyese tanta agua: el milagro de abrir el grifo y poder beber agua fresca. Ese milagro se conseguía llevando los manantiales y ríos a la puerta de sus casas. Para ello desarrollaron

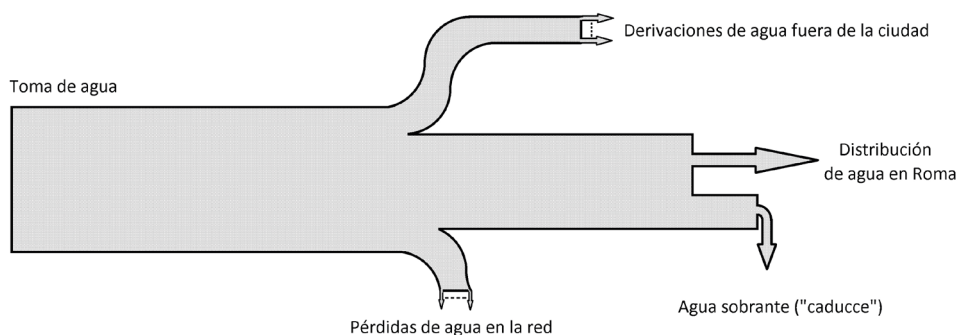


Fig. 27. Esquema general de distribución y uso de agua en Roma.

la ingeniería hidráulica en todo su ámbito. Esto es; ¡miraban el fluir del agua en la conducción y no la infraestructura que lo sostenía! Este aserto tan sencillo es el que ha llevado a muchos a no comprender las conducciones romanas llegando a conclusiones absurdas trasladando ideas actuales, poco técnicas, a la antigüedad: confundiendo el arte de los arcos con la hidráulica.

Para que el agua llegase limpia y fluida tuvieron que idear un sistema de conducción dinámico, esto es; el agua fluía continuamente, sin parar, el río o manantial discurría por sus canales y cañerías. Y salía finalmente por sus grifos, piscinas y fuentes. Para controlar, regular y medir el agua que discurría por esos “ríos enlatados” se la ingeniaron con determinar la superficie mojada, especialmente en la toma y la llegada a la ciudad. Entonces, aunque existía el concepto de caudal (velocidad x superficie) era muy difícil determinar la velocidad del canal: el invento del correntímetro, o correntómetro, es muy posterior. Se substituyó por controlar la pendiente del canal, que Plinio y Vitruvio nos dicen era de 0,021 %. Pero, no era necesario hacerlo en todo el tramo, que sí se exigía que fuese en régimen laminar (< 0,05%) para que no sufriesen los canales. Con ello, solamente bastaba dividir la sección en áreas mojadas menores, cuya unidad llamaron quinaria (4,19 cm<sup>2</sup>) y esas eran las que controlaban y distribuían. Las pérdidas en la conducción hasta el abastecimiento eran en torno al 70% (Front. Aq. 64) y cuando llegaba a la entrada de la ciudad, la altura de la lámina de agua permanecía prácticamente constante a lo largo del año (Front. Aq. 74.3). Pero, el agua no podía estar estancada y en los depósitos de regulación y distribución estaban dotados de aliviaderos que mantuviesen esos niveles. El agua sobrante, “caducce” en Frontino:

*(...) ni siquiera las aguas de desecho quedan estancadas: se han combatido las causas de la contaminación atmosférica, el aspecto de las calles es limpio, el ambiente más purificado y el tufo, que entre los antepasados tan mala reputación dio siempre a la Ciudad, ha sido eliminado (...)* (Front. Aq. 88).

*(...) es necesario que una parte de su agua se desborde de los depósitos, porque no solo conviene a la salubridad de nuestra ciudad sino también para la limpieza de las alcantarillas (...)* (Front. Aq. 111).

## BIBLIOGRAFÍA

- Ashby, T. (1935). *The Aqueducts of Ancient Rome*, Oxford.
- Blackman, D. R. (1978). “The Volume of Water delivered by the Four Great Aqueducts of Rome”, *Papers of the British School at Rome* 46, 52-72.
- Carcopino, J. (1939, 1989). *La vida cotidiana en Roma en el apogeo del imperio*, Madrid.
- Cioli, D. (2009). “La quinaria di Frontino”, *Archeologia Sotterranea* 1, 5-14.
- Dionisio de Halicarnaso (1988). *Historia de la antigua Roma*. Trad. E. Jiménez – E. Sánchez, Madrid: Gredos.
- Egea Vivancos, A. (2002). “Ingeniería hidráulica en Cartago Nova: las tuberías de plomo”, *Mastia* 1, 167-170.
- Fabretti, R. (1680). *De aquis et aquaeductibus veteris Romae*, Typis Ioannis Baptistae Bufsotti.
- Frontino (1985). *Los acueductos de Roma*. Trad. T. González Rolán, ed. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- González Román, C. (1995). *El esplendor de la España romana. El Alto Imperio en la península Ibérica*, Madrid.
- Moreno Gallo, I. (2007). “El arte romano de suministrar las aguas”, *Cimbra: Revista del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas* 374, 14-33.
- Peña Olivas, J. M. de la (2010). “Sistemas romanos de abastecimiento de aguas” en: Fundación de la Ingeniería Técnica de Obras Públicas (eds.), *Congreso de las Obras Públicas Romanas V. Las técnicas y las construcciones en la ingeniería romana (Córdoba)*, 249-282.
- Peña Olivas, J. M. de la (2018). *Las obras públicas en las monedas romanas*, Madrid.
- Schram, W. D. (2014). “Dynamic Control Elements in Roman Aqueducts – A Reconnaissance Study”, en: Ch. Ohlig – T. Tsuk, *Cura Aquarum in Israel II. Water in Antiquity. Proceedings of 15th International Conference on History of Water Management and Hydraulic Engineering in Mediterranean Region*, Siegburg, 229-246.
- Tito Livio (1990). *Historia de Roma desde su fundación*. Trad. J. A. Villar Vidal, Madrid: Gredos.

# INGENIERÍA HIDRÁULICA ROMANA.

## VI CONGRESO INTERNACIONAL DE LAS OBRAS PÚBLICAS ROMANAS

SANTO DOMINGO DE LA  
CALZADA 7, 8 Y 9 DE  
NOVIEMBRE DE 2019

ISAAC MORENO GALLO  
(COORD.)

21 HISTORIA ARQUEOLOGÍA

INGENIERÍA HIDRÁULICA ROMANA.  
VI CONGRESO INTERNACIONAL DE LAS  
OBRAS PÚBLICAS ROMANAS

ISAAC MORENO GALLO (COORD.)

# INGENIERÍA HIDRÁULICA ROMANA. VI CONGRESO INTERNACIONAL DE LAS OBRAS PÚBLICAS ROMANAS

Santo Domingo de la Calzada 7, 8 y 9 de noviembre de 2019



Congreso Internacional de las Obras Públicas Romanas (6º. 2019. Santo Domingo de La Calzada)  
Ingeniería hidráulica romana: VI Congreso Internacional de las Obras Públicas Romanas: (Santo Domingo de la Calzada 7, 8 y 9 de noviembre de 2019) / coordinador Isaac Moreno Gallo. -- Logroño: Instituto de Estudios Riojanos, 2023.

308 p.: il.col; 28 cm. - (Historia Arqueología; 21).

D.L. LR 696-2023. - ISBN 978-84-9960-170-0

1. Obras públicas-España-Hasta S.V - Congresos y Asambleas. 2. España-Restos arqueológicos romanos-Congresos y asambleas. I. Moreno Gallo, Isaac. II. Instituto de Estudios Riojanos. III. Serie.

624(460)"/04"(063)

904(460):7.032(37)(063)

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito de los titulares del copyright.

Primera edición: julio, 2023

© Isaac Moreno Gallo (Coord.)

© Instituto de Estudios Riojanos, 2023

C/ Portales, 2

26001 Logroño, La Rioja

[www.larioja.org/ier](http://www.larioja.org/ier)

© Imagen de cubierta: *Torres de descarga de presión en los cambios de alineación del acueducto romano de Aspendos (Turquía)*. Fotografía de Isaac Moreno Gallo.

Depósito Legal: LR 696-2023

ISBN: 978-84-9960-170-0

© Realización técnica: Grupo Editorial Sargantana

Impreso en España. Printed in Spain.

# Índice

- 9     **Prólogo**  
Concha Andreu Rodríguez  
*Presidenta de la Comunidad Autónoma de La Rioja*
- 13    **Abastecimientos de aguas romanos. Paradigmas y realidades**  
*Isaac Moreno Gallo*
- 67    **Inverted syphons and roman hydraulic technology**  
*H. Paul M. Kessener*
- 105   **Agua y canales en la minería hidráulica romana del oro**  
*Roberto Matías Rodríguez*
- 143   **Archaeological information obtained from carbonate deposits in ancient water systems**  
*Cees Passchier - Gül Sürmelibindi*
- 169   **Descubrimiento y análisis de dos nuevas conducciones en el entorno de Mérida: avances y resultados**  
*Santiago Feijoo Martínez – Diego Gaspar Rodríguez*
- 189   **Regulación de caudales en los abastecimientos de agua romanos**  
*José Manuel de la Peña Olivas*

- 219     **La ingeniería hidráulica en los tiempos preclásicos**  
*Manuel Durán Fuentes*
- 239     **El agua en los puertos romanos**  
*José Manuel de la Peña Olivas*
- 255     **Ingeniería hidráulica de la ciudad de *Valeria* (Cuenca): la cuestión del ninfeo**  
*Jesús Sánchez Sánchez*
- 287     **Dos acueductos romanos inéditos: *Norba Caesarina* (Cáceres) y *Regina Turdulorum* (Casas de Reina)**  
*Juan Gil Montes – José Vargas Calderón*

El VI Congreso Internacional de Ingeniería Romana organizado por el Colegio de Ingenieros Civiles y celebrado en Santo Domingo de la Calzada en noviembre de 2019, supuso un nuevo hito en la investigación de la ingeniería antigua. En esta monografía se ponen de relieve nuevos aspectos sobre el abastecimiento de aguas y la ingeniería sanitaria en el mundo romano.

Roma fue una cultura donde el agua garantizaba la *salubritas* y *securitas* de las ciudades y convertía a sus territorios en paisajes irrigados. Las estructuras hidráulicas que desempeñaban esta función, sobre todo los acueductos, eran vistas como el símbolo de la grandeza de Roma, de su obra civilizadora. Estrabón los consideraba, junto con las calles y las cloacas, las obras públicas más extraordinarias de una ciudad (Str. 5.3.8); Frontino, por su parte, dice que son más útiles que las pirámides de Egipto o las famosas construcciones griegas (Aq. 16). Pero, como se puede leer en estas páginas, los acueductos no son solo las admiradas arquerías de que en ocasiones disponían, aunque realmente son casi las únicas estructuras que el imaginario colectivo ha asociado a este valiosísimo legado romano. El abastecimiento de agua quedó garantizado por tuberías de diversas naturalezas, galerías subterráneas que conducían el agua por el subsuelo, o canales de fábrica cubiertos que, aunque no son perceptibles a simple vista, sí que formaron parte entre todos, junto con las arquerías, de esas grandes obras de abastecimiento de agua potable que dotaron de salud, bienestar y seguridad a aquella civilización por todo el *Orbe* entonces conocido.

